

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Anja S. Dolapčev Rakić

**KOMBINACIONE SPOSOBNOSTI SIRKA ZA
ZRNO I SUDANSKE TRAVE ZA
KOMPONENTE PRINOSA I KVALITET
BIOMASE**

doktorska disertacija

Beograd, 2025.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Anja S. Dolapčev Rakić

**COMBINING ABILITIES OF GRAIN SORGHUM
AND SUDAN GRASS FOR YIELD
COMPONENTS AND BIOMASS QUALITY**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025.

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Mentori:

prof. dr Slaven Prodanović, redovni profesor,
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Vladimir Sikora, naučni savetnik,
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

Članovi komisije:

prof. dr Tomislav Živanović, redovni profesor,
Poljoprivredni fakultet, Univezitet u Beogradu

dr Snežana Katanski, viši naučni saradnik,
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

prof. dr Savo Vučković, redovni profesor,
Poljoprivredni fakultet, Univezitet u Beogradu

doc. dr Irena Radinović, docent,
Poljoprivredni fakultet, Univezitet u Beogradu

dr Sanja Vasiljević, naučni savetnik,
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

Datum odbrane doktorske disertacije:

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost izražavam svojim mentorima, prof. dr Slavenu Prodanoviću i dr Vladimiru Sikori, čije su pruženo znanje, korisni saveti i podrška bili od neprocenjivog značaja tokom izrade ove disertacije i mog naučnog usavršavanja.

Izražavam zahvalnost članovima Komisije, prof. dr Tomislavu Živanoviću, prof. dr Savu Vučkoviću i doc. dr Ireni Radinović, koji su svojim sugestijama doprineli realizaciji ovog rada. Zahvalnost upućujem članicama Komisije i koleginicama, dr Snežani Katanski i dr Sanji Vasiljević, za podršku, razumevanje i pomoć tokom istraživanja.

Zahvaljujem se kolegama dr Draganu Miliću, dr Miroslavu Zoriću, dr Đuri Karagiću i dr Bojanu Mitroviću koji su svojim učešćem u planiranju istraživanja, dizajnu ogleda i realizaciji, kao i zalaganjem u rešavanju brojnih izazova na koje smo nailazili, dali ogroman doprinos u realizaciji ove disertacije.

Veliku zahvalnost upućujem dr Zoranu Čamdžiji koji je sa mnom nesebično podelio svoja dragocena iskustva, skripte i literaturu, čime mi je pružio pomoć od neprocenjivog značaja prilikom rada na disertaciji.

Zahvaljujem se kolegi dr Dariu Danojeviću na pruženoj pomoći i savetima u vezi sa statističkom obradom podataka, koji su mi u velikoj meri olakšali analizu.

Iskreno se zahvaljujem upravniku dr Vuku Đorđeviću, sadašnjim i svim bivšim koleginicama i kolegama Odeljenja za krmno bilje i Odeljenja za leguminoze Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, sezonskim radnicima, studentima, koji su na različite načine doprineli izradi ove disertacije; njihovo zalaganje na ogledima, pomoć u analizama, podrška i saveti tokom pisanja, bili su od velikog značaja u realizaciji ovog istraživanja.

Upućujem veliku zahvalnost koleginicama i kolegama sa Odeljenja za povrtarske i alternativne biljne vrste Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu na trudu i posvećenosti tokom zajedničkog rada u polju; njihova pomoć bila je od izuzetnog značaja.

Zahvaljujem se dr Biljani Kirpovski i koleginicama iz Laboratorije za ispitivanje biljnih materijala i proizvoda, kao i koleginicama i kolegama iz Laboratorije za zemljište i agroekologiju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu na profesionalnom radu tokom izvođenja analiza i preciznosti, čime su značajno doprineli kvalitetu prikupljenih podataka.

Neizmernu zahvalnost izražavam prof. dr Radivoju Jevtiću i dr Vesni Župunski koji su mi nesebično pomogli u trenucima kada mi je pomoć najviše bila potrebna.

Posebno želim da se zahvalim dragoj prof. dr Gordani Šurlan Momirović koja me je pratila tokom celog studiranja, uvek pružala podršku i ohrabivala me prijateljskim savetima.

Najdublju zahvalnost upućujem svojim roditeljima, mami Jasmini i tati Svetislavu, i bratu Vanji koji su me kroz ceo život podržavali, verovali u mene i pružali neiscrpnu ljubav, razumevanje i ohrabrivanje. Njihova podrška bila je stub na kojem sam gradila sve svoje životne uspehe. Posebnu zahvalnost dugujem mom najvećem uspehu, sinu Aleksi, koji mi, svojim osmehom, daje snagu da istrajem u svim izazovima. Zahvaljujem se suprugu Strahinji, čija je ljubav, razumevanje i podrška učinila ceo proces izrade disertacije lakšim.

Zahvaljujem se svojim prijateljima koji su verovali u mene i ohrabivali me sve ovo vreme.

Ovu disertaciju posvećujem svom velikom osloncu i večitoj inspiraciji, mom tati, koji sada, na nekom drugom mestu, i dalje veruje u mene i deli radost za naš zajednički uspeh. Njegova ljubav, podrška i ponos koji je osećao zauvek će obasjavati moj put.

KOMBINACIONE SPOSOBNOSTI SIRKA ZA ZRNO I SUDANSKE TRAVE ZA KOMPONENTE PRINOSA I KVALITET BIOMASE

SAŽETAK

Sirak je značajna biljna vrsta zahvaljujući svojoj izuzetnoj prilagodljivosti, visokom prinosu biomase i širokoj upotrebi u ishrani ljudi i životinja, industriji i proizvodnji biogasa. Krmni sirak se koristi kao kvalitetna ugljeno-hidratna komponenta u kabastoj ishrani preživara – u obliku zelene krme, sena, senaže ili silaže. Imajući u vidu njegov značaj, oplemenjivanje krmnog sirka je usmereno na stvaranje novih linija i hibrida sa visokim i stabilnim prinosom i dobrim kvalitetom, pri čemu procena kombinacionih sposobnosti predstavlja ključni korak za identifikaciju pogodnih roditelja i primenu efikasnih oplemenjivačkih metoda. Cilj istraživanja ove doktorske disertacije bio je određivanje opštih kombinacionih sposobnosti ispitivanih linija i posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida krmnog sirka, dobijenih ukrštanjem linija sirka za zrno i sudanske trave. Genetički materijal korišćen u ovom istraživanju činilo je 40 eksperimentalnih hibrida, 8 linija sudanske trave u svojstvu oca i 5 linija sirka za zrno u svojstvu majke hibrida i 7 komercijalnih hibrida. Poljski ogled je bio postavljen na lokalitetu Rimski šančevi tokom 2019. i 2020. godine. Kombinacione sposobnosti analizirane su primenom metode linija×tester za prinos zelene krme i suve materije, za najvažnije komponente prinosa, za dužinu trajanja najvažnijih fenoloških faza, kao i za parametre kvaliteta biomase od značaja. Rezultati ispitivanja posebnih kombinacionih sposobnosti (PKS) pokazali su da su najstabilnije pozitivne rezultate za prinos, komponente prinosa i kvalitet biomase, za dve godine ispitivanja, imale hibridne kombinacije L1×T2, L6×T5, L3×T5, L5×T3 i L8×T5. Ocena opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) pokazala je opravdanost korišćenja linija sudanske trave L4, L5 i L6, kao i linije sirka za zrno T4, u svojstvu roditelja za buduće programe selekcije, kao donora poželjnih gena za većinu ispitivanih osobina, u pravcu stvaranja novih prinosnijih hibrida boljeg kvaliteta. Odnos OKS i PKS pokazao je veći udeo neaditivne varijanse u ukupnoj fenotipskoj varijansi za sve analizirane osobine, osim za visinu biljke i broj internodija, gde su i aditivna i neaditivna komponenta varijanse imale udela u nasleđivanju. Utvrđen je i najveći doprinos interakcije linija×tester za većinu ispitivanih osobina. Najveće vrednosti heterozisa prema srednjem i prema boljem roditelju za prinos zelene krme i suve materije utvrđene su kod eksperimentalnih hibrida L6×T5 (109,29** i 190,20**; 105,68** i 160,67**) i L5×T3 (164,55** i 417,11**; 90,83** i 282,53**). Na osnovu koeficijenta korelacije između osobina eksperimentalnih hibrida, utvrđena je značajna veza broja internodija (0,48), visine biljke (0,34), broja listova (0,36) i prečnika stabljike (0,22 i 0,27) sa prinosom zelene krme i broja internodija (0,51), visine biljke (0,31), broja listova (0,31) i prečnika stabljike (0,52 i 0,45) sa prinosom suve materije, a analizom glavnih komponenti uočena je pozitivna povezanost prinosa sa skoro svim ispitivanim komponentama prinosa.

Ključne reči: krmni sirak, kombinacione sposobnosti, prinos, komponente prinosa, kvalitet biomase

Naučna oblast: Biotehničke nauke

Uža naučna oblast: Genetika i oplemenjivanje biljaka

UDK broj: 633.17+633.39]:631.559(043.3)

COMBINING ABILITIES OF GRAIN SORGHUM AND SUDAN GRASS FOR YIELD COMPONENTS AND BIOMASS QUALITY

ABSTRACT

Sorghum is a significant crop species due to its exceptional adaptability, high biomass yield and broad applicability in human and animal nutrition, industry and biogas production. Forage sorghum serves as a valuable carbohydrate-rich component in ruminant diets, provided in the form of green forage, hay, haylage or silage. Given its importance, breeding efforts in forage sorghum are focused on the development of new lines and hybrids with high and stable yield potential and improved quality, with the assessment of combining abilities representing a key step in identifying suitable parental genotypes and implementing effective breeding strategies. The objective of this doctoral research was to evaluate the general combining ability (GCA) of the studied lines and the specific combining ability (SCA) of experimental forage sorghum hybrids obtained through line×tester crosses between grain sorghum lines and Sudan grass lines. The genetic material included 40 experimental hybrids, 8 Sudan grass lines used as male parents, 5 grain sorghum lines used as female parents and 7 commercial hybrids. The field trial was conducted at the Rimski šančevi site during the 2019 and 2020 growing seasons. Combining abilities were assessed using the line×tester method for green and dry biomass yield, the most important yield components, the duration of key phenological phases, as well as relevant biomass quality traits. The results of the SCA analysis revealed that the hybrid combinations L1×T2, L6×T5, L3×T5, L5×T3 and L8×T5 exhibited the most stable and favorable performance across both years in terms of yield, yield components and biomass quality. GCA evaluation confirmed the breeding value of Sudan grass lines L4, L5 and L6, as well as the grain sorghum line T4, as promising parents in future breeding programs, serving as donors of desirable genes for most of the analyzed traits, toward the development of superior hybrids with improved performance and quality. The comparison of GCA and SCA effects indicated that non-additive genetic variance had a greater contribution to total phenotypic variance for all traits except for plant height and number of internodes, where both additive and non-additive variance components played a role in inheritance. A major contribution of line×tester interaction was also observed for most of the studied traits. The highest mid-parent and better-parent heterosis values for green and dry biomass yields were recorded in experimental hybrids L6×T5 (109.29** and 190.20**; 105.68** and 160.67**) and L5×T3 (164.55** and 417.11**; 90.83** and 282.53**). Correlation analysis among traits in the experimental hybrids revealed a significant association between green biomass yield and number of internodes (0.48), plant height (0.34), number of leaves (0.36) and stem diameter (0.22 and 0.27), as well as between dry biomass yield and number of internodes (0.51), plant height (0.31), number of leaves (0.31) and stem diameter (0.52 and 0.45). Principal component analysis (PCA) further confirmed a positive association between biomass yield and most of the yield-related components.

Key words: forage sorghum, combining abilities, yield, yield components, biomass quality

Scientific field: Biotechnical sciences

Scientific subfield: Genetics and plant breeding

UDK number: 633.17+633.39]:631.559(043.3)

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Ciljevi istraživanja	3
3. Pregled literature	4
3.1. Poreklo, botanička klasifikacija i proizvodnja sirka.....	4
3.2. Biološke, fiziološke i proizvodne osobine sirka.....	7
3.3. Oplemenjivanje sirka.....	9
4. Radne hipoteze	15
5. Materijal i metod	16
5.1. Biljni materijal	16
5.2. Postavka ogleda	17
5.3. Prinos, komponente prinosa i kvalitet biomase	23
5.4. Statistička obrada podataka	26
6. Rezultati i diskusija	30
6.1. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri	30
6.1.1. Broj dana od nicanja do metličanja	30
6.1.2. Broj dana od metličanja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna	34
6.1.3. Visina biljke	37
6.1.4. Prečnik stabljike na mestu reza	41
6.1.5. Prečnik stabljike iznad četvrtog lista	44
6.1.6. Broj internodija	48
6.1.7. Broj listova	51
6.1.8. Površina zelenog lista	54
6.1.9. Dužina metlice	57
6.1.10. Dužina vrata	61
6.1.11. Prinos zelene krme	64

6.1.12. Prinos suve materije	68
6.1.13. Kvalitet biomase	71
6.2. Kombinacione sposobnosti	76
6.2.1. Broj dana od nicanja do metličanja	76
6.2.2. Broj dana od metličanja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna	80
6.2.3. Visina biljke	84
6.2.4. Prečnik stabljike na mestu reza	87
6.2.5. Prečnik stabljike iznad četvrtog lista	90
6.2.6. Broj internodija	94
6.2.7. Broj listova	97
6.2.8. Površina zelenog lista	100
6.2.9. Dužina metlice	104
6.2.10. Dužina vrata	107
6.2.11. Prinos zelene krme	110
6.2.12. Prinos suve materije	113
6.2.13. Kvalitet biomase	116
6.3. Heterozis prema srednjem roditelju	120
6.3.1. Prinos zelene krme i suve materije	120
6.3.2. Komponente prinosa	123
6.3.3. Kvalitet biomase	126
6.4. Heterozis prema boljem roditelju	128
6.4.1. Prinos zelene krme i suve materije	128
6.4.2. Komponente prinosa	130
6.4.3. Kvalitet biomase	133
6.5. Korelacija osobina	135
6.6. Analiza indeksa poleganja hibrida krmnog sirka	140
6.7. Multivarijaciona analiza	142
7. Zaključak	145

8. Literatura	147
---------------------	-----

1. UVOD

Sirak (*Sorghum bicolor* L. Moench) po površinama i proizvodnji spada među pet najznačajnijih žitarica na svetu, posle pšenice, pirinča, kukuruza i ječma. Sirak je toploljubiva biljna vrsta dominantno gajena u aridnim i semiaridnim područjima. Ubraja se među vodeće useve u svetu, a i u našim agroekološkim uslovima sve više poprima na značaju. Perspektiva upotrebe sirka ogleda se u različitim načinima upotrebe zrna, biomase ili njihove kombinacije, za ljudsku i životinjsku ishranu, kao i industriju i specifične namene. Iz tog razloga se u programima oplemenjivanja pristupilo stvaranju inbred linija i hibrida visokog prinosa i dobrog kvaliteta krme. Prinos je glavni i krajnji cilj oplemenjivanja. I konvencionalne i molekularne metode oplemenjivanja mogu se primeniti kako bi se poboljšao kvalitet krmnog sirka za proizvodnju biogoriva i za ishranu preživara.

Primarni zadatak oplemenjivanja je stvaranje novih inbred linija radi dobijanja visokoprinosnih i stabilnih hibrida dobrog kvaliteta. Rezultati analize prinosa i komponenti prinosa kod linija i hibrida su pokazatelji, koji pri selekciji, pravilno usmeravaju ka dobijanju hibrida poželjnog kvaliteta i daju jasnu sliku o načinu nasleđivanja (Debnath i Sarker, 1989). Kritična tačka većine metoda oplemenjivanja je odabiranje manje grupe individua iz određenog genetičkog materijala. Zato je razrađeno nekoliko tehnika koje oplemenjivačima olakšavaju taj izbor. Pojava efekta heterozisa za agronomski značajna svojstva, osnovni je preduslov za dobijanje hibrida koji će imati veću produktivnost (Pataki et al., 2010). Istraživanja istih autora pokazuju da su se za stvaranje hibrida krmnog sirka najbolje pokazala ukrštanja sirka za zrno (majka hibrida) i sudanske trave (otac hibrida).

Kada se planira program oplemenjivanja, najviše pažnje bi trebalo posvetiti određivanju udela pojedinih komponenti u genetičkoj varijansi, kao i utvrđivanju njene prirode, za prinos, komponente rodnosti i kvalitet zrna i biomase. Naročitu pažnju treba usmeriti na efekat aditivne genetičke varijanse, zato što je ona od primarnog značaja (Bartual i Hallauer, 1976). Prvi korak prilikom unapređivanja genotipa i dobijanja novih linija je ispitivanje kombinacionih sposobnosti. Ispitivanje kombinacionih sposobnosti pruža korisnu informaciju u vezi sa odabirom odgovarajućih roditelja za efikasan program hibridizacije (Thakare et al., 2014). Autori Tadesse et al. (2008) tvrde da su informacije o kombinacionim sposobnostima različitih linija relevantne za izbor najboljih roditelja i odabir odgovarajuće metode oplemenjivanja. Za dobijanje tačnih podataka o kombinacionim sposobnostima linija potrebno je izvršiti ukrštanja i zatim ispitivati dobijene hibridne kombinacije, zajedno sa njihovim roditeljskim komponentama. Pri određivanju kombinacionih sposobnosti samooplodnih linija primenjuju se različiti metodi od kojih su metod topcross, odnosno unapređen metod linija×tester i metod dialelnih ukrštanja najčešće korišćeni.

Murray et al. (2008) u istraživanju navode da je selekcija krmnog sirka za obe namene (ishrana životinja i proizvodnja biogasa) usmerena prvobitno na sadržaj šećera u soku stabljike. Oni navode da je za unapređivanje genotipova krmnog sirka za dvostruku namenu potreban istovremeni rad na poboljšanju i zrna i prinosa šećera iz stabljike. Primena molekularnih markera u selekciji u cilju oplemenjivanja određenih biljnih vrsta omogućava jednostavnije pronalaženje osobina od interesa za oplemenjivanje. Prilikom oplemenjivanja koriste se molekularni markeri koji su usko vezani za gen određenog svojstva, što dovodi do značajnog ubrzanja samog procesa oplemenjivanja. Kod sirka se, za razliku od drugih biljnih vrsta, oplemenjivanje istovremeno vrši na dobijanje što većeg i stabilnijeg prinosa i kvaliteta kako zrna, tako i krme zbog različitih agronomskih tipova sirka. Međutim, postoje određena preklapanja, pa unapređivanje nekih osobina sirka može da posluži kao prednost kod više tipova (Franks i Mayor, 2015). Razumevanje genetske kontrole osobina od značaja i uticaja spoljašnjih faktora koristilo bi genetskom poboljšanju krmnog sirka (Rao et al., 2015).

Prema Mofokeng et al. (2017) efikasno poboljšanje osobina krmnog sirka zasniva se na adekvatnom iskorišćavanju genetičkog diverziteta. Da bi se postigao uspeh u tome, neophodno je izvršiti karakterizaciju i analizu, što podrazumeva fenotipsku evaluaciju, analizu nutritivnih svojstava, kao i primenu molekularnih markera. Ovakav pristup omogućava identifikaciju poželjnih svojstava, kao i bolje razumevanje genetske sličnosti i razlika među ispitivanim genotipovima, što je od suštinskog značaja u oplemenjivačkom programu.

Predmet ovog istraživanja usmeren je na unapređenje prinosa i kvaliteta biomase hibrida krmnog sirka. Analizom kombinacionih sposobnosti, kroz ovo istraživanje, identifikovaće se genotipovi koji su dobri opšti kombinatori, a čije je svojstvo da se prosečno dobro kombinuju sa velikim brojem različitih linija. Takođe, kroz predložena istraživanja, identifikuju se najbolje posebne kombinacije, kod kojih je došlo do transgresije osobina. Na osnovu ocene kombinacionih sposobnosti ispitivanih genotipova za najvažnije agronomske osobine, prinos i kvalitet biomase sirka, izdvojiće se oni roditelji koji će se u narednom periodu koristiti za stvaranje novih, prinosnijih i kvalitetnijih hibrida krmnog sirka.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi istraživanja ove doktorske disertacije su određivanje opštih kombinacionih sposobnosti ispitivanih linija i posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida krmnog sirka, dobijenih ukrštanjem linija sirka za zrno i sudanske trave, primenom metode linija×tester. U skladu sa tim, izvršiće se ocenjivanje biljnog materijala ispitivanjem dužine trajanja značajnih fenoloških faza (broj dana od nicanja do metličenja, broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna), najvažnijih komponenti prinosa (visina biljke, prečnik stabljike na mestu reza i iznad četvrtog lista, broj internodija, broj listova, površina zelenog lista, dužina metlice, dužina vrata) i kvaliteta biomase krmnog sirka (sadržaj kiselih i neutralnih deterdžentskih vlakana, sadržaj kisele frakcije lignina, ukupna rastvorljiva čvrsta materija i relativna hranljiva vrednost), kao i merenje prinosa zelene krme i suve materije. Utvrdiće se vrednosti i razlike u prinosu, komponentama prinosa od značaja za oplemenjivanje krmnog sirka i kvalitetu biomase između različitih tipova sirka, shodno njihovoj nameni. Uporediće se novostvoreni eksperimentalni hibridi krmnog sirka sa već priznatim, komercijalnim hibridima prisutnim na tržištu Republike Srbije. Odrediće se komponente genetičke varijanse, odnos OKS/PKS, kao pokazatelj aditivne i neaditivne varijanse i proporcionalni doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji ispitivanih osobina. Takođe, analiziraće se uticaj fenotipske divergencije roditeljskih komponenti na ispoljavanje hibridne snage, odnosno vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg i na srednjeg roditelja. Utvrdiće se koeficijenti korelacije posmatranih osobina, njihova međuzavisnost i odnos ispitivanih genotipova analizom glavnih komponenti.

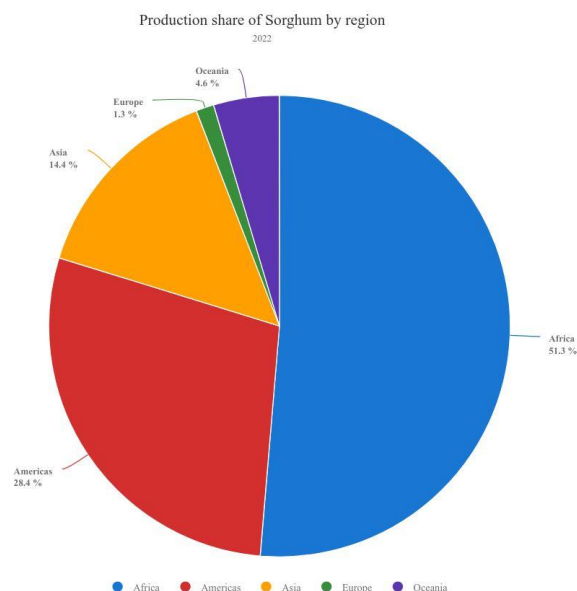
Dobijeni rezultati istraživanja pružiće uvid u doprinos indirektne selekcije na prinos biomase krmnog sirka, putem komponenti prinosa. Rezultati testiranja kombinacionih sposobnosti ispitivanog materijala, pomoći će da se izvrši identifikacija i odabir dobrih, perspektivnih kombinatora za budući oplemenjivački rad i za ukrštanja sa drugim linijama koje nisu deo ovog istraživanja, u cilju stvaranja visokoprinosa hibrida krmnog sirka zadovoljavajućeg kvaliteta. Istraživanje će doprineti unapređivanju programa oplemenjivanja krmnog sirka na Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, instituta od nacionalnog značaja, kao jedine institucije koja se bavi oplemenjivanjem ove biljne vrste na nacionalnom nivou, sa ciljem dobijanja novih hibrida koji će biti značajna komponenta u spravljanju kvalitetne silaže za ishranu preživara, kao i hibrida koji će, zbog visokog sadržaja šećera, biti odlična sirovina u proizvodnji biogasa u biodigestorima i na taj način dati doprinos naučnom i praktičnom razvoju poljoprivrede.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Poreklo, botanička klasifikacija i proizvodnja sirka

Sirak (*Sorghum bicolor* L. Moench) je jednogodišnja gajena biljna vrsta iz reda *Poales*, porodice trava *Poaceae*. Ova biljna vrsta zajedno sa kukuruzom, prosom i pirinčom čini grupu prosolikih žita i pored pravih (strnih) i alternativnih ubraja se u značajnu skupinu zrnenih skrobnih biljaka, žita. Rod *Sorghum* broji 22 vrste od kojih je jedino vrsta *Sorghum bicolor* (L.) Moench gajena (Venkateswaran et al., 2019a). Jednu od prvih klasifikacija sirka predstavili su Murty i Govil (1967) gde su ovu vrstu zbog velikog diverziteta podelili u radne grupe (Venkateswaran et al., 2019b). Naredna klasifikacija bila je po istraživačima Harlan i de Wet (1972) koja se zasnivala na podeli na rase na osnovu izgleda metlice, a njen dodatak objavili su Prasada Rao et al. (1989). Konačno, Dahlberg (2000) je razvio novu klasifikaciju koja je obuhvatala ranija istraživanja i zasnivala se na sličnosti i razlikama na osnovu značajnih osobina i ukupnog fenotipa biljaka. Prema ranijim klasifikacijama rod *Sorghum* obuhvata i biljnu vrstu sudanska trava (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), dok ova klasifikacija svrstava radnu podgrupu *Bicolor* i radnu podgrupu *Sudanense* u istu radnu grupu *Bicolor* za koju su karakteristične srednje otvorene, dobro razvijene, dugačke metlice i malo, izduženo seme koje je većim delom prekriveno plevicom (Venkateswaran et al., 2019b). Jedina višegodišnja vrsta iz ovog roda je uporni, široko rasprostranjeni korov, divlji sirak (*Sorghum halepense*). U poljoprivrednoj praksi, sirak obuhvata više različitih tipova, odnosno gajenih agronomskih formi, u skladu sa upotrebom i načinom proizvodnje: sirak za zrno, silažni sirak, sirak metlaš i sudanska trava (Sikora i Berenji, 2005; Latković et al., 2015). Sirak se smatra jednom od najstarijih biljaka i spada u 5 najznačajnijih gajenih žitarica u svetu, nakon pšenice, pirinča, kukuruza i ječma.

Vavilov je u svojim istraživanjima utvrdio postojanje 8 centara diverzifikacije, među kojima je etiopski centar iz kojeg gajeni sirak vodi poreklo, a gde se i danas može naći najveći broj gajenih i samoniklih varijeteta (Prodanović et al., 2015). Sirak je iz Etiopije prenet na područje Bliskog Istoka i jugozapadne Azije, a zatim, putem svile, i u dalje delove Azije, dok je u Evropu stigao tek u XV veku (Glamočlija, 2012). U Americi i Australiji interesovanje za gajenjem ove biljne vrste počelo je krajem XIX veka. Za optimalni areal rasprostiranja sirka smatra se područje od ekvatora do 25-45° severne i 15-35° južne geografske širine (Glamočlija, 2012; Latković et al., 2015).

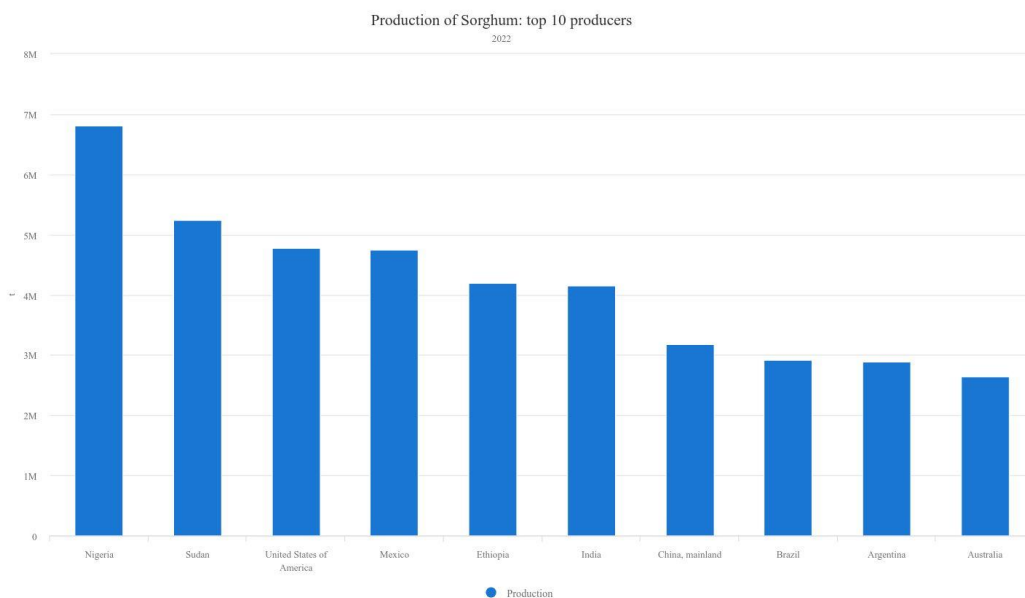


Source: FAOSTAT (November 4, 2024)

Grafik 1. Proizvodnja sirka (%) u svetu u 2022. godini, po regionima.

Izvor: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

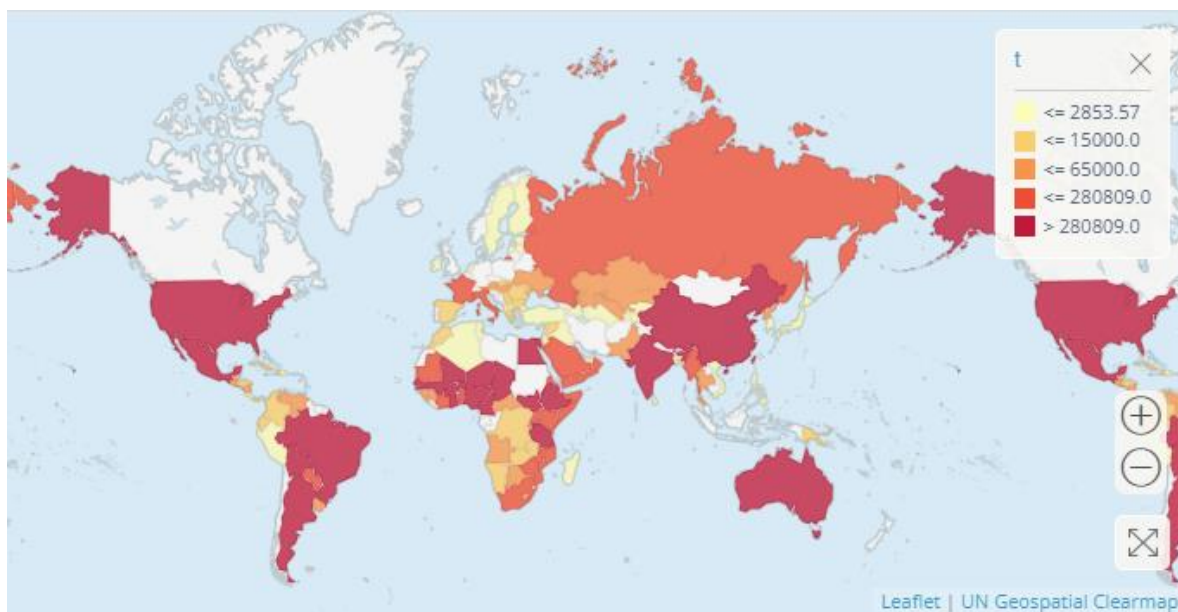
Prema podacima FaoStat (2024), proizvodne površine pod sirkom u toku 2022. godine na svetskom nivou iznosile su 40.762.472 ha, sa ostvarenim prosečnim prinosom 1.412,6 kg/ha i ukupnom proizvodnjom 57.581.942,77 t. Proizvodnja na svetskom nivou prikazana je po regionima (grafik 1) iz čega se može zaključiti da su najveći proizvođači sirka u svetu države afričkog kontinenta, dok Evropa čini samo 1,3% ukupne proizvodnje. Na prvom mestu bila je Nigerija, sa značajno većom proizvodnjom sirka u odnosu na sve ostale države (grafik 2). Površine na kojima je bio zasnovan sirak u Evropi su iznosile 238.655 ha, sa ostvarenim prosečnim prinosom 3.034,7 kg/ha i produkcijom 724.234,13 t.



Source: FAOSTAT (November 4, 2024)

Grafik 2. 10 država najvećih svetskih proizvođača sirka u 2022. godini.

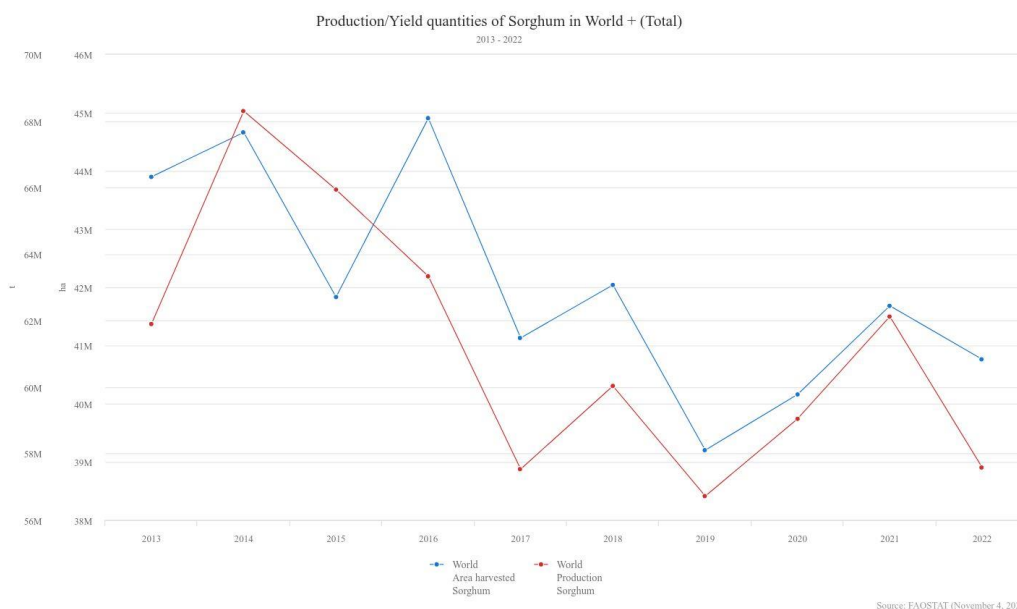
Izvor: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>



Grafik 3. Proizvodnja sirka (t) u svetu u 2022. godini, po državama.

Izvor: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

Na grafiku 3 grupisane su države na osnovu količine proizvedenog sirka u 2022. godini u 5 kategorija i može se videti da nijedna država Evrope nije svrstana u 1. kategoriju, odnosno nije premašila vrednost od 280.809 t sirka. Na osnovu ove podele, Srbija sa zasnovanih 2.606 ha, prosečnim prinosom od 3.144,1 kg/ha i proizvodnjom od 8.193,45 spada u 4. kategoriju. Iako interesovanje za sirkom raste, pre svega zbog dobre adaptacije na različite agroekološke uslove, ali i zbog višestruke upotrebe, površine pod ovom biljnom vrstom se iz godine u godinu značajno razlikuju, ali je primetan trend opadanja (grafik 4).



Grafik 4. Proizvodnja i površine pod sirkom u svetu za period od 2013. do 2022. godine, po godinama.

Izvor: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

3.2. Biološke, fiziološke i proizvodne osobine sirka

Sirak je biljka sa C4 tipom fotosinteze, pa zahvaljujući tome efikasnije koristi vodu, ima visok genetski potencijal produkcije biomase i intenzivno ugrađuje ugljenike u šećere (Latković et al., 2015; Janković et al., 2017). Rao et al. (2015b) ističu visok potencijal sirka za proizvodnju ugljenih hidrata u više oblika, iz zrna, iz soka u stabljici i iz biomase za različite upotrebe.

Poljoprivredni proizvođači kao najveću prednost gajenja sirka navode niske troškove proizvodnje, usled skromnijih zahteva prema agrotehničkim merama đubrenja i navodnjavanja. Ovaj usev se, zahvaljujući dobro razvijenom dubokom žiličastom korenovom sistemu jake usisne moći, može uspešno gajiti na različitim tipovima zemljišta. Kada je prilagođenost različitim uslovima uspevanja u pitanju, Bhat (2019) tvrdi da je sirak tolerantniji na toksičnost zemljišta od većine drugih vrsta, kao i da podnosi slatine, peskovita i teža zemljišta koja su za većinu drugih biljnih vrsta manje pogodna. Za njegovu proizvodnju važna je kvalitetna osnovna obrada zemljišta u jesen i dobra predsetvena priprema koja obezbeđuje lakšu setvu i ujednačeno nicanje. Od izuzetne važnosti za poljoprivredne proizvođače, pored malih ulaganja, svakako su i stabilni i sigurni prinosi koji se postižu. Dodatna olakšica u gajenju je to što u našim agroekološkim uslovima nema ekonomski značajnih bolesti koje utiču na smanjenje prinosa i kvaliteta krmnog sirka i sudanske trave.

Svedoci smo izrazito loših klimatskih uslova, vegetacione sezone karakterišu ekstremno visoke temperature, nizak nivo i nepovoljan raspored padavina, čije su posledice višestruke. Sve češće su godine sa suvim i toplim letom i manjkom padavina tokom zime i proleća. Rezultat dugih suvih perioda u kombinaciji sa temperaturama iznad proseka u višemesečnom trajanju su, između ostalog, ogromne štete u poljoprivredi. Negativan uticaj suše moguće je najefikasnije prevazići gajenjem useva koji imaju željene osobine i bolje podnose stres izazvan deficitom padavina, uz primene agrotehničke prakse očuvanja vode i zemljišta (Tadesse et al., 2008). Mnoge ratarske vrste u ovakvim uslovima ne uspevaju da ostvare očekivane prinose. Usled značajnog uticaja klimatskih promena na poljoprivredu i povećanog rizika poljoprivredne proizvodnje i obezbeđivanje dovoljne količine hrane na svetskom nivou, istraživanja su usmerena na pronalaženje visokoprinosnih biljnih vrsta i sorti koje bolje podnose stres izazvan sušom i visokim temperaturama. Klimatske oscilacije izazvane značajnim promenama u rasporedu padavina i povećanjem temperatura u odnosu na višegodišnji proseka, utiču na stabilnost proizvodnje hrane u svetu (Hossain et al., 2022). Prednost ovih useva ogleda se u visokom stepenu tolerantnosti prema uslovima nedovoljne količine padavina u toku vegetacije, pored kojih oni uspevaju da ostvare sigurne prinose. Dobrom sortom, u ovom slučaju, smatra se ona koja obezbeđuje visoke prinose i pozitivno reaguje na različite faktore spoljašnje sredine (Miller et al., 1996). Prodanović et al. (2015) tvrde da poreklo biljaka objašnjava njihovu prilagođenost određenim uslovima spoljašnje sredine, pa je tako tropsko poreklo sirka jedan od faktora koji doprinosi njegovom visokom stepenu tolerantnosti na uslove visokih temperatura i suše. Zahvaljujući efikasnijem korišćenju vode i raznim mehanizmima adaptacije na uslove izazvane njenim nedostatkom, biljke sirka svoj rast i razvoj mogu da nastave uprkos stresu. Kako će biljke sirka reagovati na uslove stresa izazvane deficitom vode zavisi najpre od faze rasta i razvoja (Sikora et al., 2013; Sakhi et al., 2014). U sušnim godinama, kada druge biljne vrste kao odgovor na nedostatak vode u potpunosti prekidaju vegetaciju, što kasnije dovodi do njihovog uvenuća, biljke sirka reaguju uvijanjem listova, zaustavljanjem rasta i prelaskom u stanje mirovanja sve dok period suše traje. Nakon kiše, biljke se regenerišu i nastavljaju sa rastom (Rao et al., 2015a). Poreklo sirka i njegove morfološke karakteristike mogu delom da objasne njegov visok stepen tolerantnosti na uslove suše, kao i niske zahteve za vodom u toku većeg dela vegetacione sezone. Iako se tolerantnost prema uslovima suše i tolerantnost prema uslovima visokih temperatura skoro uvek javljaju zajedno, ove dve osobine nisu u značajnoj korelaciji (Sikora et al., 2019). Glamočlija (2012) navodi da biljke sirka rastu i razvijaju se i na temperaturi od 45° C, ali da pri povećanju temperature na 50° C i više počinje odumiranje

tkiva. Mehanizmi odbrane od suše kod sirka su mnogobrojni i pored porekla, najviše su izraženi kroz samu strukturu biljke i njene morfološke osobine. U ispoljavanju tolerantnosti na sušu, veliku ulogu ima list sirka koji je prekriven voštanom prevlakom koja doprinosi smanjenju evaporacije (Rao et al., 2015a). Stome koje se nalaze na gornjoj strani lista sirka ne zatvaraju se ni u uslovima najvećih suša da se protok vode kroz biljku ne bi zaustavio u potpunosti, već rad ovog aparata omogućava savijanje listova i time smanjenje transpiracije u kritičnom periodu (Latković et al., 2015). Za najosetljiviju fazu tokom vegetacionog perioda sirka na uslove suše uzima se period između 40 i 60 dana nakon nicanja (Mastrorilli et al., 1999), dok istraživači Zegada-Lizarazu i Monti (2013) smatraju da su biljke sirka osetljivije u kasnijim fazama rasta i razvoja. Značajnu ulogu u funkcionisanju sirka u uslovima suše ima i razvijen korenov sistem, velike adsorpcione površine, koji prodire duboko u zemljište i efikasno usvaja teže pristupačnu vodu i hraniva (Latković et al., 2015). Još jedna od specifičnosti sirka je dugo zadržavanje fotosintetičke aktivnosti listova (*stay green*) što omogućava da biljke ostaju zelene u različitim agroekološkim uslovima do pojave prvih jesenjih mrazova (Rao et al., 2015b). Sirak je po fotoperiodskoj reakciji biljka kratkog dana, pa shodno tome u uslovima dugog dana daje značajno veće prinose biomase, što je od izuzetnog značaja za krmni sirak. Nedostatak sirka je osetljivost na hladnoću, gde na temperaturama ispod 20° C usporava rast i razvoj, a u početnim fazama, za nicanje, potrebne su stabilne temperature od oko 12° C (Rao et al. 2015a), pa se iz tog razloga seje krajem aprila, u vreme nicanja kukuruza iz ranih rokova setve.

Jedna od prednosti gajenja sirka je višestruka upotreba, zahvaljujući njegovim različitim formama. Zrno sirka koristi se direktno u ljudskoj ishrani u većini afričkog kontinenta, Aziji i Centralnoj Americi ili u pripremi koncentrovane stočne hrane, a preradom za dobijanje skroba, glukoze, ulja, glutena, sirupa, alkohola (Venkateswaran et al., 2019a). Sirak je žitarica bez glutena, što je od naročitog značaja za ljudsku ishranu, a genotipovi sa visokim sadržajem antioksidanata imaju potencijal u farmaceutskoj industriji u istraživanju raka i kontroli glikemije (Dahlberg et al., 2011). Pored farmaceutske, upotrebljava se u tekstilnoj i građevinskoj industriji, za specijalne namene, metle i četke, kao i za proizvodnju šećernog sirupa iz stabla (Glamočlija, 2012). Sirak bogat šećerima sve više je u upotrebi kao sirovina za proizvodnju etanola (Madhusudhana, 2019a). Krmni sirak se koristi kao kvalitetna ugljeno-hidratna komponenta u kabastoj ishrani preživala u zelenom stanju, kao seno, senaža ili silaža. Pod krmnim sirkom podrazumevaju se sorte i hibridi sirka, sudanske trave, kao i hibridne kombinacije sirka sa sudanskom travom (Kalton, 1988). Višeotkosne sorte krmnog sirka i sudanske trave odlikuju se brzim početnim porastom i dobrom regeneracijom nakon košenja. Sorte sudanske trave, zbog tanje stabljike, više se koriste u ishrani kao seno ili senaža. Hibridi krmnog sirka koji se odlikuju visokim genetskim potencijalom za prinos biomase, najčešće se koriste za spravljanje silaže. Dodatna prednost je mogućnost setve sirka u tri roka, redovno, naknadno ili postrno, kao čistog useva ili u kombinaciji sa kukuruzom, u cilju dobijanja kvalitetne silaže, ali i kao odlične sirovine u biodigestorima. Siliranje predstavlja jedan od postupaka konzervisanja kabastih hraniva koji je sve češće u upotrebi. Za postizanje kvalitetne silaže visoke hranljive vrednosti, jedan od najvažnijih faktora je određivanje optimalnog momenta, odnosno fenološke faze u kojoj se biljna vrsta nalazi u momentu košenja. Za postizanje boljeg kvaliteta silaže, bitnu ulogu ima visok sadržaj šećera. Rao et al. (2015b) kao najoptimalniju fazu, u smislu očuvanja kvaliteta i kvantitativnih osobina, navode mlečno-voštanu fazu zrelosti zrna kada je cilj proizvodnje silažiranja. Autori Čupina et al. (2007) navode da se košenjem u ovoj fazi postiže odgovarajući sadržaj suve materije. Kasnijim košenjem, povećava se sadržaj vlakana i procenat lignina u biomasi, što utiče na opadanje energetske vrednosti hraniva (Grubić i Adamović, 2003).

Sklonost ka poleganju sirka je jedno od glavnih ograničenja u postizanju visokih prinosa biomase, naročito u oblastima izloženim stalnim udarima vetra, kao i pri setvi na manjim međurednim razmacima, pa autori Rao et al. (2015b) ističu važnost selekcije u pravcu smanjenja ovog nedostatka. Najznačajniji faktori koji utiču na poleganje sirka, pored uticaja spoljašnje sredine, su morfološke osobine, anatomske karakteristike, kao i hemijski sastav stabljike (Fan et al., 2022). Selekciju treba

usmeriti na veću površinu korenovog sistema i prisustvo adventivnih korenova, kao i na uravnoteženu težinu metlice (Saballos, 2008).

Kvalitet krme ispituje se, između ostalog, hemijskim analizama frakcije neutralnih deterdžentskih vlakana (NDF, *neutral detergent fiber*) i kiselih deterdžentskih vlakana (ADF, *acid detergent fiber*), kao merilo udela vlakana u obroku. ADF sadrži celulozu, lignin i nesvarljivi pepeo i usko je povezan sa svraljivošću, dok NDF sadrži hemicelulozu, celulozu, lignin i nesvarljivi pepeo i odnosi se na konzumaciju i voluminoznost krme (Fekadu et al., 2017). Smanjenjem sadržaja lignina pozitivno utičemo na svarljivost krme (Bhat, 2019). Iz tog razloga, u tu svrhu, sve više je u upotrebi *bmr* (*brown midrib*, srednji lisni nerv braon boje) krmni sirak, sa smanjenim sadržajem nesvarljivog lignina (Saballos et al., 2008). S druge strane, za *bmr* genotipove vezuje se povećano poleganje biljaka u punom zrenju (Zuber et al., 1977) i smanjen prinos krme (Oliver et al., 2005). Relativna hranljiva vrednost (RFV, *relative feed value*) predstavlja vrednost hraniva u ishrani preživara i zavisi od dela hraniva koji je svarljiv i procene maksimalne količine suve materije iz kabastog hraniva koju životinja može da pojede (Grubić i Adamović, 2003). Izračunava se na osnovu vrednosti dva parametra: procenjenog unosa i procenjene svarljivosti. Ovi parametri izračunavaju se na osnovu laboratorijskih analiza koncentracije ADF i NDF. Na osnovu procenta RFV mogu se porediti krme različitih biljnih vrsta i doneti zaključak, odnosno pretpostavka koliko rado će krma biti konzumirana i koliko dobro svarena. Visoka RFV ukazuje na bolji kvalitet krme. Sa sazrevanjem, stabljika postaje čvršća, sa više vlakana, i to doprinosi povećanju sadržaja ADF i NDF, a samim tim RFV se smanjuje. Carmi et al. (2006) su ustanovili da se sadržaj ADF i NDF povećava i kao rezultat prekomernih padavina ili zalivanja.

Biomasa krmnog sirka i sudanske trave koristi se i za dobijanje gasovitih, tečnih i čvrstih formi biogoriva. Smatraju se jednim od najvažnijih energetskih useva za širok areal, od tropske do umereno-kontinentalne klime, a dodatna prednost je to što nema ograničenja jer ne zauzimaju značajno mesto u proizvodnji hrane (Zheng et al., 2011). Janković et al. (2017) tvrde da najpogodniji genotipovi sirka za proizvodnju biogoriva treba da ostvaruju prinos suve materije oko 25-30 t/ha sa sadržajem suve materije 25-28%. Svake godine se zbog rasta stanovništva potražnja za energijom značajno povećava na svetskom nivou, što za posledicu ima povećanje globalnog zagađenja i smanjenje fosilnih energetskih resursa (Bazaluk et al., 2021). Obnovljivi izvori energije, među kojima je i bioenergija, sve više su u upotrebi u cilju smanjenja negativnih posledica upotrebe fosilnih goriva. Idealnim izvorom za proizvodnju obnovljive energije smatra se visokoprinosni usev koji podnosi zemljišta lošijih osobina, zahteva minimalna ulaganja i ne koristi se u značajnoj meri u ishrani ljudi i životinja (Umakanth et al., 2019). U ovom smislu, sirak je odlična sirovina zbog ostvarivanja sigurnih i visokih prinosa, stabljike bogate šećerima i proizvodnje zrna (Rooney et al., 2007; Vermerris et al., 2007). Noviji pravci istraživanja ukazuju na specifičnost sirka i tehnologiju proizvodnje za dvostruku namenu, zrno koje se koristi za proizvodnju hrane za ljude i koncentrovane hrane za životinje, šećeri iz stabljike direktno – za proizvodnju bioetanola prve generacije, lignocelulozni ostaci biljne mase – za proizvodnju druge generacije biogoriva ili za dobijanje biogasa u biodigestorima (Whitfield et al., 2012; Molaverdi et al., 2013; Umakanth et al., 2019). Mahmood et al. (2013) u svom istraživanju zaključuju da se sirak može koristiti kao alternativa kukuruzu u proizvodnji energije, zbog bolje prilagođenosti sušnim uslovima i sigurnije biljne proizvodnje.

3.3. Oplemenjivanje sirka

Poznavanje i primena fenotipskih i molekularnih markera, neophodni su za poboljšanje postojećih sorti i hibrida. Od izuzetnog značaja za selekcionere je poznavanje efekta gena kod sirka,

kako za prinos, tako i za sve parametre komponente prinosa i kvaliteta u cilju unapređivanja oplemenjivačkih programa (Mofokeng et al., 2017). Značaj kombinacionih sposobnosti je u mogućnosti jednog genotipa da se kombinuje sa drugim i da u procesu hibridizacije prenese bolje performanse na potomstvo. Posebne kombinacione sposobnosti mogu se objasniti primerom u kom određene hibridne kombinacije ispolje bolje ili lošije vrednosti od očekivanih koje su zasnovane na prosečnim performansama roditelja i definiše se kao efekat neaditivnih gena, dominacije i epistaze.

Sirak je samooplodna biljka, sa određenim nivoom stranooplodnje, što zavisi od forme sirka i izgleda metlice (Venkateswaran et al., 2019b). Iz tog razloga, pogodan je za primenu različitih metoda oplemenjivanja, samooplodnja i ukrštanje i stvaranje novih, perspektivnih sorti i hibrida. Kod formi sa rastresitom metlicom kao što je sudanska trava nivo stranooplodnje je visok i iznosi oko 34%, dok je kod zrnaša taj procenat mnogo niži, 5-6% (Pataki, 2010).

Jedan od uslova za uspešan oplemenjivački program je pravilan izbor roditeljskih komponenti i poznavanje uloge aditivnih i neaditivnih gena za različite parametre od značaja (Begna et al., 2023). Za analizu kombinacionih sposobnosti sirka, jedan od najčešće korišćenih metoda je linija×tester, koju je predložio Kempthorne (1957), a dopunjena je od strane Singh i Chaudhary (1976). Ova metoda predstavlja nastavak topcross metode i u analizu uključuje više od jednog testera. Na taj način, ovim dizajnom obuhvaćeni su istovremeno i potomstvo u punom srodstvu (FS, *full-sib*), kao i potomstvo u polusrodstvu (HS, *half-sib*). FS srodstvo podrazumeva potomstvo kod kojeg su oba roditelja ista (AB), dok je potomstvo kod kog je samo jedna roditeljska komponenta zajednička HS srodstvo (AB i AC). Ovaj dizajn, pored testiranja opštih kombinacionih sposobnosti, omogućava testiranje i posebnih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti. Ukrštanja metodom linija×tester podrazumevaju hibridne kombinacije između linija i testera, gde u slučaju da se muško-sterilne linije koriste u svojstvu testera, linija predstavlja mušku roditeljsku komponentu (Sharma, 2008). Testeri se biraju na osnovu sposobnosti da se odlično kombinuju sa većinom drugih roditelja i služe za testiranje ostalih genotipova iz kolekcije germplazme. Pojam opšta ili generalna kombinaciona sposobnost (OKS; GCA, *general combining ability*) definiše se kao karakteristika jedne roditeljske komponente da u ukrštanjima sa drugim roditeljima daje potomstvo određene prosečne vrednosti za neku kvantitativnu osobinu, dok pojam posebna ili specifična kombinaciona sposobnost (PKS; SCA, *specific combining ability*) podrazumeva sposobnost roditeljskih komponenti da daju potomstvo koje po određenoj osobini odstupa od opšteg proseka kombinovanja ovih roditelja sa ostalim (Šurlan-Momirović et al., 2012). Za jednu roditeljsku komponentu možemo reći da ima dobre kombinacione sposobnosti ukoliko u kombinaciji sa drugim roditeljem daje superiorno potomstvo. Ne postoji pravilo da će dva roditelja sa dobrim svojstvima uvek dati potomstvo koje će u celini ili u više osobina biti bolje. Iz tog razloga, neophodno je poznavanje kombinacionih sposobnosti roditelja u hibridnim kombinacijama, koje mogu biti dobre ili loše (Borojević, 1992). Koncept analize kombinacionih sposobnosti važan je za poboljšanje useva jer se dobija jasnija slika o prirodi i ulozi genskih efekata koji utiču na osobine od značaja, prinos i komponente prinosa (Nandan et al., 2021).

Fisher (1918) je svojom teorijom o komponentama genetičke varijanse, odnosno o efektima delovanja gena objasnio način nasleđivanja kvantitativnih osobina. Usled dejstva aditivnih gena, u nasleđivanju neke kvantitativne osobine javlja se aditivna varijansa, dok do neaditivne varijanse dolazi usled interakcije alela unutar i između lokusa poligena i u zavisnosti od toga deli se na komponente uslovljene dominacijom i epistazom. Aditivna varijansa se javlja kada se na odgovarajućim lokusima nalaze aleli sa pozitivnim i aleli sa negativnim ili neutralnim delovanjem gena, sa približno jednakim uticajem na fenotip što dovodi do intermedijarnog nasleđivanja, dok dominantna varijansa nastaje kao posledica jednog dominantnog i jednog recesivnog alela unutar istog lokusa (Šurlan-Momirović et al., 2012). Na osnovu vrednosti odnosa OKS i PKS, odnosno odstupanja vrednosti OKS/PKS od granične vrednosti (1), može se doneti zaključak koja varijansa je imala preovladavajuću ulogu u ekspresiji određene osobine (Čamdžija, 2014). Ukoliko je vrednost

odnosa OKS/PKS za određenu osobinu iznad granične vrednosti (1), u ekspresiji te osobine preovladala je uloga neaditivne varijanse (Gardner, 1963).

S obzirom na veličinu cvetova sirka, kao i na činjenicu da su dvopolni, iskorišćavanje heterozisa za prinos i komponente prinosa i komercijalna proizvodnja hibridnog semena zasniva se isključivo na upotrebi citoplazmatsko-genetske muške sterilnosti (Borojević, 1992). Da bi se stvorili hibridi veće produktivnosti, jedan od uslova je ispoljavanje efekta heterozisa za agronomski važna svojstva (Pataki, 2010). Heterozis predstavlja sposobnost potomstva da nadmaši vrednosti oba roditelja u značajnim osobinama za određenu biljnu vrstu, odnosno superiornost hibrida nad roditeljima (Begna, 2021). Hibridna bujnost, odnosno heterozis, često se ispoljava nakon ukrštanja, kod hibrida F_1 generacije (Šurlan-Momirović et al., 2012). Ne daje svako ukrštanje inbred linija heterozis (Borojević, 1992). Vrednost heterozisa može se izračunavati u širem i užem smislu iz odnosa vrednosti F_1 generacije za neku osobinu i vrednosti iste osobine roditeljskih genotipova (MP, *mid-parent*, srednja roditeljska vrednost i BP, *better-parent*, vrednost boljeg roditelja). Conner i Karper (1927) su prvi zabeležili mogućnost proizvodnje hibrida, dok su za otkriće muške sterilnosti zaslužni Stephens i Holland (1954) koji su postavili temelj za stvaranje hibrida sirka i tehnologiju proizvodnje semena F_1 generacije. Nekompatibilna interakcija između nuklearnih i citoplazmatskih gena dovodi do pojave muške sterilnosti (cms) (Madhusudhana, 2019a). Genetsku mušku sterilnost prouzrokuje jedan recesivni gen (ms_1 , ms_2 , ms_3 , ms_7), od kojih je ms_3 najviše u upotrebi zbog stabilne ekspresije muške sterilnosti u različitim agroekološkim uslovima (Dogget, 1988). Pored recesivnog gena, muška sterilnost izazvana je prisustvom sterilne citoplazme.

Hibridno oplemenjivanje sirka uključuje tri linije A, muško-sterilna linija, B, održivač i R, restorer fertiliteti. B linija predstavlja genotip sličan A liniji koji se razlikuje u genu za sterilnost i ima funkciju da održava sterilnost A linije (Rakshit i Bellundagi, 2019), drugim rečima ova linija predstavlja izvorni oblik majke, analog bez cms (Šurlan-Momirović et al., 2012). Za proizvodnju semena F_1 hibrida sirka neophodna je restorer linija koja se dobro kombinuje – otac koji mora imati gen za obnavljanje ms (Rf , restorer faktor). Uloga R linije je vraćanje fertiliteti hibridu nakon ukrštanja sa A linijom i samim tim proizvodnju semena hibrida sirka i zavisi od najmanje jednog od tri dominantna gena, Rf_1 , Rf_2 i Rf_3 (Dweikat, 2015). Ugradnja cms i restorer gena vrši se povratnim ukrštanjima, kako bi se zadržala osnovna germplazma rekurentnog roditelja. Tokom vegetacione sezone, neophodno je obilaženje semenskog useva i uklanjanje eventualnih atipičnih biljaka kako bi se održala čistoća semena. Kao najbolja kombinacija za stvaranje hibrida krmnog sirka pokazala su se ukrštanja linija sirka za zrno (komponenta majke, A i B linija) i sudanske trave (komponenta oca, R linija) (Pataki, 2010). Ukrštanje se obavlja planski nanošenjem polena sa odabranih metlica oca – restorer linije, na odabrane metlice majke – cms linije, koje su prethodno izolovane, odnosno zaštićene papirnim kesama – izolatorima, kako ne bi došlo do neželjenog spontanog oprašivanja. Rastresita metlica sudanske trave otežava proces oprašivanja i zahteva pažljivo rukovanje prilikom prenošenja metlice do odabrane metlice majke na koju se polen nanosi. Seme hibrida krmnog sirka proizvodi se na niskim formama sirka za zrno, što doprinosi boljem oprašivanju i olakšava sam proces oplodnje, a kasnije i žetve.

U oplemenjivanju biljaka, selekcija se vrši najčešće na prinos koji predstavlja kompleks svojstava (Borojević, 1992) i dobru adaptaciju sorte određenim uslovima spoljašnje sredine. Jedan od preduslova za uspešnu selekciju je varijabilnost u početnom materijalu (Sikora et al., 2013; Kimani et al., 2014). Kada je reč o ideotipu krmnog sirka, rad većine oplemenjivača usmeren je na povećanje prinosa i poboljšanje kvaliteta biomase. Razvoj ideotipa koji obuhvata sve željene osobine u jednom genotipu zahteva dugotrajan proces i identifikaciju ključnih osobina koje direktno utiču na prinos i bolju adaptiranost različitim agroekološkim uslovima (Rakshit i Bellundagi, 2019). Selekcijom se biraju i unapređuju biljke sirka koje imaju osobine koje rezultiraju superiornim linijama i hibridima (Dweikat, 2015). Sa stvaranjem dobre hibridne kombinacije, uporedo se radi i na poboljšanju roditeljskih komponenti u prinosu i kvalitetu, per se. Komponente prinosa su faktori koji doprinose

ukupnom prinosu i u oplemenjivanju biljaka imaju bitnu ulogu u poboljšanju produktivnosti i kvaliteta, kao i boljoj adaptaciji na uslove spoljašnje sredine. U procesu poboljšanja biljaka jedan od bitnih faktora je i poznavanje odnosa između najvažnijih morfoloških svojstava, odnosno njihovog međusobnog koeficijenta korelacije, kako bi se utvrdili planovi i kriterijumi poboljšanja i predvideli potencijalni odgovori selekcije (Janković et al., 2012). Na osnovu pozitivnih visokih vrednosti korelacije između određenih osobina, i njihove korelacije sa prinosom, izdvajaju se osobine koje imaju prednost u selekciji u cilju ostvarivanja krajnjeg rezultata, a to je povećanje prinosa (Malik et al., 2007; Kanagarasu et al., 2010; Čamdžija, 2014). Bhat (2019) je izdvojio najbitnije osobine za koje je utvrđeno da su povezane sa postizanjem većeg prinosa krmne, visina biljke, broj listova, površina lista, prečnik stabljike, prinos biomase po jedinici površine, broj dana do cvetanja, dok je niži sadržaj lignina u korelaciji sa višim kvalitetom biomase. Takođe, tvrdi usku povezanost visine biljke, broja listova i površine listova sa prinosom suve materije. Kada je u pitanju sirak kao energetska biljka, Janković et al. (2017) ukazuju na bitne pravce selekcije, povećanje prinosa biljne mase, veći sadržaj šećera u stabljici, unapređenje strukture ćelijskog zida (lignin). Murray et al. (2008) u svom istraživanju ukazuju na veći značaj ligno-celulozne biomase sirka bogatog šećerima, u odnosu na šećer i skrob u proizvodnji energije po hektaru.

Visina biljaka je kvantitativna osobina od izuzetnog značaja kao komponenta prinosa sirka, naročito kada je reč o krmnom sirku i sastoji se od broja i dužine internodija i dužine metlice. Na ispoljavanje ove osobine, pored genotipa, veliki uticaj imaju i faktori spoljašnje sredine. U istraživanjima Bhat (2019), krmni sirak dostiže visinu između 150 i 360 cm i značajno veće prinose suve materije u odnosu na sirak za zrno. Pataki (2010) tvrdi da sa porastom visine biljke, raste sadržaj suve materije kod krmnog sirka, uz veliki uticaj količine i rasporeda padavina u toku razvoja, a Kurelec (1962) da je najveći prinos suve materije u fazi pre izbijanja metlice, odnosno kada se metlica nalazi u vršnom lisnom rukavcu. Quinby i Karper (1954) ukazuju na postojanje četiri recesivna nepovezana gena za patuljatost koji kontrolišu dužinu internodija, pa samim tim i visinu biljaka sirka – Dw_1 , Dw_2 , Dw_3 , Dw_4 . Genotip sa sva četiri dominantna alela može da dostigne visinu oko 4 m, dok recesivni aleli utiču na smanjivanje visine za oko 50 cm ili više (Madhusudhana, 2019a). Sankarapandian et al. (1994) ističu preovlađujuću ulogu gena sa neaditivnim efektom za visinu biljke sirka i ispoljavanje visokog stepena heterozisa u odnosu na roditelje za ovu osobinu. Prema tvrdnjama Quinby (1975) za visinu sudanske trave zadužena su tri ili četiri lokusa sa dominantnim genima za dužinu internodija. Janković et al. (2017) tvrde da visina stabljike sudanske trave varira od 2 do 4 m, da se sastoji iz 8-15 internodija i da se dobro bokori obrazujući 5-10 sekundarnih stabala, zaperaka. Očekuje se da je odnos između visine biljaka i prinosa zrna pozitivan u povoljnim agroekološkim uslovima (Aruna i Cheruku, 2019). Latković et al. (2015) tvrde da je broj internodija usko povezan sa dužinom vegetacije, pa su tako formirane tri grupe, genotipovi kraće vegetacije sa 7-10 internodija, srednje dugačke vegetacije sa 11-15 internodija i dugačke vegetacije sa 16-25 internodija. Pataki et al. (2007) ukazuje na ubrzani porast biljaka sirka u fazama između formiranja 3-5 listova, pa sve do faze metličanja u optimalnim agroekološkim uslovima.

Dužina vegetacije i trajanje pojedinačnih fenoloških faza zavisi od genotipa, tehnologije proizvodnje, pre svega datuma setve i od agroekoloških uslova, a najčešće varira od 90 do 140 dana (House, 1985; Venkateswaran et al. 2019b). Eastin (1972) je tvorac teorije o tri faze rasta (GS, *growth stages*) sirka: GS1 – od setve do metličanja, GS2 – od metličanja do cvetanja i GS3 – od cvetanja do fiziološke zrelosti. Ovu teoriju modifikovao je Rao et al. (2004) i podelio rast i razvoj sirka u 9 fenoloških faza, od klijanja – 0 do fiziološke zrelosti – 9. Venkateswaran et al. (2019b) smatraju da se do postizanja faze 50% cvetalih biljaka sirka polovina ukupnog sadržaja suve materije akumulirala u biljkama. U brojnim istraživanjima, registrovani su lokusi koji se odnose na vreme cvetanja i sazrevanja sirka, od Ma_1 do Ma_6 (Quinby, 1974; Rooney i Aydin, 1999; Thurber et al., 2013). Murphy et al. (2014) tvrdi da Ma_1 i Ma_6 imaju funkciju suzbijanja cvetanja u uslovima dugog dana, dok istraživanja Aruna i Cheruku (2019) ukazuju na ulogu Ma_2 , Ma_4 i Ma_5 u određivanju fotoperiodske osetljivosti biljaka sirka. Madhusudhana (2019a) tvrdi dominaciju na četiri lokusa (Ma_1 , Ma_2 , Ma_3 ,

Ma4) kod tropskog sirka, a da se u slučaju pojave recesivnog alela na jednom od četiri lokusa radi o sirku koji je bolje prilagođen umerenim klimatskim uslovima. Mapiranjem su identifikovani QTL (*quantitative trait locus*) za vreme cvetanja na hromozomima 2, 6 i 9 koji objašnjavaju 6-11% fenotipskih variranja za ovu osobinu (Sukumaran et al., 2016). Bhat (2019) tvrdi da biljke sirka dostižu fazu cvetanja za 52-60 dana nakon setve, a Venkateswaran et al. (2019b) da broj dana od nicanja do mlečno-voštane zrelosti zrna iznosi oko 80.

Prečnik stabljike varira tako što se smanjuje u gornjem delu stabljike, a može da dostigne vrednosti od 0,5 do 5 cm (House, 1985). Pataki (2011) navodi da je prečnik stabljike krmnog sirka najbolje meriti između 3. i 6. internodije.

Za selekciju restorer linija bitna komponenta je i razvijenost metlice, koja je uslovljena dužinom metlice. Linije sudanske trave dobro razvijene metlice obezbeđuju dovoljnu količinu polena i time, uz odgovarajuću visinu biljke, olakšavaju oprašivanje i proizvodnju semena hibrida (Dolapčev et al., 2017).

Brojna istraživanja ukazuju da oplemenjivanje na povećanje prinosa suve materije krmnog sirka treba usmeriti u pravcu povećanja broja listova i visine biljaka (Bangarwa et al., 1989; Jain et al., 2009), kao i selekcijom na broj dana do cvetanja i sazrevanja Warkad et al. (2008). Broj listova sirka na jednoj stabljici može biti i 30 kod onih genotipova koji su lošije adaptirani na lokalne agroekološke uslove, ali optimalni broj iznosi 14-17 listova po stabljici. Veći broj listova i veća ukupna lisna površina pozitivno utiču na povećanje prinosa biomase. Listovi sirka variraju u dužini, u zavisnosti od mesta na kom se nalaze, pa tako listovi pri vrhu, pored zastavičara, odlikuju se manjom širinom i dužinom, dok su u središnjem delu stabljike listovi duži (House, 1985). Isti autor tvrdi da dužina zelenog lista sirka može dostići i 1 m, dok širina varira između 10 i 15 cm. Latković et al. (2015) izneli su podatak da prosečna površina listova jedne biljke iznosi 200-390 cm². List sudanske trave je značajno manji, talasaste i nežne građe, dužine oko 50 cm i širine 2-5 cm, a na stabljici se razvija do 15 listova (Janković et al., 2017). Najveći udeo u zelenoj krmu čini stabljika, a direktan uticaj na prinos ima i prečnik stabljike (Pataki, 2011). Količine padavina i sume temperatura su važni faktori za akumulaciju zelene krme krmnog sirka (Kikindonov i Kikindonov, 2014).

Pahuja et al. (2002) u svom istraživanju analize genetičke varijanse za komponente prinosa, ukazuju na značajnu ulogu gena sa aditivnim efektom za većinu osobina, visina biljaka, dužina lista, širina lista, dok su za ekspresiju broja listova i prinosa zelene krme bili prisutni i geni sa aditivnim i neaditivnim efektom. Do sličnih rezultata došli su i Parmar et al. (2004) i Sumalini et al. (2005) koji su preovlađujuću ulogu gena sa aditivnim efektom zabeležili i kod osobine broj dana do cvetanja, dok su rezultati Singh i Shrotria (2008) ukazali da je u nasleđivanju površine lista i TSS preovladala uloga gena sa neaditivnim efektom. Aruna et al. (2015) u svom istraživanju ukazuju da je preovladala uloga gena sa neaditivnim efektom u nasleđivanju prinosa i kvaliteta krme sirka.

Visok sadržaj šećera u stabljici krmnog sirka bitan je kako kod sirka za ishranu preživala, tako i za upotrebu sirka kao sirovine u proizvodnji etanola. Sok iz stabljike sirka može se lako ekstrahovati presom (Shukla et al., 2017). Brix je dobar pokazatelj sadržaja šećera u soku iz stabljike, preko procene ukupnih rastvorljivih čvrstih materija (TSS, *total soluble solids*), a kod sirka njegova ekspresija rezultat je delovanja gena sa aditivnim i neaditivnim efektom (Zhou et al., 2005; Audilakshmi et al., 2010; Sanjana Reddy et al., 2011; Felderhoff et al., 2012; Umakanth et al., 2019). Rezultati više istraživanja govore o značajnoj ulozi gena sa aditivnim i neaditivnim efektom u nasleđivanju TSS (Zhou et al., 2005; Audilakshmi et al., 2010; Sanjana Reddy et al., 2011; Madhusudhana, 2019a). Stabljika sirka bogatog šećerima sadrži u proseku 10-15% šećera (Janković et al., 2017). Rao et al. (2015b) ukazuju na ulogu gena sa aditivnim i neaditivnim efektom u selekciji genotipova bogatih šećerima u stabljici i visokoprinosnih u pogledu stabljičnih sokova. Isti autori tvrde da sadržaj šećera u soku iz stabljike raste u fazi od cvetanja do punog zrenja, ali da nakon

voštane faze zrna opada kvalitet biomase zbog povećanog sadržaja skroba. Takođe, zabeležili su značajno smanjenje sadržaja šećera u uslovima suše. Smatra se da se prema boji središnjeg lisnog nerva može odrediti sočnost stabljike, pa tako listovi sa belom bojom nerva imaju suve stabljike, dok za one sa tamno zelenom bojom važi da je stabljika bogata sokom. Porter et al. (1978) istraživali su braon boju središnjeg lisnog nerva kod sirka i njegovu povezanost sa sadržajem lignina koji utiče na svarljivost krme.

Selekcija biljaka sa željenim fenotipom je ključna za oplemenjivanje, ali su evidentna ograničenja kada se zaključci donose samo na osnovu fenotipa zbog uticaja spoljašnje sredine. Iz tog razloga, da bi se prevazišli ovi izazovi, pored konvencionalnog načina oplemenjivanja, upotreba DNK markera postaje sve važnija i omogućava sigurnije i brže rezultate u poboljšanju sorti i hibrida sirka (Madhusudhana, 2019b).

4. RADNE HIPOTEZE

Osnovne hipoteze od kojih se polazi u okviru ove doktorske disertacije su:

Svaki genotip je skup specifičnih gena i njihovih interakcija, tako da se očekuje da između ispitivanih linija sirka za zrno i sudanske trave, kao i njihovih hibrida, postoje značajne razlike u vrednostima opštih i posebnih kombinacionih sposobnosti. Takođe se očekuje da postavka oglada i dobijeni rezultati doprinesu identifikaciji ispitivanih linija koje su dobri kombinatori za najvažnije komponente prinosa i koje mogu da se koriste u daljem oplemenjivačkom radu.

U brojnim genskim rekombinacijama između linija sirka za zrno i sudanske trave, fenotipski divergentnih, očekuje se da će se izdvojiti kombinacije sa izraženim heterozisom za visok prinos i dobar kvalitet krme. Posebna pažnja biće usmerena na hibride krmnog sirka koji imaju dobru svarljivost biomase.

Analiza koeficijenta korelacije prinosa, komponenti prinosa i kvaliteta biomase eksperimentalnih hibrida krmnog sirka, roditeljskih komponenti i komercijalnih hibrida, pokazaće visok stepen međuzavisnosti ispitivanih osobina. Takvi rezultati doprineće unapređivanju oplemenjivačkog programa krmnog sirka i lakšoj selekciji na prinos biomase krmnog sirka, putem komponenti prinosa, kako roditeljskih komponenti, tako i hibridnih kombinacija.

Na osnovu dobijenih genetičkih parametara, omogućuje se intenziviranje selekcije krmnog sirka u Srbiji. Izvršene analize komponenti prinosa i određivanje parametara kvaliteta kod ispitivanog materijala doprinose karakterizaciji germplazme, formiranju baze podataka koja se može uneti u međunarodne mreže za genetičke resurse, stvaranju sržne kolekcije Instituta i efikasnijoj primeni metoda hibridizacije i selekcije, odnosno poboljšanju oplemenjivačkog programa sirka.

5. MATERIJAL I METOD

5.1. Biljni materijal

Polazni genetički materijal korišćen u ovoj doktorskoj disertaciji činile su odabrane linije sudanske trave iz kolekcije selekcionog materijala Gen banke Odeljenja za leguminoze (Odeljenja za krmno bilje) i sirka za zrno kolekcije Gen banke Odeljenja za povrtarske i alternativne biljne vrste (Odeljenja za alternativne biljne vrste i organsku proizvodnju), Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju. Odabrane linije se aktivno koriste u oplemenjivačkim programima sirka, a neke od njih su roditeljske komponente već registrovanih hibrida sirka za zrno i krmnog sirka priznatih i realizovanih na nacionalnom i međunarodnom nivou. Linije sudanske trave su oprašivači, restorer linije (R), korišćene kao linije u primeni metode linija×tester, a linije sirka za zrno su citoplazmatsko-genetske muške sterilne (cms) linije (A), korišćene kao testeri. Ručnim ukrštanjima linija sudanske trave u svojstvu oca hibrida i sirka za zrno u svojstvu majke hibrida, stvoreni su eksperimentalni hibridi krmnog sirka. Prvi korak ovog procesa je izolacija, odnosno postavljanje papirnih kesa za izolaciju na metlice majke pre početka cvetanja. Kesa se pričvršćuje i u narednom periodu, otvaranjem kese, prati se razvoj metlice. U momentu kada je dve trećine metlice majke u cvetu, na nju se nanosi polen odabranih metlica oca. Kesa se nakon toga zatvara i ostaje tako dok se faza cvetanja ne završi u potpunosti i dok ne počne faza zrenja zrna, odnosno dok ne prođe opasnost od nekontrolisanog, odnosno spontanog, oprašivanja polenom neke druge linije oca. Ukrštanje i proizvodnja dovoljne količine semena hibrida F₁ generacije i inbred linija izvršena je tokom 2018. i 2019. godine na oglednom polju Odeljenja za povrtarske i alternativne biljne vrste, na lokalitetu Bački Petrovac (slika 1).



Slika 1. Izolacija odabranih A linija za ručna ukrštanja i dobijanje eksperimentalnih hibrida, 2018. godina, lokalitet Bački Petrovac.

U ogledu je bilo posejano ukupno 60 različitih genotipova, od kojih 40 eksperimentalnih hibrida krmnog sirka, osam restorer linija sudanske trave, pet cms linija sirka za zrno, odnosno njihov fertilni analog (B) i sedam komercijalnih hibrida (tabela 1). Komercijalni hibridi, korišćeni kao

standardi za testiranje eksperimentalnih hibrida u ovom istraživanju, predstavljaju dostupne hibride krmnog sirka na tržištu Srbije u 2019. godini.

Tabela 1. Kodovi i podaci o tipu svih ispitivanih genotipova sirka.

Kod	Genotip	Tip	Kod	Genotip	Tip
L1×T1	381×674	eksperimentalni hibrid	L7×T4	706×691	eksperimentalni hibrid
L2×T1	381×675	eksperimentalni hibrid	L8×T4	706×692	eksperimentalni hibrid
L3×T1	381×676	eksperimentalni hibrid	L1×T5	707×674	eksperimentalni hibrid
L4×T1	381×677	eksperimentalni hibrid	L2×T5	707×675	eksperimentalni hibrid
L5×T1	381×681	eksperimentalni hibrid	L3×T5	707×676	eksperimentalni hibrid
L6×T1	381×690	eksperimentalni hibrid	L4×T5	707×677	eksperimentalni hibrid
L7×T1	381×691	eksperimentalni hibrid	L5×T5	707×681	eksperimentalni hibrid
L8×T1	381×692	eksperimentalni hibrid	L6×T5	707×690	eksperimentalni hibrid
L1×T2	385×674	eksperimentalni hibrid	L7×T5	707×691	eksperimentalni hibrid
L2×T2	385×675	eksperimentalni hibrid	L8×T5	707×692	eksperimentalni hibrid
L3×T2	385×676	eksperimentalni hibrid	L1	674	linija – otac
L4×T2	385×677	eksperimentalni hibrid	L2	675	linija – otac
L5×T2	385×681	eksperimentalni hibrid	L3	676	linija – otac
L6×T2	385×690	eksperimentalni hibrid	L4	677	linija – otac
L7×T2	385×691	eksperimentalni hibrid	L5	681	linija – otac
L8×T2	385×692	eksperimentalni hibrid	L6	690	linija – otac
L1×T3	387×674	eksperimentalni hibrid	L7	691	linija – otac
L2×T3	387×675	eksperimentalni hibrid	L8	692	linija – otac
L3×T3	387×676	eksperimentalni hibrid	T1	381	tester – majka
L4×T3	387×677	eksperimentalni hibrid	T2	385	tester – majka
L5×T3	387×681	eksperimentalni hibrid	T3	387	tester – majka
L6×T3	387×690	eksperimentalni hibrid	T4	706	tester – majka
L7×T3	387×691	eksperimentalni hibrid	T5	707	tester – majka
L8×T3	387×692	eksperimentalni hibrid	KH1	-	komercijalni hibrid
L1×T4	706×674	eksperimentalni hibrid	KH2	-	komercijalni hibrid
L2×T4	706×675	eksperimentalni hibrid	KH3	-	komercijalni hibrid
L3×T4	706×676	eksperimentalni hibrid	KH4	-	komercijalni hibrid
L4×T4	706×677	eksperimentalni hibrid	KH5	-	komercijalni hibrid
L5×T4	706×681	eksperimentalni hibrid	KH6	-	komercijalni hibrid
L6×T4	706×690	eksperimentalni hibrid	KH7	-	komercijalni hibrid

5.2. Postavka ogleda

Poljski ogled bio je postavljen u uslovima suvog ratarenja na oglednom polju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, na lokalitetu Rimski šančevi (45°20' N, 19°51' E) (slika 2), 2019. i 2020. godine, na zemljištu tipa černoze (tabela 2), glinovito-ilovasta tekstura prema USDA klasifikaciji (Soil Texture Calculator, USDA, 2025).



Slika 2. Satelitski snimak (ogledno polje, 2019. godine).

Izvor: <https://a3.geosrbija.rs/>

Tabela 2. Analiza zemljišta sa parcele na kojoj je zasnovan poljski ogled.

pH		CaCO ₃	Humus	Ukupno	P ₂ O ₅	K ₂ O
u KCl	u H ₂ O	%	%	N %	mg/100g	mg/100g
7,40	8,05	6,33	2,23	0,166	25,20	22,00

Ogled je bio postavljen po sistemu rešivog nepotpunog blok dizajna – rešetkast dizajn, alfa forma (*alpha lattice*), u tri ponavljanja (slika 3).

18-	41	56	19	50	1	20	11	52	51	59
17-	25	2	57	58	9	18	37	31	3	35
16-	43	42	14	22	13	45	46	49	29	27
15-	28	36	54	4	39	8	33	24	7	6
14-	40	38	30	17	53	32	55	5	15	60
13-	48	23	34	12	16	44	10	21	47	26
12-	12	40	26	51	54	21	32	17	6	10
11-	46	4	53	34	59	13	16	3	50	2
10-	39	60	56	37	42	24	57	47	55	43
9-	23	19	7	45	58	14	36	11	25	44
8-	18	29	22	28	5	1	30	8	49	38
7-	33	9	31	27	20	35	52	15	48	41
6-	19	37	44	33	17	49	2	41	58	1
5-	21	57	50	38	27	11	22	18	30	48
4-	29	20	28	16	24	55	23	51	31	36
3-	52	46	56	5	34	54	43	6	40	13
2-	53	10	35	7	60	12	8	25	59	47
1-	14	15	4	26	45	42	3	39	32	9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Slika 3. Šematski prikaz poljskog ogleda.



Slika 4. Setva sirka ručnom sejalicom (poljski ogled, 2019. godine).



Slika 5. Razmak semena sirka unutar redova (poljski ogled, 2019. godine).

Elementarnu parcelicu činila su 2 reda dužine 5 m posejana na međurednom razmaku od 50 cm. Seme sirka posejano je ručnom sejalicom „Wintersteiger” na dubini od 3 cm, 22. maja 2019. i 8. maja 2020. godine (slike 4 i 5). Setvena norma za sve genotipove bila je u skladu sa preporučenom tehnologijom gajenja hibrida krmnog sirka – 10 kg/ha kada se setva obavlja na međurednom razmaku od 50 cm, odnosno 2,5 g na red dužine 5 m.

Nicanje biljaka je bilo 7 dana nakon setve 2019. godine (slika 6), odnosno 8 dana 2020. godine. Primenjivane su uobičajene mere nege tokom obe godine (zaštita – herbicid, fungicid i insekticid shodno potrebama i preporukama; frezovanje i okopavanje). Efikasnost primenjene zaštite biljaka u toku obe vegetacione sezone bila je zadovoljavajuća i nije zabeleženo značajnije razvijanje korova niti napad štetočina i bolesti koji bi ugrozili usev.



Slika 6. Nicanje biljaka sirka (poljski ogled, 2019. godine).

Ispraćene su sve fenološke faze (slika 7), a uzimanje uzoraka za merenje morfoloških parametara biljaka, komponenti prinosa biomase (slike 8 i 9), kao i parametara kvaliteta i košenje i merenje prinosa zelene krme čitave parcelice, bilo je u fazi mlečno-voštane zrelosti zrna sirka, shodno preporukama za postizanje najboljeg odnosa prinosa i kvaliteta u cilju proizvodnje silaže krmnog sirka. Košenje svih genotipova 2019. godine odvijalo se u dva termina, sukcesivno usled različitog dostizanja odgovarajuće faze, 29. avgusta i 06. septembra, samohodnom kosačicom „Odžačankom”, na visini od 10-12 cm (slika 10). Košenje u 2020. godini bilo je u jednom danu, 07. septembra, zbog ravnomernijeg sazrevanja u odnosu na prvu godinu ispitivanja.



Slika 7. Sirak u fazi 3-5 listova (poljski ogled, 2019. godine).



Slika 8. Uzimanje uzoraka sirka za analize (poljski ogled, 2019. godine).

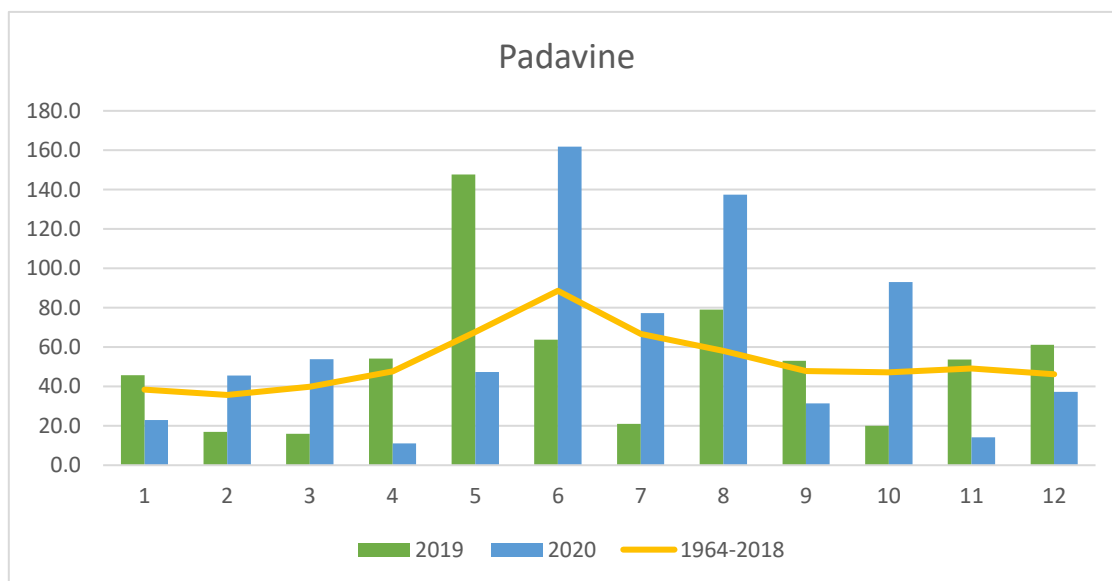


Slika 9. Merenje prinosa biomase sirka (poljski ogled, 2019. godine).

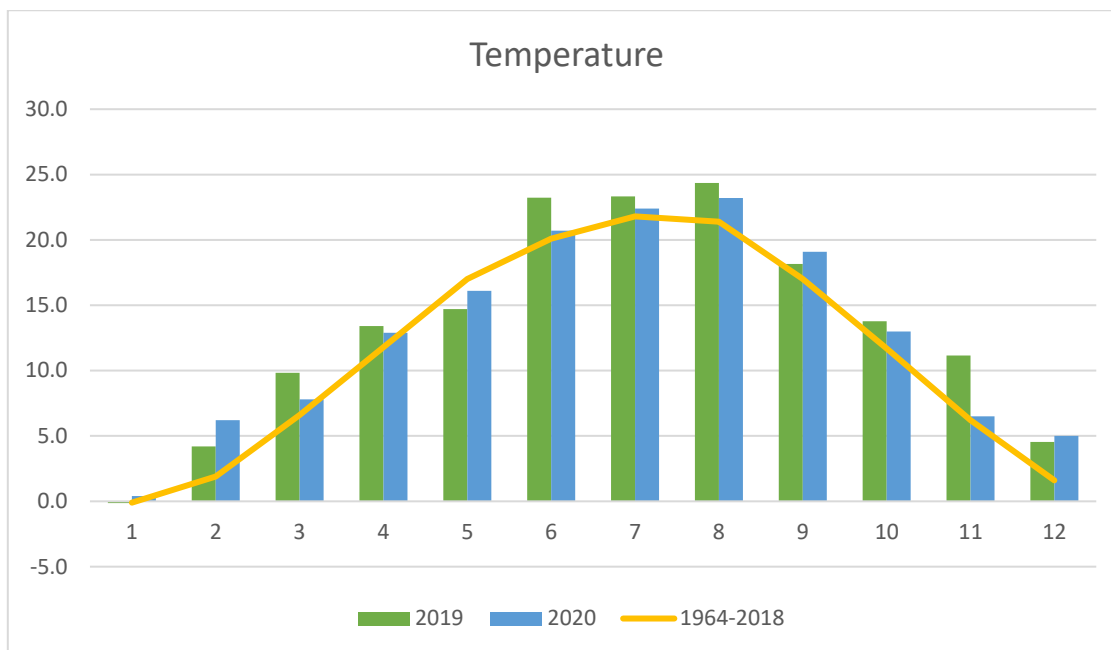


Slika 10. Košenje sirka (poljski ogled, 2019. godine).

Podaci o padavinama (grafik 5) i temperaturama (grafik 6) u godinama istraživanja preuzeti su iz elektronskih publikacija „Meteorološki godišnjak – klimatološki podaci” Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije, sa njihove zvanične meteorološke stanice koja se nalazi na lokalitetu Rimski šančevi i predstavljeni grafički. Za obe godine ispitivanja karakteristične su visoke ukupne količine padavina, naročito tokom vegetacionog perioda, sa neravnomernim rasporedom. Ukupne padavine u toku 2019. godine iznosile su 632,1 mm, što je u skladu sa višegodišnjim prosekom, dok je ta količina u vegetacionom periodu sirka (maj-avgust) bila 311,4 mm. Tokom 2020. godine ukupne količine padavine bile su 733,2 mm, odnosno 424 mm u vegetacionom periodu, značajno veće u odnosu na višegodišnji prosek – 632,8 mm, odnosno 281 mm (period od 1964. do 2018. godine). Obe godine ispitivanja bile su i sa nešto višim prosečnim temperaturama u odnosu na višegodišnji prosek (11,4 °C) i iznosile su 13,4 °C, odnosno 21,4 °C u 2019. godini i 12,8 °C, odnosno 20,6 °C u vegetacionom periodu 2020. godine.



Grafik 5. Podaci o ukupnim padavinama na lokalitetu Rimski šančevi od januara do decembra 2019. i 2020. godine i višegodišnji prosek (1964-2018).



Grafik 6. Podaci o srednjim mesečnim temperaturama na lokalitetu Rimski šančevi od januara do decembra 2019. i 2020. godine i višegodišnji proseak (1964-2018).

5.3. Prinos, komponente prinosa i kvalitet biomase

U cilju određivanja opštih i posebnih kombinacionih sposobnosti ispitivanih genotipova, kao i testiranja stvorenih eksperimentalnih hibrida, u obe vegetacione sezone, na uzorku od 10 biljaka po eksperimentalnoj parcelici, izbrojani su i izmereni morfološki parametri, komponente prinosa u skladu sa UPOV deskriptorom *International Union for the Protection of New Varieties of Plants* (2018) i Pravilnikom o metodama ispitivanja sorti krmnog sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) i sudanske trave (*Sorghum sudanense* Stapf.) radi priznavanja sorte Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije (2018):

- Visina biljke (cm);
- Prečnik stabljike na mestu reza (mm);
- Prečnik stabljike iznad četvrtog lista (mm);
- Broj internodija;
- Broj listova;
- Dužina lista (cm);
- Širina lista (cm);
- Dužina metlice (cm);
- Dužina vrata (cm).

Visina biljke merena je od mesta reza do vrha metlice svake biljke. Prečnik stabljike meren je na dva mesta, na mestu reza i iznad lisnog rukavca četvrtog lista računajući i list zastavičar, odnosno iznad trećeg pravog lista. Mere dužine i širine najšireg dela zelenog lista iskorišćene su za izračunavanje i dobijanje parametra:

- površina zelenog lista (*leaf area*) primenom formule:

$$LA (cm^2) = LL (cm) \times LW (cm) \times 0,71 ;$$

gde je:

LA – površina lista (*leaf area*);

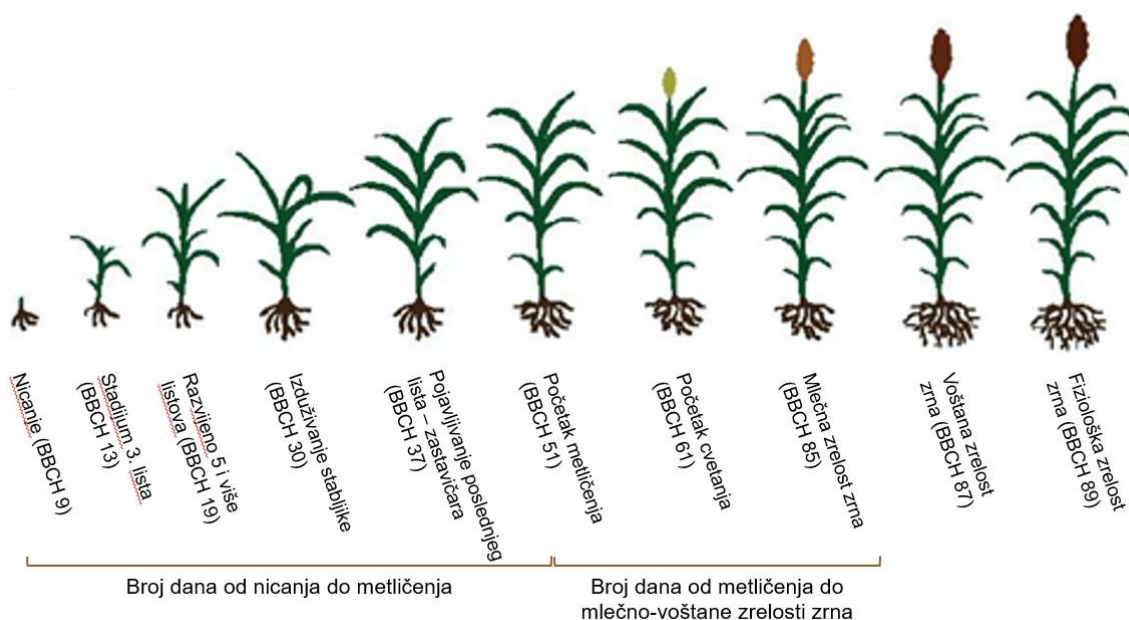
LL – dužina lista (*leaf length*);

LW – širina lista (*leaf width*);

0,71 – konstanta za izračunavanje površine lista sirka (Krishnamurthy et al., 1974; Atumo i Mengesha, 2022; Begna et al., 2023).

Za ovaj parametar uzorkovan je četvrti list od vrha biljke, računajući list zastavičar, odnosno treći pravi list. Dužina vrata kod sirka merena je na delu stabljike od kraja metlice do lista zastavičara. Zabeležene su i najvažnije fenološke faze sirka (slika 11), metličenje i faza mlečno-voštane zrelosti zrna, odnosno broj dana do dostizanja ovih faza:

- Broj dana od nicanja do metličenja;
- Broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna.



Slika 11. Razvoj biljaka sirka od nicanja do fiziološke zrelosti zrna, po najvažnijim fenološkim fazama.

Izvor: Modifikovano sa <https://www.sorghumcheckoff.com/our-farmers/grain-production/growth-and-development/>

Prinos je izmeren sa čitave parcelice, preračunat i predstavljen kao:

- Prinos zelene krme (t/ha);
- Prinos suve materije (t/ha).

Za određivanje sadržaja suve materije, u cilju određivanja prinosa suve materije po parcelici, uzorak od 1 kg zelene krme je usitnjen, osušen do apsolutno suvog stanja i izmeren. Za određivanje prinosa suve materije po parcelici, korišćena je sledeća formula:

$$PSMP = \frac{MUS}{MUZ} \times PZKP ;$$

gde je:

PSMP – prinos suve materije po parcelici;

MUZ – masa uzorka u zelenom stanju;

MUS – masa uzorka u suvom stanju;

PZKP – prinos zelene krme po parcelici.

Praćen je i ocenjen indeks poleganja prema procentu poleglih biljaka i na osnovu ocena izvršeno je grupisanje hibrida: kategorija 1-3, više od 75% poleglih biljaka; kategorija 3-5, 50% do 75% poleglih biljaka; kategorija 5-7, 25% do 50% poleglih biljaka; kategorija 7-9, manje od 25% poleglih biljaka.

Uzorak soka iz stabljike sirka (slika 12) uzet je u istoj fazi, ceđenjem 3-5 biljaka iz svake parcelice i analiziran je u Laboratoriji za ispitivanje biljnih materijala i proizvoda Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, u Bačkom Petrovcu. Prosečan uzorak zelene mase za hemijske analize uzet je isti dan, nakon košenja, biljni materijal je usitnjen, osušen do potpuno suvog stanja, samleven i tako pripremljen uzorak (slika 13) je prosleđen Laboratoriji za zemljište i agroekologiju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, u Novom Sadu, u cilju određivanja parametara kvaliteta biomase.



Slika 12. Priprema uzorka soka iz stabljike sirka za analizu.



Slika 13. Uzorak biljnog materijala sirka pripremljen za analizu kvaliteta.

Hemijska analiza parametara kvaliteta sirka rađena je u drugoj godini istraživanja (2020. godine) iz dva ponavljanja i podrazumevala je određivanje:

- ukupne rastvorljive čvrste materije (°Brix), (TSS, *total soluble solids*);
- sadržaja kiselih deterdžentskih vlakana (%), (ADF, *acid detergent fiber*);
- sadržaja neutralnih deterdžentskih vlakana (%), (NDF, *neutral detergent fiber*);
- sadržaja kisele frakcije lignina (%), (ADL, *acid detergent lignin*).

Sadržaj ukupnih rastvorljivih čvrstih materija iz soka stabljike sirka određen je upotrebom Abbe refraktometra (Carl Zeiss, Jena, Nemačka) i izražen u °Brix. Sadržaj sirovih vlakana (NDF i ADF) i kisele frakcije lignina (ADL), određen je po metodi ANKOM (Cook et al., 2022) na aparatu Fibretherm (FibreBag-Technology).

Na osnovu podataka o sadržaju ADF i NDF izračunat je parametar:

- relativna hranljiva vrednost (RFV, *relative feed value*) i izražen u % primenom sledećih formula (Horrocks i Vallentine, 1999; Moore i Undersander, 2002):

$$RFV = \frac{(\% DDM \times \% DMI)}{1,29};$$

$$\% DDM = 88,9 - (0,779 \times \% ADF);$$

$$\% DMI = \frac{120}{\% NDF};$$

gde je:

DDM – svarljiva suva materija (*digestable dry matter*);

DMI – unos (konzumiranje) suve materije (*dry matter intake*).

5.4. Statistička obrada podataka

Primenom deskriptivnih statističkih parametara: minimum, maksimum, prosek, standardna devijacija, koeficijent varijacije i standardna greška, opisane su vrednosti i varijabilnost ispitivanih genotipova grupisanih u četiri kategorije na osnovu tipa; eksperimentalni hibridi, roditeljske komponente – linije i testeri i komercijalni hibridi, za sve komponente prinosa, prinos i parametre kvaliteta.

Za izračunavanje i analizu opštih i posebnih kombinacionih sposobnosti korišćene su dobijene vrednosti ispitivanih parametara i metod linija×tester koji uključuje i roditelje (Kempthorne, 1957; Singh i Chaudhary, 1976; Laxman, 2001; Ingle et al., 2018). U okviru ove metode, rađena je analiza varijanse – ANOVA, u cilju utvrđivanja značajnosti razlike izvora varijacije (tabela 3). Primenom ove analize, dobijeni su i podaci o komponentama genetičke varijanse, odnosno delovanju gena u nasleđivanju određene osobine kod F₁ hibrida, kao i prosečnom doprinosu linija, testera i interakcije linija×tester u ekspresiji ispitivanih osobina.

Tabela 3. Model ANOVA primenom metode linija×tester uključujući i roditelje.

Izvor variranja	Stepeni slobode (r)	Suma kvadrata (SS)	Sredina kvadrata (MS)	F vrednost
Ponavljjanja	n pon - 1	SS pon	SS pon / r pon	MS pon / MS gr
Tretmani	n tret - 1	SS tret	SS tret / r tret	MS tret / MS gr
Roditelji	n rod - 1	SS rod	SS rod / r rod	MS rod / MS gr
Roditelji vs. ukrštanja	r tret - r ukr - r rod	SS ru	SS ru / r ru	MS ru / MS gr
Ukrštanja	n ukr - 1	SS ukr	SS ukr / r ukr	MS ukr / MS gr
Linije	n lin - 1	SS lin	SS lin / r lin	MS lin / MS l×t
Testeri	n test - 1	SS test	SS test / r test	MS test / MS l×t
Linija×tester	r ukr - r lin - r test	SS l×t	SS l×t / r l×t	MS l×t / MS gr
Greška	r total - r pon - r tret	SS gr	SS gr / r gr	
Ukupno	n pon × n tret - 1	SS total		

n pon, broj ponavljanja; n tret, broj tretmana; n rod, broj roditelja; n ukr, broj ukrštanja; n lin, broj linija; n test, broj testera; r pon, stepeni slobode ponavljanja; r tret, stepeni slobode tretmana; ; r rod, stepeni slobode roditelja; r ru, stepeni slobode roditelji vs. ukrštanja; r ukr, stepeni slobode ukrštanja; r lin, stepeni slobode linija; r test, stepeni slobode testera; r l×t, stepeni slobode linija×tester; r gr, stepeni slobode greške; r total, stepeni slobode ukupno; SS pon, suma kvadrata ponavljanja; SS tret, suma kvadrata tretmana; SS rod, suma kvadrata roditelja; SS ru, suma kvadrata roditelja vs. ukrštanja; SS ukr, suma kvadrata ukrštanja; SS lin, suma kvadrata linija; SS test, suma kvadrata testera; SS l×t, suma kvadrata linija×tester; SS gr, suma kvadrata greške; SS total, suma kvadrata ukupno; MS pon, sredina kvadrata ponavljanja; MS tret, sredina kvadrata tretmana; MS rod, sredina kvadrata roditelja; MS ru, sredina kvadrata roditelja vs. ukrštanja; MS ukr, sredina kvadrata ukrštanja; MS lin, sredina kvadrata linija; MS test, sredina kvadrata testera; MS l×t, sredina kvadrata linija×tester; MS gr, sredina kvadrata greške.

Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti izračunate su primenom formula:

$$\text{za linije: } g_i = \frac{x_{i.}}{tr} - \frac{x_{...}}{ltr}; \quad \sum g_i = 0;$$

$$\text{za testere: } g_j = \frac{x_{.j}}{lr} - \frac{x_{...}}{ltr}; \quad \sum g_j = 0;$$

gde je:

g_i – OKS i-te linije;

$x_{i.}$ – zbir i-te linije u ukrštanjima sa testerima;

$x_{...}$ – zbir svih ukrštanja;

l – broj linija;

t – broj testera;

r – broj ponavljanja;

g_j – OKS j -tog testera;

$x_{.j}$ – zbir j -tog testera u ukrštanjima sa linijama.

Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti ukrštanja izračunate su primenom formule:

$$s_{ij} = \frac{x_{ij.}}{r} - \frac{x_{i.}}{t} - \frac{x_{.j}}{l} + \frac{x_{...}}{l t r}; \quad \sum_i s_{ij} = \sum_j s_{ij} = \sum_i \sum_j s_{ij} = 0;$$

gde je:

s_{ij} – PKS vrednost za svako ukrštanje;

x_{ij} – zbir ukrštanja i -te linije sa j -tim testerom.

Genotipske komponente, aditivna varijansa i varijansa dominacije izračunate su preko kovarijanse polusrodnika i punih srodnika:

$$V_{oks} = CovHSpr = \frac{1+F}{4} \times V_a;$$

gde je:

V_{oks} – varijansa OKS;

$CovHSpr$ – kovarijanse proseka polusrodstva;

F – koeficijent inbridinga;

V_a – aditivna varijansa i

$$V_{pks} = \frac{MS_{lxt} - MS_{gr}}{r} = \frac{(1+F)^2}{4} \times V_d;$$

gde je:

V_{pks} – varijansa PKS;

V_d – dominantna varijansa.

Proporcionalni doprinos komponenti ukrštanja – linija, testera i njihove interakcije, u realizaciji određene osobine u F_1 generaciji je izračunat primenom sledećih formula:

$$Doprinos\ linija = \frac{SS_{lin}}{SS_{ukr}} \times 100;$$

$$Doprinos\ testera = \frac{SS_{test}}{SS_{ukr}} \times 100;$$

$$Doprinos\ linija \times tester = \frac{SS_{lxt}}{SS_{ukr}} \times 100.$$

Izračunate su vrednosti heterozisa u odnosu na srednju vrednost roditelja (MPH) i heterozisa u odnosu na vrednosti boljeg roditelja (BPH) za 2019. i 2020. godinu, prema formulama. Značajnost ovih vrednosti testirana je t-testom za svaki genotip posebno (Wynne et al., 1970).

$$MPH = \frac{F1-MP}{MP} \times 100 ;$$

$$BPH = \frac{F1-BP}{BP} \times 100 ;$$

gde je:

F₁ – prosečna vrednost F₁ generacije;

MP – prosek srednje roditeljske vrednosti;

BP – prosečna vrednost boljeg roditelja.

Pearson-ov koeficijent korelacije za vrednosti ostvarene 2020. godine svih ispitivanih osobina, kao i njihova značajnost, analizirani su u R softveru, verzija 4.2.2 (R Core Team 2022) i prikazani su grafički u posebnim kategorijama genotipova, grupisanih po tipu sirka.

Analizom glavnih komponenti (PCA) obuhvaćene su vrednosti ispitivanja tokom 2020. godine svih genotipova iz četiri kategorije za prinos zelene krme i suve materije, komponente prinosa i parametre kvaliteta, korišćenjem R softvera, verzija 4.2.2 (R Core Team 2022). Za vizuelni grafički prikaz odnosa genotipova i korelacije testiranih parametara upotrebljena je biplot tehnika (Kahrman et al., 2016).

6. REZULTATI I DISKUSIJA

6.1. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri

6.1.1. Broj dana od nicanja do metličenja

Period od nicanja do metličenja sirka značajan je jer ukazuje na dužinu vegetativnog razvoja biljke. Postoji razlika između genotipova po dužini i odnosu vegetativne i generativne faze. Biljkama koje brže prođu vegetativnu fazu ostaje dovoljno vremena za nalivanje zrna, što može biti povoljno u uslovima kada je kraj vegetacije ograničen sušom ili nižim temperaturama. Sa druge strane, kraći vegetativni period može negativno uticati na razvoj komponenata rodosti kao što su visina biljke, broj internodija, dužina metlice i broj zrna u metlici, što može rezultirati nižim prinosom. Poznavanje dužine ovog perioda za svaki genotip omogućuje oplemenjivačima da, uzimajući u obzir i ostale komponente rodosti, usmere selekciju ka genotipovima optimalne dužine vegetacije. Za sve grupe genotipova, eksperimentalne hibride, roditeljske komponente – testere i linije i komercijalne hibride, predstavljene su srednje vrednosti i izračunati deskriptivni statistički parametri za sve ispitivane osobine. Svi ispitivani genotipovi razdvojeni su i prikazani u 4 odvojene grupe, zbog velikih razlika u morfologiji testiranih tipova biljaka sirka. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri svih ispitivanih genotipova za broj dana od nicanja do metličenja u obe godine predstavljani su u tabelama 4, 5, 6 i 7.

Broj dana od nicanja do metličenja kod eksperimentalnih hibrida (tabela 4) kretao se u intervalu od 49 do 58 dana u 2019. godini sa prosečnom vrednošću 54 dana i koeficijentom varijacije od 3,5%. Interval variranja za broj dana od nicanja do metličenja u 2020. godini kretao se od 58 do 75 dana sa koeficijentom varijacije 5,3% i prosečnom vrednošću od 68 dana, što je dve nedelje duže u odnosu na prvu godinu ispitivanja. Najmanji broj dana od momenta nicanja do momenta metličenja biljaka sirka, 49 dana, ostvaren je kod eksperimentalnog hibrida L8×T5 u 2019. godini. Kod eksperimentalnih hibrida L2×T5, L4×T3 i L5×T5 u 2019. godini zabeležen je maksimum trajanja faze od nicanja do metličenja, 58 dana, isto koliko je iznosio minimum trajanja ove faze u 2020. godini i ostvaren je kod hibrida L8×T2. Eksperimentalni hibrid L6×T3 u 2020. godini bio je hibrid sa najdužim trajanjem od momenta nicanja do metličenja biljaka, 75 dana.

Variranje broja dana od momenta nicanja do momenta metličenja linija sudanske trave (tabela 5) bilo je od 53 do 65 dana sa prosečnom vrednošću od 60 dana i koeficijentom varijacije 7,0% u 2019. godini i od 71 do 75 dana, sa koeficijentom varijacije 2,5% i prosekom 72 dana u 2020. godini. Broj dana od nicanja do metličenja bio je najniži kod linije sudanske trave L8, tokom obe godine ispitivanja, 53 dana u 2019. i 71 dan u 2020. godini. Linije L1, L3 i L5 su takođe, pored linije L8, najbrže došle do faze metličenja u 2020. godini, za 71 dan od momenta nicanja. Od nicanja do metličenja linije L4 prošlo je najviše vremena, 65 dana u 2019. i 75 dana u 2020. godini. Ova faza je najduže trajala i za liniju L7 u 2020. godini, 75 dana.

Tabela 4. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	54	71
2	L2×T1	54	67
3	L3×T1	53	67
4	L4×T1	54	70
5	L5×T1	54	67
6	L6×T1	54	69
7	L7×T1	54	64
8	L8×T1	51	67
9	L1×T2	54	66
10	L2×T2	53	66
11	L3×T2	54	68
12	L4×T2	56	74
13	L5×T2	56	66
14	L6×T2	54	70
15	L7×T2	51	64
16	L8×T2	52	58
17	L1×T3	54	67
18	L2×T3	55	68
19	L3×T3	54	69
20	L4×T3	58	74
21	L5×T3	56	66
22	L6×T3	54	75
23	L7×T3	54	62
24	L8×T3	53	63
25	L1×T4	55	65
26	L2×T4	54	67
27	L3×T4	53	67
28	L4×T4	56	70
29	L5×T4	53	67
30	L6×T4	55	74
31	L7×T4	56	70
32	L8×T4	54	63
33	L1×T5	56	69
34	L2×T5	58	70
35	L3×T5	54	71
36	L4×T5	57	72
37	L5×T5	58	70
38	L6×T5	56	69
39	L7×T5	57	68
40	L8×T5	49	62
Minimum		49	58
Maksimum		58	75
Prosek		54	68
Standardna devijacija		1,89	3,61
Koeficijent varijacije		3,5%	5,3%
Standardna greška		0,30	0,57

Tabela 5. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oparašivača za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	64	71
42	L2	59	72
43	L3	60	71
44	L4	65	75
45	L5	56	71
46	L6	63	74
47	L7	62	75
48	L8	53	71
Minimum		53	71
Maksimum		65	75
Prosek		60	72
Standardna devijacija		4,22	1,84
Koeficijent varijacije		7,0%	2,5%
Standardna greška		1,49	0,65

Za broj dana od nicanja do metličenja, variranje u 2019. godini bilo je od 50 do 55 dana, sa koeficijentom variranja 3,6% i prosekom 52 dana, odnosno od 66 do 74 dana, sa koeficijentom variranja od 4,3% i prosekom od 69 dana u 2020. godini (tabela 6). Najnižu srednju vrednost u 2019. godini imao je tester T1, 50 dana, dok je u 2020. godini minimum dana ostvario tester T2, 66 dana. Maksimalne vrednosti u obe godine ostvario je tester T5, 55 dana u prvoj i 74 dana u drugoj godini.

Tabela 6. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	50	67
50	T2	51	66
51	T3	52	69
52	T4	52	71
53	T5	55	74
Minimum		50	66
Maksimum		55	74
Prosek		52	69
Standardna devijacija		1,88	2,96
Koeficijent varijacije		3,6%	4,3%
Standardna greška		0,84	1,32

Tabela 7. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
54	KH1	63	72
55	KH2	74	93
56	KH3	75	93
57	KH4	78	93
58	KH5	58	74
59	KH6	60	69
60	KH7	78	90
Minimum		58	69
Maksimum		78	93
Prosek		69	83
Standardna devijacija		8,73	11,16
Koeficijent varijacije		12,6%	13,4%
Standardna greška		3,30	4,22

Kada su u pitanju komercijalni hibridi, u 2019. godini interval variranja za broj dana od nicanja do metličenja kretao se od 58 do 78 dana, sa visokim koeficijentom varijacije od 12,6% i prosekom od 69 dana (tabela 7). U 2020. godini, koeficijent varijacije je bio još viši, 13,4%, prosek 83 dana, a interval variranja se kretao od 69 do 93 dana. Najviše vrednosti za ovu osobinu ostvarili su hibridi KH4 i KH7 u 2019. godini, 78 dana, dok su hibridi KH2, KH3 i KH4 ostvarili najviše vrednosti u 2020. godini, 93 dana. Vremenski najkraći period od nicanja do metličenja sirka u 2019. godini bio je kod hibrida KH5, 58 dana, odnosno KH6 u 2020. godini, 69 dana.

Kumar et al. (2013) tvrde da na početak faze izbijanja metlice imaju uticaj i genotip i faktori spoljašnje sredine i procenjuju da od nicanja do ove faze sirka prođe 30-40 dana, a 35-40 od metličenja do sazrevanja. Isti autori navode da se za ideotip većine oplemenjivačkih programa sirka uzima dužina trajanja vegetacije manje od 120 dana. Prilikom ispitivanja 24 genotipova krmnog sirka na četiri lokaliteta u Brazilu, dobijeni koeficijent varijacije za broj dana do metličenja iznosio je 2,63% (Lima et al., 2017). Pet ispitivanih testera u poljskom ogledu istraživača El-Sherbeny et al. (2019) ostvarili su prosečnu vrednost za ovu osobinu 72,60 dana. Ispitivanje 32 različita genotipa u poljskom ogledu u Indiji pokazalo je visoko značajnu varijansu za osobinu broj dana do 50% cvetalih biljaka (Singh et al., 2019).

Najduži period od nicanja do metličenja zabeležen je kod komercijalnih hibrida krmnog sirka, u obe istraživačke godine, što ukazuje na njihov kasniji ulazak u generativnu fazu u poređenju sa ostalim grupama genotipova. Testeri i eksperimentalni hibridi pokazali su najranije metličenje, što može biti korisna osobina u uslovima kraće vegetacije. Linije oprašivači (sudanska trava) imale su duži period od nicanja do metličenja u odnosu na testere, odnosno cms majke (sirak za zrno), u obe godine istraživanja. Ove razlike ukazuju na značajne genetske varijacije među grupama u pogledu trajanja vegetativne faze.

6.1.2. Broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna

Broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna odražava trajanje generativne faze, tokom koje se odvija naliivanje i sazrevanje zrna. Genotipovi sa dužim generativnim periodom potencijalno imaju više vremena za akumulaciju rezervi u zrnu, što može doprineti povećanju prinosa, naročito kod dvonamenskih hibrida koji se koriste i za krmu i za zrno. Međutim, u agroekološkim uslovima sa ograničenim vodnim resursima, produžena generativna faza može biti nepovoljna zbog povećane izloženosti suši. Sa aspekta proizvodnje silaže, poznavanje ovog perioda je značajno jer omogućava planiranje optimalnog termina košenja kada je odnos između prinosa i kvaliteta biomase najpovoljniji. Srednje vrednosti svih ispitivanih genotipova, kao i deskriptivni statistički parametri, predstavljeni su u tabelama 8, 9, 10 i 11.

Interval variranja za broj dana od metličenja do postizanja mlečno-voštane faze zrelosti zrna kod ispitivanih eksperimentalnih hibrida kretao se od 22 do 33 dana, sa koeficijentom varijacije od 8,4% i prosekom 26 dana u 2019. godini, odnosno od 32 do 35 dana, sa koeficijentom varijacije od 2,2% i prosekom 33 dana tokom 2020. godine (tabela 8). Najveće vrednosti za ovu osobinu imali su hibridi L8×T5 u 2019. godini, 33 dana, odnosno hibridi L4×T1 i L8×T5 u 2020. godini, 35 dana. Minimum za vrednost ove osobine ostvarili su hibridi L5×T5 i L7×T5 u obe godine, 22 dana, odnosno 32 dana. Pored ova dva hibrida, u 2020. godini je još šest hibrida ostvarilo istu minimalnu vrednost, L4×T3, L5×T3, L1×T4, L6×T4, L7×T4 i L2×T5.

Kada su u pitanju linije sudanske trave, interval variranja za broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna bio je od 15 do 29 dana, sa izrazito visokim koeficijentom variranja od 23,1% i prosekom od 23 dana u 2019. godini, odnosno od 29 do 34 dana, sa prosekom 32 dana i koeficijentom variranja 6,5% u 2020. godini (tabela 9). Linije L1 i L4 postigle su minimalne srednje vrednosti za ispitivanu osobinu u 2019. godini, 15 dana, a linija L5 maksimalnu vrednost, 29 dana. Tokom 2020. godine, najniža vrednost za ovu osobinu bila je jednaka maksimalnom broju dana u toku prve godine ispitivanja, 29 dana, i ostvarile su je takođe linije koje su i u prvoj godini imale najniže srednje vrednosti, a najviša vrednost za ovu osobinu bila je 34 dana i ostvarile su je linije L5 i L8.

Interval variranja za broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna za majke eksperimentalnih hibrida kretao se od 26 do 29 dana u 2019. godini i od 33 do 34 dana u 2020. godini (tabela 10). Koeficijent variranja za 2019. godinu bio je 4,0% i 1,3% za 2020. godinu. Tester T2 imao je najnižu vrednost ove osobine, 26 dana u prvoj godini i 33 dana u drugoj godini. Minimalnu vrednost za ovu osobinu u drugoj godini ostvarili su svi ispitivani testeri, osim testera T4 koji je ostvario maksimalne vrednosti za broj dana od metličenja do postizanja mlečno-voštane zrelosti zrna tokom obe godine ispitivanja, 29 dana i 34 dana.

Srednje vrednosti ispitivanih komercijalnih hibrida kretale su se od 17 do 26 dana, sa prosekom 22 dana i koeficijentom variranja 15,4% tokom 2019. godine i od 30 do 33 dana, sa prosekom 32 dana i koeficijentom varijacije 4,0% u 2020. godini (tabela 11). Do postizanja mlečno-voštane faze zrelosti zrna tokom obe godine, hibridu KH4 trebalo je najmanje, 17 dana, odnosno 30 dana, a KH5 najviše, 26 dana, odnosno 33 dana. U toku 2020. godine pored hibrida KH4, minimalnu vrednost ostvario je i hibrid KH7, a maksimalnu pored KH5, hibridi KH1 i KH3.

Tabela 8. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	26	33
2	L2×T1	27	33
3	L3×T1	27	33
4	L4×T1	31	35
5	L5×T1	26	33
6	L6×T1	27	33
7	L7×T1	26	33
8	L8×T1	27	33
9	L1×T2	27	33
10	L2×T2	28	34
11	L3×T2	27	33
12	L4×T2	29	34
13	L5×T2	27	33
14	L6×T2	27	33
15	L7×T2	27	33
16	L8×T2	30	34
17	L1×T3	26	33
18	L2×T3	26	33
19	L3×T3	27	33
20	L4×T3	24	32
21	L5×T3	24	32
22	L6×T3	25	33
23	L7×T3	26	33
24	L8×T3	27	33
25	L1×T4	24	32
26	L2×T4	30	34
27	L3×T4	26	33
28	L4×T4	27	33
29	L5×T4	29	34
30	L6×T4	24	32
31	L7×T4	24	32
32	L8×T4	26	33
33	L1×T5	26	33
34	L2×T5	24	32
35	L3×T5	27	33
36	L4×T5	25	33
37	L5×T5	22	32
38	L6×T5	27	33
39	L7×T5	22	32
40	L8×T5	33	35
Minimum		22	32
Maksimum		33	35
Prosek		26	33
Standardna devijacija		2,23	0,74
Koeficijent varijacije		8,4%	2,2%
Standardna greška		0,35	0,12

Tabela 9. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za broj dana od metliččenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	15	29
42	L2	23	32
43	L3	23	32
44	L4	15	29
45	L5	29	34
46	L6	24	33
47	L7	24	33
48	L8	28	34
Minimum		15	29
Maksimum		29	34
Prosek		23	32
Standardna devijacija		5,24	2,08
Koeficijent varijacije		23,1%	6,5%
Standardna greška		1,85	0,74

Tabela 10. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za broj dana od metliččenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	27	33
50	T2	26	33
51	T3	27	33
52	T4	29	34
53	T5	27	33
Minimum		26	33
Maksimum		29	34
Prosek		27	33
Standardna devijacija		1,10	0,43
Koeficijent varijacije		4,0%	1,3%
Standardna greška		0,49	0,19

Tabela 11. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
54	KH1	24	33
55	KH2	24	32
56	KH3	21	33
57	KH4	17	30
58	KH5	26	33
59	KH6	23	32
60	KH7	18	30
Minimum		17	30
Maksimum		26	33
Prosek		22	32
Standardna devijacija		3,38	1,26
Koeficijent varijacije		15,4%	4,0%
Standardna greška		1,28	0,48

Istraživači Lyons et al. (2019) potvrdili su značaj mlečno-voštane faze zrelosti zrna za košenje sirka, kako bi se izbegli gubici prinosa suve materije. U istraživanjima Mindaye et al. (2016) testirani hibridi sazrevali su ranije u odnosu na lokalno adaptirane roditeljske komponente uz ostvarivanje većih vrednosti za visinu biljaka. Broj dana do sazrevanja 19 genotipova sirka za zrno kretao se u intervalu od 88 do 117 dana u poljskom ogledu tokom 2012. i 2013. godine u Sudanu (Hamza et al., 2016). Vrednosti za broj dana od setve do dostizanja faze zrelosti 180 genotipova sirka kretale su se u intervalu od 132,6 do 195,3 dana (Disasa et al., 2017). Isti autori su zaključili da rana zrelost nije poželjna karakteristika u selekciji sirka, zato što biljke tokom rasta i razvoja povećavaju biomasu i skladište energiju u stabljici.

Razlike između grupa genotipova po tipu sirka za ovu osobinu tokom obe godine bile su minimalne. Tester i eksperimentalni hibridi su imali nešto duži period od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna, što ukazuje na produženo nalivanje zrna i kasnije sazrevanje i može predstavljati njihovu bolju adaptabilnost na produžene vegetacione periode. Komercijalni hibridi i linije oparašivači dostigli su mlečno-voštanu fazu zrelosti zrna malo ranije. Ova osobina može imati važnu selekcionu vrednost u cilju stvaranja ranostasnijih hibrida.

6.1.3. Visina biljke

Visina biljke je morfološka osobina koja ima značajan uticaj na prinos biomase, ali i na stabilnost useva. Više biljke obično ostvaruju veći prinos biomase, što je poželjno kod proizvodnje krme, ali su istovremeno podložnije poleganju, naročito pri jačim udarima vetra i intenzivnim padavinama. Visina je povezana sa brojem internodija i ukupnim brojem listova, što utiče na fotosintetski kapacitet biljke. Genotipovi optimalne visine predstavljaju kompromis između produktivnosti i mehaničke otpornosti, što je važan kriterijum u programima oplemenjivanja. U tabelama 12, 13, 14 i 15 prikazane su srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri svih 60 genotipova podeljenih po kategorijama za visinu biljke.

Tabela 12. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za visinu biljaka (cm) u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	259,64	260,70
2	L2×T1	236,57	240,03
3	L3×T1	208,31	225,73
4	L4×T1	252,85	252,30
5	L5×T1	260,60	249,17
6	L6×T1	227,42	232,30
7	L7×T1	233,33	236,03
8	L8×T1	239,66	242,40
9	L1×T2	245,80	247,97
10	L2×T2	241,20	228,53
11	L3×T2	181,28	222,00
12	L4×T2	236,14	261,80
13	L5×T2	246,04	249,53
14	L6×T2	225,75	229,20
15	L7×T2	224,58	217,90
16	L8×T2	247,82	252,10
17	L1×T3	252,65	256,77
18	L2×T3	219,26	222,13
19	L3×T3	200,03	205,07
20	L4×T3	265,03	254,03
21	L5×T3	259,66	268,70
22	L6×T3	239,24	222,47
23	L7×T3	238,33	236,53
24	L8×T3	233,66	236,73
25	L1×T4	249,48	254,03
26	L2×T4	237,19	245,97
27	L3×T4	202,90	219,63
28	L4×T4	249,45	264,50
29	L5×T4	243,06	253,03
30	L6×T4	251,87	227,47
31	L7×T4	252,55	241,00
32	L8×T4	236,66	240,43
33	L1×T5	231,31	233,93
34	L2×T5	240,68	246,87
35	L3×T5	204,23	228,50
36	L4×T5	260,73	257,70
37	L5×T5	249,15	254,37
38	L6×T5	234,77	238,57
39	L7×T5	252,59	255,87
40	L8×T5	233,07	233,20
Minimum		181,28	205,07
Maksimum		265,03	268,70
Prosek		237,61	241,13
Standardna devijacija		18,42	14,78
Koeficijent varijacije		7,8%	6,1%
Standardna greška		2,91	2,34

Srednje vrednosti za visinu biljke kod novonastalih hibrida kretale su se od 181,28 cm do 265,03 cm, sa prosečnom vrednošću 237,61 cm i koeficijentom varijacije 7,8% u prvoj godini ispitivanja (tabela 12). Tokom 2020. godine, interval variranja bio je od 205,07 do 268,70 cm, sa koeficijentom varijacije 6,1% i prosekom 241,13 cm. Eksperimentalni hibrid L4×T3 istakao se kao najviši tokom 2019. sa visinom od 265,03 cm i L5×T3 tokom 2020. godine, 268,70 cm, dok su hibridi L3×T2 u 2019. godini sa visinom od 181,28 cm i hibrid L3×T3 u 2020. godini sa visinom od 205,07 cm bili znatno niži u odnosu na druge ispitivane eksperimentalne hibride.

Tabela 13. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za visinu biljaka (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	268,31	251,07
42	L2	226,97	242,30
43	L3	204,01	264,07
44	L4	250,91	262,57
45	L5	249,75	237,67
46	L6	231,53	242,90
47	L7	246,68	258,27
48	L8	240,59	257,57
Minimum		204,01	237,67
Maksimum		268,31	264,07
Prosek		239,85	252,05
Standardna devijacija		19,26	10,08
Koeficijent varijacije		8,0%	4,0%
Standardna greška		6,81	3,56

Interval variranja srednje vrednosti za visinu biljaka restorer linija sudanske trave u 2019. godini kretao se od 204,01 do 268,31 cm, sa prosečnom vrednošću 239,85 cm i koeficijentom varijacije 8,0% (tabela 13). Tokom 2020. godine visine biljaka linija kretale su se od 237,67 do 264,07 cm, sa prosekom od 252,05 cm i koeficijentom varijacije 4,0%. Najveća vrednost za visinu biljaka postignuta je kod linije sudanske trave L1 u 2019. godini, 268,31 cm i kod linije L3 u 2020. godini, 264,07 cm, dok su genotipovi sa najnižim biljkama bili L3 u prvoj sa visinom od 204,01 cm i L5 u drugoj godini ispitivanja, sa visinom od 237,67 cm.

Tabela 14. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za visinu biljaka (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	136,11	150,90
50	T2	70,46	173,93
51	T3	91,22	103,13
52	T4	108,54	130,07
53	T5	99,80	113,43
Minimum		70,46	103,13
Maksimum		136,11	173,93
Prosek		101,23	134,29
Standardna devijacija		24,08	28,60
Koeficijent varijacije		23,8%	21,3%
Standardna greška		10,77	12,79

Visina biljaka testera, odnosno majčinskih komponenti hibrida, kretala se u rasponu od 70,46 do 136,11 cm, sa prosekom od 101,23 cm i koeficijentom varijacije 23,8% u 2019. godini, odnosno od 103,13 do 173,93 cm, sa prosekom 134,29 cm i koeficijentom variranja 21,3% u 2020. godini (tabela 14). Sve uključene linije sirka za zrno ostvarile su veće vrednosti za visinu biljaka u drugoj godini ispitivanja, a linija T2 karakteristična je jer je ostvarila najmanju srednju vrednost u 2019. godini, 70,46 cm i najveću u 2020. godini, 173,93 cm. Tester T1 ostvario je maksimalnu srednju vrednost, 136,11 cm u 2019. godinu, a tester T3 minimalnu, 103,13 cm u 2020. godini.

Tabela 15. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za visinu biljaka (cm) u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
54	KH1	334,70	290,43
55	KH2	312,92	293,53
56	KH3	347,93	289,63
57	KH4	365,06	331,40
58	KH5	291,09	334,73
59	KH6	295,12	307,40
60	KH7	353,26	292,13
Minimum		291,09	289,63
Maksimum		365,06	334,73
Prosek		328,58	305,61
Standardna devijacija		29,22	19,70
Koeficijent varijacije		8,9%	6,4%
Standardna greška		11,04	7,45

Komercijalni hibridi zastupljeni na tržištu Srbije u periodu ispitivanja, u 2019. godini ostvarili su najviše vrednosti za visinu biljaka, od 291,09 do 365,06 cm, sa prosečnom vrednošću od 328,58 cm (tabela 15). U 2020. godini minimalna, maksimalna i prosečna vrednost za visinu bile su nešto niže u poređenju sa prvom godinom ispitivanja, 289,63 cm, 334,73 cm, odnosno 305,61 cm. Hibrid KH5 u prvoj godini ostvario je minimalnu, 291,09 cm, a u drugoj maksimalnu visinu, 334,73 cm. Maksimalnu visinu tokom 2019. godine imao je hibrid KH4, 365,06 cm, a minimalnu tokom 2020. godine hibrid KH3, 289,63 cm.

Amare et al. (2015) su u svom istraživanju izvršili fenotipizaciju 16 različitih sorti sirka na dva lokaliteta i predstavili rezultate kroz ostvarene srednje vrednosti za visinu biljke (137,60 cm), dužinu metlice (21,08 cm) i broj dana do metličenja (68,7 dana). U istraživanjima se ističe važnost ispitivanja opštih i posebnih kombinacionih sposobnosti u procesu oplemenjivanja sirka za prinos, ali i za komponente koje na prinos utiču. Visinu kontrolišu četiri lokusa *Dw1*, *Dw2*, *Dw3* i *Dw4* i ova osobina je delimično dominantna u odnosu na patuljast rast. Biljke sa visinom preko 4 m rezultat su dominacije na sva 4 lokusa *DW* (Kumar et al., 2013; Aruna i Audilakshmi, 2008). Autori Getachew et al. (2016) navode da biljke hibrida krmnog sirka dostižu visinu od 1,8 m do 3 m, kao i da imaju relativno velik prečnik stabljike. Saeed i El-Nadi (1998) tvrde da se više vrednosti visine biljaka, kao i indeksa površine lista, postižu u zalivnom sistemu, i to čestim navodnjavanjem. Istraživači Berenji (1985) i Pataki (2010) zaključuju da se kod krmnog sirka visina nasleđuje dominantno, pa su zbog visokih biljaka sudanske trave i hibridi F_1 visoki. Istraživači Phuong et al. (2013) su ispitivali prinos i komponente prinosa 100 F_5 rekombinantnih inbred linija i roditeljskih komponenti, visokoprinosnih linija i linija tolerantnih na uslove suše, u uslovima sa i bez navodnjavanja. Testirani genotipovi za visinu biljke ostvarili su prosek od 119,1 cm, prečnik stabljike 1,82 cm, dužinu metlice 23,7 cm, broj dana od setve do metličenja 50,4 dana i za površinu lista 356,3 cm² u suvom ratarenju. Za visinu biljaka sirka, Singh et al. (2019) su u ispitivanju 32 genotipa sirka utvrdili visok genotipski i

fenotipski koeficijent varijacije. Tilaye (2024) je u svom istraživanju testirao 72 genotipa sirka, među kojima su bila i 3 standarda, u sušnim uslovima i zabeležio da su se ostvarene vrednosti za visinu biljke kretale u intervalu od 131,67 cm do 246,33 cm, dok su se vrednosti za dužinu metlice kretale od 13,17 cm do 26,00 cm. Jedan od ispitivanih parametara bio je i broj dana od nicanja do 50% cvetalih biljaka, a njegove vrednosti bile su od 64 do 86 dana.

Komercijalni hibridi su se izdvojili značajno većom prosečnom visinom biljaka u odnosu na ostale kategorije, što je pokazatelj njihove snažne biomase, intenzivnog porasta i potencijala za visoku produkciju krme. Najniže biljke bile su tester (sirk za zrno), što je u skladu sa njihovom primarnom namenom i karakteristično za ovaj tip sirka. Eksperimentalni hibridi imali su srednje vrednosti, slične kao i roditeljska komponenta linije očeva, što potvrđuje ranije navode o dominantnom nasleđivanju ove osobine. Visina biljke je ključan morfološki pokazatelj u kontekstu prinosa suve materije, zbog česte pozitivne korelacije sa ukupnom biomasom.

6.1.4. Prečnik stabljike na mestu reza

Prečnik stabljike na mestu reza se odnosi na bazalni deo stabljike koji je najčešće mesto sečenja prilikom košenja. Ova osobina je važna za procenu mehaničke čvrstine biljke, jer stabljike sa većim prečnikom generalno imaju veću tolerantnost na poleganje. S druge strane, deblje stabljike mogu imati veći sadržaj lignina, što smanjuje njihovu svarljivost i nutritivnu vrednost. U oplemenjivanju krmnih hibrida teži se ravnoteži između robusnosti stabljike i kvaliteta krme. Prečnik stabljike sirka meren je na dva mesta i predstavljen kroz dve različite osobine. U tabelama 16, 17, 18 i 19 prikazane su srednje vrednosti ostvarene za prečnik stabljike na mestu reza u dvogodišnjem istraživanju, kao i izračunati deskriptivni statistički parametri za ovu osobinu.

Srednje vrednosti za prečnik stabljike na mestu reza eksperimentalnih hibrida krmnog sirka kretale su se u intervalu od 10,81-15,35 mm, sa prosečnom vrednošću 13,27 mm i koeficijentom fenotipske varijacije 7,9% u 2019. godini (tabela 16). U 2020. godini, interval variranja za istu osobinu iznosio je 11,54-15,66 mm, dok je prosečna vrednost bila 13,71 mm i koeficijent variranja 6,1%. Minimalnu vrednost među eksperimentalnim hibridima za prečnik stabljike na mestu reza ostvarili su hibridi L3×T4 za 2019. godinu, 10,81 mm, odnosno L1×T5 za 2020. godinu, 11,54 mm. Hibridi L4×T5 u 2019. i L4×T4 u 2020. godini, odstupali su od ostalih ostvarivši najveće vrednosti za ispitivanu osobinu, 15,35 mm i 15,66 mm.

Kada su u pitanju linije sudanske trave, prečnik stabljike na mestu reza kretao se u intervalu od 11,11-12,35 mm, sa prosečnom vrednošću od 11,74 mm i koeficijentom variranja 3,5% u prvoj i 11,10-15,86 mm, sa prosekom 13,48 mm i koeficijentom variranja 11,4% u drugoj godini ispitivanja (tabela 17). Među očevima eksperimentalnih hibrida istakle su se linije L6 i L5 sa najnižim vrednostima, 11,11 mm i 11,10 mm i linije L8 i L7 sa najvišim vrednostima za prečnik stabljike na mestu reza, 12,35 mm u prvoj, odnosno 15,86 mm u drugoj godini ispitivanja.

Srednje vrednosti testera, sirka za zrno, za prečnik stabljike na mestu reza bile su najniže i kretale su se u prvoj godini od 7,59-10,36 mm sa prosekom 9,68 mm i od 8,16 do 10,93 mm sa prosekom 10,01 mm u drugoj godini poljskog oglada (tabela 18). Tester T3 u obe godine se istakao najnižim vrednostima ovog parametra, 7,59 mm i 8,16 mm, znatno nižim u poređenju sa ostalim testerima, dok su tester (sirk za zrno) sa najvišim vrednostima bili T2 u prvoj, 10,36 mm i T5 u drugoj godini ispitivanja, 10,93 mm.

Tabela 16. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za prečnik stabljike na mestu reza (mm) u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	11,81	14,45
2	L2×T1	14,52	13,85
3	L3×T1	12,97	13,62
4	L4×T1	15,28	14,18
5	L5×T1	11,91	13,17
6	L6×T1	12,74	12,93
7	L7×T1	12,82	13,24
8	L8×T1	12,46	12,90
9	L1×T2	13,03	13,25
10	L2×T2	13,46	13,52
11	L3×T2	12,95	12,87
12	L4×T2	13,59	14,25
13	L5×T2	12,95	13,76
14	L6×T2	13,17	13,72
15	L7×T2	14,10	13,22
16	L8×T2	13,55	13,75
17	L1×T3	13,46	13,77
18	L2×T3	12,92	13,14
19	L3×T3	13,10	13,41
20	L4×T3	14,87	14,70
21	L5×T3	14,45	13,96
22	L6×T3	12,79	12,67
23	L7×T3	13,61	13,95
24	L8×T3	12,60	12,91
25	L1×T4	12,64	13,01
26	L2×T4	13,74	15,04
27	L3×T4	10,81	13,32
28	L4×T4	14,84	15,66
29	L5×T4	13,05	14,13
30	L6×T4	12,69	14,01
31	L7×T4	14,43	14,50
32	L8×T4	14,30	14,65
33	L1×T5	11,44	11,54
34	L2×T5	13,14	13,46
35	L3×T5	13,87	15,05
36	L4×T5	15,35	15,26
37	L5×T5	11,07	12,24
38	L6×T5	12,64	12,99
39	L7×T5	13,62	13,86
40	L8×T5	13,93	14,37
Minimum		10,81	11,54
Maksimum		15,35	15,66
Prosek		13,27	13,71
Standardna devijacija		1,05	0,84
Koeficijent varijacije		7,9%	6,1%
Standardna greška		0,17	0,13

Tabela 17. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za prečnik stabljike na mestu reza (mm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	12,02	12,43
42	L2	12,00	13,53
43	L3	11,59	14,96
44	L4	11,26	14,27
45	L5	11,71	11,10
46	L6	11,11	13,35
47	L7	11,90	15,86
48	L8	12,35	12,35
Minimum		11,11	11,10
Maksimum		12,35	15,86
Prosek		11,74	13,48
Standardna devijacija		0,41	1,54
Koeficijent varijacije		3,5%	11,4%
Standardna greška		0,15	0,54

Tabela 18. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za prečnik stabljike na mestu reza (mm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	10,08	9,88
50	T2	10,36	10,61
51	T3	7,59	8,16
52	T4	10,22	10,45
53	T5	10,14	10,93
Minimum		7,59	8,16
Maksimum		10,36	10,93
Prosek		9,68	10,01
Standardna devijacija		1,17	1,10
Koeficijent varijacije		12,1%	11,0%
Standardna greška		0,52	0,49

Komercijalni hibridi su ostvarili najviše vrednosti i za prečnik stabljike na mestu reza, od 13,09 do 20,81 mm i 14,67 do 21,38 mm, prosek za 2019. godinu iznosio je 17,52 mm, dok je ostvareni prosek za 2020. godinu bio 17,94 mm (tabela 19). KH1 istakao se u obe godine najnižom srednjom vrednošću za ovu osobinu, 13,09 mm i 14,67 mm, dok su komercijalni hibridi KH7 u prvoj, 20,81 mm i KH4, 21,38 mm u drugoj godini ispitivanja imali maksimalne vrednosti prečnika stabljike.

Tabela 19. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za prečnik stabljike na mestu reza (mm) u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
54	KH1	13,09	14,67
55	KH2	16,50	17,56
56	KH3	20,21	17,54
57	KH4	20,16	21,38
58	KH5	15,73	18,89
59	KH6	16,17	17,28
60	KH7	20,81	18,25
Minimum		13,09	14,67
Maksimum		20,81	21,38
Prosek		17,52	17,94
Standardna devijacija		2,91	2,01
Koeficijent varijacije		16,6%	11,2%
Standardna greška		1,10	0,76

U trogodišnjem istraživanju Ekefre et al. (2017) ustanovili su značajno variranje između ispitivanih sorti u vrednostima za prečnik stabljike. Gondal et al. (2017) su u svom istraživanju zaključili da značajan negativan uticaj na prečnik stabljike sirka ima povećanje setvene norme, što ga čini više osetljivim na poleganje. Rezultati dvogodišnjeg oglada u kom se ispitivao uticaj 6 različitih doza azotnih đubriva na tri sorte sirka i sudanske trave pokazali su interval variranja za prečnik stabljike od 9,19 do 11,84 mm (Mut et al., 2017). Koeficijent varijacije za prečnik stabljike 58 genotipova sirka u prvoj vegetacionoj sezoni u agroekološkim uslovima Kine iznosio je 20,8% dok je u drugoj vegetacionoj sezoni iste godine koeficijent varijacije bio 18,6% (Fan et al., 2022).

Komercijalni hibridi imali su najdeblje stabljike na mestu reza, što doprinosi stabilnosti biljke i ukupnom prinosu. Najtanji prečnik stabljike imale su linije sirka za zрно, dok su sudanska trava i eksperimentalni hibridi imali srednje vrednosti. Ova osobina je značajna u selekciji genotipova tolerantnih na poleganje.

6.1.5. Prečnik stabljike iznad četvrtog lista

Ova osobina se odnosi na debljinu stabljike u srednjem delu biljke, gde su listovi najbrojniji. Veći prečnik u ovom delu može ukazivati na opštu vitalnost biljke. Takođe, stabilna i razvijena sredina stabljike utiče na sposobnost nošenja lisne mase, što je važno za optimalnu fotosintezu. Kod selekcije genotipova, ova osobina može biti indikator ujednačenog rasta i efikasne raspodele biomase. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri za prečnik stabljike iznad četvrtog lista u toku dvogodišnjeg istraživanja za eksperimentalne i komercijalne hibride, kao i roditeljske komponente prikazani su u tabelama 20, 21, 22 i 23.

Tabela 20. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za prečnik stabljike iznad četvrtog lista (mm) u 2019. i 2020. godini.

	Genotip	Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	8,10	9,52
2	L2×T1	11,14	8,95
3	L3×T1	10,68	9,41
4	L4×T1	11,55	10,87
5	L5×T1	8,85	8,37
6	L6×T1	9,70	8,79
7	L7×T1	8,80	8,90
8	L8×T1	9,78	9,85
9	L1×T2	9,00	9,08
10	L2×T2	10,34	8,29
11	L3×T2	11,26	8,37
12	L4×T2	10,73	9,60
13	L5×T2	10,46	8,79
14	L6×T2	10,42	8,84
15	L7×T2	11,17	8,40
16	L8×T2	9,20	9,32
17	L1×T3	9,00	9,12
18	L2×T3	8,82	8,93
19	L3×T3	10,21	10,33
20	L4×T3	11,20	10,11
21	L5×T3	11,23	8,77
22	L6×T3	10,19	8,61
23	L7×T3	11,12	9,86
24	L8×T3	8,11	8,22
25	L1×T4	8,88	8,97
26	L2×T4	10,31	9,47
27	L3×T4	9,61	9,76
28	L4×T4	11,49	11,28
29	L5×T4	10,30	9,94
30	L6×T4	10,08	9,55
31	L7×T4	11,80	10,04
32	L8×T4	9,11	9,18
33	L1×T5	7,30	7,46
34	L2×T5	9,73	9,80
35	L3×T5	12,16	10,24
36	L4×T5	12,32	10,59
37	L5×T5	7,25	7,33
38	L6×T5	9,53	9,67
39	L7×T5	9,46	9,56
40	L8×T5	11,24	9,71
Minimum		7,25	7,33
Maksimum		12,32	11,28
Prosek		10,04	9,30
Standardna devijacija		1,26	0,84
Koeficijent varijacije		12,5%	9,0%
Standardna greška		0,20	0,13

Nasuprot ostalim ispitivanim osobinama, srednje vrednosti za prečnik stabljike iznad četvrtog lista su u drugoj godini ispitivanja niže u odnosu na prvu godinu (tabela 20). Eksperimentalni hibridi su u 2019. ostvarili vrednosti od 7,25-12,32 mm, sa prosekom 10,04 mm i koeficijentom varijacije 12,5%, a u 2020. godini 7,33-11,28 mm, sa prosekom 9,30 mm i koeficijentom varijacije 9,0%. Eksperimentalni hibridi L4×T5 u 2019. i L4×T4 u 2020. godini, izdvajaju se od ostalih po najvećim vrednostima za ovu osobinu, dok je hibrid L5×T5 postigao najniže vrednosti prečnika stabljike iznad četvrtog lista.

Uzimajući u obzir srednje vrednosti za prečnik stabljike iznad četvrtog lista ostvarene kod linija, interval variranja u 2019. godini kretao se od 8,51-10,20 mm, sa prosekom 9,37 i koeficijentom varijacije 5,9% (tabela 21). Tokom 2020. godine, interval variranja bio je znatno veći i kretao se od 7,77-11,11 mm, sa prosekom od 9,04 mm i koeficijentom variranja 12,9%. U prvoj godini ispitivanja, linija L6 istakla se minimalnom, a linija L8 maksimalnom srednjom vrednošću za ovu osobinu. Linija sudanske trave L5 imala je najnižu, a linija L3 najvišu vrednost u 2020. godini.

Tabela 21. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za prečnik stabljike iznad četvrtog lista (mm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	9,53	8,15
42	L2	9,03	8,29
43	L3	9,89	11,11
44	L4	8,86	9,05
45	L5	9,35	7,77
46	L6	8,51	8,53
47	L7	9,62	10,44
48	L8	10,20	8,96
Minimum		8,51	7,77
Maksimum		10,20	11,11
Prosek		9,37	9,04
Standardna devijacija		0,56	1,16
Koeficijent varijacije		5,9%	12,9%
Standardna greška		0,20	0,41

Tabela 22. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za prečnik stabljike iznad četvrtog lista (mm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	8,32	7,34
50	T2	10,95	6,96
51	T3	8,63	5,88
52	T4	10,85	8,27
53	T5	11,96	8,14
Minimum		8,32	5,88
Maksimum		11,96	8,27
Prosek		10,14	7,32
Standardna devijacija		1,58	0,97
Koeficijent varijacije		15,6%	13,3%
Standardna greška		0,71	0,43

Srednje vrednosti testera za prečnik stabljike iznad četvrtog lista kretale su se u rasponu od 8,32 do 11,96 mm, sa prosekom 10,14 mm u prvoj godini ispitivanja (tabela 22). Tokom 2020. godine ostvarene su značajno niže vrednosti za ovu osobinu, 5,88-8,27 mm, pa je ostvarena maksimalna vrednost u drugoj godini, bila niža u odnosu na minimalnu vrednost ostvarenu u prvoj godini ispitivanja. Najnižu srednju vrednost u 2019. godini imao je tester T1, a najvišu T5, dok je u 2020. godini tester T3 imao najnižu, a T4 najvišu vrednost prečnika stabljike.

Vrednosti za prečnik stabljike iznad četvrtog lista kod komercijalnih hibrida u toku 2019. godine kretao se u intervalu od 10,66-16,88 mm, sa prosečnom vrednošću 14,05 mm i koeficijentom variranja 16,4% (tabela 23). U 2020. godini ove vrednosti su se kretale od 9,23 do 14,38 mm, sa prosekom 11,98 mm i koeficijentom fenotipske varijacije 13,2%. Po maksimalnim vrednostima za ovu osobinu istakao se hibrid KH4 u obe godine ispitivanja. Minimalne vrednosti u obe godine ostvario je komercijalni hibrid KH1.

Tabela 23. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za prečnik stabljike iznad četvrtog lista (mm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
54	KH1	10,66	9,23
55	KH2	12,26	11,97
56	KH3	15,63	11,41
57	KH4	16,88	14,38
58	KH5	13,07	12,79
59	KH6	13,51	11,45
60	KH7	16,35	12,65
Minimum		10,66	9,23
Maksimum		16,88	14,38
Prosek		14,05	11,98
Standardna devijacija		2,30	1,58
Koeficijent varijacije		16,4%	13,2%
Standardna greška		0,87	0,60

Autor Pataki (2011) u istraživanju je utvrdio značajne razlike u srednjim vrednostima za prečnik stabljike između ispitivanih genotipova. Srednje vrednosti 19 genotipova sirka za zrno u ispitivanjima Hamza et al. (2016) u Sudanu za prečnik stabljike kretale su se od 15,50 do 20,70 mm. Disasa et al. (2017) vršili su karakterizaciju 180 genotipova sirka i za ispitivani materijal utvrdili prosečnu vrednost za prečnik stabljike 19,51 mm i zaključili da su genotipovi sa visokim sadržajem °Brix imali manje vrednosti za prečnik stabljike u odnosu na one sa niskim sadržajem °Brix.

Sličan trend kao kod vrednosti za prečnik stabljike na mestu reza imali su ispitivani genotipovi za prečnik stabljike iznad četvrtog lista. Komercijalni hibridi imali su najveći prečnik, što potvrđuje njihovu izraženu čvrstinu stabljike. Najmanje vrednosti za ovu osobinu zabeležene su kod linija sirka za zrno.

6.1.6. Broj internodija

Broj internodija predstavlja broj razmaka između čvorova na stabljici i ima značajnu ulogu u određivanju ukupne visine biljke i njene arhitekture. Veći broj internodija, ukoliko su proporcionalno raspoređene i odgovarajuće dužine, može doprineti većoj produktivnosti biomase i boljoj distribuciji lisne mase. Takođe, broj internodija može biti indikator genetskog potencijala za rast i odgovora na uslove sredine, što je korisno u selekciji genotipova sa stabilnim morfološkim karakteristikama. Parametri deskriptivne statistike i ostvarene prosečne vrednosti za broj internodija kroz dvogodišnje istraživanje dati su u tabelama 24, 25, 26 i 27.

Srednje vrednosti za broj internodija kod eksperimentalnih hibrida varirao je od 7,1-9,9 u prvoj i 7,6-10,0 internodija u drugoj godini poljskog ogleda (tabela 24). Prosečne vrednosti tokom obe godine trajanja ispitivanja su bile približne, 8,3 u 2019. i 8,6 u 2020. godini. Eksperimentalni hibridi L8×T3, L3×T4 i L3×T5 ostvarili su minimalne vrednosti za broj internodija u prvoj godini, a hibrid L4×T3 se istakao ostvarivanjem maksimuma. U 2020. godini hibridi krmnog sirka L8×T1 i L8×T3 imali su minimalne srednje vrednosti, a hibrid L4×T4 ostvario je najvišu vrednost za ovu osobinu.

Kada su u pitanju linije očeva hibrida krmnog sirka, srednje vrednosti za broj internodija kretale su se u intervalu od 7,4-9,1 sa prosekom 8,1 2019. i 8,1-9,6, sa prosekom 8,9 internodija u 2020. godini (tabela 25). Linija L3 ostvarila je najnižu srednju vrednost, a L7 najvišu za osobinu broj internodija u prvoj godini. Tokom druge godine, linija L5 je imala najmanji, a L6 najveći broj internodija.

S obzirom da je visina biljaka kod testera imala najniže vrednosti, bilo je očekivano da i interval variranja za broj internodija bude najniži, kretao se od 3,5-5,8, sa prosekom od 4,8 i koeficijentom varijacije 19,2% u 2019. godini i od 5,5-6,7 internodija, sa prosekom od 6,2 i koeficijentom varijacije 7,6% tokom 2020. godine (tabela 26). U prvoj godini istakli su se tester T2 sa najnižom i tester T1 koji je ostvario najvišu vrednost za broj internodija. Tokom druge godine ispitivanja, T3 je bio tester sa najmanjim, a T5 sa najvećim brojem internodija.

Interval variranja srednjih vrednosti za broj internodija kod komercijalnih hibrida krmnog sirka koji su korišćeni kao standardi, kretao se od 9,1-12,5 u prvoj i 9,5-11,9 internodija u drugoj godini ispitivanja (tabela 27). Prosek i koeficijent varijacije u obe godine imali su približne vrednosti, 10,5 internodija i 10,8% 2019. godine i 10,3 internodija i 9,4% u 2020. godini. U prvoj godini ostvarena je manja minimalna i veća maksimalna vrednost u odnosu na drugu godinu. Hibrid KH6 je imao najniže vrednosti za ovu osobinu u obe godine, dok su hibridi KH3 u prvoj i KH4 u drugoj godini ispitivanja imali najveći broj internodija.

Tabela 24. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	8,4	9,0
2	L2×T1	7,8	8,7
3	L3×T1	7,6	8,3
4	L4×T1	9,0	9,3
5	L5×T1	9,0	8,5
6	L6×T1	9,1	9,0
7	L7×T1	8,0	8,2
8	L8×T1	7,2	7,6
9	L1×T2	8,1	8,4
10	L2×T2	8,4	7,9
11	L3×T2	7,2	8,4
12	L4×T2	8,6	9,2
13	L5×T2	8,4	9,0
14	L6×T2	8,8	8,3
15	L7×T2	8,7	7,8
16	L8×T2	7,5	7,9
17	L1×T3	8,5	9,1
18	L2×T3	8,0	8,5
19	L3×T3	7,6	8,0
20	L4×T3	9,9	8,5
21	L5×T3	8,5	8,6
22	L6×T3	8,9	9,2
23	L7×T3	8,4	8,8
24	L8×T3	7,1	7,6
25	L1×T4	8,0	8,3
26	L2×T4	8,8	9,2
27	L3×T4	7,1	8,8
28	L4×T4	9,0	10,0
29	L5×T4	8,2	9,0
30	L6×T4	9,2	9,7
31	L7×T4	9,0	8,4
32	L8×T4	7,9	8,4
33	L1×T5	7,7	8,2
34	L2×T5	8,1	8,5
35	L3×T5	7,1	8,9
36	L4×T5	9,5	9,6
37	L5×T5	8,0	8,2
38	L6×T5	8,3	8,7
39	L7×T5	8,8	9,2
40	L8×T5	7,4	7,7
Minimum		7,1	7,6
Maksimum		9,9	10,0
Prosek		8,3	8,6
Standardna devijacija		0,70	0,57
Koeficijent varijacije		8,5%	6,6%
Standardna greška		0,11	0,09

Tabela 25. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	8,4	8,3
42	L2	7,5	8,5
43	L3	7,4	9,5
44	L4	8,6	9,5
45	L5	7,6	8,1
46	L6	8,6	9,6
47	L7	9,1	9,2
48	L8	7,6	8,4
Minimum		7,4	8,1
Maksimum		9,1	9,6
Prosek		8,1	8,9
Standardna devijacija		0,64	0,63
Koeficijent varijacije		7,9%	7,1%
Standardna greška		0,23	0,22

Tabela 26. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	5,8	6,5
50	T2	3,5	6,2
51	T3	4,5	5,5
52	T4	4,9	6,1
53	T5	5,5	6,7
Minimum		3,5	5,5
Maksimum		5,8	6,7
Prosek		4,8	6,2
Standardna devijacija		0,93	0,47
Koeficijent varijacije		19,2%	7,6%
Standardna greška		0,41	0,21

Broj kolenaca (nodija) u istraživanju Ekefre et al. (2017) varirao je od 14 do 18 za ispitivane genotipove sirka. Srednje vrednosti za broj internodija kod 14 genotipova sirka različitog porekla, uključujući sirak za zrno, sirak sa većim sadržajem šećera i sirak za dvostruku namenu, iznosile su od 7,67 do 13 internodija i bile su u veoma značajnoj pozitivnoj korelaciji sa visinom biljaka i brojem listova (Kanbar et al., 2021). Analizom sedam genotipova sirka (5 hibrida i 2 sorte) i tri doze đubrenja, dobijene su prosečne vrednosti za broj internodija u intervalu od 5,3 kod najlošijih genotipova do 9,3 internodije po biljci (Shanti et al., 2019). Kanbar et al. (2021) su ispitivali sadržaj i nakupljanje šećera dva genotipa (sirak za zrno i hibrid sirka sa povećanim sadržajem šećera), kod kojih je prosečna vrednost za broj internodija bila 10 i ustanovili su da se najviše vrednosti za Brix nalaze u centralnim internodijama (između 4. i 8.).

Tabela 27. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
54 KH1	9,5	9,6
55 KH2	10,7	10,4
56 KH3	12,5	9,8
57 KH4	11,3	11,9
58 KH5	10,0	11,5
59 KH6	9,1	9,5
60 KH7	10,7	9,7
Minimum	9,1	9,5
Maksimum	12,5	11,9
Prosek	10,5	10,3
Standardna devijacija	1,13	0,97
Koeficijent varijacije	10,8%	9,4%
Standardna greška	0,43	0,37

Najveći broj internodija imali su komercijalni hibridi, što je u korelaciji sa njihovom visinom. Najmanji broj internodija zabeležen je kod testera. Sudanska trava i eksperimentalni hibridi imali su umerene vrednosti. Broj internodija može biti važan pokazatelj morfološke građe biljke i njenog prinosa.

6.1.7. Broj listova

Broj listova je važan morfološki parametar jer određuje ukupnu lisnu površinu. Genotipovi sa većim brojem listova, pod uslovom da su funkcionalni i pravilno raspoređeni, imaju potencijal za veću akumulaciju suve materije. Ova osobina je direktno povezana sa prinosom krme. Prosečan broj listova po biljci sirka iz svih uzoraka ispitivanih genotipova prikazan je u tabelama 28, 29, 30 i 31, kao i vrednosti deskriptivnih statističkih parametara.

Ukupan broj listova kod eksperimentalnih hibrida varirao je od 5,3-10,8, sa visokim koeficijentom varijacije 16,9% i prosekom 7,8 listova u 2019. godini, dok je u 2020. godini interval variranja bio od 5,4-8,3, sa koeficijentom varijacije od 9,0% i prosečnom vrednošću 6,8 listova (tabela 28). Novonastali hibrid sa najnižom srednjom vrednošću za ovu osobinu u obe godine ispitivanja bio je hibrid L8×T2, dok su hibridi koji su ostvarili najviše vrednosti bili L4×T3 u 2019. odnosno L4×T5 u 2020. godini.

Linije sudanske trave postigle su interval variranja od 7,4-9,2, sa prosekom 8,4 i koeficijentom varijacije 8,7% u prvoj godini i vrednosti od 6,0-8,0, sa prosekom 6,8 i koeficijentom varijacije 11,1% u drugoj godini oglada (tabela 29). Među linijama istakao se genotip L5 ostvarivši najniže srednje vrednosti u obe godine i genotip L7 koji je imao maksimalne vrednosti za broj listova po biljci u obe godine.

Tabela 28. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za broj listova u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	8,4	7,7
2	L2×T1	7,6	6,1
3	L3×T1	7,8	7,1
4	L4×T1	9,3	7,4
5	L5×T1	9,2	6,8
6	L6×T1	8,9	7,6
7	L7×T1	6,1	6,3
8	L8×T1	5,8	5,9
9	L1×T2	6,3	6,4
10	L2×T2	8,6	6,2
11	L3×T2	7,6	6,6
12	L4×T2	8,7	7,4
13	L5×T2	8,6	7,0
14	L6×T2	9,0	6,3
15	L7×T2	8,7	6,3
16	L8×T2	5,3	5,4
17	L1×T3	6,7	6,8
18	L2×T3	6,2	6,3
19	L3×T3	6,9	7,0
20	L4×T3	10,8	7,3
21	L5×T3	8,7	6,6
22	L6×T3	9,0	7,4
23	L7×T3	8,2	6,2
24	L8×T3	5,5	5,6
25	L1×T4	6,3	6,4
26	L2×T4	8,5	6,9
27	L3×T4	7,4	7,2
28	L4×T4	9,3	7,2
29	L5×T4	8,3	7,5
30	L6×T4	9,3	6,7
31	L7×T4	8,9	7,0
32	L8×T4	6,5	6,7
33	L1×T5	7,0	7,1
34	L2×T5	6,5	6,6
35	L3×T5	8,7	7,5
36	L4×T5	9,8	8,3
37	L5×T5	6,2	6,3
38	L6×T5	6,8	6,9
39	L7×T5	7,3	7,4
40	L8×T5	7,2	6,0
Minimum		5,3	5,4
Maksimum		10,8	8,3
Prosek		7,8	6,8
Standardna devijacija		1,32	0,61
Koeficijent varijacije		16,9%	9,0%
Standardna greška		0,21	0,10

Tabela 29. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za broj listova u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	9,2	6,5
42	L2	7,9	6,3
43	L3	8,5	6,9
44	L4	9,1	6,7
45	L5	7,4	6,0
46	L6	8,3	7,8
47	L7	9,2	8,0
48	L8	7,6	6,1
Minimum		7,4	6,0
Maksimum		9,2	8,0
Prosek		8,4	6,8
Standardna devijacija		0,73	0,75
Koeficijent varijacije		8,7%	11,1%
Standardna greška		0,26	0,27

Deskriptivni statistički parametri pokazali su da se interval variranja srednjih vrednosti za broj listova po biljci kod testera u prvoj godini kretao od 5,1-6,8, sa prosekom 6,2 lista i koeficijentom varijacije 11,2%, a u drugoj godini od 5,3-7,1, sa prosekom 6,0 i koeficijentom varijacije 11,8% (tabela 30). 2019. godine, majka hibrida T2 postigla je minimum, a linije T4 i T5 maksimalne vrednosti za broj listova. Tokom 2020. godine minimalne vrednosti ostvarila je linija T1, a maksimalne takođe linija T5.

Tabela 30. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za broj listova u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	6,1	5,3
50	T2	5,1	5,7
51	T3	6,0	5,6
52	T4	6,8	6,2
53	T5	6,8	7,1
Minimum		5,1	5,3
Maksimum		6,8	7,1
Prosek		6,2	6,0
Standardna devijacija		0,69	0,71
Koeficijent varijacije		11,2%	11,8%
Standardna greška		0,31	0,32

Kada su u pitanju srednje vrednosti komercijalnih hibrida za ukupan broj listova po biljci, interval variranja je bio od 9,2 do 13,7 listova, sa prosekom 11,3 u prvoj i od 7,6 do 10,9 listova, sa prosekom 9,1 u drugoj godini ispitivanja (tabela 31). Rezultati obe godine ispitivanja pokazuju da su hibridi KH1 i KH6 imali najniže vrednosti za ovu osobinu, dok je KH3 bio sa najviše listova u 2019. a KH4 u 2020. godini.

Tabela 31. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za broj listova u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
54	KH1	9,4	7,6
55	KH2	11,6	10,0
56	KH3	13,7	9,4
57	KH4	12,5	10,9
58	KH5	10,4	8,8
59	KH6	9,2	7,9
60	KH7	12,4	9,1
Minimum		9,2	7,6
Maksimum		13,7	10,9
Prosek		11,3	9,1
Standardna devijacija		1,69	1,14
Koeficijent varijacije		15,0%	12,5%
Standardna greška		0,64	0,43

Vrednosti za broj listova sirka u drugim istraživanjima varirale su od 11-16 za ispitivane sorte (Ekefre et al., 2017). Visoku heritabilnost u širem smislu ispitivanog materijala za broj listova po biljci zabeležili su Singh et al. (2019) što ukazuje na kontrolu genotipa za ovu osobinu. Ispitivanjem 30 genotipova krmnog sirka ustanovljena je najveća fenotipska i genotipska varijabilnost, kao i visoka heritabilnost za broj listova po biljci (Ahalawat et al., 2018). Kanbar et al. (2021) objavili su rezultate ispitivanja za broj listova 14 genotipova sirka, od kojih su 9 bili otporni na poleganje, 3 osetljivi i 2 umereno otporni, a vrednosti su varirale u intervalu od 7,67 do 14 listova po biljci.

Komercijalni hibridi imali su najveći broj listova po biljci, što pozitivno utiče na fotosintetski kapacitet. Ostale grupe genotipova pokazale su značajno niži broj listova, ali međusobno sličan. Veći broj pravilno raspoređenih listova je poželjna osobina u programu selekcije krmnih genotipova.

6.1.8. Površina zelenog lista

Površina zelenog lista je ključna za fotosintetsku aktivnost biljke. Ova osobina, uz održavanje zdrave lisne mase tokom vegetacije, doprinosi većem prinosu biomase i boljem kvalitetu krme. Površina zelenog lista je parametar koji je preračunat iz vrednosti dužine i širine zelenog lista primenom formule. Ove vrednosti i vrednosti deskriptivnih parametara za ovu osobinu predstavljeni su u tabelama 32, 33, 34 i 35.

Srednje vrednosti za površinu zelenog lista 2019. godine kretale su se u intervalu od 214,98-396,29 cm², sa koeficijentom variranja 13,6% i prosekom 290,87 cm², dok su vrednosti u 2020. godini bile od 219,12-356,01 cm², koeficijent variranja 11,1% i prosek 280,14 cm² (tabela 32). Tokom prve godine ispitivanja, istakao se eksperimentalni hibrid L4×T5 koji je postigao najviše vrednosti za ovu osobinu, a hibrid L8×T3 ostvario je minimalnu vrednost. U 2020. godini, hibrid L2×T2 ostvario je najnižu srednju vrednost, a L3×T5 je hibrid koji je u drugoj godini postigao maksimum za površinu zelenog lista.

Tabela 32. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za površinu zelenog lista (cm²) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	283,11	288,39
2	L2×T1	316,22	268,67
3	L3×T1	285,20	318,79
4	L4×T1	360,65	294,88
5	L5×T1	279,27	253,65
6	L6×T1	273,22	252,57
7	L7×T1	228,54	265,48
8	L8×T1	322,31	328,96
9	L1×T2	250,34	254,24
10	L2×T2	284,47	219,12
11	L3×T2	264,12	304,84
12	L4×T2	319,98	281,03
13	L5×T2	267,63	283,49
14	L6×T2	299,09	288,02
15	L7×T2	295,10	236,31
16	L8×T2	258,12	261,46
17	L1×T3	251,96	256,67
18	L2×T3	251,09	252,35
19	L3×T3	286,11	290,34
20	L4×T3	325,59	312,79
21	L5×T3	353,25	266,64
22	L6×T3	285,62	237,18
23	L7×T3	342,17	268,84
24	L8×T3	214,98	255,33
25	L1×T4	266,29	265,85
26	L2×T4	303,88	271,22
27	L3×T4	297,06	283,80
28	L4×T4	354,13	338,38
29	L5×T4	265,94	271,09
30	L6×T4	296,96	285,04
31	L7×T4	322,41	306,91
32	L8×T4	270,14	271,21
33	L1×T5	223,57	223,29
34	L2×T5	259,86	263,59
35	L3×T5	333,48	356,01
36	L4×T5	396,29	316,84
37	L5×T5	288,90	296,45
38	L6×T5	268,70	270,99
39	L7×T5	259,43	330,97
40	L8×T5	329,57	313,80
Minimum		214,98	219,12
Maksimum		396,29	356,01
Prosek		290,87	280,14
Standardna devijacija		39,48	31,15
Koeficijent varijacije		13,6%	11,1%
Standardna greška		6,24	4,93

Kada su u pitanju roditeljske komponente, očevi hibrida krmnog sirka, interval variranja za površinu zelenog lista u prvoj godini kretao se od 180,66-300,90 cm² sa prosekom 231,86 cm², a u drugoj godini ispitivanja od 203,08-286,52 cm² sa prosekom 232,59 cm² (tabela 33). Minimalne srednje vrednosti ostvarile su linije sudanske trave L6 u 2019. i L8 u 2020. godini ispitivanja, a maksimalne L8 (prva) i L3 (druga godina).

Tabela 33. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za površinu zelenog lista (cm²) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	232,84	209,28
42	L2	221,76	219,97
43	L3	208,82	286,52
44	L4	254,08	244,91
45	L5	230,40	210,50
46	L6	180,66	206,29
47	L7	225,45	280,20
48	L8	300,90	203,08
Minimum		180,66	203,08
Maksimum		300,90	286,52
Prosek		231,86	232,59
Standardna devijacija		34,97	33,98
Koeficijent varijacije		15,1%	14,6%
Standardna greška		12,36	12,01

Tabela 34. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za površinu zelenog lista (cm²) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	271,03	216,01
50	T2	205,84	176,67
51	T3	231,21	187,10
52	T4	243,10	244,00
53	T5	319,37	275,25
Minimum		205,84	176,67
Maksimum		319,37	275,25
Prosek		254,11	219,81
Standardna devijacija		43,36	40,63
Koeficijent varijacije		17,1%	18,5%
Standardna greška		19,39	18,17

Interval variranja srednjih vrednosti za površinu lista u zelenom stanju kod ispitivanih testera u toku 2019. kretao se od 205,84-319,37 cm² sa koeficijentom varijacije 17,1% i prosekom 254,11 cm² i od 176,67-275,25 cm², sa koeficijentom varijacije 18,5% i prosekom 219,81 cm² u 2020. godini (tabela 34). U toku dvogodišnjeg istraživanja majčinska linija sirka za zrno T2 izdvojila se ostvarivanjem najniže srednje vrednosti, dok je T5 tester koji je ostvario maksimalne vrednosti u obe godine.

Od 7 ispitivanih komercijalnih hibrida, po ostvarivanju najnižih vrednosti za površinu zelenog lista istakao se KH1 u obe godine, dok je najviše vrednosti imao hibrid KH4 (tabela 35). Interval variranja za ovu grupu ispitivanih genotipova u prvoj godini kretao se od 263,64-500,63 cm², sa

prosekom 389,69 cm² i koeficijentom varijacije 20,3%, dok su se u drugoj godini vrednosti kretale od 227,86 cm² do 456,39 cm² sa prosekom 363,00 cm² i koeficijentom varijacije 20,7%.

Tabela 35. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za površinu zelenog lista (cm²) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
54	KH1	263,64	227,86
55	KH2	339,29	358,40
56	KH3	415,44	323,20
57	KH4	500,63	456,39
58	KH5	352,76	428,42
59	KH6	398,18	353,50
60	KH7	457,92	393,28
Minimum		263,64	227,86
Maksimum		500,63	456,39
Prosek		389,69	363,00
Standardna devijacija		79,05	75,14
Koeficijent varijacije		20,3%	20,7%
Standardna greška		29,88	28,40

Addai i Alimiawo (2015) su prilikom ispitivanja uticaja različitih tretmana đubrenja na tri sorte sirka, ustanovili visoku pozitivnu korelaciju ukupne površine lista po jedinici površine (LAI; *leaf area index*) sa dužinom metlice i sa brojem listova. Analizom varijanse ustanovljena je značajna varijabilnost 30 ispitivanih genotipova krmnog sirka u agroekološkim uslovima Indije za površinu lista, kao i visoka heritabilnost za ovu osobinu (Ahalawat et al., 2018). Pholsen i Sornsungnoen (2004) su ispitivali uticaj različitih tretmana azotnih i kalijumovih đubrenja, kao i različite razmake biljaka u redu na krmni sirak u različitim fazama i dobili prosečne vrednosti za površinu lista 3 nedelje nakon nicanja u intervalu od 1.059,00 do 1.920,00 cm² po biljci. Vrednosti za ovu osobinu 11 nedelja nakon nicanja bile su značajno veće i kretale su se od 2.346,00 do 4.880,00 cm² po biljci. Primenom inovativnih metoda određivanja površine lista, u poljskom ogledu sa različitim tretmanima navodnjavanja u više fenoloških faza, ustanovljeno je da se sa povećanjem norme navodnjavanja, povećava i LAI, a najviša vrednost postignuta je 91 i 97 dana nakon setve sirka, nakon čega je indeks lisne površine počeo da opada (Tunca et al., 2024).

Najveću površinu zelenog lista imali su komercijalni i eksperimentalni hibridi, dok su sudanska trava i sirak za zrno imali znatno manje vrednosti. Ova osobina je od posebnog značaja jer veća lisna površina omogućava efikasniju fotosintezu i veću produkciju biomase.

6.1.9. Dužina metlice

Dužina metlice, kao generativnog organa, odražava potencijal biljke za formiranje zrna. U kontekstu dvonamenske upotrebe sirka, duža metlica može predstavljati poželjnu osobinu jer ukazuje na veću plodnost i mogućnost dobijanja kvalitetnog zrna, pored zelene mase. Međutim, preterano razvijena metlica može povući resurse iz vegetativnog dela biljke, što treba uzeti u obzir prilikom selekcije zavisno od namene proizvodnje. Dužina metlice merena je od vrha do bazalnog dela najniže formirane grane, bez učešća drške metlice. Srednje vrednosti ove osobine i deskriptivni statistički parametri prikazani su po kategorijama za sve ispitivane genotipove u tabelama 36, 37, 38 i 39.

Interval variranja srednjih vrednosti kod eksperimentalnih hibrida za dužinu metlice kretao se od 21,39-37,92 cm, sa prosekom 27,34 cm i koeficijentom varijacije 13,2% u 2019. godini i imao je približne vrednosti kao i u drugoj godini ispitivanja, 20,30-38,43 cm, prosek 26,79 cm i koeficijent varijacije 12,5% (tabela 36). U toku prve godine ispitivanja, najniže vrednosti za dužinu metlice imala je roditeljska kombinacija L3×T3, a u drugoj godini L6×T3. Po maksimalnim vrednostima za ovu osobinu u obe godine ispitivanja istakao se hibrid L8×T1.

Srednje vrednosti za dužinu metlice linija sudanske trave, kao roditeljske komponente za proizvodnju hibrida krmnog sirka, kretale su se od 20,60-37,05 cm, sa prosekom 28,06 cm u prvoj i od 22,82-33,50 cm, sa prosekom 27,78 cm u drugoj godini ispitivanja (tabela 37). Linije L3 i L2, ostvarile su minimalne vrednosti za ovu osobinu u prvoj, odnosno, u drugoj godini ogleda. L8 je linija sudanske trave koja je u obe godine postigla maksimalne vrednosti.

Deskriptivni statistički parametri pokazali su da je interval variranja za dužinu metlice kod ispitivanih testera bio od 18,20-27,53 cm, sa prosekom 21,90 cm i koeficijentom variranja 17,5% u 2019. godini i od 16,23-21,82 cm, sa prosekom 19,79 cm i koeficijentom variranja 11,6% u toku 2020. godine (tabela 38). Najniže vrednosti ostvarili su tester T2 u prvoj i T3 u drugoj godini, a najviše T1 (2019. godina) i T4 (2020. godina).

Komercijalni hibridi korišćeni u poljskom ogledu ostvarili su srednje vrednosti za dužinu metlice od 33,24-43,35 cm, sa prosekom 39,56 cm i koeficijentom variranja 10,1% u prvoj godini, a u drugoj vrednosti od 29,32-35,87 cm, sa prosekom 33,61 i niskim koeficijentom variranja 6,7% (tabela 39). Komercijalni hibrid KH5 istakao se minimalnom srednjom vrednošću za ovu osobinu u prvoj godini, dok je hibrid KH2 imao najniže vrednosti u drugoj godini. Tokom obe godine ispitivanja, komercijalni hibrid KH4 ostvario je najviše vrednosti.

U istraživanju Thakare et al. (2014) ispitivane su kombinacione sposobnosti 40 eksperimentalnih hibrida sa roditeljskim komponentama (14) i jednim standardom, metodom linija×tester, gde su linije i tester T sa značajnim pozitivnim opštim kombinacionim sposobnostima imali prosečne vrednosti za dužinu metlice od 48,77 do 68,00 cm. Srednje vrednosti tri hibrida sa značajnim pozitivnim posebnim kombinacionim sposobnostima za ovu osobinu iznosile su 49,57 cm, 50,63 cm i 55,50 cm. Tadesse et al. (2008) su ispitivanjem 54 hibrida sirka na dva lokaliteta zabeležili značajnu interakciju genotipa i spoljašnje sredine za dužinu metlice. Hamza et al. (2016) testirali su 19 genotipova sirka za zrno u agroekološkim uslovima Sudana i za dužinu metlice zabeležili interval variranja od 13,31 do 27,33 cm. Vrednosti za dužinu metlice standarda, eksperimentalnih hibrida i njihovih roditeljskih komponenti u jednogodišnjem ispitivanju El-Sherbeny et al. (2019) kretale su se od 21,73 do 36,33 cm.

Tabela 36. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za dužinu metlice (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	31,69	31,47
2	L2×T1	31,73	28,22
3	L3×T1	28,40	27,83
4	L4×T1	34,29	29,70
5	L5×T1	31,57	29,45
6	L6×T1	29,20	26,83
7	L7×T1	32,31	32,67
8	L8×T1	37,92	38,43
9	L1×T2	23,73	24,03
10	L2×T2	25,14	22,10
11	L3×T2	21,48	22,93
12	L4×T2	24,42	25,17
13	L5×T2	28,73	27,83
14	L6×T2	26,65	26,38
15	L7×T2	25,55	25,55
16	L8×T2	31,22	31,70
17	L1×T3	24,91	25,33
18	L2×T3	24,54	24,73
19	L3×T3	21,39	21,73
20	L4×T3	26,89	25,92
21	L5×T3	29,50	28,42
22	L6×T3	24,10	20,30
23	L7×T3	26,09	26,53
24	L8×T3	29,85	30,23
25	L1×T4	27,52	28,07
26	L2×T4	26,56	26,77
27	L3×T4	24,05	21,78
28	L4×T4	23,72	28,30
29	L5×T4	30,26	27,83
30	L6×T4	26,09	25,23
31	L7×T4	30,50	25,78
32	L8×T4	28,61	28,97
33	L1×T5	23,43	23,87
34	L2×T5	23,77	24,20
35	L3×T5	24,05	25,67
36	L4×T5	26,07	24,93
37	L5×T5	26,17	26,40
38	L6×T5	24,22	24,62
39	L7×T5	26,60	27,02
40	L8×T5	30,83	28,55
Minimum		21,39	20,30
Maksimum		37,92	38,43
Prosek		27,34	26,79
Standardna devijacija		3,62	3,36
Koeficijent varijacije		13,2%	12,5%
Standardna greška		0,57	0,53

Tabela 37. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za dužinu metlice (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	29,91	30,90
42	L2	23,46	22,82
43	L3	20,60	29,40
44	L4	27,43	25,63
45	L5	34,78	27,83
46	L6	23,59	23,85
47	L7	27,64	28,27
48	L8	37,05	33,50
Minimum		20,60	22,82
Maksimum		37,05	33,50
Prosek		28,06	27,78
Standardna devijacija		5,69	3,59
Koeficijent varijacije		20,3%	12,9%
Standardna greška		2,01	1,27

Tabela 38. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za dužinu metlice (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	27,53	20,27
50	T2	18,20	21,68
51	T3	18,54	16,23
52	T4	23,39	21,82
53	T5	21,86	18,97
Minimum		18,20	16,23
Maksimum		27,53	21,82
Prosek		21,90	19,79
Standardna devijacija		3,84	2,30
Koeficijent varijacije		17,5%	11,6%
Standardna greška		1,72	1,03

Tabela 39. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za dužinu metlice (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
54	KH1	36,98	33,93
55	KH2	36,58	29,32
56	KH3	43,29	32,03
57	KH4	43,35	35,87
58	KH5	33,24	33,90
59	KH6	40,45	35,00
60	KH7	43,03	35,20
Minimum		33,24	29,32
Maksimum		43,35	35,87
Prosek		39,56	33,61
Standardna devijacija		4,01	2,26
Koeficijent varijacije		10,1%	6,7%
Standardna greška		1,52	0,85

Komercijalni hibridi izdvojili su se po najvećoj dužini metlice. Nešto manje, ali i dalje visoke vrednosti zabeležene su kod linija sudanske trave, što je karakteristično za ovaj tip sirka i rastresitu formu metlice. Najkraće metlice imali su tester, dok su eksperimentalni hibridi imali srednje vrednosti. Dužina metlice može ukazivati na generativni potencijal i uticati na distribuciju zrna, ali od mnogo većeg značaja za prinos zrna je forma metlice.

6.1.10. Dužina vrata

Dužina vrata predstavlja dužinu internodije između poslednjeg lista, zastavičara, i metlice i ima značajnu ulogu u pozicioniranju metlice. Ova osobina omogućava bolju ekspoziciju metlice svetlosti i olakšava njeno oprašivanje, što je važno za formiranje zrna. Takođe, doprinosi stabilnosti metlice u uslovima vetra. Srednje vrednosti dužine vrata sirka i deskriptivni statistički parametri prikazani su za sve ispitivane genotipove u tabelama 40, 41, 42 i 43.

Tokom ispitivanja, u obe godine, na poljskom ogledu, primećeno je značajno variranje svih ispitivanih genotipova za dužinu vrata, pa je i očekivano da analiza deskriptivnih statističkih parametara pokaže visoke vrednosti za koeficijent varijacije u sve 4 grupe genotipova. Interval variranja za dužinu vrata kod eksperimentalnih hibrida kretao se od 2,12-16,85 cm, sa prosekom 9,37 cm i koeficijentom varijacije 46,0% u toku 2019. godine (tabela 40). U 2020. godini, interval variranja bio je od 1,93-10,02 cm, sa prosekom 5,60 cm i nešto nižim koeficijentom variranja 34,4%. Eksperimentalni hibrid L2×T3 u toku dvogodišnjeg istraživanja, imao je najniže vrednosti za ovu osobinu, dok su hibrid L5×T4 u prvoj i hibrid L2×T1 u drugoj godini imali najduži deo stabljike između završetka metlice i lista zastavičara.

Interval variranja srednjih vrednosti za dužinu vrata, kada su u pitanju linije sudanske trave, kretao se od 7,11-18,06 cm, sa prosečnom vrednošću 12,58 cm i koeficijentom variranja 30,4% u 2019. godini, dok je tokom druge godine variranje bilo od 2,37-5,70 cm sa prosekom 4,01 cm i koeficijentom variranja 35,4% (tabela 41). Linija L8 imala je tokom obe godine najniže vrednosti za ovu osobinu, dok su linije L2 u prvoj i L4 i L6 u drugoj godini ostvarile maksimalne vrednosti.

Tabela 40. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za dužinu vrata (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	14,45	5,33
2	L2×T1	14,21	10,02
3	L3×T1	8,86	6,73
4	L4×T1	7,92	4,67
5	L5×T1	8,63	2,30
6	L6×T1	11,08	8,02
7	L7×T1	6,47	6,57
8	L8×T1	7,88	7,70
9	L1×T2	2,17	1,97
10	L2×T2	11,00	6,95
11	L3×T2	5,34	8,50
12	L4×T2	10,67	6,73
13	L5×T2	12,33	7,83
14	L6×T2	7,49	4,82
15	L7×T2	11,87	5,57
16	L8×T2	7,85	8,05
17	L1×T3	3,47	3,63
18	L2×T3	2,12	1,93
19	L3×T3	5,29	5,33
20	L4×T3	10,90	2,72
21	L5×T3	14,93	8,07
22	L6×T3	14,04	3,97
23	L7×T3	12,64	4,73
24	L8×T3	6,20	6,37
25	L1×T4	5,64	5,65
26	L2×T4	14,83	6,73
27	L3×T4	12,72	7,02
28	L4×T4	12,11	4,80
29	L5×T4	16,85	5,13
30	L6×T4	14,17	4,67
31	L7×T4	14,83	5,67
32	L8×T4	6,77	6,83
33	L1×T5	3,13	3,25
34	L2×T5	3,00	2,98
35	L3×T5	7,46	5,20
36	L4×T5	13,27	5,17
37	L5×T5	4,70	4,77
38	L6×T5	3,60	3,48
39	L7×T5	7,46	7,15
40	L8×T5	16,40	7,05
Minimum		2,12	1,93
Maksimum		16,85	10,02
Prosek		9,37	5,60
Standardna devijacija		4,31	1,93
Koeficijent varijacije		46,0%	34,4%
Standardna greška		0,68	0,30

Tabela 41. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za dužinu vrata (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	13,86	3,43
42	L2	18,06	3,23
43	L3	12,63	3,33
44	L4	11,73	5,70
45	L5	10,00	5,63
46	L6	17,56	5,70
47	L7	9,68	2,70
48	L8	7,11	2,37
Minimum		7,11	2,37
Maksimum		18,06	5,70
Prosek		12,58	4,01
Standardna devijacija		3,82	1,42
Koeficijent varijacije		30,4%	35,4%
Standardna greška		1,35	0,50

Tabela 42. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za dužinu vrata (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	4,56	3,57
50	T2	3,20	3,03
51	T3	5,23	7,10
52	T4	5,43	3,88
53	T5	9,15	5,17
Minimum		3,20	3,03
Maksimum		9,15	7,10
Prosek		5,51	4,55
Standardna devijacija		2,21	1,63
Koeficijent varijacije		40,1%	35,8%
Standardna greška		0,99	0,73

Linije sirka za zrno, u ovom istraživanju u ulozi testera, odlikuju se kratkim delom između metlice i zastavičara, pa su ovakvi rezultati bili očekivani (tabela 42). Interval variranja za ovu grupu i ovu osobinu u prvoj godini ispitivanja kretao se od 3,20-9,15 cm, sa prosekom 5,51 cm i koeficijentom varijacije 40,1%, a u drugoj godini od 3,03-7,10 cm, sa prosekom 4,55 cm i koeficijentom variranja 35,8%. Tester sa najnižim vrednostima za dužinu vrata bio je T2 u obe godine, dok su testeri T5 u prvoj i T3 u drugoj imali najduži deo između metlice i lista zastavičara.

Kada su u pitanju komercijalni hibridi, interval variranja za dužinu vrata u prvoj godini kretao se od 0,31-16,58 cm, sa prosekom 6,00 cm i najvećim koeficijentom variranja od 111,3%, dok su vrednosti tokom 2020. godine bile od 2,38-10,63 cm, sa prosekom 4,92 cm i koeficijentom varijacije 59,5% (tabela 43). Hibridi KH7 i KH2 imali su najniže vrednosti u godinama ispitivanja, dok je komercijalni hibrid KH6 u obe godine ostvario najveće vrednosti za dužinu vrata.

Tabela 43. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za dužinu vrata (cm) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
54	KH1	14,21	4,20
55	KH2	5,43	2,38
56	KH3	2,93	3,43
57	KH4	0,33	3,83
58	KH5	2,23	7,03
59	KH6	16,58	10,63
60	KH7	0,31	2,93
Minimum		0,31	2,38
Maksimum		16,58	10,63
Prosek		6,00	4,92
Standardna devijacija		6,68	2,93
Koeficijent varijacije		111,3%	59,5%
Standardna greška		2,52	1,11

Dužina vrata je bitna karakteristika kako krmnog sirka, tako i sirka za zrno i u negativnoj je korelaciji sa brojem zrna po metlici (Kumar et al., 2013; Aruna i Audilakshmi, 2008). Značajna variranja dužine vrata sirka između ispitivanih genotipova zabeležili su i Tadesse et al. (2008). Analizom fenotipske varijacije 315 akcesija sirka za 9 parametara značajnih za arhitekturu biljke sirka, ocenjena je i dužina vrata čije su se vrednosti kretale u rasponu od 0,02 do 39,03 cm (Zhao et al., 2016). Na osnovu jednogodišnjih rezultata analize 25 genotipova sirka, izvršeno je njihovo grupisanje za vrednosti dužine vrata na genotipove sa: jako kratkim <5,1 cm – 7 genotipova, kratkim 5,1-10 cm – 8 genotipova, srednjim 10,1-15 cm - 5 genotipova i dugačkim vratom 15,1-20 cm – 5 genotipova (Rohila et al. 2018).

Vrednosti dužine vrata sirka razlikovale su se po godinama, pa je tako najduži vrat u prvoj godini testiranja imala sudanska trava, a zatim eksperimentalni hibridi, i njihove vrednosti su odstupale značajno od vrednosti ove osobine kod ostalih tipova sirka. U drugoj godini ispitivanja sve kategorije genotipova imale su približne vrednosti za dužinu dela između osnove metlice i zastavičara. Ova osobina zajedno sa dužinom i formom metlice ima značajnu ulogu u procesu oprašivanja biljaka sirka.

6.1.11. Prinos zelene krme

Prinos zelene krme je jedna od najvažnijih produktivnih osobina u proizvodnji krmnih vrsta, jer direktno određuje količinu sveže biomase dostupne za ishranu stoke. Ova osobina je pod uticajem brojnih morfoloških i fenoloških faktora, a u uslovima adekvatne agrotehnike, genotipovi sa stabilno visokim prinosom predstavljaju ekonomski najisplativije rešenje. Pored količine, važna je i stabilnost prinosa kroz različite godine i lokalitete, što dodatno pojačava značaj ove osobine u selekciji. Prosečne vrednosti ostvarenih prinosa zelene krme iz tri ponavljanja za ispitivane genotipove prikazani su u tabelama 44, 45, 46 i 47, kao i vrednosti deskriptivnih statističkih parametara.

Ukupan prinos zelene krme izražen u tonama po hektaru značajno je varirao u sve četiri grupe ispitivanih genotipova, pa je najniži bio kod sirka za zrno, a najviši kod već priznatih i komercijalizovanih hibrida krmnog sirka, od kojih su se dva izdvojila dostizanjem više od 100 t/ha.

Interval variranja za prinos zelene mase kod eksperimentalnih hibrida u 2019. godini kretao se od 29,82-82,61 t/ha, sa prosekom od 52,07 t/ha i koeficijentom varijacije 21,3% (tabela 44). Tokom 2020. godine, interval variranja bio je nešto viši, od 41,44-92,53 t/ha, sa prosekom 61,37 t/ha i koeficijentom variranja 20,6%. Najprinosniji eksperimentalni hibridi krmnog sirka bili su L6×T5 u prvoj i L5×T4 u drugoj godini, dok su hibridi L3×T4 i L2×T2 ostvarili najniže prinose u godinama ispitivanja.

Srednje vrednosti roditeljskih linija za prinos zelene mase kretale su se od 37,35-66,64 t/ha sa prosekom 46,73 t/ha i koeficijentom variranja 21,3% u prvoj godini, dok su vrednosti u drugoj godini bile od 42,90-75,86 t/ha sa prosekom 54,54 t/ha i koeficijentom variranja 20,1% (tabela 45). Najniži prinos u obe godine ispitivanja ostvarila je linija sudanske trave L1, dok su linije L7 u 2019. i L8 u 2020. godini imale maksimalni prinos zelene krme.

Deskriptivni statistički parametri za prinos zelene mase kod testera pokazali su variranje od 28,28-52,26 t/ha u prvoj i od 20,72-55,30 t/ha u drugoj godini poljskog ogleda (tabela 46). Koeficijent variranja 2019. godine bio je 21,8% dok je 2020. godine iznosio 35,3%. Među ispitivanim testerima u prvoj godini istakle su se linije sirka za zrno T1 po najnižem i T2 po najvišem ostvarenom prinosu, dok su tokom 2020. godine linije T3 i T4 imale minimalne, odnosno maksimalne prinose zelene krme.

Kada su u pitanju standardi korišćeni u ovom poljskom ogledu, interval variranja za prinos zelene mase u prvoj godini kretao se od 47,08-83,85 t/ha, sa prosečnom vrednošću od 65,67 t/ha i koeficijentom variranja 19,3% (tabela 47). Tokom 2020. godine prinos je dostigao veće vrednosti i kretale su se od 61,86-107,31 t/ha zelene mase, sa prosekom od 87,45 t/ha i koeficijentom variranja 20,4%. Posebno su se istakli komercijalni hibridi KH3 u prvoj i KH2 u drugoj godini, ostvarivanjem maksimalnog prinosa zelene mase, dok su hibridi KH6 i KH1 imali najniže prinose u godinama ispitivanja.

Erdurmus et al. (2021) u svom istraživanju za maksimalne prinose zelene krme navode vrednosti od 99,1 t/ha na jednom od ispitivanih lokaliteta. Koeficijent varijacije za prinos zelene krme 24 genotipova krmnog sirka iznosio je 9,66% (Lima et al., 2017). Ahalawat et al. (2018) zabeležili su u ispitivanju 30 genotipova krmnog sirka za prinos zelene krme visok fenotipski i genotipski koeficijent varijacije i visoku heritabilnost. Bozorgvar et al. (2013) su ispitivali tri hibrida krmnog sirka za prinos zelene krme u agroekološkim uslovima Irana, a njihove vrednosti su se kretale od 51,66 do 96,98 t/ha.

Tabela 44. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za prinos zelene krme (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	54,96	59,99
2	L2×T1	62,16	60,17
3	L3×T1	41,07	63,28
4	L4×T1	61,76	67,10
5	L5×T1	59,87	66,08
6	L6×T1	59,19	67,85
7	L7×T1	42,80	46,28
8	L8×T1	49,79	56,19
9	L1×T2	72,45	72,11
10	L2×T2	39,34	41,44
11	L3×T2	34,37	53,82
12	L4×T2	41,61	55,96
13	L5×T2	48,24	48,24
14	L6×T2	52,95	55,99
15	L7×T2	43,01	51,57
16	L8×T2	45,60	47,35
17	L1×T3	59,72	71,31
18	L2×T3	39,70	48,95
19	L3×T3	57,15	54,59
20	L4×T3	60,68	67,32
21	L5×T3	55,80	89,34
22	L6×T3	46,19	79,24
23	L7×T3	46,96	73,26
24	L8×T3	41,18	47,25
25	L1×T4	71,38	46,98
26	L2×T4	57,85	56,32
27	L3×T4	29,82	45,84
28	L4×T4	51,47	88,25
29	L5×T4	54,56	92,53
30	L6×T4	55,18	69,91
31	L7×T4	53,70	71,91
32	L8×T4	36,26	48,07
33	L1×T5	57,61	59,43
34	L2×T5	57,79	46,18
35	L3×T5	43,76	63,14
36	L4×T5	48,42	59,82
37	L5×T5	61,11	66,80
38	L6×T5	82,61	74,56
39	L7×T5	64,79	59,26
40	L8×T5	39,77	60,95
Minimum		29,82	41,44
Maksimum		82,61	92,53
Prosek		52,07	61,37
Standardna devijacija		11,11	12,61
Koeficijent varijacije		21,3%	20,6%
Standardna greška		1,76	1,99

Tabela 45. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za prinos zelene krme (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	37,35	42,90
42	L2	45,65	44,91
43	L3	38,91	57,39
44	L4	51,63	63,45
45	L5	53,06	46,82
46	L6	40,16	51,30
47	L7	66,64	53,69
48	L8	40,42	75,86
Minimum		37,35	42,90
Maksimum		66,64	75,86
Prosek		46,73	54,54
Standardna devijacija		9,96	10,96
Koeficijent varijacije		21,3%	20,1%
Standardna greška		3,52	3,88

Tabela 46. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za prinos zelene krme (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	28,28	34,81
50	T2	52,26	33,72
51	T3	43,57	20,72
52	T4	37,73	55,30
53	T5	38,78	32,34
Minimum		28,28	20,72
Maksimum		52,26	55,30
Prosek		40,13	35,38
Standardna devijacija		8,76	12,49
Koeficijent varijacije		21,8%	35,3%
Standardna greška		3,92	5,59

Tabela 47. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za prinos zelene krme (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
54 KH1	53,92	61,86
55 KH2	65,00	107,31
56 KH3	83,85	100,12
57 KH4	69,94	97,66
58 KH5	63,24	96,69
59 KH6	47,08	65,49
60 KH7	76,66	83,01
Minimum	47,08	61,86
Maksimum	83,85	107,31
Prosek	65,67	87,45
Standardna devijacija	12,65	17,80
Koeficijent varijacije	19,3%	20,4%
Standardna greška	4,78	6,73

Komercijalni hibridi ostvarili su najviši prinos zelene krme, a odmah iza njih i eksperimentalni hibridi, što potvrđuje njihov visoki potencijal za proizvodnju biomase. Najniži prinos zabeležen je kod testera, dok su linije sudanske trave imale srednje vrednosti. Ova osobina je ključna za selekciju krmnih genotipova pogodnih za siliranje.

6.1.12. Prinos suve materije

Prinos suve materije pruža realniju sliku nutritivne vrednosti biljke u poređenju sa prinosom zelene mase, jer eliminiše uticaj varijacija u sadržaju vode. Visok prinos suve materije znači veći unos hranljivih materija po jedinici površine. Ova osobina je posebno važna kod poređenja genotipova, jer omogućava identifikaciju onih koji ne samo da formiraju veću količinu biomase, već imaju i veći sadržaj korisnih materija. Proseci ostvarenog prinosa suve materije u tri ponavljanja za eksperimentalne hibride, roditeljske komponente i komercijalne hibride i vrednosti deskriptivnih statističkih parametara, predstavljeni su u tabelama 48, 49, 50 i 51.

Prinos suve materije, uzimajući u obzir sadržaj suve materije, pratio je vrednosti prinosa zelene mase, pa su u proseku najviše prinose dostigli komercijalni hibridi, a najniže roditeljske komponente, pre svega testeri, a nakon njih i linije. Pojedini eksperimentalni hibridi nadmašili su vrednosti standarda za ovu osobinu u godinama ispitivanja (tabela 48). Interval variranja za prinos novonastalih hibrida krmnog sirka u 2019. godini kretao se od 11,45-33,13 t/ha suve materije, sa prosekom od 18,91 t/ha, dok je tokom 2020. godine prinos varirao od 10,60-44,89 t/ha, sa prosekom 23,94 t/ha suve materije. Hibridi L3×T2 i L1×T5 imali su najniže prinose suve materije, dok su L6×T5 i L4×T4 hibridi sa najvišim prinosima u godinama ispitivanja.

Interval variranja za prinos suve materije kod linija sudanske trave kretao se od 12,28-20,36 t/ha u prvoj i od 9,63-27,30 t/ha u drugoj godini poljskog oglada (tabela 49). Za razliku od prinosa zelene krme, linija L1 je samo u 2019. godini imala najniži prinos, a 2020. godine je to bila linija L5. Po dostizanju maksimalnog prinosa istakle su se linije L7 u prvoj i L3 u drugoj godini.

Tabela 48. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za prinos suve materije (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
1	L1×T1	21,12	22,79
2	L2×T1	21,85	23,52
3	L3×T1	16,79	25,30
4	L4×T1	21,26	25,72
5	L5×T1	20,65	25,29
6	L6×T1	23,15	28,57
7	L7×T1	14,56	15,34
8	L8×T1	16,61	15,11
9	L1×T2	28,13	24,82
10	L2×T2	14,15	13,62
11	L3×T2	11,45	20,66
12	L4×T2	12,91	19,98
13	L5×T2	16,73	18,61
14	L6×T2	18,57	24,99
15	L7×T2	15,90	19,79
16	L8×T2	16,89	16,79
17	L1×T3	31,40	31,86
18	L2×T3	16,09	18,99
19	L3×T3	18,25	17,19
20	L4×T3	21,24	28,42
21	L5×T3	18,42	36,84
22	L6×T3	15,05	28,67
23	L7×T3	16,82	31,61
24	L8×T3	13,99	15,42
25	L1×T4	27,98	17,04
26	L2×T4	21,44	25,32
27	L3×T4	11,91	18,06
28	L4×T4	17,21	44,89
29	L5×T4	21,15	41,62
30	L6×T4	19,54	26,58
31	L7×T4	17,11	28,60
32	L8×T4	15,56	21,08
33	L1×T5	15,07	10,60
34	L2×T5	21,86	17,52
35	L3×T5	18,10	29,48
36	L4×T5	14,81	22,31
37	L5×T5	22,07	20,49
38	L6×T5	33,13	30,43
39	L7×T5	22,32	20,93
40	L8×T5	15,00	32,61
Minimum		11,45	10,60
Maksimum		33,13	44,89
Prosek		18,91	23,94
Standardna devijacija		4,91	7,42
Koeficijent varijacije		26,0%	31,0%
Standardna greška		0,78	1,17

Tabela 49. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za prinos suve materije (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
41	L1	12,28	15,64
42	L2	13,69	15,59
43	L3	15,35	27,30
44	L4	16,49	19,19
45	L5	18,02	9,63
46	L6	12,71	20,53
47	L7	20,36	20,20
48	L8	13,54	26,46
Minimum		12,28	9,63
Maksimum		20,36	27,30
Prosek		15,31	19,32
Standardna devijacija		2,83	5,83
Koeficijent varijacije		18,5%	30,2%
Standardna greška		1,00	2,06

Tabela 50. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za prinos suve materije (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
49	T1	9,52	7,80
50	T2	13,71	8,52
51	T3	11,35	4,62
52	T4	13,30	20,10
53	T5	10,12	10,14
Minimum		9,52	4,62
Maksimum		13,71	20,10
Prosek		11,60	10,24
Standardna devijacija		1,87	5,87
Koeficijent varijacije		16,1%	57,3%
Standardna greška		0,83	2,62

Srednje vrednosti testera za prinos suve materije varirale su u intervalu od 9,52-13,71 t/ha, sa prosekom 11,60 t/ha u prvoj i od 4,62-20,10 t/ha, sa prosekom 10,24 t/ha u drugoj godini poljskog ogleda (tabela 50). Interval variranja za ovu osobinu u 2020. godini bio je veći, pa je iz tog razloga i koeficijent variranja bio izrazito visok, 57,3%, dok je u 2019. godini on iznosio 16,1%. Naročito su se istakli testeri T2 i T4, postizanjem maksimalnih prinosa u godinama ispitivanja, dok su testeri T1 i T3 ostvarili najniže prinose suve materije.

Srednje vrednosti komercijalnih hibrida iz tri ponavljanja za prinos suve materije kretale su se od 19,91-33,10 t/ha, sa prosečnom vrednošću 27,12 t/ha i koeficijentom variranja 17,3% u 2019. godini i od 27,88-45,86 t/ha, sa prosekom 39,25 t/ha i koeficijentom variranja 19,5% tokom 2020. godine (tabela 51). Komercijalni hibridi KH6 i KH1, izdvojili su se po najnižem proseku suve materije, dok su hibridi KH3 i KH2 ostvarili maksimalne prinose.

Tabela 51. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za prinos suve materije (t/ha) u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
54 KH1	22,46	27,88
55 KH2	26,78	45,86
56 KH3	33,10	45,69
57 KH4	28,62	41,39
58 KH5	27,25	40,84
59 KH6	19,91	28,90
60 KH7	31,70	44,20
Minimum	19,91	27,88
Maksimum	33,10	45,86
Prosek	27,12	39,25
Standardna devijacija	4,70	7,67
Koeficijent varijacije	17,3%	19,5%
Standardna greška	1,78	2,90

U istraživanjima drugih autora, maksimalne vrednosti prinosa suve materije sirka u zalivnom sistemu bile su 16,3 t/ha (Saeed i El-Nadi, 1998). Ukupan prinos suve materije različitih genotipova sirka i sudanske trave, dobijen iz tri otkosa, pod uticajem različitih setvenih normi, u agroekološkim uslovima Bugarske, varirao je u intervalu od 14,6 do 39,3 t/ha u prvoj i od 20,0 do 48,8 u drugoj godini ispitivanja (Kikindonov et al., 2013). Vrednosti prinosa suve materije tri ispitivana hibrida krmnog sirka kretale su se u intervalu 20,56-30,07 t/ha (Bozorgvar et al., 2013). Autori Mahmood et al. (2013) i Carmi et al. (2006) zaključili su da visok prinos suve materije, kao i visok procenat ADF i NDF mogu biti rezultat većih količina padavina kao i dodatnog navodnjavanja useva.

Najveći prinosi suve materije ostvareni su kod komercijalnih i eksperimentalnih hibrida, što ih čini pogodnim za krmnu proizvodnju. Najmanje vrednosti imale su linije sirka za zrno, dok su linije oparašivača imale umerene prinose. Visok prinos suve materije je odlučujući parametar za procenu ekonomske vrednosti genotipova.

6.1.13. Kvalitet biomase

Osobine koje se odnose na kvalitet krme – ukupne rastvorljive čvrste materije (TSS), sadržaj kiselih deterdžentskih vlakana (ADF), neutralnih deterdžentskih vlakana (NDF) i kisele frakcije lignina (ADL), predstavljaju ključne parametre za procenu nutritivne vrednosti biomase. Visok sadržaj TSS ukazuje na veći udeo rastvorenih šećera, što doprinosi poboljšanoj fermentaciji tokom siliranja i povećava energetska vrednost krme. Nasuprot tome, povišene vrednosti ADF, NDF i naročito ADL povezane su sa smanjenom svarljivošću i lošijim iskorišćavanjem hranljivih materija kod preživara. Zbog toga su niže vrednosti vlaknastih frakcija poželjne osobine u oplemenjivanju, jer omogućavaju dobijanje genotipova sa boljim nutritivnim karakteristikama. Balans između visoke biomase i dobrog kvaliteta krme predstavlja glavni izazov u selekciji, pri čemu ovi parametri igraju presudnu ulogu. Uključivanje analiza kvaliteta u ranu fazu selekcije omogućava identifikaciju superiornih genotipova koji zadovoljavaju kako kvantitativne, tako i nutritivne zahteve savremene stočarske proizvodnje. U tabelama 52, 53, 54 i 55 predstavljene su prosečne vrednosti ispitivanih parametara kvaliteta za sve testirane kategorije sirka u 2020. godini, kao i vrednosti deskriptivnih statističkih parametara.

Interval variranja srednjih vrednosti eksperimentalnih hibrida za parametre vlakana kretao se od 30,38-44,65% sa prosekom 39,28% za ADF, od 42,88-60,39% sa prosekom 54,25% za NDF i od 5,55-9,45% sa prosekom 7,61% za ADL (tabela 52). Relativna hranljiva vrednost za ovu grupu genotipova kretala se u intervalu od 85,00-141,65% sa prosekom 101,34%, dok je TSS bio od 1,50-17,50 °Brix, sa prosekom 8,91 °Brix i koeficijentom variranja 52,9%. Posebno se istakao hibrid L3×T3 ostvarivanjem najpovoljnijih vrednosti kada su parametri kvaliteta u pitanju, najniži procenti vlakana ADF, NDF i ADL, maksimalna vrednost za relativnu hranljivu vrednost i izrazito visok sadržaj šećera u rastvoru. Pored njega, po kvalitetu se istakla i kombinacija L3×T5, sa maksimalnim sadržajem TSS i zadovoljavajućim ostalim ispitivanim parametrima. Najlošije po pitanju kvaliteta pokazali su se eksperimentalni hibridi L2×T3 sa visokim sadržajem ADF, L5×T4 sa visokim procentom NDF i niskom hranljivom vrednošću, L4×T1 sa maksimalnim sadržajem lignina i hibrid L4×T5 sa najnižim TSS.

Srednje vrednosti za parametre kvaliteta restorer linija sudanske trave kretale su se od 36,22-45,41% sa prosekom 41,26% i koeficijentom variranja 7,2% za ADF, od 53,76-64,00% sa prosekom 58,62% i koeficijentom variranja 5,7% za NDF, od 6,84-8,28% sa prosekom 7,46% i koeficijentom variranja 6,4% za ADL, od 78,87-105,30% sa prosekom 90,85% i koeficijentom variranja 9,6% za RFV i od 3,25-16,50 °Brix sa prosekom 8,78 °Brix i veoma visokim koeficijentom variranja od 57,6% za TSS (tabela 53). Najpovoljnije vrednosti za većinu parametara kvaliteta imala je linija sudanske trave L3, niski procenti ADF i NDF i maksimalna hranljiva vrednost među ispitivanim linijama. Linija L2 istakla se minimalnim TSS i najnižim, a linija L4 najvišim, sadržajem lignina. Linija L1 istakla se ostvarivanjem maksimalnih vrednosti za TSS, ali i najlošijim vrednostima za ostale ispitivane parametre kvaliteta, ADF, NDF i RFV.

Kada su u pitanju parametri kvaliteta za ispitivane testere, intervali variranja kretali su se od 37,43-42,33% sa prosekom 39,03% i koeficijentom varijacije 5,1% za ADF, od 51,44-59,98% sa prosekom 54,86% i koeficijentom varijacije 6,2% za NDF, od 5,38-7,37% sa prosekom 6,45% i koeficijentom varijacije 13,5% za ADL, od 87,32-107,15% sa prosekom 100,26% i koeficijentom varijacije 8,3% za relativnu hranljivu vrednost i od 7,00-16,00 °Brix sa prosekom 11,85 °Brix i koeficijentom variranja 32,8% (tabela 54). Tester T1 istakao se najnepovoljnijim procentom ADL, dok je tester T3 imao najnepovoljnije ostale parametre kvaliteta, ADF, NDF i RFV. Najniži sadržaj TSS imala je linija sirka za zrno T5, dok je za ostale parametre ostvarila najpovoljnije vrednosti, NDF, ADL i RFV. Testeri T2 i T4 pokazali su najbolje vrednosti za ADF, odnosno TSS u okviru svih ispitivanih cms linija.

Interval variranja za parametre kvaliteta kod komercijalnih hibrida kretao se od 44,61-52,90% sa prosekom 48,04% i koeficijentom variranja 5,8% za ADF, od 56,84-69,54% sa prosekom 63,23% i koeficijentom variranja 6,7% za NDF, od 6,69-8,02% sa prosekom 7,44% i koeficijentom variranja 6,6% za ADL, od 63,79-89,70% sa prosekom 76,47% i koeficijentom variranja 11,0% za RFV i od 7,00-12,00 °Brix sa prosekom 10,01 °Brix i koeficijentom variranja 17,6% za TSS (tabela 55). Komercijalni hibrid KH6 izdvojio se ostvarivanjem najpovoljnijih vrednosti za skoro sve ispitivane parametre kvaliteta, ADF, NDF, RFV i TSS, dok je hibrid KH3 imao najniži sadržaj lignina. Komercijalni hibridi sa najlošijim parametrima kvaliteta bili su KH2 za ADL, KH4 za ADF, NDF i RFV i KH5 za TSS.

Tabela 52. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri eksperimentalnih hibrida za parametre kvaliteta biomase.

	Genotip	ADF (%)	NDF (%)	ADL (%)	RFV (%)	TSS (°Brix)
1	L1×T1	39,92	54,43	6,68	98,81	12,50
2	L2×T1	38,68	58,33	6,57	95,44	7,00
3	L3×T1	33,51	48,94	6,69	119,32	11,50
4	L4×T1	42,63	59,20	9,45	89,14	5,00
5	L5×T1	38,35	53,32	9,37	103,01	14,50
6	L6×T1	37,87	51,19	7,20	109,20	13,50
7	L7×T1	36,34	53,01	9,11	106,34	12,00
8	L8×T1	38,11	54,39	7,82	101,25	4,00
9	L1×T2	39,19	53,75	6,73	103,53	10,50
10	L2×T2	37,17	55,34	8,88	101,68	5,50
11	L3×T2	41,91	57,88	7,49	94,07	13,50
12	L4×T2	37,57	54,01	6,69	103,11	7,75
13	L5×T2	39,47	51,21	8,30	105,60	6,00
14	L6×T2	41,48	53,26	8,67	98,81	9,00
15	L7×T2	39,18	50,80	8,16	107,82	8,00
16	L8×T2	40,30	52,42	9,37	102,38	3,50
17	L1×T3	38,86	53,05	6,53	102,81	4,75
18	L2×T3	44,65	55,57	7,81	91,48	9,00
19	L3×T3	30,38	42,88	5,55	141,65	17,00
20	L4×T3	43,34	55,25	8,21	92,84	11,50
21	L5×T3	39,58	53,92	7,55	100,82	10,05
22	L6×T3	35,70	52,92	6,60	108,39	15,75
23	L7×T3	37,47	52,94	7,75	104,91	3,25
24	L8×T3	41,16	57,50	7,75	92,19	4,00
25	L1×T4	40,31	56,58	7,72	94,53	14,50
26	L2×T4	40,90	58,05	7,96	92,87	3,25
27	L3×T4	32,99	49,76	6,08	118,24	17,00
28	L4×T4	43,06	59,72	8,03	86,51	12,00
29	L5×T4	43,63	60,39	6,96	85,00	14,50
30	L6×T4	40,67	56,29	6,26	94,88	9,25
31	L7×T4	37,18	52,33	7,67	109,11	8,00
32	L8×T4	43,91	59,96	7,02	85,08	2,50
33	L1×T5	42,04	54,81	8,14	96,53	6,00
34	L2×T5	35,16	47,53	7,60	121,40	4,00
35	L3×T5	34,18	46,98	7,54	123,45	17,50
36	L4×T5	41,88	56,89	6,86	92,07	1,50
37	L5×T5	42,73	57,04	7,82	90,85	2,00
38	L6×T5	39,31	55,32	8,61	98,35	4,50
39	L7×T5	40,62	55,59	7,67	95,85	6,55
40	L8×T5	39,90	57,24	7,42	94,31	14,25
Minimum		30,38	42,88	5,55	85,00	1,50
Maksimum		44,65	60,39	9,45	141,65	17,50
Prosek		39,28	54,25	7,61	101,34	8,91
Standardna devijacija		3,20	3,73	0,93	11,47	4,72
Koeficijent varijacije		8,1	6,9	12,3	11,3	52,9%
Standardna greška		0,51	0,59	0,15	1,81	0,75

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Tabela 53. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri linija oprašivača za parametre kvaliteta biomase.

Genotip		ADF (%)	NDF (%)	ADL (%)	RFV (%)	TSS (°Brix)
41	L1	45,41	64,00	8,02	78,87	16,50
42	L2	40,25	56,98	6,84	93,95	3,25
43	L3	36,22	53,76	7,41	105,30	12,00
44	L4	42,37	60,58	8,28	85,96	6,00
45	L5	42,38	59,00	7,21	88,69	4,00
46	L6	38,41	54,78	7,10	100,49	10,50
47	L7	40,93	59,64	7,29	89,14	13,75
48	L8	44,11	60,23	7,52	84,37	4,25
Minimum		36,22	53,76	6,84	78,87	3,25
Maksimum		45,41	64,00	8,28	105,30	16,50
Prosek		41,26	58,62	7,46	90,85	8,78
Standardna devijacija		2,99	3,33	0,48	8,69	5,06
Koeficijent varijacije		7,2	5,7	6,4	9,6	57,6%
Standardna greška		1,06	1,18	0,17	3,07	1,79

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Tabela 54. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri cms majki – testera za parametre kvaliteta biomase.

Genotip		ADF (%)	NDF (%)	ADL (%)	RFV (%)	TSS (°Brix)
49	T1	39,38	56,41	7,37	96,54	9,00
50	T2	37,43	53,71	6,17	103,97	15,25
51	T3	42,33	59,98	7,32	87,32	12,00
52	T4	37,81	52,79	6,02	106,30	16,00
53	T5	38,20	51,44	5,38	107,15	7,00
Minimum		37,43	51,44	5,38	87,32	7,00
Maksimum		42,33	59,98	7,37	107,15	16,00
Prosek		39,03	54,86	6,45	100,26	11,85
Standardna devijacija		1,98	3,39	0,87	8,35	3,89
Koeficijent varijacije		5,1	6,2	13,5	8,3	32,8%
Standardna greška		0,89	1,51	0,39	3,73	1,74

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Tabela 55. Srednje vrednosti i deskriptivni statistički parametri komercijalnih hibrida za parametre kvaliteta biomase.

	Genotip	ADF (%)	NDF (%)	ADL (%)	RFV (%)	TSS (°Brix)
54	KH1	47,40	63,39	7,45	76,28	8,50
55	KH2	45,21	59,22	8,02	84,35	11,50
56	KH3	48,10	65,94	6,69	72,87	10,10
57	KH4	52,90	69,54	7,64	63,79	9,95
58	KH5	49,12	63,06	7,65	74,83	7,00
59	KH6	44,61	56,84	7,78	89,70	12,00
60	KH7	48,97	64,59	6,86	73,47	11,00
	Minimum	44,61	56,84	6,69	63,79	7,00
	Maksimum	52,90	69,54	8,02	89,70	12,00
	Prosek	48,04	63,23	7,44	76,47	10,01
	Standardna devijacija	2,76	4,20	0,49	8,39	1,76
	Koeficijent varijacije	5,8	6,7	6,6	11,0	17,6%
	Standardna greška	1,04	1,59	0,19	3,17	0,66

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Genotipovi sa *bmr* (*brown midrib*, srednji lisni nerv braon boje) osobinom imali su najniži nivo ADF, NDF i lignina (Bean et al., 2013). Isti autori navode da *bmr* nije imao uticaja na nivo poleganja kada su biljke košene u mlečno-voštanoj fazi zrelosti zrna. Nasuprot tome, drugi autori navode da prisustvo gena za *bmr* u krmnom sirku povećava nutritivnu vrednost biomase, ali negativno utiče na poleganje biljaka i prinos (Pedersen et al., 2005; Contreras-Govea et al., 2010). Buxton i Redfearn (1997) i Contreras-Govea et al. (2010) u svojim istraživanjima tvrde da se u kasnijim fazama sazrevanja snižava svarljivost, tako što raste nivo vlakana i koncentracija lignina. Agrotehničke mere takođe imaju udela u procentu svarljivosti, zato što povećan razmak biljaka u redu utiče na nižu koncentraciju NDF (Carraveta et al., 1990). Istraživanja drugih autora su u saglasnosti da sa sazrevanjem biljaka sirka, od metličenja do punog zrenja, raste procenat lignina, ali tvrde da procenat NDF opada (DePeters et al., 1989; Getachew et al., 2016). Rodrigues et al. (2020) su kao rezultat oglada prijavili visoku varijabilnost ispitivanih genotipova za hemijske osobine kako zelene krme, tako i silirane biomase sirka i navode da su se kod nekih parametara vrednosti razlikovale više od 2,7 puta. U istraživanjima Fekadu et al. (2017) RFV biomase sirka iznosila je 65%. Vrednosti TSS u istraživanju Ekefre et al. (2017) kretale su se u intervalu od 9,4 do 14,9 °Brix. Parlak et al. (2016) su istraživali kvalitet hibrida sirka i sudanske trave u ispaši i shodno tome analizirali procenat NDF, ADF i ADL u više faza. Prosečne vrednosti tokom vegetacionog perioda za ove parametre iznosile su 61,13% NDF; 31,58% ADF i 2,99% ADL. Prilikom testiranja četiri hibrida krmnog sirka američkog i jednog nemačkog porekla, uzorci su uzimani u 5 faza i Dvoračkova et al. (2013) su zabeležili trend rasta vrednosti za ADF, NDF i lignin. U istraživanjima Khalil et al. (2015) najveći sadržaj TSS od 20% ostvaren je kod sorte SS-301, pa iz tog razloga preporučuju ovu sortu kao profitabilnu za proizvodnju bioetanola prve i druge generacije. Rezultati ispitivanja uticaja različitih azotnih đubriva na sadržaj šećera tri sorte sirka pokazali su da ovi tretmani nisu imali značajan efekat na ovu osobinu, i da su vrednosti TSS bile više u fazi fiziološke zrelosti, u odnosu na fazu cvetanja (Almodares et al., 2007). Drugi autori su za analizu kvaliteta biomase sirka ispitivanih genotipova prijavili rezultate ADF 27,5-60,1% NDF 34,2-84,3% i ADL 1,7-12,1% (Kumar et al., 2013). Podder et al. (2020) su u svom istraživanju genotipova sirka na uslove niskih temperatura (niže od 15°), ustanovili da raniji genotipovi postižu bolje prinose kada se seju u ranijem roku, dok na parametre kvaliteta vreme setve nije uticalo. Bolsen et al. (2003) tvrde da je najveći limitirajući faktor silaže sirka, u odnosu na kukuruz, kada je reč o nutritivnim vrednostima, visok sadržaj vlakana.

Kada su u pitanju vrednosti parametara u vezi sa vlaknima, kao i izračunata hranljiva vrednost, prednost u kvalitetu su imali novostvoreni hibridi krmnog sirka i cms linije sirka za zrno. Najniži sadržaj za ADF imali su testeri (sirak za zrno) i eksperimentalni hibridi, što ukazuje na povoljniju svarljivost u odnosu na ostale grupe. Linije oprašivači (sudanska trava) imale su umereno viši ADF, dok su komercijalni hibridi zabeležili najvišu vrednost, što potencijalno ograničava njihovu energetska iskorišćenost u obrocima. Eksperimentalni hibridi i testeri pokazali su najniži NDF, što znači bolju konzumaciju krme. Sudanska trava bila je na srednjem nivou kada se posmatra ovaj parametar, dok su komercijalni hibridi imali ubedljivo najveći NDF, ukazujući na viši sadržaj hemiceluloze i celuloze i mogući pad unosa hrane. Testeri su imali najniži ADL, pa se očekuje manja strukturna čvrstina i viša svarljivost. Komercijalni hibridi, oprašivači i eksperimentalni hibridi pokazali su nešto viši lignin. Eksperimentalni hibridi drže vrh po relativnoj hranljivoj vrednosti, prelazeći prag 100 koji se često uzima kao granica za kvalitetnu voluminoznu krmu. Roditeljske komponente – oprašivači i cms linije imaju optimalne vrednosti, dok komercijalni hibridi, zbog visokih vrednosti ADF i NDF, pružaju daleko nižu nutritivnu vrednost. Najviši sadržaj TSS detektovan je kod testera, što doprinosi boljem ukusu. Komercijalni hibridi zauzimaju drugo mesto, dok su eksperimentalni hibridi i oprašivači imali najslabiji TSS. Visok TSS je poželjan za lakoću konzerviranja i poboljšan energetska status krme. Eksperimentalni hibridi istuče se kao najpovoljniji za ishranu preživala: imaju najniže ADF i NDF vrednosti, najviši RFV i optimalan TSS. Komercijalni hibridi, iako najprinosniji i zastupljeni na tržištu, pokazuju nepovoljniji sastav vlakana i nižu relativnu vrednost hrane. Ovakvi rezultati ukazuju na značajan potencijal eksperimentalnih hibrida za dalju selekciju sirka namenjenog ishrani preživala. Postignuti parametri kvaliteta ukazuju na to da ovi genotipovi prevazilaze karakteristike trenutno registrovanih komercijalnih hibrida u pogledu nutritivne vrednosti. Stoga postoji razlog za prijavu i priznavanje novih, kvalitetnijih hibrida koji bi predstavljali alternativu kada je ishrana preživala u pitanju i doprineli unapređenju stočne proizvodnje.

6.2. Kombinacione sposobnosti

6.2.1. Broj dana od nicanja do metličenja

Tabela 56. Značajnost variranja broja dana od nicanja do metličenja ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	nsz	**
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	**	*
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	**
Linije (očevi)	7	*	**
Testeri (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	**	*

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01

Rezultati analize varijanse ispitivanih linija, testera i njihovih hibridnih kombinacija (tabela 56) pokazali su da postoji značajno variranje u broju dana od nicanja do metličenja sirka u svim izvorima variranja, osim kod testera, odnosno linija sirka za zrno, gde nema značajnog variranja ni u jednoj godini ispitivanja.

Ostvarene vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za broj dana od nicanja do metličenja sirka predstavljene su u tabeli 57. Linija L4 pokazala je najviše i visoko značajne pozitivne vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti tokom obe godine u poređenju sa ostalim ispitivanim linijama. Linija sudanske trave L6 ostvarila je visoko značajne pozitivne vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti samo u drugoj godini ispitivanja. Nasuprot tome, linija L8 imala je najniže i visoko značajne negativne vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti u obe godine, dok je linija L7 ostvarila visoko značajne negativne vrednosti samo u drugoj godini.

Tabela 57. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	0,217	-0,258
L2	0,417	-0,192
L3	-0,850*	0,608
L4	1,750**	4,208**
L5	0,750	-0,525
L6	0,283	3,608**
L7	-0,050	-2,192**
L8	-2,517**	-5,258**
LSD 0,05	0,8102	1,6510
LSD 0,01	1,0720	2,1846
Tester		
T1	-0,825*	-0,067
T2	-0,658*	-1,233
T3	0,383	0,267
T4	0,050	0,058
T5	1,050**	0,975
LSD 0,05	0,6405	1,3052
LSD 0,01	0,8475	1,7271

Kada su u pitanju tester, tester T5 je u obe godine ostvario najviše pozitivne vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti, koje su imale visoku značajnost u 2019. godini. Sa druge strane, tester T1 ostvario je najniže značajne negativne vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti u prvoj godini. Tester T2 ostvario je najniže negativne vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti u toku 2020. godine, dok su vrednosti u prvoj godini bile značajno negativne, ali ne i najniže.

U tabeli 58 su predstavljene ostvarene vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida krmnog sirka za broj dana od nicanja do metličenja. Hibridne kombinacije L2×T5, L7×T5 i L8×T4 ostvarile su značajne pozitivne vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti u toku 2019. godine, dok su eksperimentalni hibridi L5×T4, L7×T2 i L8×T5 imali negativne visoko značajne vrednosti PKS za broj dana od nicanja do metličenja sirka. U toku druge godine ispitivanja, zbog visokih LSD (*least significant difference*, test najmanje značajne razlike) vrednosti, nijedna od ispitivanih hibridnih kombinacija nije prevazišla prag značajnosti LSD 0,01, a prag značajnosti LSD 0,05 prevazišli su hibridi L7×T4 i L8×T1, ostvarivši značajne pozitivne vrednosti PKS i L8×T2 koji je ostvario značajne negativne PKS vrednosti.

Tabela 58. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	0,492	3,467
	T2	-0,008	-0,033
	T3	-0,717	-1,200
	T4	-0,050	-2,325
	T5	0,283	0,092
L2 ×	T1	0,292	-0,267
	T2	-0,875	-0,767
	T3	-0,583	0,067
	T4	-0,917	-0,392
	T5	2,083*	1,358
L3 ×	T1	0,225	-1,733
	T2	1,058	1,100
	T3	-0,317	0,600
	T4	-0,317	-1,858
	T5	-0,650	1,892
L4 ×	T1	-1,042	-2,333
	T2	0,458	3,167
	T3	1,417	2,000
	T4	-0,250	-1,792
	T5	-0,583	-1,042
L5 ×	T1	-0,708	-0,267
	T2	1,458	0,233
	T3	0,417	-1,600
	T4	-2,583**	-0,058
	T5	1,417	1,692
L6 ×	T1	0,092	-2,400
	T2	0,258	0,100
	T3	-0,783	3,600
	T4	0,550	2,142
	T5	-0,117	-3,442
L7 ×	T1	0,425	-1,267
	T2	-3,075**	-0,100
	T3	-0,450	-3,600
	T4	1,217	3,942*
	T5	1,883*	1,025
L8 ×	T1	0,225	4,800*
	T2	0,725	-3,700*
	T3	1,017	0,133
	T4	2,350*	0,342
	T5	-4,317**	-1,575
LSD 0,05		1,8117	3,6918
LSD 0,01		2,3972	4,8849

Većina značajnih pozitivnih PKS vrednosti su ostvarene ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora, osim kod hibridne kombinacije L8×T1 koja je dobijena ukrštanjem negativnih opštih kombinatora. Od četiri hibridne kombinacije sa negativnim značajnim PKS vrednostima dve su dobijene ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg

kombinatora (L5×T4 i L8×T5), dok su druge dve dobijene ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora (L7×T2 i L8×T2). Hibridno ukrštanje sa visokim i poželjnim PKS ne mora uvek biti rezultat ukrštanja dva roditelja sa visokim OKS (Kumari et al., 2018). Nijedna od dobijenih kombinacija eksperimentalnih hibrida nije imala značajnih PKS vrednosti u obe godine ispitivanja.

Tabela 59. Komponente genetičke varijanse za broj dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,1302	0,7436
OKS varijansa	0,0651	0,3718
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	1,5167	2,5403
PKS varijansa	1,5167	2,5403
OKS/OKS	0,0429	0,1464

Analiza komponenti genetičke varijanse pokazala je da su u genetičkoj kontroli gena za nasleđivanje dužine trajanja perioda od nicanja do metličenja biljaka sirka preovlađujuću ulogu u obe godine imali geni sa neaditivnim efektom, odnosno dominacija i epistaza (tabela 59).

Tabela 60. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji broja dana od nicanja do metličenja u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	39,3207	62,9015
Doprinos testera	13,5510	4,0153
Doprinos linija×tester	47,1283	33,0832

Doprinos linija, testera i njihove interakcije kada je u pitanju broj dana od nicanja do metličenja biljaka sirka se razlikovao u godinama ispitivanja. U prvoj godini najviši doprinos u ekspresiji ove osobine imala je interakcija testera sa linijama, zatim linije, a tester i najniži (tabela 60). U drugoj godini ispitivanja najveći doprinos su dale linije, pa interakcija linija×tester i na kraju tester i.

Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima Akata et al. (2017) koji su u ogledu postavljenom po sistemu ukrštanja linija i testera, koristili 19 genotipova sirka i dve ženske linije, čime je formirano ukupno 38 hibrida ispitivanih u različitim agroekološkim uslovima Senegala. Za osobinu broj dana do cvetanja, procene komponenti genetičke varijanse ukazale su na dominantnu ulogu neaditivne genske akcije, budući da su vrednosti varijanse posebne kombinacione sposobnosti bile veće od opštih, a odnos OKS/OKS bio znatno manji od jedinice. El-Sherbeny et al. (2019) koji su u ogledu testirali pet linija i pet testera sirka, zajedno sa 25 hibrida stvorenih korišćenjem line×tester šeme ukrštanja, u dva režima navodnjavanja, u cilju određivanja kombinacionih sposobnosti i načina nasleđivanja osobina važnih za adaptaciju na sušu su takođe došli do istog zaključka. Za osobinu broj dana do 50% cvetanja utvrđeno je da neaditivna genetička varijansa ima veću ulogu u njenom nasleđivanju u odnosu na aditivnu, što ukazuje na dominaciju neaditivnog dejstva gena u ekspresiji ove osobine.

6.2.2. Broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna

Kod ispitivanih linija, testera i njihovih eksperimentalnih hibridnih kombinacija, rezultati analize varijanse pokazali su da postoji visoko značajno variranje u broju dana od metličenja do postizanja mlečno-voštane faze zrelosti zrna sirka u svim izvorima variranja, osim kod parametra linije i parametra testera koji ne pokazuje značajno variranje ni u jednoj godini ispitivanja (tabela 61).

Vrednosti OKS prikazane su u tabeli 62. Rezultati analize OKS pokazuju da je najveću pozitivnu visoko značajnu vrednost OKS za broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna među linijama imala L8 u obe godine ispitivanja, dok je najnižu visoko značajnu negativnu vrednost imala linija L7. Linija L4 imala je visoko značajne pozitivne vrednosti tokom dvogodišnjeg ispitivanja, a linije L1 i L5 visoko značajno negativne vrednosti OKS u prvoj godini poljskog oglada.

Tabela 61. Značajnost variranja broja dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	nsz	nsz
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	**	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	**
Linije (očevi)	7	nsz	nsz
Testeri (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	**	**

*df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; **, statistički značajno na nivou 0,01*

Kada je reč o testerima, najviše visoko značajne pozitivne vrednosti tokom obe godine ispitivanja za broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna sirka imao je tester T2. Tester T1 imao je takođe visoko značajne pozitivne vrednosti OKS tokom 2019. i 2020. godine, ali ne i najviše. Najniže visoko značajne negativne vrednosti OKS u obe godine imao je tester T3, dok je tester T5 imao visoko značajne negativne vrednosti OKS u toku 2019. godine.

Tabela 62. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za broj dana od metličanja do mlečno-voštane zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-0,692**	-0,192
L2	0,508*	0,142
L3	0,308	0,008
L4	0,708**	0,408**
L5	-0,958**	-0,258*
L6	-0,492*	-0,192
L7	-1,492**	-0,458**
L8	2,108**	0,542**
LSD 0,05	0,4188	0,2164
LSD 0,01	0,5541	0,2863
Tester		
T1	0,633**	0,233**
T2	1,258**	0,358**
T3	-0,867**	-0,267**
T4	-0,242	-0,183*
T5	-0,783**	-0,142
LSD 0,05	0,3311	0,1711
LSD 0,01	0,4381	0,2264

Rezultati ostvarenih vrednosti PKS u tabeli 63 pokazuju da su hibridne kombinacije L2×T4, L4×T1, L5×T4, L7×T3 i L8×T5 ostvarile visoko značajne pozitivne vrednosti PKS u obe godine, dok je L6×T5 pokazao visoko značajne pozitivne PKS vrednosti samo tokom prve godine. Eksperimentalni hibridi L1×T4, L2×T5, L4×T3, L5×T5, L6×T4 i L8×T1 tokom dvogodišnjeg ispitivanja imali su visoko značajne negativne vrednosti PKS, a hibridi L4×T5, L7×T5 i L8×T4 samo tokom 2019. godine.

Tabela 63. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za broj dana od metličjenja do mlečno-voštane zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	-0,433	0,233
	T2	-0,058	-0,225
	T3	1,067*	0,400
	T4	-1,558**	-0,683**
	T5	0,983*	0,275
L2 ×	T1	-0,633	-0,433
	T2	-0,258	0,442
	T3	-0,133	0,067
	T4	3,242**	0,983**
	T5	-2,217**	-1,058**
L3 ×	T1	-0,433	-0,300
	T2	-1,058*	-0,425
	T3	1,067*	0,533*
	T4	-0,558	0,117
	T5	0,983*	0,075
L4 ×	T1	3,167**	1,300**
	T2	0,542	0,175
	T3	-2,333**	-1,200**
	T4	0,042	-0,283
	T5	-1,417**	0,008
L5 ×	T1	-0,167	-0,033
	T2	0,208	-0,158
	T3	-0,667	-0,533*
	T4	3,708**	1,383**
	T5	-3,083**	-0,658**
L6 ×	T1	0,367	-0,100
	T2	-0,258	0,108
	T3	-0,133	0,400
	T4	-1,758**	-0,683**
	T5	1,783**	0,275
L7 ×	T1	0,367	0,167
	T2	0,742	0,042
	T3	1,867**	0,667**
	T4	-0,758	-0,417
	T5	-2,217**	-0,458
L8 ×	T1	-2,233**	-0,833**
	T2	0,142	0,042
	T3	-0,733	-0,333
	T4	-2,358**	-0,417
	T5	5,183**	1,542**
LSD 0,05		0,9364	0,4839
LSD 0,01		1,2390	0,6402

Hibridne kombinacije sa visoko značajnim pozitivnim PKS vrednostima, nastale su uglavnom ukrštanjem dva negativna ili jednog pozitivnog i jednog negativnog roditelja, dok je samo jedan hibrid nastao ukrštanjem dva pozitivna opšta kombinatora. Kada su u pitanju eksperimentalni hibridi sa visoko značajnim negativnim vrednostima PKS, 4 hibrida nastala su ukrštanjem dva negativna opšta

kombinatora, isti broj hibrida nastao je ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora, dok je samo jedan hibrid nastao ukrštanjem dva roditelja sa pozitivnim vrednostima OKS.

Tabela 64. Komponente genetičke varijanse za broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,0704	0,0023
OKS varijansa	0,0352	0,0011
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	4,0638	0,4653
PKS varijansa	4,0638	0,4653
OKS/OKS	0,0087	0,0025

Rezultati analize komponenti genetičke varijanse ispitivanih genotipova pokazuju da su za nasleđivanje osobine broj dana od metličenja do dostizanja mlečno-voštane faze zrelosti zrna sirka preovlađujuću ulogu imali geni sa neaditivnim efektom, dominacija i epistaza, u obe godine ispitivanja (tabela 64).

Tabela 65. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	23,7273	19,4890
Doprinos testera	14,1170	11,5500
Doprinos linija×tester	62,1557	68,9610

Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji dužine trajanja faze od metličenja do dostizanja mlečno-voštane zrelosti zrna sirka nije se razlikovao tokom obe godine ispitivanja. Najveći doprinos dala je interakcija linija×tester, zatim linije i najmanji doprinos u ekspresiji ove osobine imali su tester i (tabela 65).

Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima drugih autora. U ogledu postavljenom tokom 2019. godine na dve lokacije, ispitivano je 15 roditeljskih linija i 26 hibrida sirka sa ciljem procene kombinacionih sposobnosti metodom linija×tester i tipa genske akcije za osobine prinosa i komponente prinosa. Za osobinu broj dana do zrelosti zrna sirka, analiza komponenti genetičke varijanse pokazala je predominaciju neaditivne genske akcije, s obzirom da je odnos opšte kombinacione sposobnosti i posebne kombinacione sposobnosti bio manji od 1 (Begna et al., 2023). Preovlađujuću ulogu gena sa neaditivnim efektom u nasleđivanju ove osobine potvrdili su i Ayele et al. (2025). Ogled je realizovan tokom 2020/2021. godine na dva agroekološka lokaliteta u sušnim delovima Etiopije, obuhvatajući 169 genotipova sirka. Analizom kombinacionih sposobnosti identifikovane su linije koje su se izdvojile kao najbolji opšti kombinatori za broj dana do zrenja, što ukazuje na njihov potencijal u oplemenjivanju ranostasnih hibrida. Odnos varijanse opšte i specifične kombinacione sposobnosti bio je manji od jedinice.

6.2.3. Visina biljaka

Kod ispitivanih linija, testera i njihovih hibridnih kombinacija, ustanovljene su značajne razlike u visini biljaka, što ukazuje na postojanje genetičkih razlika između genotipova (tabela 66). Poređenje izračunatih i tabličnih F vrednosti u analizi varijanse linija×tester za visinu biljaka sirka pokazuje značajnost svih izvora varijacije, osim za testere i liniju×tester u obe godine ispitivanja.

Tabela 66. Značajnost variranja visine biljaka ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	*	nsz
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	**	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	*
Linije (očevi)	7	**	**
Tester (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	nsz	nsz

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01

Tabela 67. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za visinu biljaka u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	10,164*	9,550
L2	-2,635	-4,423
L3	-38,263**	-20,943**
L4	15,228**	16,937**
L5	14,087**	13,830**
L6	-1,805	-11,130*
L7	2,663	-3,663
L8	0,561	-0,157
LSD 0,05	8,4620	9,9750
LSD 0,01	11,1966	13,1986
Tester		
T1	2,183	1,203
T2	-6,537	-2,501
T3	0,869	-3,326
T4	2,783	2,128
T5	0,702	2,495
LSD 0,05	6,6898	7,8859
LSD 0,01	8,8517	10,4344

Analizom ostvarenih OKS utvrđeno je da je najviše visoko značajne pozitivne vrednosti OKS imala linija sudanske trave L4 tokom obe godine ispitivanja, dok je najniže visoko značajne negativne

vrednosti OKS ostvarila L3 (tabela 67). Visoko značajne pozitivne vrednosti ostvarila je i linija L5 tokom dvogodišnjeg ispitivanja.

Tabela 68. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za visinu biljaka u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	9,682	8,817
	T2	4,559	-0,213
	T3	4,003	9,412
	T4	-1,077	1,225
	T5	-17,167	-19,242
L2 ×	T1	-0,592	2,123
	T2	12,761	-5,672
	T3	-16,592	-11,248
	T4	-0,572	7,132
	T5	4,995	7,665
L3 ×	T1	6,779	4,343
	T2	-11,531	4,314
	T3	-0,194	-11,794
	T4	0,769	-2,682
	T5	4,176	5,818
L4 ×	T1	-2,172	-6,97
	T2	-10,162	6,234
	T3	11,322	-0,708
	T4	-6,171	4,305
	T5	7,182	-2,862
L5 ×	T1	6,713	-6,997
	T2	0,873	-2,926
	T3	7,094	17,066
	T4	-11,427	-4,055
	T5	-3,253	-3,088
L6 ×	T1	-10,576	1,097
	T2	-3,526	1,701
	T3	2,562	-4,208
	T4	13,278	-4,662
	T5	-1,738	6,072
L7 ×	T1	-9,133	-2,637
	T2	-9,160	-17,066
	T3	-2,812	2,392
	T4	9,494	1,405
	T5	11,611	15,905
L8 ×	T1	-0,701	0,223
	T2	16,186	13,627
	T3	-5,384	-0,914
	T4	-4,294	-2,668
	T5	-5,807	-10,268
LSD 0,05		18,9215	22,3048
LSD 0,01		25,0363	29,5129

Nijedan od ispitivanih testera nije ostvario značajne vrednosti OKS tokom ovog istraživanja. Najviše vrednosti OKS ostvarile su linije sirka za zrno T4 u prvoj, i linija T5 u drugoj godini, dok su najniže vrednosti imali testeri T2 u prvoj i T3 u drugoj godini poljskog ogleda.

Zbog visokih LSD vrednosti, nijedna od ispitivanih hibridnih kombinacija nije prevazišla ni prag značajnosti LSD 0,01 za visinu biljke, pa tako nije bilo hibrida koji su ostvarili značajne pozitivne, ni značajne negativne PKS vrednosti u toku ovog dvogodišnjeg ispitivanja. Eksperimentalni hibridi L5×T3 i L8×T2 ostvarili su najviše pozitivne vrednosti PKS u 2019. odnosno 2020. godini, dok je hibrid L1×T5, nastao ukrštanjem dva pozitivna opšta kombinatora, ostvario najniže negativne vrednosti PKS (tabela 68).

Tabela 69. Komponente genetičke varijanse za visinu biljaka u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	25,6875	13,8272
OKS varijansa	12,8438	6,9136
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	5,5794	38,7262
PKS varijansa	5,5794	38,7262
OKS/OKS	2,3020	0,1785

Rezultati analize komponenti genetičke varijanse ispitivanog materijala prikazani su u tabeli 69 i pokazuju da su obe, aditivna i neaditivna komponenta varijanse, imale udela u nasleđivanju visine biljaka sirka. U prvoj godini ispitivanja, odnos OKS i PKS bio je veći od 1, odnosno aditivna komponenta je bila veća od neaditivne, što znači da je u nasleđivanju ovog parametra aditivno delovanje gena preovladalo. U toku 2020. godine, odnos OKS/OKS bio je manji od 1, što govori o većem udelu neaditivne komponente genetičke varijanse (dominacija i epistaza).

Tabela 70. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji visine biljaka u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	76,1484	68,3855
Doprinos testera	3,4151	2,7727
Doprinos linija×tester	20,4365	28,8418

Odnos doprinosa linija, testera i njihove interakcije za visinu biljaka sirka, u toku dve godine ispitivanja se nije menjao. Najveći doprinos u ekspresiji ove osobine dale su linije, zatim interakcija linija×tester i na kraju testeri (tabela 70).

Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima koje su objavili drugi autori, u nasleđivanju visine biljaka sirka uključene su i aditivna i neaditivna komponenta delovanja gena (Chikuta et al., 2017; Singh et al., 2022; Santosh i Pandey, 2024). Drugi autori navode da su za nasleđivanje ove osobine bili zaduženi samo geni sa neaditivnim efektom (Premalatha et al., 2006; Pataki et al., 2007; Dehinwal et al., 2017; Chaudhary et al., 2018; Reenu et al., 2022). Suprotno od ovih rezultata, Tadesse et al. (2008) su u ogledu sprovedenom na dve lokacije u Etiopiji (Melkasa i Šoa Robit), ispitivali 54 F₁ hibrida dobijenih ukrštanjem 18 muških i 3 ženske roditeljske linije sirka, sa ciljem procene kombinacione sposobnosti roditelja za osobine povezane sa prinosom i tolerantnošću na sušu. Rezultati analize varijanse pokazali su značajne efekte opšte kombinacione sposobnosti (GCA)

muških roditelja za visinu biljke, što ukazuje na dominantnu ulogu aditivne genetičke varijanse u nasleđivanju ove osobine.

6.2.4. Prečnik stabljike na mestu reza

Kod ispitivanih linija, testera i njihovih hibridnih kombinacija ustanovljene su značajne razlike za osobinu prečnik stabljike na mestu reza, što ukazuje na postojanje genetičkih razlika između genotipova (tabela 71). Analizom varijanse utvrđena je visoka značajnost u obe godine samo za parametar roditelji vs. ukrštanja kao izvora variranja. Tretmani kao izvor variranja pokazali su značajnost, od toga visok stepen samo u prvoj godini ispitivanja. Ostali parametri nisu pokazali značajnost, osim parametra roditelji (linije i testeri) u drugoj i linije (očevi) u prvoj godini poljskog ogleda.

Tabela 71. Značajnost variranja prečnika stabljike na mestu reza ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	*	nsz
Tretmani	52	**	*
Roditelji (linije i testeri)	12	nsz	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	nsz	nsz
Linije (očevi)	7	**	nsz
Testeri (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	nsz	nsz

*df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01*

Analizom kombinacionih sposobnosti, u tabeli 72, ustanovljene su razlike između roditeljskih komponenti i određena je značajnost ostvarenih vrednosti OKS. Najviše pozitivne značajne vrednosti OKS imala je linija sudanske trave L4 u obe godine ispitivanja, dok je L1 bila linija sa najnižim negativnim vrednostima OKS koje nisu prešle ni prag značajnosti LSD 0,05.

Nijedan od ispitivanih testera nije prešao prag značajnosti LSD 0,05 u obe godine. Tester T1 bio je sa najnižim negativnim vrednostima OKS tokom obe godine ispitivanja, dok su T3 i T4 imali najviše pozitivne vrednosti OKS tokom 2019. odnosno 2020. godine.

Tabela 72. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za prečnik stabljike na mestu reza u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-0,789	-0,502
L2	0,290	0,097
L3	-0,528	-0,054
L4	1,519**	1,104*
L5	-0,581	-0,255
L6	-0,461	-0,444
L7	0,449	0,044
L8	0,102	0,008
LSD 0,05	0,9198	1,0397
LSD 0,01	1,2170	1,3757
Tester		
T1	-0,201	-0,165
T2	0,084	-0,164
T3	0,206	-0,144
T4	0,045	0,582
T5	-0,135	-0,111
LSD 0,05	0,7272	0,8220
LSD 0,01	0,9622	1,0876

Visoke LSD vrednosti za prečnik stabljike na mestu reza nisu dozvolile nijednoj od testiranih hibridnih kombinacija da prevaziđe prag značajnosti od LSD 0,05 u obe godine ispitivanja. Najviše pozitivne vrednosti PKS ostvarili su hibridi L5×T3 u prvoj i L3×T5 u drugoj godini ispitivanja, oba nastala ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora. Ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora, kao i ukrštanjem dva negativna, nastali su hibridi L3×T4 i L1×T5 koji su ostvarili najniže negativne vrednosti PKS u prvoj, odnosno drugoj godini poljskog oglada (tabela 73).

Analiza komponenti genetičke varijanse ispitivanih genotipova za prečnik stabljike na mestu reza, pokazala je da je odnos OKS/PKS bio niži od 1 u obe godine ispitivanja, što znači da je udeo neaditivne komponente (dominacija i epistaza) bio veći i presudan u nasleđivanju gena za ovu osobinu (tabela 74).

Tabela 73. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za prečnik stabljike na mestu reza u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	-0,464	1,407
	T2	0,471	0,209
	T3	0,772	0,712
	T4	0,120	-0,777
	T5	-0,900	-1,551
L2 ×	T1	1,163	0,211
	T2	-0,178	-0,117
	T3	-0,847	-0,520
	T4	0,141	0,657
	T5	-0,279	-0,230
L3 ×	T1	0,435	0,131
	T2	0,126	-0,620
	T3	0,154	-0,100
	T4	-1,978	-0,919
	T5	1,262	1,507
L4 ×	T1	0,697	-0,466
	T2	-1,278	-0,397
	T3	-0,123	0,033
	T4	0,008	0,270
	T5	0,695	0,560
L5 ×	T1	-0,569	-0,114
	T2	0,180	0,472
	T3	1,554	0,652
	T4	0,316	0,092
	T5	-1,481	-1,101
L6 ×	T1	0,135	-0,169
	T2	0,280	0,620
	T3	-0,219	-0,450
	T4	-0,161	0,161
	T5	-0,034	-0,163
L7 ×	T1	-0,693	-0,350
	T2	0,299	-0,371
	T3	-0,316	0,339
	T4	0,668	0,166
	T5	0,042	0,216
L8 ×	T1	-0,705	-0,651
	T2	0,100	0,205
	T3	-0,976	-0,665
	T4	0,886	0,349
	T5	0,696	0,762
LSD 0,05		2,0567	2,3249
LSD 0,01		2,7214	3,0762

Tabela 74. Komponente genetičke varijanse za prečnik stabljike na mestu reza u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,0345	0,0345
OKS varijansa	0,0173	0,0083
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	0,3077	0,8292
PKS varijansa	0,3077	0,8292
OKS/OKS	0,0561	0,0101

Tabela 75. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji prečnika stabljike na mestu reza u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	47,5571	31,8838
Doprinos testera	2,0668	12,4368
Doprinos linija×tester	50,3761	55,6794

Doprinos linija, testera i njihove interakcije za prečnik stabljike na mestu reza kroz dve godine ispitivanja nije se razlikovao (tabela 75). Najveći doprinos u ekspresiji gena za ovu osobinu imala je interakcija linija×tester, zatim linije i najmanji doprinos imali su testeri.

Do istih rezultata došli su i Dehinwal et al. (2017). Oni su u ogledu sprovedenom na 2 lokaliteta tokom 2015/2016. testirali u različitim agroekološkim uslovima i terminima setve 24 hibrida nastala metodom ukrštanja linija i testera, zajedno sa roditeljskim komponentama (6 ženskih i 4 muška roditelja) i standardima. Rezultati analize pokazali su da je nasleđivanje prečnika stabljike bilo pod preovlađujućom kontrolom neaditivnih gena (dominantnost i epistaza), s obzirom na to da su vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti bile veće od opštih, a negativne PKS vrednosti identifikovane su kao poželjne za selekciju linija sa tanjom stabljikom. Vinoth et al. (2021) su takođe potvrdili ove rezultate u ogledu u kom su testirali 20 hibrida dobijenih ukrštanjem pet linija i četiri testera po linija×tester metodi za 17 kvantitativnih osobina. Među ispitivanim osobinama, prečnik stabljike pokazao je statistički značajne razlike između genotipova, a hibrid SPV 2424×IS 9807 izdvojio se po značajnom heterozisu i superiornim vrednostima za ovu osobinu. Odnos varijansi OKS i PKS bio je manji od jedinice, što ukazuje na dominantnu ulogu neaditivnog tipa nasleđivanja u genetskoj kontroli prečnika stabljike kod ispitivanih genotipova sirka.

6.2.5. Prečnik stabljike iznad četvrtog lista

U tabeli 76 prikazana je značajnost variranja ispitivanih genotipova za prečnik stabljike iznad četvrtog lista. Rezultati su pokazali značajno variranje u skoro svim izvorima variranja bar u jednoj godini ispitivanja, osim kod parametra testeri (majke). Tretmani, roditelji (linije i testeri) i linije (očevi) pokazali su značajno variranje u obe godine poljskog ogleda, dok su ukrštanja (hibridi) i linija×tester pokazali značajno variranje u 2019. godini, a roditelji vs. ukrštanja kao izvor varijacije samo u 2020. godini.

Tabela 76. Značajnost variranja prečnika stabljike iznad četvrtog lista ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	nsz	nsz
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i tester)	12	*	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	nsz	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	nsz
Linije (očevi)	7	**	**
Tester (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	**	nsz

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01

Tabela 77. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za prečnik stabljike iznad četvrtog lista u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-1,587**	-0,467
L2	0,028	-0,208
L3	0,746*	0,327
L4	1,419**	1,192**
L5	-0,422	-0,655
L6	-0,055	-0,203
L7	0,428	0,056
L8	-0,556	-0,041
LSD 0,05	0,6697	0,6662
LSD 0,01	0,8861	0,8814
Tester		
T1	-0,217	0,037
T2	0,282	-0,460
T3	-0,055	-0,053
T4	0,157	0,478
T5	-0,168	-0,002
LSD 0,05	0,5294	0,5266
LSD 0,01	0,7005	0,6968

Analizom ostvarenih vrednosti OKS prečnika stabljike iznad četvrtog lista uočeno je da je najviše visoko značajne pozitivne vrednosti OKS u obe godine ostvarila linija sudanske trave L4 što je karakteriše dobrim opštim kombinacijama za ovu osobinu. Pored ove linije, L3 je ostvarila značajne pozitivne vrednosti OKS na nivou LSD 0,05 samo u toku 2019. godine. Visoko značajan negativan efekat OKS i najniže vrednosti u 2019. godini ostvarila je linija L1, dok je linija L5 imala najniže, ali ne i značajne vrednosti OKS u drugoj godini ispitivanja (tabela 77).

Tabela 78. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za prečnik stabljike iznad četvrtog lista u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
L1 ×	T1	-0,144
	T2	0,26
	T3	0,604
	T4	0,265
	T5	-0,986
L2 ×	T1	1,288
	T2	-0,005
	T3	-1,191
	T4	0,083
	T5	-0,175
L3 ×	T1	0,113
	T2	0,197
	T3	-0,519
	T4	-1,335
	T5	1,544*
L4 ×	T1	0,307
	T2	-1,016
	T3	-0,198
	T4	-0,124
	T5	1,031
L5 ×	T1	-0,552
	T2	0,556
	T3	1,666*
	T4	0,527
	T5	-2,198**
L6 ×	T1	-0,066
	T2	0,152
	T3	0,259
	T4	-0,057
	T5	-0,288
L7 ×	T1	-1,455
	T2	0,422
	T3	0,703
	T4	1,174
	T5	-0,844
L8 ×	T1	0,509
	T2	-0,567
	T3	-1,323
	T4	-0,535
	T5	1,916*
LSD 0,05		1,4975
LSD 0,01		1,9814
		1,4896
		1,9710

Kada su u pitanju ispitivani testeri, nijedan od pet ispitivanih nije prevazišao prag značajnosti LSD 0,05. Testeri T2 i T4 ostvarili su najviše pozitivne vrednosti OKS u prvoj, odnosno drugoj godini ispitivanja, dok su testeri T1 i T2 imali najniže vrednosti.

Analiza kombinacionih sposobnosti za prečnik stabljike iznad četvrtog lista sirka, u tabeli 78, pokazala je da kod većine hibridnih kombinacija sirka ne postoje značajne vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti. U toku 2019. godine, prag značajnosti od LSD 0,05 prevazišao je jedino hibrid L5×T5 ostvarivši najniže visoko značajne negativne vrednosti PKS, dok su hibridi L3×T5, L5×T3 i L8×T5 ostvarili značajne pozitivne vrednosti. Analizom rezultata ostvarenih PKS za prečnik stabljike iznad četvrtog lista sirka u 2020. godini, s obzirom na visoke LSD vrednosti, nijedna hibridna kombinacija nije prevazišla prag značajnosti LSD 0,05. Najviše pozitivne vrednosti PKS imao je eksperimentalni hibrid L5×T4, a najniže negativne L1×T5.

Sve hibridne kombinacije koje su imale negativne efekte PKS nastale su ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora, dok su 2 hibrida sa pozitivnim PKS nastala ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog, a druga 2 ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora.

Tabela 79. Komponente genetičke varijanse za prečnik stabljike iznad četvrtog lista u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,0489	0,0270
OKS varijansa	0,0245	0,0135
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	0,5439	0,1161
PKS varijansa	0,5439	0,1161
OKS/OKS	0,0450	0,1164

Rezultati analize komponenti genetičke varijanse ispitivanih genotipova za prečnik stabljike iznad četvrtog lista pokazuju veće vrednosti za neaditivnu varijansu i odnos OKS/OKS ispod 1, što znači da su i za ovu osobinu zaduženi geni sa neaditivnim efektom, odnosno dominacija i epistaza (tabela 79).

Tabela 80. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji prečnika stabljike iznad četvrtog lista u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	46,8840	41,2944
Doprinos testera	2,3764	12,9806
Doprinos linija×tester	50,7396	45,7251

Najveći doprinos u ispoljavanju gena zaduženih za veličinu prečnika stabljike iznad četvrtog lista sirka imala je interakcija linija×tester, zatim linija i na kraju tester u obe godine poljskog ogleda (tabela 80).

Ovi rezultati su u saglasnosti sa tvrdnjama drugih autora (Pataki, 2011; Chaudhary et al., 2018). U istraživanju Pataki (2011), testirano je osam linija sirka za zrno, tri testera sudanske trave i 24 F₁ hibrida dobijena njihovim ukrštanjem metodom linija×tester, na dva lokaliteta, tokom dve godine. Analiza kombinacionih sposobnosti pokazala je da neaditivna genetička varijansa, koja obuhvata dominaciju i epistazu, ima veći doprinos u nasleđivanju prečnika stabljike u F₁ generaciji krmnog sirka. Kada je u pitanju doprinos u ispoljavanju gena zaduženih za veličinu prečnika stabljike iznad četvrtog lista sirka, rezultati ovog autora pokazali su da je u prvoj godini najveći doprinos

ekspresiji ove osobine imala interakcija linija i testera, dok su u drugoj godini dominirali različiti izvori varijacije u zavisnosti od lokaliteta.

6.2.6. Broj internodija

Tabela 81. Značajnost variranja broja internodija ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	nsz	**
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	**	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	nsz
Linije (očevi)	7	**	**
Testeri (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	nsz	nsz

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; **, statistički značajno na nivou 0,01

Tabela 82. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-0,134	-0,015
L2	-0,034	-0,075
L3	-0,947**	-0,102
L4	0,933**	0,685**
L5	0,146	0,045
L6	0,586**	0,358
L7	0,306	-0,148
L8	-0,854**	-0,748**
LSD 0,05	0,3466	0,4213
LSD 0,01	0,4586	0,5574
Testeri		
T1	0,001	-0,033
T2	-0,049	-0,254
T3	0,093	-0,083
T4	0,122	0,367*
T5	-0,166	0,004
LSD 0,05	0,2740	0,3330
LSD 0,01	0,3626	0,4407

Analizom varijanse ispitivanih linija, testera i njihovih hibridnih kombinacija ustanovljena su visoko značajna variranja u broju internodija za većinu izvora varijacije. Značajne razlike nisu zabeležene za parametre testeri (majke) i linija×tester u obe godine, kao ni za ukrštanja (hibridi) kao izvor varijacije u drugoj godini ispitivanja (tabela 81).

Tabela 83. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	0,259	0,473
	T2	0,042	0,028
	T3	0,234	0,557
	T4	-0,262	-0,627
	T5	-0,274	-0,431
L2 ×	T1	-0,408	0,167
	T2	0,242	-0,412
	T3	-0,299	0,050
	T4	0,405	0,267
	T5	0,059	-0,071
L3 ×	T1	0,306	-0,140
	T2	-0,044	0,181
	T3	0,181	-0,390
	T4	-0,348	-0,073
	T5	-0,094	0,422
L4 ×	T1	-0,174	0,007
	T2	-0,558	0,128
	T3	0,601	-0,743
	T4	-0,328	0,307
	T5	0,459	0,303
L5 ×	T1	0,579	-0,153
	T2	0,029	0,568
	T3	-0,013	-0,003
	T4	-0,308	0,013
	T5	-0,288	-0,424
L6 ×	T1	0,239	0,033
	T2	-0,044	-0,379
	T3	-0,019	0,283
	T4	0,252	0,367
	T5	-0,428	-0,304
L7 ×	T1	-0,581	-0,193
	T2	0,202	-0,439
	T3	-0,273	0,390
	T4	0,265	-0,460
	T5	0,386	0,702
L8 ×	T1	-0,221	-0,193
	T2	0,129	0,328
	T3	-0,413	-0,143
	T4	0,325	0,207
	T5	0,179	-0,197
LSD 0,05		0,7750	0,9420
LSD 0,01		1,0255	1,2464

Analiza kombinacionih sposobnosti za broj internodija pokazala je da između inbred linija majki i inbred linija oca, postoje visoko značajne razlike u opštim kombinacionim sposobnostima. Opšte kombinacione sposobnosti sudanske trave za broj internodija pokazale su visok stepen značajnosti kod linija L4 i L6 ostvarivši pozitivne vrednosti i L3 i L8 sa negativnim vrednostima

OKS. Linija sudanske trave L4 istakla se najvišim vrednostima OKS za ovu osobinu u obe godine, dok su linije L3 u prvoj i L8 u drugoj imale najniže vrednosti OKS (tabela 82).

Majke eksperimentalnih hibrida krmnog sirka usled visokih LSD vrednosti, tokom 2020. godine nisu uspele da prevaziđu prag značajnosti od LSD 0,01, a u 2019. godinu ni prag značajnosti LSD 0,05. Najviše pozitivne vrednosti imao je tester T4 u obe godine (značajne u drugoj godini ispitivanja), dok su T5 u prvoj i T2 u drugoj godini ostvarili najniže negativne vrednosti OKS.

Kada su u pitanju ostvarene vrednosti PKS hibridnih kombinacija krmnog sirka, u tabeli 83 jasno se vidi da su sve vrednosti ostale ispod praga značajnosti LSD 0,05 i nijedan hibrid nije ostvario značajne vrednosti. Hibrid L4×T3 imao je najviše pozitivne vrednosti PKS u 2019. godini i najniže negativne u 2020. godini, dok je L7×T5 bio hibrid sa najvišim vrednostima u 2020. godini. U 2019. godini najniže negativne vrednosti PKS ostvario je hibrid L7×T1. I pozitivne i negativne vrednosti PKS nastale su ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog ili dva pozitivna opšta kombinatora.

Tabela 84. Komponente genetičke varijanse za broj internodija u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,0374	0,0156
OKS varijansa	0,0187	0,0078
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	0,0136	0,0525
PKS varijansa	0,0136	0,0525
OKS/OKS	1,3706	0,1484

Analizom genetičke varijanse ustanovljeno je da su za nasleđivanje broja internodija sirka zadužene i aditivna i neaditivna komponenta (tabela 84). Geni sa aditivnim efektom su preovladali u prvoj godini ispitivanja, na šta ukazuje i odnos OKS/OKS koji je veći od 1, dok je tokom 2020. godine odnos bio ispod 1 i preovlađujuću ulogu imala je neaditivna varijansa.

Tabela 85. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji broja internodija u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	77,4906	47,9500
Doprinos testera	2,2211	13,2656
Doprinos linija×tester	20,2884	38,7844

Doprinos linija, testera i interakcije linija×tester tokom dvogodišnjeg ispitivanja bio je isti u ekspresiji ove osobine (tabela 85). Najveći doprinos za broj internodija kod sirka imale su linije, zatim interakcija linija×tester i testeri sa najmanjim doprinosom.

Rezultati istraživanja Chaudhary et al. (2018) ukazuju da su u nasleđivanju ove osobine ulogu imali samo geni sa neaditivnim efektom. U ogledu realizovanom tokom 2019. godine na lokalitetima Mieso i Kobo, ispitivan je set od 42 genotipa sirka radi procene kombinacionih sposobnosti i heterozisa za prinos i agronomske osobine. Analiza varijanse pokazala je visoko značajne razlike među genotipovima za sve ispitivane osobine, koje su obuhvatale: broj dana do cvetanja, visinu biljke, broj dana do zrenja, broj produktivnih izdanaka, izraženost metlice, dužinu i širinu metlice, prinos

metlice, prinos zrna i masu hiljadu semena. Rezultati OKS i PKS analiza ukazali su na dominaciju neaditivne genetske varijabilnosti kod većine osobina, dok su kao najperspektivnije kombinacije za prinos zrna izdvojeni hibridi P-9534×Melkam, B6×ICRS-14 i TX-623×ICRS-14, sa izraženim heterozis efektima u poređenju sa roditeljima i standardnom kontrolom (Begna, 2024).

6.2.7. Broj listova

Testiranje značajnosti za rezultate analize varijanse ukazuje na značajno variranje u svim izvorima variranja osim kod parametra tester i za obe godine i parametra linija×tester u drugoj godini ispitivanja (tabela 86). Variranje tretmana, roditelja (linije i tester i) i linija bilo je statistički veoma značajno u obe godine poljskog ogleda.

Tabela 86. Značajnost variranja broja listova od metličanja do mlečno-voštane zrelosti zrna ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljjanja	2	nsz	*
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i tester i)	12	**	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	*	*
Ukrštanja (hibridi)	39	**	*
Linije (očevi)	7	**	**
Tester i (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	**	nsz

*df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01*

Iz tabele 87 u kojoj su prikazane ostvarene vrednosti OKS roditeljskih komponenti za broj listova sirka vidi se da je većina linija sudanske trave u 2019. godini imala visoko značajne vrednosti OKS, dok su u toku 2020. visoko značajne vrednosti imale samo dve ispitivane linije. Najviše visoko značajne pozitivne vrednosti OKS ostvarila je linija L4 u obe godine, dok su pozitivne OKS vrednosti L5 i L6 bile visoko značajne samo u prvoj godini ispitivanja. Linija L8 izdvojila se po ostvarivanju najnižih negativnih visoko značajnih OKS vrednosti za obe godine, a pored nje i linije L1 i L2 ostvarile su negativne značajne vrednosti OKS za 2019. godinu.

Tabela 87. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za broj listova u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-0,860**	0,103
L2	-0,307*	-0,350
L3	-0,113	0,297
L4	1,767**	0,723**
L5	0,407**	0,043
L6	0,813**	0,210
L7	0,040	-0,150
L8	-1,747**	-0,877**
LSD 0,05	0,2979	0,4066
LSD 0,01	0,3942	0,5379
Tester		
T1	0,092	0,067
T2	0,058	-0,329*
T3	-0,058	-0,129
T4	0,271*	0,163
T5	-0,362**	0,229
LSD 0,05	0,2355	0,3214
LSD 0,01	0,3116	0,4253

Kada su u pitanju ispitivani tester, u prvoj godini su prag značajnosti LSD 0,01 prevazišle samo dve linije, T4 koja je ostvarila najviše pozitivne značajne vrednosti OKS i T5 sa najnižim visoko značajnim negativnim vrednostima. Tester T5 je bio specifičan za ovu osobinu iz razloga što je pored ostvarenih visoko značajnih negativnih OKS vrednosti u prvoj, ostvario najviše pozitivne OKS vrednosti bez značaja u drugoj godini ispitivanja. T2 je tester koji je ostvario najniže značajne negativne vrednosti OKS u drugoj godini ogleda.

Kada su u pitanju ostvarene vrednosti PKS svih ispitivanih hibridnih kombinacija, značajnost u prvoj godini ispitivanja utvrđena je kod 17 hibrida, od toga L1×T1, L2×T2, L2×T4, L3×T5, L4×T3, L5×T1, L7×T2, L7×T4, L8×T5 sa pozitivnim efektom i L1×T4, L2×T3, L3×T3, L4×T2, L5×T5, L6×T5, L7×T1 i L8×T2 sa negativnim efektom (tabela 88). Tokom druge godine poljskog ogleda nijedna hibridna kombinacija nije uspela da nadmaši visoke LSD vrednosti ni na jednom od dva nivoa značajnosti. Hibridne kombinacije sa pozitivnim vrednostima PKS nastale su ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora (4), dva negativna (4) i dva pozitivna opšta kombinatora u jednoj kombinaciji. Većina eksperimentalnih hibrida sa negativnim efektom PKS nastala je kombinacijom jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora (5), dok su tri hibridne kombinacije nastale ukrštanjem dva negativna roditelja.

Tabela 88. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za broj listova u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	1,335**	0,747
	T2	-0,665	-0,124
	T3	-0,148	0,076
	T4	-0,911**	-0,649
	T5	0,389	-0,049
L2 ×	T1	0,048	-0,400
	T2	1,015**	0,129
	T3	-1,202**	0,029
	T4	0,736*	0,271
	T5	-0,598	-0,029
L3 ×	T1	0,055	-0,013
	T2	-0,112	-0,118
	T3	-0,728*	0,049
	T4	-0,557	-0,076
	T5	1,342**	0,157
L4 ×	T1	-0,358	-0,207
	T2	-0,925**	0,189
	T3	1,258**	-0,044
	T4	-0,571	-0,503
	T5	0,596	0,564
L5 ×	T1	0,868*	-0,127
	T2	0,335	0,469
	T3	0,552	-0,131
	T4	-0,144	0,511
	T5	-1,611**	-0,723
L6 ×	T1	0,195	0,507
	T2	0,362	-0,331
	T3	0,412	0,536
	T4	0,449	-0,423
	T5	-1,418**	-0,289
L7 ×	T1	-1,798**	-0,433
	T2	0,835*	-0,004
	T3	0,385	-0,304
	T4	0,789*	0,237
	T5	-0,211	0,504
L8 ×	T1	-0,345	-0,073
	T2	-0,845*	-0,211
	T3	-0,528	-0,211
	T4	0,209	0,631
	T5	1,509**	-0,136
LSD 0,05		0,6662	0,9091
LSD 0,01		0,8815	1,2029

Tabela 89. Komponente genetičke varijanse za broj listova u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,0824	0,0206
OKS varijansa	0,0412	0,0103
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	0,8524	0,0313
PKS varijansa	0,8524	0,0313
OKS/OKS	0,0484	0,3299

Za ispoljavanje osobine broja listova kod sirka preovladala je uloga gena sa neaditivnim efektom, odnosno dominacija i epistaza, tokom obe godine ispitivanja (tabela 89).

Tabela 90. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji broja listova u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	57,6811	54,2326
Doprinos testera	2,5871	11,4350
Doprinos linija×tester	39,7319	34,3324

U ekspresiji osobine broja listova najveći doprinos dale su linije, zatim interakcija linija i testera, dok su najmanju ulogu imali tester i (tabela 90).

Do istih zaključaka došli su i Tariq et al. (2014) u svom istraživanju sprovedenom tokom 2009/2010. godine u Pakistanu. Ispitivani su prinos krme i njegove komponente kod devet hibrida sirka i šest roditeljskih linija, po RCBD rasporedu (*randomized complete block design*, potpuni slučajni blok sistem) u tri ponavljanja u uslovima navodnjavanja. Za osobinu broj listova po biljci utvrdili su da nije pokazala značajan heterozis u željenom pravcu, dok je analiza komponenti genetičke varijanse pokazala da je nasleđivanje ove osobine bilo pod preovlađujućom kontrolom neaditivnih gena. Suprotno ovim rezultatima Santosh i Pandey (2024) su naveli da su za nasleđivanje ove osobine odgovorni i geni sa aditivnim i sa neaditivnim efektom.

6.2.8. Površina zelenog lista

Analiza varijanse za ispitivane linije, testere njihove hibridne kombinacije za površinu lista u svežem, zelenom stanju, u tabeli 91, pokazala je visok stepen značajnosti za tretmane i ocenu roditelja vs. ukrštanja u obe godine ispitivanja, dok tester i (majke) kao izvor variranja nisu pokazali značajnost ni u jednoj godini, a linija×tester samo u 2020. godini.

Tabela 91. Značajnost variranja površine zelenog lista ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljjanja	2	**	nsz
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i tester)	12	**	*
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	*
Linije (očevi)	7	*	**
Tester	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	**	nsz

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01

Tabela 92. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za površinu zelenog lista u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-35,817**	-22,448*
L2	-7,761	-25,144*
L3	2,322	30,616**
L4	60,460**	28,649**
L5	0,128	-5,874
L6	-6,150	-13,377
L7	-1,337	1,564
L8	-11,845	6,014
LSD 0,05	16,1545	20,9740
LSD 0,01	21,3750	27,7521
Tester		
T1	2,697	3,785
T2	-11,012	-14,074
T3	-2,022	-12,620
T4	6,231	6,552
T5	4,105	16,357
LSD 0,05	12,7712	16,5814
LSD 0,01	16,8984	21,9400

Rezultati analize kombinacionih sposobnosti predstavljeni su u tabeli 92 i pokazuju značajnost kod polovine, četiri, ispitivanih linija oca. Vrednosti OKS linije L4 bile su najviše i visoko značajne pozitivne u 2019. godini i visoko značajne, ali ne i najviše u 2020. godini. Isto tako, vrednosti OKS za liniju L1 u prvoj godini bile su najniže i visoko značajne negativne, u poređenju sa vrednostima OKS iz druge godine kada su ostvarene značajne negativne vrednosti, ali ne i najniže. Pored ovih linija, L3 je imala najviše visoko značajne pozitivne vrednosti u 2020. godini, dok je L2 iste godine imala najniže visoko značajne negativne vrednosti OKS.

Tabela 93. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za površinu zelenog lista u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
L1 ×	T1	25,364
	T2	26,913
	T3	10,625
	T4	11,601
	T5	1,613
L2 ×	T1	-35,591
	T2	-50,752*
	T3	30,419
	T4	9,893
	T5	12,382
L3 ×	T1	-21,795
	T2	9,981
	T3	9,679
	T4	-27,353
	T5	-7,759
L4 ×	T1	-10,695
	T2	4,250
	T3	-18,062
	T4	8,155
	T5	-5,059
L5 ×	T1	-7,796
	T2	-33,507
	T3	36,181*
	T4	28,898
	T5	6,627
L6 ×	T1	-17,693
	T2	-13,681
	T3	-20,340
	T4	-13,681
	T5	-23,717
L7 ×	T1	16,624
	T2	23,049
	T3	-3,430
	T4	40,859*
	T5	-8,299
L8 ×	T1	-14,424
	T2	-24,397
	T3	-12,358
	T4	23,298
	T5	64,278**
L9 ×	T1	4,994
	T2	-9,725
	T3	-31,291
	T4	-9,725
	T5	-6,205
L10 ×	T1	5,830
	T2	-14,189
	T3	-17,977
	T4	25,384
	T5	35,335
L11 ×	T1	2,920
	T2	-16,963
	T3	6,007
	T4	11,729
	T5	-20,120
L12 ×	T1	-12,123
	T2	-63,689**
	T3	-20,012
	T4	16,584
	T5	-31,320
L13 ×	T1	54,664**
	T2	-0,238
	T3	26,651
	T4	18,654
	T5	-34,210
L14 ×	T1	32,916
	T2	40,586*
	T3	39,024
	T4	-9,888
	T5	-10,617
L15 ×	T1	-18,204
	T2	-62,018**
	T3	-15,118
	T4	-21,493
	T5	46,438*
LSD 0,05		36,1225
LSD 0,01		46,8994
		62,0557

Nijedan od testera ni za ovu osobinu nije imao značajne vrednosti ni u jednoj godini ispitivanja. Testeri T4 i T5 ostvarili su najviše pozitivne vrednosti u prvoj, odnosno u drugoj godini ogleda, dok je tester T2 u obe godine imao najniže negativne vrednosti OKS.

Analizom značajnosti ostvarenih PKS vrednosti za sve eksperimentalne hibride za površinu zelenog lista, samo 4 hibrida imala su vrednosti značajne na oba testirana nivoa, LSD 0,05 i LSD 0,01, od toga L5×T3 i L7×T3 sa pozitivnim efektom, oba nastala ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora. L7×T1 i L8×T3 su druga dva hibrida koja su ostvarila visoko značajne negativne vrednosti PKS, nastala ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog i dva negativna opšta kombinatora. U drugoj godini ispitivanja, jedino je hibrid L1×T5 prevazišao prag značajnosti LSD 0,05 i ostvario najmanju značajnu negativnu vrednost PKS (tabela 93).

Tabela 94. Komponente genetičke varijanse za površinu zelenog lista u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	38,8413	39,7367
OKS varijansa	19,4207	19,8683
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	860,3938	35,9724
PKS varijansa	860,3937	35,9723
OKS/OKS	0,0226	0,5523

Odnos OKS/OKS tokom obe godine poljskog oglada bio je ispod 1, što znači da je dominantniju ulogu za površinu zelenog lista imala neaditivna komponenta varijanse (tabela 94).

Tabela 95. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji površine zelenog lista u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	42,6279	41,5627
Doprinos testera	2,4777	14,4177
Doprinos linija×tester	54,8944	44,0196

Za ekspresiju površine zelenog lista krmnog sirka najveći doprinos dala je interakcija između linije i testera, zatim linija, dok su najmanju ulogu za ovu osobinu dali tester (tabela 95).

Chikuta et al. (2017) su u istraživanju sprovedenom na tri lokaliteta u Ugandi tokom dve kišne sezone, testirali 23 hibrida dobijenih ukrštanjem četiri sorte sirka za zrno i četiri za krmu, primenom polu-dijalelne šeme, sa ciljem procene kombinacione sposobnosti i genetičke osnove ispoljavanja osobina značajnih za dvostruku namenu sirka. Za osobinu površina lista utvrđeno je prisustvo i aditivnih i neaditivnih genetičkih efekata, pri čemu su značajni OKS efekti uočeni kod linija 20 i 29, dok je samo hibrid 42×29 pokazao izražene neaditivne efekte, što ukazuje na kompleksan način nasleđivanja ove osobine. Rezultati autora Santosh i Pandey (2024) ukazuju na prisustvo i aditivnih i neaditivnih gena. Singh et al. (2019) ukazali su na mogućnost poboljšanja ispitivanog materijala selekcijom na površinu lista, s obzirom na ostvarene visoke vrednosti heritabilnosti u ispitivanom materijalu koji je činilo 32 genotipa krmnog sirka za ovu osobinu (95.70), što ukazuje na uticaj aditivnih gena.

6.2.9. Dužina metlice

Tabela 96. Značajnost variranja dužine metlice ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljjanja	2	nsz	**
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	**	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	**
Linije (očevi)	7	**	**
Testeri (majke)	4	**	**
Linija×tester	28	nsz	nsz

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; **, statistički značajno na nivou 0,01

Tabela 97. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za dužinu metlice u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-1,088	-0,234
L2	-0,996	-1,584*
L3	-3,470**	-2,797**
L4	-0,264	0,016
L5	1,901**	1,200
L6	-1,292*	-2,114**
L7	0,867	0,723
L8	4,343**	4,790**
LSD 0,05	1,1753	1,3085
LSD 0,01	1,5551	1,7313
Testeri		
T1	4,796**	3,788**
T2	-1,480**	-1,075*
T3	-1,435**	-1,387**
T4	-0,180	-0,195
T5	-1,701**	-1,131*
LSD 0,05	0,9291	1,0344
LSD 0,01	1,2294	1,3687

Kod ispitivanih linija, testera i njihovih eksperimentalnih hibrida, rezultati analize varijanse pokazali su u tabeli 96 da postoji visoko značajno variranje za dužinu metlice u svim izvorima variranja. Parametar linija×tester je jedini izvor variranja koji nije pokazao značajno variranje u obe godine ispitivanja.

Tabela 98. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za dužinu metlice u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
L1 ×	T1	0,638
	T2	-1,046
	T3	0,089
	T4	1,444
	T5	-1,125
L2 ×	T1	0,590
	T2	0,268
	T3	-0,373
	T4	0,392
	T5	-0,877
L3 ×	T1	-0,273
	T2	-0,914
	T3	-1,048
	T4	0,353
	T5	1,881
L4 ×	T1	2,415
	T2	-1,176
	T3	1,249
	T4	-3,183*
	T5	0,695
L5 ×	T1	-2,474
	T2	0,968
	T3	1,687
	T4	1,195
	T5	-1,377
L6 ×	T1	-1,644
	T2	2,075
	T3	-0,519
	T4	0,222
	T5	-0,134
L7 ×	T1	-0,693
	T2	-1,184
	T3	-0,685
	T4	2,473
	T5	0,090
L8 ×	T1	1,441
	T2	1,010
	T3	-0,401
	T4	-2,897*
	T5	0,848
LSD 0,05		2,6280
LSD 0,01		3,4772
		2,9258
		3,8713

Analizom kombinacionih sposobnosti ispitivanih linija sudanske trave za dužinu metlice, izdvojile su se linije L8 i L5 kao najbolji opšti kombinatori za ovu osobinu, sa ostvarenim pozitivnim visoko značajnim vrednostima u obe ili u jednoj godini. Linije L2, L3 i L6 izdvojile su se negativnim značajnim vrednostima OKS (tabela 97).

Među testerima, izdvojili su se T2, T3, T4 i T5 ostvarivanjem negativnih vrednosti OKS, od toga svi osim T4 sa visoko značajnim i značajnim OKS vrednostima. T1 je tester koji je u obe godine ostvario najviše pozitivne visoko značajne vrednosti OKS i time se izdvojio kao najbolji opšti kombinator među testerima.

Visoke LSD vrednosti nisu dozvolile većini hibridnih kombinacija da dostignu značajnost na oba nivoa značajnosti. L8×T4, L4×T4 i L6×T3 sa negativnim i L8×T1 sa pozitivnim efektom su jedine hibridne kombinacije od 40 ispitivanih koje su uspele da prevaziđu prag značajnosti LSD 0,05 samo u po jednoj godini ispitivanja (tabela 98). Od izdvojenih hibridnih kombinacija jedina pozitivna vrednost OKS ostvarena je ukrštanjem dva pozitivna opšta kombinatora, dok su hibridi sa negativnim vrednostima nastali ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora kod dva i jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora kod jednog eksperimentalnog hibrida.

Tabela 99. Komponente genetičke varijanse za dužinu metlice u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	1,1091	0,8488
OKS varijansa	0,5546	0,4244
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	0,8452	1,0925
PKS varijansa	0,8452	1,0925
OKS/OKS	0,6562	0,3885

Analizom komponenti genetičke varijanse, rezultati odnosa OKS/OKS bili su niži od jedan u obe godine, pa je zaključeno da u nasleđivanju dužine metlice preovlađujuću ulogu ima neaditivna varijansa (tabela 99).

Tabela 100. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji dužine metlice u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	38,4060	45,1524
Doprinos testera	47,3203	34,0609
Doprinos linija×tester	14,2737	20,7867

Prosečan doprinos interakcije linija×tester bio je najmanji u obe godine ispitivanja. U prvoj godini su testeri imali najveći doprinos u ekspresiji dužine metlice, a u drugoj godini linije (tabela 100).

Ovi rezultati su u suprotnosti sa istraživanjem Tadesse et al. (2008) sprovedenog na dve lokacije podložne suši u Etiopiji, gde su ispitivani F₁ hibridi sirka nastali ukrštanjem 18 muških i 3 ženske linije, sa ciljem testiranja kombinacionih sposobnosti roditelja za osobine značajne za adaptaciju na sušu. Analiza dobijenih podataka pokazala je značajne OKS efekte kod muških roditelja za dužinu metlice, što ukazuje na pretežno aditivni način nasleđivanja ove osobine i njen potencijal za unapređenje selekcijom. Rezultati Zhang et al. (2024) su pokazali značajne efekte opšte i posebne kombinacione sposobnosti za većinu agronomskih osobina, uključujući prinos zrna, što potvrđuje prisustvo i aditivne i neaditivne genetske kontrole. Ogled je sproveden tokom 2019. i 2020. godine sa 14 restorer i sedam cms linija sirka radi ispitivanja kombinacionih sposobnosti i heterozisa. Analiza

varijanse pokazala je visoko značajne razlike među roditeljima, testerima i hibridima za sve ispitivane osobine, što ukazuje na prisustvo široke genetske varijabilnosti.

6.2.10. Dužina vrata

Analiza varijanse linija×tester za dužinu vrata sirka pokazuje da nije bilo visoko značajnih varijacija u većini izvora variranja (tabela 101). Značajno variranje u obe godine postignuto je samo za izvor varijacije tretmani i ukrštanja, s tim što je u 2019. godini variranje bilo visoko značajno. Roditelji (linije i testeri), roditelji vs. ukrštanja i linija×tester pokazali su visok stepen značajnosti samo u jednoj godini ispitivanja.

Tabela 101. Značajnost variranja dužine vrata ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	nsz	nsz
Tretmani	52	**	*
Roditelji (linije i testeri)	12	**	nsz
Roditelji vs. ukrštanja	1	nsz	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	*
Linije (očevi)	7	nsz	nsz
Tester (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	**	nsz

*df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01*

Linije sudanske trave L4, L5 i L8 ostvarile su značajne pozitivne vrednosti OKS u jednoj godini ispitivanja, a jedino su linije L5 i L7 imale stabilne pozitivne vrednosti u obe godine i istakle se kao najbolji opšti kombinatori među očevima (tabela 102). L1 je bila jedina linija sa stabilnim negativnim značajnim vrednostima OKS u obe godine testiranja materijala.

Kada su u pitanju testeri, odnosno linije majke, T4 i T1 su testeri koji su u obe godine ostvarili pozitivne vrednosti, ali je samo vrednost OKS za prvu godinu kod testera T4 bila visoko značajna. T5 i T3 ostvarili su negativne vrednosti u obe godine i najniže u 2019. (T5, visoko značajna), odnosno 2020. godini (T3).

Tabela 102. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za dužinu vrata u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	-3,599**	-1,635*
L2	-0,336	0,122
L3	-1,436	0,955
L4	1,607*	-0,785
L5	2,121**	0,019
L6	0,709	-0,611
L7	1,285	0,335
L8	-0,349	1,599*
LSD 0,05	1,5785	1,3877
LSD 0,01	2,0886	1,8362
Tester		
T1	0,569	0,815
T2	-0,778	0,701
T3	-0,671	-1,008
T4	2,872**	0,211
T5	-1,992**	-0,720
LSD 0,05	1,2479	1,0971
LSD 0,01	1,6512	1,4516

Analizirane izačunate PKS vrednosti (tabela 103) pokazale su značajnost kod 14 ispitivanih hibridnih kombinacija, od kojih 6 sa pozitivnim, L1×T1, L2×T1, L4×T5, L5×T3, L6×T3 i L8×T5 i 8 sa negativnim PKS vrednostima, L2×T3, L2×T5, L4×T1, L5×T1, L5×T5, L6×T5, L7×T1 i L8×T4. Većina hibridnih kombinacija sa ostvarenim pozitivnim značajnim PKS vrednostima nastala je ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora, osim kombinacije L2×T1 u 2020. godini koji je nastao ukrštanjem roditelja sa pozitivnim efektom i L8×T5 u 2019. godini koji je nastao ukrštanjem roditeljskih komponenti sa negativnim vrednostima OKS. Kod hibrida sa negativnim značajnim vrednostima, roditeljske komponente su bile kombinovane na sva tri različita načina, pa je tako tri hibrida nastalo ukrštanjem dva pozitivna opšta kombinatora, dva hibrida nastala su ukrštanjem dva negativna opšta kombinatora i dva hibrida dobijena su kombinacijom pozitivnog i negativnog roditelja.

Tabela 103. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za dužinu vrata u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	8,108**	0,551
	T2	-2,822	-2,701
	T3	-1,632	0,674
	T4	-3,004	1,472
	T5	-0,650	0,003
L2 ×	T1	4,612*	3,478*
	T2	2,742	0,526
	T3	-6,242**	-2,782
	T4	2,926	0,799
	T5	-4,037*	-2,020
L3 ×	T1	0,354	-0,639
	T2	-1,816	1,242
	T3	-1,972	-0,216
	T4	1,918	0,249
	T5	1,515	-0,637
L4 ×	T1	-3,621*	-0,965
	T2	0,476	1,216
	T3	0,592	-1,092
	T4	-1,737	-0,228
	T5	4,290*	1,070
L5 ×	T1	-3,429	-4,135**
	T2	1,621	1,512
	T3	4,114*	3,454*
	T4	2,492	-0,698
	T5	-4,798**	-0,133
L6 ×	T1	0,437	2,211
	T2	-1,806	-0,874
	T3	4,634*	-0,016
	T4	1,224	-0,535
	T5	-4,488*	-0,787
L7 ×	T1	-4,756**	-0,185
	T2	1,998	-1,071
	T3	2,654	-0,196
	T4	1,305	-0,481
	T5	-1,201	1,933
L8 ×	T1	-1,705	-0,315
	T2	-0,392	0,149
	T3	-2,148	0,174
	T4	-5,124**	-0,578
	T5	9,370**	0,570
LSD 0,05		3,5296	3,1030
LSD 0,01		4,6703	4,1058

Tabela 104. Komponente genetičke varijanse za dužinu vrata u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,1023	0,0654
OKS varijansa	0,0512	0,0327
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	14,4209	0,6492
PKS varijansa	14,4209	0,6492
OKS/OKS	0,0035	0,0504

Neaditivno delovanje gena (dominacija i epistaza) bilo je značajnije u nasleđivanju dužine vrata krmnog sirka u obe godine (tabela 104).

Tabela 105. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji dužine vrata u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	16,9180	25,0497
Doprinos testera	15,0282	15,0991
Doprinos linija×tester	68,0539	59,8512

Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji dužine dela stabla od završetka metlice do lista zastavičara u obe ispitivane godine bio je isti (tabela 105). Najveći procentualni doprinos dala je interakcija linija×tester, zatim linije, dok su testeri imali najmanji doprinos u ekspresiji ove osobine.

Do sličnih rezultata došli su i autori Begna et al. (2023) u svom istraživanju gde je analiza komponenti genetičke varijanse za ovu osobinu ukazala na preovlađujući uticaj neaditivne genske akcije, budući da je varijansa posebnih kombinacionih sposobnosti bila veća od opštih, a odnos OKS/OKS manji od jedinice. Ovakvi rezultati ukazuju da je dominantna i epistatična genska kontrola odgovorna za nasleđivanje ove osobine. U istraživanju Williams-Alanis et al. (2022) za ekspresiju osobine dužine vrata, odnosno rastojanje od lista zastavičara do osnove metlice, testeri su pokazali veći doprinos (35,49%) u odnosu na linije (30,31%), dok je eksperimentalna linija RB225A ostvarila visoko značajne OKS vrednosti, što ukazuje na ulogu aditivnog nasleđivanja i mogućnost njene upotrebe u oplemenjivanju genotipova sa poželjnom dužinom vrata. Ogled je sproveden tokom 2018. godine na jednom lokalitetu u Meksiku, koristeći pet linija, osam testera i 40 hibrida sirka, pri čemu su analizirane različite agroekonomske osobine uključujući dužinu vrata sirka.

6.2.11. Prinos zelene krme

Analiza varijanse za ispitivane linije, testere i njihove hibridne kombinacije za prinos zelene mase pokazala je značajnost za većinu izvora varijacije, osim za parametre testera (majke) i linija×tester (tabela 106). Visoko značajna variranja u obe godine ostvarena su za tretmane i roditelje vs. ukrštanja, dok su ukrštanja (hibridi) i linije (očevi) imali visoko značajne vrednosti samo u prvoj, odnosno roditelji (linije i tester) u drugoj godini ispitivanja.

Tabela 106. Značajnost variranja prinosa zelene krme ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljjanja	2	nsz	**
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	nsz	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	*
Linije (očevi)	7	**	*
Testeri (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	nsz	nsz

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01

Tabela 107. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za prinos zelene krme u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	11,161**	0,597
L2	-0,698	-10,755*
L3	-10,833**	-5,231
L4	0,722	6,323
L5	3,849	11,232**
L6	7,158*	8,145
L7	-1,816	-0,909
L8	-9,544**	-9,402*
LSD 0,05	6,6831	8,4515
LSD 0,01	8,8429	11,1827
Testeri		
T1	1,884	-0,499
T2	-4,870	-8,056*
T3	-1,143	5,044
T4	-0,788	3,610
T5	4,916	-0,099
LSD 0,05	5,2835	6,6815
LSD 0,01	6,9909	8,8407

Analiza ostvarenih OKS vrednosti za prinos zelene krme roditeljskih komponenti u tabeli 107 pokazuje najviše visoko značajne pozitivne vrednosti kod linije L1 u prvoj i L5 u drugoj godini ispitivanja. Pored ove dve linije sudanske trave i linije L4 i L6 istakle su se ostvarivanjem stabilnih pozitivnih vrednosti OKS u obe godine što ih svrstava u grupu najboljih opštih kombinatora među linijama oca za ovu osobinu. Linije L2, L3 i L8 istakle su se ostvarivanjem negativnih značajnih vrednosti OKS.

Usled visokih LSD vrednosti, prag značajnosti od 0,05 prevaziđen je samo u 2020. godini kod testera T2 koji je ostvario značajne negativne vrednosti OKS. Nijedan od ispitivanih testera nije imao pozitivne vrednosti u obe godine ispitivanja.

Tabela 108. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za prinos zelene krme u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	-10,148	-1,473
	T2	14,100	18,204
	T3	-2,360	4,303
	T4	8,941	-18,596
	T5	-10,533	-2,437
L2 ×	T1	8,902	10,059
	T2	-7,160	-1,114
	T3	-10,521	-6,705
	T4	7,274	2,096
	T5	1,506	-4,335
L3 ×	T1	-2,047	7,645
	T2	-1,992	5,738
	T3	17,057*	-6,582
	T4	-10,622	-13,908
	T5	-2,396	7,107
L4 ×	T1	7,088	-0,093
	T2	-6,308	-3,675
	T3	9,035	-5,416
	T4	-0,534	16,955
	T5	-9,281	-7,770
L5 ×	T1	2,074	-6,019
	T2	-2,804	-16,302
	T3	1,025	11,698
	T4	-0,570	16,322
	T5	0,276	-5,699
L6 ×	T1	-1,915	-1,161
	T2	-1,407	-5,461
	T3	-11,888	4,688
	T4	-3,260	-3,214
	T5	18,470*	5,148
L7 ×	T1	-9,338	-13,681
	T2	-2,377	-0,830
	T3	-2,150	7,766
	T4	4,241	7,847
	T5	9,624	-1,101
L8 ×	T1	5,384	4,723
	T2	7,949	3,440
	T3	-0,198	-9,751
	T4	-5,470	-7,500
	T5	-7,664	9,089
LSD 0,05		14,9439	18,8981
LSD 0,01		19,7733	25,0053

Ni vrednosti PKS ispitivanih hibridnih kombinacija, kao ni OKS testera, nisu uspele da prevaziđu prag značajnosti LSD 0,01, dok su samo dva hibrida uspela da prevaziđu prag značajnosti LSD 0,05 jedino u prvoj godini ogleda i to oba sa pozitivnim efektom, L3×T3, nastao ukrštanjem dva

roditelja sa negativnim OKS vrednostima i L6×T5, nastao ukrštanjem roditeljskih komponenti sa pozitivnim OKS vrednostima (tabela 108).

Tabela 109. Komponente genetičke varijanse za prinos zelene krme u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa Va (F=1)	4,1035	5,3089
OKS varijansa	2,0517	2,6544
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	27,9388	18,1667
PKS varijansa	27,9388	18,1667
OKS/OKS	0,0734	0,1461

Rezultati analize komponenti genetičke varijanse za prinos zelene krme pokazuju da je odnos OKS/OKS u obe godine bio manji od 1, što govori o većem udelu neaditivne genetičke varijanse u ukupnoj genetičkoj varijansi (tabela 109).

Tabela 110. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji prinosa zelene krme u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	41,8835	37,4778
Doprinos testera	8,8662	13,3626
Doprinos linija×tester	49,2504	49,1596

Najveći procentualni udeo u ekspresiji prinosa zelene krme kod eksperimentalnih hibrida krmnog sirka dala je interakcija linija×tester, zatim linije, a najmanji doprinos dali su testeri (tabela 110).

Chaudhary et al. (2018) su u ogledu koji je postavljen tokom Kharif sezone 2015. godine u randomizovanom blok sistemu sa tri ponavljanja ispitivali 34 genotipa sirka. Na osnovu prosečnih vrednosti, genotip HJ-513 pokazao je najviši prinos zelene krme po parceli. Značajne razlike među genotipovima uočene su za sve osobine, pri čemu je visoka genetska varijabilnost za broj listova, odnos lista i stabljike i prinos zelene krme ukazala na mogućnost njihove efikasne selekcije. Visoka heritabilnost za prinos zelene krme (98,1%) ukazuje na preovlađujući uticaj aditivnih gena i potencijal za uspešnu primenu selekcije u oplemenjivanju. Santosh i Pandey (2024) i Chikuta et al. (2017) ukazuju na značaj gena kako sa aditivnim, tako i sa neaditivnim efektom u nasleđivanju osobine za prinos zelene krme.

6.2.12. Prinos suve materije

Rezultati analize varijanse ispitivanih genotipova za prinos suve materije sirka prikazani su u tabeli 111 i ukazuju na značajnost u većini izvora varijacije za bar jednu godinu ispitivanja. Samo za parametar testeri (majke hibrida) nije postojala značajnost ni u jednoj godini ispitivanja. Tretmani,

roditelji vs. ukrštanja i ukrštanja (hibridi) su parametri koji su imali visoko značajne vrednosti u obe godine poljskog ogleda.

Analizom ostvarenih kombinacionih sposobnosti uočena je značajnost kod četiri linije sudanske trave samo u toku jedne godine, L1 i L5 sa pozitivnim efektom i L3 i L8 sa negativnim. Među testerima, značajne vrednosti ostvarene su samo u drugoj godini ispitivanja i to na nivou LSD 0,05 T4 pozitivne i T2 negativne značajne vrednosti OKS (tabela 112). U kategoriju dobrih opštih kombinatora za prinos suve materije svrstale su se linije sudanske trave L5 i L6, kao i linije sirka za zrno T3 i T4 sa ostvarenim stabilnim pozitivnim vrednostima u obe godine ogleda.

Tabela 111. Značajnost variranja prinosa suve materije ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse u 2019. i 2020. godini.

Izvor variranja	df	Godina	
		2019	2020
Ponavljanja	2	nsz	nsz
Tretmani	52	**	**
Roditelji (linije i testeri)	12	nsz	*
Roditelji vs. ukrštanja	1	**	**
Ukrštanja (hibridi)	39	**	**
Linije (očevi)	7	*	nsz
Testeri (majke)	4	nsz	nsz
Linija×tester	28	nsz	**

*df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01*

Tabela 112. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za prinos suve materije u 2019. i 2020. godini.

Genotip	Godina	
	2019	2020
Linije		
L1	5,833**	-2,516
L2	0,171	-4,143
L3	-3,604*	-1,796
L4	-1,420	4,326
L5	0,899	4,635*
L6	2,982	3,912
L7	-1,566	-0,683
L8	-3,295*	-3,735
LSD 0,05	3,1916	4,3526
LSD 0,01	4,2230	5,7592
Testeri		
T1	0,591	-1,231
T2	-2,067	-4,031*
T3	0,004	2,190
T4	0,084	3,962*
T5	1,387	-0,890
LSD 0,05	2,5231	3,4410
LSD 0,01	3,3385	4,5530

Tabela 113. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za prinos suve materije u 2019. i 2020. godini.

Genotip		Godina	
		2019	2020
L1 ×	T1	-4,213	2,605
	T2	5,455	7,427
	T3	6,654	8,247
	T4	3,160	-8,349
	T5	-11,056**	-9,930*
L2 ×	T1	2,178	4,959
	T2	-2,860	-2,145
	T3	-2,987	-2,992
	T4	2,276	1,565
	T5	1,393	-1,386
L3 ×	T1	0,901	4,395
	T2	-1,785	2,551
	T3	2,948	-7,136
	T4	-3,472	-8,039
	T5	1,408	8,230
L4 ×	T1	3,179	-1,311
	T2	-2,516	-4,255
	T3	3,757	-2,032
	T4	-0,354	12,659*
	T5	-4,067	-5,062
L5 ×	T1	0,247	-2,046
	T2	-1,008	-5,937
	T3	-1,385	6,083
	T4	1,268	9,090
	T5	0,878	-7,191
L6 ×	T1	0,674	1,951
	T2	-1,254	1,170
	T3	-6,844	-1,367
	T4	-2,428	-5,226
	T5	9,852**	3,473
L7 ×	T1	-3,374	-6,685
	T2	0,624	0,568
	T3	-0,523	6,171
	T4	-0,317	1,382
	T5	3,590	-1,436
L8 ×	T1	0,408	-3,866
	T2	3,343	0,620
	T3	-1,621	-6,974
	T4	-0,132	-3,083
	T5	-1,998	13,303**
LSD 0,05		7,1365	9,7326
LSD 0,01		9,4428	12,8779

Ostvarene vrednosti PKS za prinos suve materije bile su pozitivne i značajne kod hibridnih kombinacija L6×T5 u prvoj i L4×T4, L8×T5 u drugoj godini ispitivanja (tabela 113). Eksperimentalni hibrid L1×T5 istakao se ostvarivši značajne negativne vrednosti PKS tokom dvogodišnjeg ispitivanja. Interesantno je da je ovaj hibrid nastao ukrštanjem roditeljskih komponenti koje su imale pozitivan

efekat u prvoj i negativan u drugoj godini ispitivanja. Hibridi sa ostvarenim pozitivnim PKS vrednostima stvoreni su ukrštanjem dva pozitivna opšta kombinatora ($L4 \times T4$ i $L6 \times T5$) i dva negativna opšta kombinatora ($L8 \times T5$).

Tabela 114. Komponente genetičke varijanse za prinos suve materije u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Aditivna varijansa V_a ($F=1$)	0,5582	0,7150
OKS varijansa	0,2791	0,3575
Neaditivna varijansa V_d ($F=1$)	5,8811	24,2945
PKS varijansa	5,8811	24,2945
OKS/OKS	0,0475	0,0147

Vrednosti neaditivne genetičke varijanse (dominacija i epistaza) veće su u obe godine ispitivanja što ukazuje da je u nasleđivanju prinosa suve materije sirka preovladala neaditivna komponenta (tabela 114).

Tabela 115. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji prinosa suve materije u 2019. i 2020. godini.

	Godina	
	2019	2020
Doprinos linija	38,3382	22,4739
Doprinos testera	5,5780	14,5298
Doprinos linija$\times$tester	56,0838	62,9963

U ekspresiji prinosa suve materije krmnog sirka najveći doprinos u obe godine dala je interakcija linija $\times$ tester, zatim linije i na kraju testeri sa najmanjim doprinosom (tabela 115).

Do ovakvih rezultata su došli i drugi autori (Chaudhari et al., 2017; Chaudhary et al., 2018). U jednogodišnjem istraživanju Chaudhari et al. (2017), testirane su kombinacione sposobnosti za kvantitativne osobine, uključujući prinos suve materije po biljci po metodi linija $\times$ testera na 14 roditeljskih linija i 40 eksperimentalnih hibrida. Rezultati su pokazali da je u nasleđivanju prinosa suve materije dominantan uticaj neaditivne genetske varijanse, što potvrđuje viša vrednost varijanse posebne kombinacione sposobnosti (PKS) u odnosu na opštu kombinacionu sposobnost (OKS), kao i njihov odnos manji od jedinice. S druge strane, autori Santosh i Pandey (2024) navode prisustvo obe komponente, aditivne i neaditivne, u nasleđivanju ove osobine.

6.2.13. Kvalitet biomase

Rezultati analize varijanse za metod linija $\times$ tester kod ispitivanih linija, testera i njihovih hibridnih kombinacija prikazani su u tabeli 116 i jasno pokazuju da variranje za većinu izvora nije bilo značajno. Izuzetak su parametri roditelji vs. ukrštanja sa značajnim variranjem za NDF, ADL i RFV, kao i linije (očevi) sa značajnim ADF, NDF i visoko značajnim variranjem RFV. TSS je parametar kvaliteta za koji je ostvarena visoka značajnost za većinu izvora variranja, osim za linije

(očeve) gde je variranje bilo značajno na samo jednom nivou i testeri (majke) gde nije bilo značajnosti.

Tabela 116. Značajnost variranja parametara kvaliteta ispitivanih genotipova na osnovu analize varijanse.

Izvor variranja	df	ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
Ponavljanja	1	*	nsz	**	nsz	nsz
Tretmani	52	nsz	nsz	nsz	nsz	**
Roditelji (linije i testeri)	12	nsz	nsz	nsz	nsz	**
Roditelji vs. ukrštanja	1	nsz	*	*	*	**
Ukrštanja (hibridi)	39	nsz	nsz	nsz	nsz	**
Linije (očevi)	7	*	*	nsz	**	*
Testeri (majke)	4	nsz	nsz	nsz	nsz	nsz
Linija×tester	28	nsz	nsz	nsz	nsz	**

df, stepeni slobode; nsz, nije statistički značajno; *, statistički značajno na nivou 0,05; **, statistički značajno na nivou 0,01; ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Tabela 117. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti roditeljskih komponenti za parametre kvaliteta biomase.

Genotip	ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
Linije					
L1	0,783	0,274	-0,444	-2,099	0,740**
L2	0,029	0,713	0,159	-0,767	-3,160**
L3	-4,688**	-4,959**	-0,938*	18,005**	6,390**
L4	2,411*	2,762	0,241	-8,605*	-1,360**
L5	1,472	0,924	0,393	-4,286	0,510**
L6	-0,276	-0,454	-0,141	0,583	1,490**
L7	-1,125	-1,315	0,464	3,465	-1,350**
L8	1,395	2,053	0,268	-6,298	-3,260**
LSD 0,05	2,3738	3,2127	0,7119	8,1445	0,1480
LSD 0,01	3,1628	4,2805	0,9486	10,8515	0,1971
Testeri					
T1	-1,108	-0,149	0,255	1,473	1,090**
T2	0,252	-0,667	0,429	0,786	-0,941**
T3	-0,388	-1,245	-0,389	3,044	0,509**
T4	1,048	2,386	-0,396	-5,566	1,215**
T5	0,196	-0,325	0,102	0,261	-1,873**
LSD 0,05	1,8767	2,5399	0,5628	6,4388	0,1170
LSD 0,01	2,5004	3,3840	0,7499	8,5788	0,1558

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Tabela 118. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti eksperimentalnih hibrida za parametre kvaliteta biomase.

Genotip		ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
L1 ×	T1	0,963	0,050	-0,734	-1,906	1,760**
	T2	-1,132	-0,112	-0,858	3,501	1,791**
	T3	-0,812	-0,224	-0,239	0,528	-5,409**
	T4	-0,803	-0,330	0,952	0,852	3,635**
	T5	1,784	0,616	0,879	-2,974	-1,777**
L2 ×	T1	0,472	3,516	-1,447	-6,603	0,160
	T2	-2,393	1,039	0,689	0,324	0,691**
	T3	5,732*	1,852	0,433	-12,139	2,741**
	T4	0,536	0,701	0,589	-2,145	-3,715**
	T5	-4,347	-7,108	-0,264	20,564*	0,123
L3 ×	T1	0,024	-0,202	-0,235	-1,500	-4,890**
	T2	7,069*	9,261*	0,396	-26,063**	-0,859**
	T3	-3,821	-5,161	-0,730	19,258*	1,191**
	T4	-2,657	-1,917	-0,194	4,463	0,485**
	T5	-0,615	-1,981	0,763	3,842	4,072**
L4 ×	T1	2,040	2,337	1,346	-5,070	-3,640**
	T2	-4,380	-2,330	-1,588	9,592	1,141**
	T3	2,030	-0,522	0,751	-2,936	3,441**
	T4	0,319	0,317	0,577	-0,662	3,235**
	T5	-0,009	0,198	-1,086	-0,923	-4,177**
L5 ×	T1	-1,296	-1,705	1,119	4,476	3,990**
	T2	-1,531	-3,297	-0,125	7,763	-2,479**
	T3	-0,786	-0,014	-0,061	0,719	0,171
	T4	1,828	2,830	-0,650	-6,496	3,865**
	T5	1,785	2,186	-0,283	-6,462	-5,547**
L6 ×	T1	-0,028	-2,457	-0,527	5,802	2,010**
	T2	2,222	0,131	0,769	-3,896	-0,459**
	T3	-2,918	0,369	-0,478	3,415	4,841**
	T4	0,616	0,113	-0,811	-1,485	-2,365**
	T5	0,108	1,844	1,046	-3,836	-4,028**
L7 ×	T1	-0,714	0,219	0,783	0,065	3,350**
	T2	0,776	-1,468	-0,341	2,227	1,381**
	T3	-0,299	1,250	0,068	-2,946	-4,819**
	T4	-2,025	-2,986	-0,006	9,868	-0,775**
	T5	2,262	2,985	-0,504	-9,213	0,863**
L8 ×	T1	-1,459	-1,759	-0,306	4,738	-2,740**
	T2	-0,629	-3,221	1,060	6,555	-1,209**
	T3	0,871	2,447	0,258	-5,898	-2,159**
	T4	2,185	1,271	-0,460	-4,398	-4,365**
	T5	-0,968	1,262	-0,553	-0,995	10,472**
LSD 0,05		5,3080	7,1838	1,5919	18,2116	0,3308
LSD 0,01		7,0723	9,5715	2,1210	24,2646	0,4408

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Kao najbolji opšti kombinotor istakla se linija L3 koja je ostvarila najniže značajne negativne (ADL), visoko značajne negativne (ADF i NDF) i najviše visoko značajne pozitivne vrednosti OKS za ostale ispitivane parametre kvaliteta (RFV i TSS). Pored L3, i linija sudanske trave L6 izdvojila se

od ostalih kao dobar opšti kombinator, ostvarivanjem negativnih vrednosti OKS za ADF, NDF i ADL, i pozitivnih za RFV i visoko značajnih pozitivnih za TSS (tabela 117). Linija L4 analizom OKS izdvojila se kao najlošiji opšti kombinator za ispitivane parametre kvaliteta. Za parametar kvaliteta TSS, sve ispitivane linije oca pokazale su visoku značajnost vrednosti OKS, s razlikom što su L1, L3, L5 i L6 imali vrednosti sa pozitivnim, a L2, L4, L7 i L8 sa negativnim predznakom. Među ispitivanim linijama sirka za zrno u ulozi testera, odnosno majki eksperimentalnih hibrida, nije dostignut nijedan nivo značajnosti za većinu ispitivanih parametara kvaliteta, osim za TSS gde su isto kao i kod linija, svi testeri postigli značajne OKS vrednosti, T1, T3 i T4 sa pozitivnim i T2 i T5 sa negativnim efektom. Kao najbolji opšti kombinator među testerima izdvojio se tester T3 sa negativnim vrednostima OKS za ADF, NDF i ADL, i pozitivnim za RFV i TSS.

Ostvarene vrednosti PKS (tabela 118) ukazuju na visoku značajnost 37 od ispitivanih 40 hibridnih kombinacija za osobinu TSS i to 19 sa pozitivnim i 18 sa negativnim vrednostima. Za ADF značajnost pozitivnih PKS vrednosti na nivou 0,05 postigli su samo hibridi L3×T3 i L3×T2, dok je za NDF pozitivna značajna vrednost PKS bila ostvarena samo kod L3×T2. ADL je parametar kvaliteta za koji nije postignuta nijedna značajna PKS vrednost ispitivanih hibridnih kombinacija. Za procenat relativne hranljive vrednosti, značajne su bile ostvarene PKS vrednosti eksperimentalnih hibrida L2×T5 i L3×T3 u pozitivnom smislu i L3×T2 u negativnom. Povoljne PKS vrednosti koje nisu imale značajnost za sve parametre kvaliteta pokazali su eksperimentalni hibridi L1×T2, L2×T5, L3×T3, L3×T4, L4×T2, L5×T3 i L6×T1. U grupi izdvojenih hibrida, za povoljne vrednosti ADF ukršteni su roditelji sa dva pozitivna opšta kombinatora u tri slučaja, dva negativna u dva slučaja i jednim pozitivnim i jednim negativnim u 2 slučaja. Za ostvarene PKS vrednosti NDF izdvojenih hibrida ukrštane su pozitivne i negativne roditeljske komponente kod pet hibridnih kombinacija i u dva slučaja oba roditelja sa negativnim OKS vrednostima. PKS vrednosti za procenat ADL kod izdvojenih hibridnih kombinacija nastale su ukrštanjem pozitivnog i negativnog opšteg kombinatora u tri hibrida, i po dve hibridne kombinacije nastale ukrštanjem dva pozitivna odnosno dva negativna opšta kombinatora. Među izdvojenim hibridima, za ostvarivanje PKS vrednosti za RFV ukršteni su jedan pozitivan i jedan negativan opšti kombinator u 5 slučajeva, a u dva hibrida ukrštanje je bilo između dve pozitivne roditeljske komponente. PKS vrednosti za TSS sedam najboljih hibridnih kombinacija nastale su ukrštanjem dva pozitivna roditelja kod 4 eksperimentalna hibrida, 2 negativna kod dva hibrida i kombinacijom pozitivnog i negativnog opšteg kombinatora u samo jednom eksperimentalnom hibridu.

Tabela 119. Komponente genetičke varijanse za parametre kvaliteta biomase.

	ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
Aditivna varijansa Va (F=1)	0,2929	0,4111	0,0116	4,7843	0,5842
OKS varijansa	0,1464	0,2055	0,0058	2,3922	0,2921
Neaditivna varijansa Vd (F=1)	0,4591	2,8031	0,1341	4,0151	16,6988
PKS varijansa	0,4591	2,8031	0,1341	4,0151	16,6988
OKS/OKS	0,3190	0,0733	0,0431	0,5958	0,0175

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Analizom genetičke varijanse u tabeli 119 uočeno je da je neaditivno delovanje gena imalo značajniju ulogu u nasleđivanju svih ispitivanih parametara kvaliteta kod hibridnih kombinacija krmnog sirka.

Tabela 120. Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji parametara kvaliteta.

	ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
Doprinos linija	42,4715	36,7384	23,8313	46,1556	39,2733
Doprinos testera	5,1741	11,5406	13,3635	6,7208	6,7456
Doprinos linija×tester	52,3545	51,7210	62,8052	47,1236	53,9811

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

Doprinos linija, testera i njihove interakcije u ekspresiji kvaliteta krmnog sirka bio je isti za sve ispitivane parametre (tabela 120). Najveći procentualni doprinos dala je interakcija linija×tester, zatim linije, a najmanji je bio doprinos testera.

Chaudhary et al. (2018) u svom istraživanju navode da je heritabilnost ukupnih rastvorljivih čvrstih materija iznosila 77,3%, što ukazuje da ova osobina ima veliki potencijal za selekciju i unapređenje. Santosh i Pandey (2024) u svom istraživanju navode prisustvo gena sa aditivnim i neaditivnim efektom za nasleđivanje TSS. U ogledu sprovedenom na tri polusušna lokaliteta korišćen je sistem ukrštanja linija i testera, obuhvatajući pet ženskih linija, šest muških i 30 hibrida sirka, radi procene kombinacionih sposobnosti i genetske kontrole važnih osobina. Analiza komponenti genetičke varijanse pokazala je da je nasleđivanje sadržaja ukupne rastvorljive čvrste materije pod dominantnom kontrolom aditivnih gena, što ukazuje na mogućnost postizanja genetskog napretka kroz selekciju (Bahadure et al., 2015). U ogledu sprovedenom tokom dve vegetacione sezone na dve lokacije u Kini, ispitivan je hemijski sastav stabla i listova kod 60 cms i tri linije oparašivača sirka, kroz analizu kombinacionih sposobnosti. Rezultati su pokazali da aditivni geni imaju dominantnu ulogu u nasleđivanju osobina kvaliteta biomase, pri čemu su visoke vrednosti heritabilnosti i odnos varijansi GCA/SCA potvrdili preovlađujući doprinos aditivne genetske varijanse (Zhou et al., 2021).

6.3. Heterozis prema srednjem roditelju

6.3.1. Prinos zelene krme i suve materije

Vrednosti heterozisa za prinos krmnog sirka u odnosu na srednjeg roditelja prikazane su u tabeli 121 i 122 i tokom obe godine uglavnom su bile pozitivne i značajne na nivou 0,01. Prosečne vrednosti u drugoj godini bile su veće u odnosu na prosečne vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za prinos krmnog sirka izračunate za prvu godinu ispitivanja. Oba parametra prinosa (prinos zelene krme i prinos suve materije) imali su prosečne pozitivne vrednosti, a najviše je imao prinos suve materije u obe godine ispitivanja. Najviše vrednosti heterozisa 2019. godine za oba parametra prinosa imao je hibrid L6×T5, 109,29** i 190,20**. Eksperimentalni hibridi sa najnižim vrednostima heterozisa u prvoj godini bili su L7×T2 za prinos zelene krme -27,66 i L3×T2 za prinos suve materije -21,21. U drugoj godini ispitivanja hibrid sa najvećim vrednostima heterozisa bio je L5×T3 (164,55** za prinos zelene krme i 417,11** za prinos suve materije), a najniže imali su hibridi L8×T4 -26,70 za prinos zelene krme i L3×T4 -23,78 za prinos suve materije. Kada se posmatraju posebno vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za prinos zelene krme sirka, 27 od 40 eksperimentalnih hibrida su imali pozitivne visoko značajne vrednosti u obe godine poljskog oglada, dok je za prinos suve materije čak 30 eksperimentalnih hibrida krmnog sirka prevazišlo oba praga značajnosti i ostvarilo pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa. Do sličnih rezultata je došao i Laxman (2001) u svom istraživanju gde je metodom linija×tester ispitivao heterozis i kombinacione

sposobnosti 10 hibrida krmnog sirka, uključujući i roditeljske komponente 5 cms linija i 2 restorera u agroekološkim uslovima Indije. Heterozis predstavlja ključni kriterijum za selekciju novih hibrida, a u istraživanju ovog autora bio je naročito izražen kod prinosa suve biomase, sa vrednostima u rasponu od 98,18% do 139,73%.

Tabela 121. Heterozis prema srednjem roditelju za prinos u 2019. godini.

Genotip	Prinos zelene krme	Prinos suve materije
L1×T1	67,49**	93,72**
L2×T1	68,15**	88,26**
L3×T1	22,25**	35,05**
L4×T1	54,58**	63,42**
L5×T1	47,21**	49,90**
L6×T1	72,96**	108,31**
L7×T1	-9,82	-2,59
L8×T1	44,96**	44,06**
L1×T2	61,71**	116,43**
L2×T2	-19,65	3,27**
L3×T2	-24,61	-21,21
L4×T2	-19,90	-14,55
L5×T2	-8,40	5,44**
L6×T2	14,57**	40,56**
L7×T2	-27,66	-6,70
L8×T2	-1,60	23,96**
L1×T3	47,61**	165,72**
L2×T3	-11,00	28,54**
L3×T3	38,57**	36,69**
L4×T3	27,47**	52,58**
L5×T3	15,48**	25,43**
L6×T3	10,33**	25,07**
L7×T3	-14,79	6,08**
L8×T3	-1,94	12,45**
L1×T4	90,14**	118,74**
L2×T4	38,77**	58,85**
L3×T4	-22,18	-16,85
L4×T4	15,19**	15,54**
L5×T4	20,17**	35,05**
L6×T4	41,66**	50,27**
L7×T4	2,91**	1,62**
L8×T4	-7,19	15,96**
L1×T5	51,35**	34,52**
L2×T5	36,89**	83,61**
L3×T5	12,64**	42,08**
L4×T5	7,12**	11,25**
L5×T5	33,07**	56,81**
L6×T5	109,29**	190,20**
L7×T5	22,92**	46,40**
L8×T5	0,44**	26,80**

Negativne vrednosti za prinos nisu bile značajne, osim negativne visoko značajne vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za prinos suve materije kod hibrida L8×T3 -0,77**.

Tabela 122. Heterozis prema srednjem roditelju za prinos u 2020. godini.

Genotip	Prinos zelene krme	Prinos suve materije
L1×T1	54,41**	94,42**
L2×T1	50,97**	101,08**
L3×T1	37,27**	44,18**
L4×T1	36,58**	90,60**
L5×T1	61,92**	190,18**
L6×T1	57,60**	101,69**
L7×T1	4,59**	9,54**
L8×T1	1,54**	-11,81
L1×T2	88,24**	105,39**
L2×T2	5,41**	12,92**
L3×T2	18,14**	15,33**
L4×T2	15,18**	44,18**
L5×T2	19,80**	104,98**
L6×T2	31,73**	72,04**
L7×T2	18,01**	37,81**
L8×T2	-13,58	-4,00
L1×T3	124,16**	214,44**
L2×T3	49,17**	87,90**
L3×T3	39,78**	7,73**
L4×T3	59,95**	138,77**
L5×T3	164,55**	417,11**
L6×T3	120,06**	128,07**
L7×T3	96,92**	154,76**
L8×T3	-2,15	-0,77**
L1×T4	-4,33	-4,67
L2×T4	12,40**	41,88**
L3×T4	-18,65	-23,78
L4×T4	48,64**	128,51**
L5×T4	81,22**	180,01**
L6×T4	31,16**	30,88**
L7×T4	31,96**	41,93**
L8×T4	-26,70	-9,44
L1×T5	57,97**	-17,75
L2×T5	19,56**	36,16**
L3×T5	40,74**	57,49**
L4×T5	24,90**	52,18**
L5×T5	68,78**	107,32**
L6×T5	78,30**	98,48**
L7×T5	37,76**	37,99**
L8×T5	12,66**	78,24**

6.3.2. Komponente prinosa

Tabela 123. Heterozis prema srednjem roditelju za komponente prinosa u 2019. godini.

Genotip	BRD NM	BRD MMVZ	VB	PS MR	PS IČL	BRI	BRL	PZL	DM	DV
L1×T1	-4,40	23,81**	28,40**	6,90**	-9,30	18,31**	9,37**	12,38**	10,34**	56,86**
L2×T1	0,00**	8,00**	30,31**	31,50**	28,45**	17,50**	9,05**	28,34**	24,47**	25,67**
L3×T1	-3,34	8,00**	22,49**	19,70**	17,34**	15,37**	7,31**	18,87**	18,00**	3,08**
L4×T1	-5,23	47,62**	30,67**	43,20**	34,45**	25,46**	22,10**	37,36**	24,77**	-2,70
L5×T1	1,58**	-7,14	35,07**	9,34**	0,16**	34,66**	35,47**	11,39**	1,32**	18,60**
L6×T1	-4,14	5,19**	23,72**	20,26**	15,28**	26,73**	23,04**	20,98**	14,24**	0,22**
L7×T1	-3,28	1,30**	21,91**	16,64**	-1,92	7,14**	-20,00	-7,93	17,13**	-9,15
L8×T1	0,33**	-1,82	27,24**	11,10**	5,55**	7,20**	-15,33	12,71**	17,45**	35,10**
L1×T2	-5,81	31,71**	45,11**	16,47**	-12,17	37,08**	-11,42	14,13**	-1,35	-74,56
L2×T2	-2,74	14,29**	62,19**	20,41**	3,52**	53,33**	31,79**	33,05**	20,68**	3,45**
L3×T2	-2,41	10,20**	32,10**	17,96**	8,09**	32,72**	12,25**	27,39**	10,72**	-32,50
L4×T2	-3,17	41,46**	46,96**	25,72**	8,26**	42,54**	22,25**	39,15**	7,04**	43,01**
L5×T2	5,00**	-1,82	53,67**	17,36**	3,00**	52,27**	37,23**	22,70**	8,47**	86,96**
L6×T2	-4,40	7,28**	49,50**	22,65**	7,08**	45,71**	34,16**	54,77**	27,51**	-27,80
L7×T2	-10,06	7,28**	41,63**	26,64**	8,64**	38,62**	21,86**	36,85**	11,44**	84,42**
L8×T2	0,65**	11,11**	59,34**	19,32**	-13,04	35,14**	-17,06	1,88**	13,00**	52,28**
L1×T3	-6,05	23,81**	40,54**	37,25**	-0,86	31,61**	-11,21	8,59**	2,83**	-63,69
L2×T3	-1,20	4,00**	37,81**	31,85**	-0,08**	33,89**	-10,10	10,86**	16,87**	-81,80
L3×T3	-3,88	8,00**	35,51**	36,56**	10,30**	27,73**	-4,61	30,04**	9,31**	-40,75
L4×T3	-0,57	14,29**	54,93**	57,74**	28,10**	51,53**	42,60**	34,19**	17,00**	28,50**
L5×T3	4,02**	-14,29	52,31**	49,67**	24,93**	41,27**	29,85**	53,05**	10,65**	96,15**
L6×T3	-5,23	-2,60	48,25**	36,83**	18,86**	37,08**	25,12**	38,69**	14,38**	23,20**
L7×T3	-4,40	1,30**	41,07**	39,58**	21,83**	23,53**	7,46**	49,86**	12,98**	69,51**
L8×T3	2,24**	-1,82	40,84**	26,34**	-13,92	17,36**	-19,41	-19,20	7,40**	0,46**
L1×T4	-5,75	9,09**	32,40**	13,74**	-12,88	20,30**	-20,92	11,90**	3,28**	-41,58
L2×T4	-2,70	15,38**	41,39**	23,71**	3,75**	41,02**	16,17**	30,74**	13,40**	26,23**
L3×T4	-4,76	0,00**	29,84**	-0,89	-7,31	15,14**	-2,84	31,46**	9,34**	40,90**
L4×T4	-4,27	22,73**	38,80**	38,18**	16,65**	33,33**	16,81**	42,46**	-6,66	41,11**
L5×T4	-2,47	0,00**	35,67**	19,03**	2,02**	32,09**	17,65**	12,33**	4,05**	118,45**
L6×T4	-3,77	-10,00	48,13**	19,04**	4,21**	37,13**	23,62**	40,15**	11,08**	23,27**
L7×T4	-2,34	-10,00	42,19**	30,45**	15,32**	27,79**	11,48**	37,62**	19,55**	96,25**
L8×T4	3,82**	-8,77	35,57**	26,72**	-13,47	25,53**	-8,84	-0,68	-5,32	7,86**
L1×T5	-5,62	23,81**	25,68**	3,30**	-32,06	10,53**	-12,92	-19,03	-9,47	-72,83
L2×T5	2,05**	-4,00	47,30**	18,73**	-7,30	24,49**	-11,11	-3,96	4,91**	-77,93
L3×T5	-5,81	8,00**	34,45**	27,61**	11,36**	9,00**	13,29**	26,27**	13,32**	-31,52
L4×T5	-5,29	19,05**	48,69**	43,43**	18,38**	34,43**	23,01**	38,21**	5,80**	27,14**
L5×T5	4,22**	-22,62	42,55**	1,33**	-31,91	21,63**	-12,41	5,10**	-7,59	-50,91
L6×T5	-5,38	5,19**	41,72**	18,96**	-6,88	17,26**	-9,89	7,47**	6,56**	-73,07
L7×T5	-1,71	-14,29	45,80**	23,60**	-12,33	20,00**	-9,36	-4,77	7,47**	-20,76
L8×T5	-9,32	20,00**	36,94**	23,86**	1,39**	12,91**	0,00**	6,26**	4,69**	101,64**

BRDNM, broj dana od nicanja do metličenja; BRDMMVZ, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; VB, visina biljke; PSMR, prečnik stabljike na mestu reza; PSIČL, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; BRI, broj internodija; BRL, broj listova; PZL, površina zelenog lista; DM, dužina metlice; DV, dužina vrata

Prosečne vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za komponente prinosa krmnog sirka (tabele 123 i 124) u većini posmatranih osobina bile su veće u prvoj godini ispitivanja. Izuzetak su bili parametri prečnik stabljike iznad 4. lista, površina zelenog lista, dužina metlice i dužina vrata sa većim prosečnim vrednostima heterozisa u drugoj godini. Najviše prosečne vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja ostvarene su za visinu biljke u prvoj godini i za dužinu vrata u drugoj godini. Parametar broj dana od nicanja do metličenja hibrida krmnog sirka je u obe godine ispitivanja

pokazao najniže prosečne vrednosti heterozisa i bio je jedini sa negativnim prosečnim vrednostima. Kada se posmatraju parametri posebno, za broj dana od nicanja do metličenja, dominirali su hibridi sa negativnim vrednostima heterozisa bez značaja u obe godine. Tokom dvogodišnjeg ispitivanja nijedan eksperimentalni hibrid nije imao stabilne visoko značajne vrednosti. Za ovu osobinu najviše visoko značajne vrednosti ostvarili su hibridi L5×T2 5,00** u prvoj i L6×T3 5,61** u drugoj godini, dok su se po najnižim vrednostima izdvojili L7×T2 -10,06 i L8×T2 -15,82. Za broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna izdvojio se hibrid L4×T1 ostvarivanjem najviših vrednosti heterozisa (47,62** i 12,30) sa visokom značajnošću samo u prvoj godini. Hibridi L5×T5 u prvoj godini (-22,62) i L6×T4 u drugoj godini (-4,95**) ostvarili su najniže vrednosti heterozisa. U toku 2019. godine više je bilo zastupljenih hibrida sa pozitivnim visoko značajnim vrednostima, dok su u 2020. preovladavali hibridi sa pozitivnim vrednostima bez značaja, a ostatak su činili hibridi sa negativnim visoko značajnim vrednostima. Prilikom analize heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za ovu osobinu izdvojilo se 5 hibrida koji su imali visoko značajne vrednosti u obe godine, L6×T1(5,19** i -1,00**), L7×T1 (1,30** i 0,00**), L3×T4 (0,00** u obe godine), L5×T4 (0,00** u obe godine) i L6×T5 (5,19** i -0,50**). Posmatrajući vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za visinu biljaka krmnog sirka tokom obe godine uočeno je da su svi ispitivani eksperimentalni hibridi imali stabilne visoko značajne pozitivne vrednosti. Najviše pozitivne visoko značajne vrednosti za ovu osobinu u 2019. godini imao je L2×T2 (62,19**), a u 2020. L5×T3 (57,69**), dok su najniže, ali takođe pozitivne i visoko značajne vrednosti heterozisa, ostvarili hibridi L7×T1 (21,91**) i L7×T2 (0,83**). Za prečnik stabljike na mestu reza, vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja kretale su se od -0,89 za L3×T4 do 57,74** za L4×T3 u prvoj i od L7×T2 (0,65**) do L1×T3 (31,40**) u drugoj godini. Kada se posmatra ova osobina, čak 38 od 40 hibrida je imalo pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa u obe godine. Izuzetak su dva eksperimentalna hibrida, L3×T4 zbog jedine negativne vrednosti heterozisa za ovu osobinu koja nije bila statistički značajna samo u prvoj godini i L1×T5 koja je u drugoj godini ostvarila pozitivnu vrednost koja nije bila značajna ni na jednom nivou. Kada je u pitanju prečnik stabljike iznad 4. lista dominirale su pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa naročito u drugoj godini, a 24 od 40 ispitivanih hibrida su imali pozitivne visoko značajne vrednosti u obe godine. Izuzetak je hibrid L2×T3 koji je samo u prvoj godini imao negativnu visoko značajnu vrednost heterozisa (-0,08**). Hibridne kombinacije L4×T1 (34,45**) i L5×T3 (45,00**) izdvojile su se najvećim vrednostima heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja, dok je u dvogodišnjem ispitivanju hibrid L1×T5 imao najmanje vrednosti (-32,06 i -1,21). Za broj internodija, sve vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja bile su značajne na nivou 0,01. U 2019. godini sve izračunate vrednosti bile su pozitivne, dok je 2020. godine 4 hibrida imalo negativne visoko značajne vrednosti, L3×T2, L7×T2, L1×T5 i L5×T5. Najviše vrednosti heterozisa imali su L2×T2 u prvoj godini (53,33**) i L4×T3 u drugoj (35,43**). Po najmanjim vrednostima izdvojili su se hibridi L7×T1 u 2019. (7,14**) i u 2020. godini L1×T5 (-8,42**). Kada je u pitanju broj listova krmnog sirka, izračunate vrednosti heterozisa kretale su se u intervalu od -20,92 za hibrid L1×T4 do 42,60** za hibrid L4×T3 2019. godine i od -9,09 za hibrid L8×T5 do 30,55** za hibrid L1×T1 u 2020. godini. U obe godine su preovladavale hibridne kombinacije sa ostvarenim pozitivnim visoko značajnim vrednostima heterozisa, dok je samo 18 eksperimentalnih hibrida ostvarilo stabilne pozitivne visoko značajne vrednosti. U prvoj godini 6, a u drugoj godini samo 1 hibrid imao je negativne vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za površinu zelenog lista. Svi ostali hibridi ostvarili su visoko značajne pozitivne vrednosti, a onih koji su to ostvarili u obe godine i bili stabilni u pozitivnim vrednostima bilo je 34. Jedini eksperimentalni hibrid sa stabilnim negativnim vrednostima za obe godine i najnižim heterozisom za 2020. godinu (-7,83) bio je L1×T5. Najnižu vrednost heterozisa u prvoj godini imao je hibrid L8×T3 (-19,20), dok su hibridi L6×T2 (54,77**) u prvoj godini i L8×T1 (56,99**) u drugoj imali najviše vrednosti. Iste hibridne kombinacije ostvarile su i najviše vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za dužinu metlice, L6×T2 (27,51**) u 2019. godini i L8×T1 (42,96**) u 2020. godini. Za ovu osobinu tokom dve godine ispitivanja najniže vrednosti bile su ostvarene kod hibrida L1×T5 (-9,47) i L3×T4 (-14,94). U prvoj godini čak 35 hibrida ostvarilo je pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa, dok je u drugoj godini ovakvih hibrida bilo 34. Hibridnih kombinacija, koje su u obe

godine imale stabilne pozitivne vrednosti heterozisa značajne na nivou 0,01, bilo je 31. Ostvarene vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za dužinu vrata bile su u većini hibridnih kombinacija pozitivne visoko značajne, a onih koji su takve rezultate ostvarili u obe godine bilo je 19. L5×T4 (118,45**) bio je hibrid sa najvišim vrednostima u prvoj godini, a L8×T2 (198,15**) u drugoj. Najniže vrednosti imao je eksperimentalni hibrid krmnog sirka L2×T3 u obe godine (-81,80 i -62,58).

Tabela 124. Heterozis prema srednjem roditelju za komponente prinosa u 2020. godini.

Genotip	BRD NM	BRD MMVZ	VB	PS MR	PS IČL	BRI	BRL	PZL	DM	DV
L1×T1	3,15**	7,53	29,71**	21,80**	29,48**	22,87**	30,55**	35,62**	23,00**	52,38**
L2×T1	-3,35	1,02	22,09**	15,30**	18,31**	14,48**	5,67**	23,25**	30,99**	194,61**
L3×T1	-3,15	1,02	8,80**	4,17**	9,65**	2,02**	16,62**	26,87**	12,08**	95,17**
L4×T1	-1,65	12,30	22,04**	15,35**	17,42**	32,62**	22,78**	27,95**	29,41**	0,72**
L5×T1	-3,13	-1,98**	28,25**	15,98**	25,56**	10,86**	20,12**	18,94**	22,45**	-50,00
L6×T1	-1,90	-1,00**	17,98**	11,16**	11,32**	10,80**	15,82**	19,61**	21,65**	73,02**
L7×T1	-9,39	0,00**	15,37**	4,66**	2,83**	0,15**	-5,76	7,00**	34,62**	109,57**
L8×T1	-2,18	-1,98**	18,69**	2,23**	16,03**	20,87**	3,51**	56,99**	42,96**	159,55**
L1×T2	-3,16	7,03	16,69**	15,14**	15,00**	20,17**	5,50**	31,75**	-8,59	-39,18
L2×T2	-5,29	4,62	9,81**	6,79**	12,04**	8,73**	4,18**	10,49**	-0,67	121,81**
L3×T2	-0,24	1,54	1,37**	7,43**	0,69	-7,43**	5,01**	31,63**	-10,21	167,02**
L4×T2	4,96**	9,68	19,95**	16,28**	14,56**	19,96**	18,82**	33,33**	6,38**	54,20**
L5×T2	-3,63	-1,49**	21,25**	25,41**	26,77**	19,33**	19,43**	46,44**	12,42**	80,77**
L6×T2	0,48**	0,50	9,97**	5,26**	14,57**	14,19**	-5,94	50,42**	15,89**	10,31**
L7×T2	-8,96	0,51	0,83**	0,65**	-0,14	-3,50**	-8,03	3,45**	2,30**	94,19**
L8×T2	-15,82	1,49	16,85**	8,43**	19,80**	17,05**	-9,04	37,70**	14,89**	198,15**
L1×T3	-4,53	7,03	44,98**	31,40**	33,79**	29,98**	12,98**	29,51**	7,50**	-31,01
L2×T3	-3,77	1,54	28,61**	21,43**	21,15**	26,01**	6,74**	23,98**	26,68**	-62,58
L3×T3	-0,72	2,56	11,69**	7,35**	16,03**	21,65**	11,70**	22,60**	-4,75	2,24**
L4×T3	3,48**	3,23	38,93**	12,64**	31,11**	35,43**	19,24**	44,81**	23,81**	-57,55
L5×T3	-5,94	-4,48**	57,69**	26,29**	45,00**	28,58**	13,54**	34,12**	28,97**	26,70**
L6×T3	5,61**	-0,50**	28,58**	21,41**	17,87**	19,59**	10,72**	20,58**	1,29**	-38,02
L7×T3	-13,43	0,51	30,90**	19,27**	16,15**	20,84**	-8,82	15,06**	19,25**	-3,40
L8×T3	-9,79	-1,49**	31,26**	9,83**	25,85**	10,81**	-4,84	30,88**	21,58**	34,51**
L1×T4	-7,55	2,13	33,30**	15,47**	13,69**	9,26**	0,55**	17,30**	6,48**	54,44**
L2×T4	-5,83	3,03	32,11**	25,28**	25,43**	14,36**	9,87**	16,91**	19,94**	89,23**
L3×T4	-5,66	0,00**	11,45**	12,82**	4,80**	0,77**	8,86**	6,99**	-14,94	94,46**
L4×T4	-3,21	4,76	34,73**	27,23**	26,71**	30,33**	10,82**	38,42**	19,28**	0,17**
L5×T4	-5,16	0,00**	37,62**	27,23**	31,08**	24,03**	22,95**	19,29**	12,12**	7,88**
L6×T4	2,08**	-4,95**	21,98**	23,31**	17,70**	13,74**	-3,81	26,60**	10,51**	-2,61
L7×T4	-4,35	-4,00**	24,12**	9,13**	10,21**	7,34**	-1,17	17,09**	2,96**	72,15**
L8×T4	-10,85	-2,94**	24,05**	16,06**	28,43**	6,60**	8,65**	21,32**	4,73**	118,67**
L1×T5	-4,85	7,03	28,36**	8,65	-1,21	-8,42**	3,95**	-7,83	-4,28	-24,42
L2×T5	-4,11	-1,54**	38,79**	11,16**	10,07**	19,28**	-0,75	6,45**	15,84**	-28,97
L3×T5	-1,15	1,54	21,06**	10,29**	16,29**	6,36**	6,41**	26,74**	6,13**	22,35**
L4×T5	-2,92	7,53	37,07**	18,03**	21,11**	23,19**	20,29**	21,83**	11,81**	-4,91
L5×T5	-3,45	-4,48**	44,90**	11,26**	11,11	-7,86**	-3,06	22,06**	12,82**	-11,73
L6×T5	-6,33	-0,50**	33,90**	6,12**	7,01**	16,06**	-6,73	12,55**	14,99**	-35,89
L7×T5	-8,97	-2,54**	37,67**	15,06**	3,43**	2,93**	-2,43	19,17**	14,40**	81,78**
L8×T5	-14,09	4,48	25,71**	1,32**	23,41**	13,53**	-9,09	31,21**	8,83**	87,17**

BRD NM, broj dana od nicanja do metličenja; BRD MMVZ, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; VB, visina biljke; PS MR, prečnik stabljike na mestu reza; PSIČL, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; BRI, broj internodija; BRL, broj listova; PZL, površina zelenog lista; DM, dužina metlice; DV, dužina vrata

Laxman (2001) je ustanovio pozitivan heterozis za visinu biljaka prilikom ispitivanja 5 linija majki, dve linije oca i njihovih 10 eksperimentalnih hibrida sirka. Heterozis za prinos zelene krme, ispoljio se kao rezultat efekta heterozisa za komponente prinosa, pa je tako utvrđen i heterozis za

visinu biljke, dužinu i širinu lista, površinu lista i prečnik stabljike, ukazujući na značajnost ovih osobina u selekciji sirka na prinos (Agarwal i Shrotria, 2005).

6.3.3. Kvalitet biomase

Prosečne vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za parametre kvaliteta bile su najviše kod ADL, a najniže kod parametra TSS (tabela 125). Analiza značajnosti ostvarenih vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja za parametre kvaliteta pokazala je da je najveća značajnost bila kod parametra ADL sa 29 visoko značajnih hibrida, zatim RFV sa 27 i 25 kod TSS. Razlika između ovih vrednosti bila je što su kod ADL i RFV ostvarene značajne vrednosti bile pozitivnog predznaka, dok su za TSS sve značajne vrednosti bile negativne. Za ADF i NDF 16, odnosno 14 hibridnih kombinacija su prešle prag značajnosti na nivou 0,01. Kada se parametri posmatraju pojedinačno, najveće vrednosti za ADF ostvarene su kod hibrida L3×T2 (13,82**), za NDF kod L5×T4 (8,05**), za ADL kod L6×T5 (38,03**), za RFV kod L3×T3 (47,07**) i za TSS kod L8×T5 (153,33). Hibridna kombinacija L3×T3 imala je najniži heterozis za ADF (-22,64), NDF (-24,59) i ADL (-24,66). L5×T4 izdvojio se najnižom vrednošću heterozisa za RFV (-12,82), a L4×T5 najnižom za TSS (-76,92**).

Značajan pozitivan heterozis za TSS zabeležili su Kumari et al. (2018) za 3 eksperimentalna hibrida od ispitivanih 30. Heterozis za brix vrednosti kod 20 eksperimentalnih hibrida sirka varirao je u intervalu od -12,13 do 7,60 (Pothisoong i Jaisil, 2011). Mohammed i Talib (2008) ispitivali su heterozis i kombinacione sposobnosti 28 hibrida sirka, zajedno sa 11 roditeljskih komponenti za parametre kvaliteta metodom linija×tester i ustanovili poželjne, negativne vrednosti heterozisa za NDF.

Tabela 125. Heterozis prema srednjem roditelju za parametre kvaliteta biomase.

Genotip	ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
L1×T1	-5,84	-9,60	-13,16	12,66**	-1,96**
L2×T1	-2,85	2,89**	-7,48	0,21**	14,29
L3×T1	-11,35	-11,16	-9,48	18,23**	9,52
L4×T1	4,28**	1,21**	20,78**	-2,31	-33,33**
L5×T1	-6,19	-7,60	28,59**	11,22**	123,08
L6×T1	-2,63	-7,92	-0,54	10,85**	38,46
L7×T1	-9,50	-8,65	24,24**	14,55**	5,49
L8×T1	-8,70	-6,74	5,04**	11,94**	-39,62**
L1×T2	-5,39	-8,68	-5,12	13,25**	-33,86**
L2×T2	-4,30	-0,01**	36,58**	2,75**	-40,54**
L3×T2	13,82**	7,72**	10,36**	-10,09	-0,92**
L4×T2	-5,85	-5,48	-7,46	8,58**	-27,06**
L5×T2	-1,08	-9,13	24,14**	9,63**	-37,66**
L6×T2	9,39**	-1,81	30,59**	-3,34	-30,10**
L7×T2	0,01**	-10,37	21,21**	11,67**	-44,83**
L8×T2	-1,13	-7,99	36,85**	8,72**	-64,10**
L1×T3	-11,41	-14,41	-14,84	23,73**	-66,67**
L2×T3	8,16**	-4,97	10,31**	0,93**	18,03
L3×T3	-22,64	-24,59	-24,66	47,07**	41,67
L4×T3	2,33**	-8,35	5,21**	7,16**	27,78
L5×T3	-6,54	-9,37	3,88**	14,56**	25,63
L6×T3	-11,56	-7,77	-8,49	15,42**	40,00
L7×T3	-9,98	-11,48	6,12**	18,90**	-74,76**
L8×T3	-4,75	-4,32	4,42**	7,39**	-50,77**
L1×T4	-3,13	-3,11	9,92**	2,10**	-10,77**
L2×T4	4,79**	5,77**	23,86**	-7,25	-66,23**
L3×T4	-10,89	-6,60	-9,40	11,76**	21,43
L4×T4	7,41**	5,35**	12,27**	-10,00	9,09
L5×T4	8,81**	8,05**	5,21**	-12,82	45,00
L6×T4	6,73**	4,66**	-4,63	-8,24	-30,19**
L7×T4	-5,55	-6,91	15,31**	11,66**	-46,22**
L8×T4	7,21**	6,10**	3,65**	-10,76	-75,31**
L1×T5	0,56**	-5,04	21,51**	3,78**	-48,94**
L2×T5	-10,36	-12,32	24,47**	20,73**	-21,95**
L3×T5	-8,15	-10,68	17,88**	16,22**	84,21
L4×T5	3,95**	1,56**	0,48**	-4,64	-76,92**
L5×T5	6,06**	3,29**	24,29**	-7,22	-63,64**
L6×T5	2,62**	4,14**	38,03**	-5,28	-48,57**
L7×T5	2,66**	0,09**	21,08**	-2,34	-36,87**
L8×T5	-3,04	2,52**	15,07**	-1,51	153,33

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance

6.4. Heterozis prema boljem roditelju

6.4.1. Prinos zelene krme i suve materije

Tabela 126. Heterozis prema boljem roditelju za prinos u 2019. godini.

Genotip	Prinos zelene krme	Prinos suve materije
L1×T1	47,16**	71,95**
L2×T1	36,17**	59,60**
L3×T1	5,55**	9,40**
L4×T1	19,63**	28,87**
L5×T1	12,84**	14,54**
L6×T1	47,38**	82,18**
L7×T1	-35,77	-28,52
L8×T1	23,20**	22,69**
L1×T2	38,63**	105,14**
L2×T2	-24,73	3,19**
L3×T2	-34,24	-25,42
L4×T2	-20,38	-21,76
L5×T2	-9,09	-7,18
L6×T2	1,31**	35,42**
L7×T2	-35,46	-21,94
L8×T2	-12,75	23,17**
L1×T3	37,06**	155,67**
L2×T3	-13,02	17,57**
L3×T3	31,16**	18,89**
L4×T3	17,53**	28,80**
L5×T3	5,15**	2,21**
L6×T3	6,01**	18,40**
L7×T3	-29,54	-17,39
L8×T3	-5,49	3,38**
L1×T4	89,17**	110,33**
L2×T4	26,74**	56,62**
L3×T4	-23,35	-22,40
L4×T4	-0,31**	4,36**
L5×T4	2,82**	17,36**
L6×T4	37,37**	46,91**
L7×T4	-19,41	-15,99
L8×T4	-10,27	14,96**
L1×T5	48,55**	22,69**
L2×T5	26,60**	59,69**
L3×T5	12,45**	17,87**
L4×T5	-6,20	-10,24
L5×T5	15,16**	22,44**
L6×T5	105,68**	160,67**
L7×T5	-2,77	9,59**
L8×T5	-1,59*	10,81**

Tabela 127. Heterozis prema boljem roditelju za prinos u 2020. godini.

Genotip	Prinos zelene krme	Prinos suve materije
L1×T1	39,84**	45,69**
L2×T1	33,99**	50,83**
L3×T1	10,26**	-7,31
L4×T1	5,75**	34,05**
L5×T1	41,14**	162,61**
L6×T1	32,27**	39,17**
L7×T1	-13,80	-24,08
L8×T1	-25,94	-42,90
L1×T2	68,10**	58,64**
L2×T2	-7,72	-12,69
L3×T2	-6,23	-24,34
L4×T2	-11,81	4,11**
L5×T2	3,04**	93,18**
L6×T2	9,15**	21,74**
L7×T2	-3,94	-2,02*
L8×T2	-37,59	-36,54
L1×T3	66,23**	103,63**
L2×T3	9,00**	21,77**
L3×T3	-4,87	-37,02
L4×T3	6,10**	48,12**
L5×T3	90,83**	282,53**
L6×T3	54,48**	39,69**
L7×T3	36,47**	56,50**
L8×T3	-37,71	-41,72
L1×T4	-15,05	-15,23
L2×T4	1,84**	25,98**
L3×T4	-20,13	-33,84
L4×T4	39,10**	123,33**
L5×T4	67,32**	107,10**
L6×T4	26,42**	29,52**
L7×T4	30,04**	41,57**
L8×T4	-36,63	-20,32
L1×T5	38,52**	-32,23
L2×T5	2,82**	12,33**
L3×T5	10,02**	7,98**
L4×T5	-5,72	16,29**
L5×T5	42,68**	102,16**
L6×T5	45,35**	48,25**
L7×T5	10,37**	3,61**
L8×T5	-19,65	23,26**

Analizom vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za prinos zelene krme i prinos suve materije krmnog sirka u toku dvogodišnjeg ispitivanja, utvrđeno je da su dominantne bile pozitivne vrednosti sa visokom značajnošću, na nivou 0,01 (tabele 126 i 127). Kao i kod analize prosečnih vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja, i heterozis u odnosu na boljeg roditelja bio je veći za oba parametra u 2020. godini. Prosečne vrednosti za oba parametra prinosa bile su pozitivne i veće kod prinosa suve materije tokom obe godine. Najveći heterozis u prvoj godini

ispitivanja za oba parametra prinosa imala je hibridna kombinacija L6×T5 (105,68** prinos zelene krme i 160,67** prinos suve materije), dok je hibrid sa najnižim heterozisom za prinos krmnog sirka bio L7×T1 (-35,77 prinos zelene krme i 28,52 prinos suve materije). U drugoj godini hibrid L5×T3 imao je najveće vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za prinos zelene krme (90,83**) i za prinos suve materije (282,53**). Najniže negativne vrednosti heterozisa u drugoj godini bile su kod eksperimentalnih hibrida L8×T3 za prinos zelene krme (-37,71) i L8×T1 za prinos suve materije (-42,90). Od ukupno posmatranih 40 eksperimentalnih hibrida, 21 je prevazišao prag značajnosti od 0,01 kada je u pitanju prinos zelene krme, dok je 22 hibrida imalo visok stepen značajnosti za prinos suve materije za obe godine ispitivanja. Izuzetak među hibridima koji su ostvarili značajnost bili su L4×T4 za prinos zelene krme, koji je ostvario negativnu visoko značajnu vrednost u prvoj godini ogleda (-0,31**) i hibrid L7×T2 sa negativnom vrednošću -2,02* koja je bila značajna na nivou 0,05.

U istraživanju Pataki et al. (2007) ispitivane su kombinacione sposobnosti za visinu biljaka kod osam cms linija krmnog sirka i dve R linije sudanske trave, primenom metode linija×tester. Ukupno 11 hibridnih kombinacija u prvom otkosu i sve kombinacije u drugom otkosu pokazale su visoko značajan pozitivan heterozis u odnosu na boljeg roditelja, sa procentima koji su se kretali od 1% do 21,9% u prvom i od 8,96% do 38,65% u drugom otkosu. Kod pojedinih hibrida identifikovani su slučajevi potpune dominacije i parcijalne dominacije, što ukazuje na prisustvo različitih tipova naslednog delovanja u ekspresiji ove osobine.

6.4.2. Komponente prinosa

Za većinu posmatranih komponenti prinosa krmnog sirka (tabele 128 i 129), prosečne vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja bile su veće u drugoj godini ispitivanja. Samo su prosečne vrednosti za osobine visina biljke i prečnik stabljike na mestu reza imale veće vrednosti u prvoj godini. Interesantna je činjenica da je za parametar dužina metlice ostvarena ista prosečna vrednost u obe godine. Najviše vrednosti heterozisa u odnosu na srednjeg roditelja u proseku ostvarene su za prečnik stabljike na mestu reza u prvoj godini i za dužinu vrata u drugoj godini. Parametri sa najnižim prosečnim vrednostima heterozisa bili su dužina vrata u prvoj godini i broj dana od nicanja do metličenja u drugoj godini poljskog ogleda. Prosečne vrednosti za većinu parametara bile su negativne u obe godine. Izuzetak su bile osobine prečnik stabljike na mestu reza u 2019. godini, prečnik stabljike iznad 4. lista u 2020. godini, broj internodija u obe godine, površina zelenog lista u obe godine i dužina vrata u 2020. godini sa pozitivnim prosečnim vrednostima heterozisa. Posmatrajući pojedinačne komponente prinosa uočeno je da su za parametar broj dana od nicanja do metličenja dominantne bile negativne statističke neznačajne vrednosti u obe godine ogleda. Nijedan eksperimentalni hibrid nije ostvario značajne vrednosti heterozisa za ovu osobinu u obe godine. U toku 2019. godine, vrednosti su se kretale od -18,28 za hibrid L7×T2 do 3,16** za L8×T4, a u 2020. godini od -18,40 za L8×T2 do 2,26** za L6×T3. Drugi posmatrani parametar bio je heterozis za broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna, a hibridi su ostvarili većinom negativne vrednosti koje nisu imale statističku značajnost u intervalu od -25,29 za L5×T5 do 17,86** za L8×T5 u prvoj godini. U drugoj godini ispitivanja rezultati heterozisa u odnosu na boljeg roditelja su bili specifični, jer su preovladavale negativne visoko značajne vrednosti. Hibrid L4×T1 ostvario je najveći heterozis (5,00), dok je hibrid L5×T3 imao najniže vrednosti u drugoj godini (-5,88**). Analizom značajnosti heterozisa za obe godine izdvojilo se 12 hibrida sa vrednostima koje su bile značajne na nivou 0,01 tokom obe godine. Ostvarene vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za visinu biljaka u toku prve godine kretale su se u intervalu od -13,79 (L1×T5) do 8,79** (L6×T4), a u toku druge od -22,34 (L3×T3) do 13,06** (L5×T3). Iako su u obe godine dominantnije bile negativne vrednosti heterozisa, sve značajne vrednosti bile su sa pozitivnim efektom. Izuzetak su bila dva hibrida L5×T5 u prvoj i L4×T2 u drugoj godini sa negativnim vrednostima značajnim na nivou

0,05 (-0,24* i -0,29*). Tokom dvogodišnjeg ispitivanja izdvojilo se samo 5 stabilnih hibrida sa visoko značajnim vrednostima. Posmatrajući vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za prečnik stabljike na mestu reza više od pola (23) hibridnih kombinacija izdvojilo se značajnim vrednostima ostvarenim u obe godine.

Tabela 128. Heterozis prema boljem roditelju za komponente prinosa u 2019. godini.

Genotip	BRD NM	BRD MMVZ	VB	PS MR	PS IČL	BRI	BRL	PZL	DM	DV
L1×T1	-15,10	-3,70	-3,23	-1,70	-15,06	0,00**	-8,73	4,46**	5,96**	4,21**
L2×T1	-7,91	0,00**	4,23**	21,00**	23,42**	3,98**	-2,97	16,68**	15,25**	-21,31
L3×T1	-11,67	0,00**	2,11**	11,91**	8,05**	2,69**	-7,48	5,23**	3,14**	-29,86
L4×T1	-16,41	14,81**	0,77**	35,72**	30,36**	5,04**	2,20**	33,07**	24,54**	-32,45
L5×T1	-4,17	-10,34	4,34**	1,75**	-5,34	18,94**	23,87**	3,04**	-9,23	-13,67
L6×T1	-14,29	0,00**	-1,78	14,72**	14,00**	6,27**	6,80**	0,81**	6,06**	-36,89
L7×T1	-12,90	-3,70	-5,41	7,72**	-8,52	-12,41	-33,33	-15,68	16,89**	-33,20
L8×T1	-2,53	-3,57	-0,39	0,89**	-4,19	-5,68	-23,35	7,11**	2,37**	10,82**
L1×T2	-15,63	3,85**	-8,39	8,47**	-17,87	-3,17	-30,91	7,51**	-20,65	-84,35
L2×T2	-9,60	7,69**	6,27**	12,20**	-5,58	11,95**	8,90**	28,28**	7,16**	-39,12
L3×T2	-10,00	3,85**	-11,14	11,71**	2,82**	-2,69	-9,84	26,48**	4,29**	-57,71
L4×T2	-13,85	11,54**	-5,89	20,71**	-2,08	0,00**	-4,40	25,94**	-10,96	-9,01
L5×T2	0,00**	-6,90	-1,49	10,62**	-4,55	11,01**	16,22**	16,16**	-17,38	23,37**
L6×T2	-13,76	3,85**	-2,50	18,56**	-4,87	2,33**	8,40**	45,30**	12,94**	-57,33
L7×T2	-18,28	3,85**	-8,96	18,44**	2,01**	-4,38	-5,07	30,90**	-7,58	22,66**
L8×T2	-1,27	7,14**	3,01**	9,72**	-16,02	-1,75	-30,40	-14,22	-15,74	10,36**
L1×T3	-15,10	-3,70	-5,84	11,99**	-5,54	0,79**	-26,55	8,21**	-16,71	-74,99
L2×T3	-7,34	-3,70	-3,40	7,64**	-2,27	6,64**	-20,76	8,60**	4,62**	-88,26
L3×T3	-10,56	0,00**	-1,95	13,01**	3,30**	2,24**	-18,50	23,75**	3,85**	-58,10
L4×T3	-10,77	-11,11	5,63**	32,06**	26,44**	15,12**	18,32**	28,15**	-1,96	-7,10
L5×T3	0,00**	-17,24	3,97**	23,37**	20,14**	12,33**	17,57**	52,79**	-15,18	49,38**
L6×T3	-13,76	-7,41	3,33**	15,20**	18,02**	4,28**	7,60**	23,53**	2,13**	-20,05
L7×T3	-12,37	-3,70	-3,38	14,30**	15,59**	-8,03	-11,23	47,99**	-5,62	30,54**
L8×T3	1,27**	-3,57	-2,88	2,00**	-20,55	-6,99	-27,75	-28,55	-19,43	-12,84
L1×T4	-14,58	-17,24	-7,02	5,22**	-18,15	-4,76	-31,27	9,54**	-7,98	-59,34
L2×T4	-8,47	3,45**	4,50**	14,51**	-4,95	16,37**	8,05**	25,00**	13,23**	-17,90
L3×T4	-11,11	-10,34	-0,54	-6,77	-11,41	-4,48	-12,60	22,20**	2,82**	0,77**
L4×T4	-13,85	-6,90	-0,58	31,77**	5,98**	4,65**	1,83**	39,38**	-13,54	3,24**
L5×T4	-5,95	0,00**	-2,68	11,44**	-5,02	8,81**	12,61**	9,39**	-12,99	68,59**
L6×T4	-12,17	-17,24	8,79**	14,27**	-7,01	7,78**	12,00**	22,15**	10,60**	-19,29
L7×T4	-10,22	-17,24	2,38**	21,20**	8,78**	-1,82	-3,26	32,63**	10,35**	53,20**
L8×T4	3,16**	-10,34	-1,63	15,76**	-16,03	3,06**	-13,66	-10,22	-22,77	-4,87
L1×T5	-12,50	-3,70	-13,79	-4,76	-38,95	-8,33	-24,00	-30,00	-21,66	-77,45
L2×T5	-1,69	-11,11	6,04**	9,52**	-18,66	7,96**	-16,95	-18,63	1,34**	-83,37
L3×T5	-10,00	0,00**	0,11**	19,62**	1,71**	-4,93	2,36**	4,42**	10,05**	-40,95
L4×T5	-12,82	-7,41	3,91**	36,29**	3,06**	10,47**	7,69**	24,08**	-4,95	13,16**
L5×T5	2,98**	-25,29	-0,24*	-5,46	-39,34	5,29**	-15,77	-9,54	-24,76	-52,98
L6×T5	-11,64	0,00**	1,40**	13,79**	-20,30	-3,50	-18,00	-15,87	2,64**	-79,52
L7×T5	-7,53	-18,52	2,40**	14,44**	-20,92	-3,65	-21,01	-18,77	-3,77	-22,93
L8×T5	-10,98	17,86**	-3,13	12,77**	-6,04	-2,62	-4,85	3,19**	-16,77	79,20**

*BRD*NM, broj dana od nicanja do metličenja; *BRD*MMVZ, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; *VB*, visina biljke; *PS*MR, prečnik stabljike na mestu reza; *PS*IČL, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; *BRI*, broj internodija; *BRL*, broj listova; *PZL*, površina zelenog lista; *DM*, dužina metlice; *DV*, dužina vrata.

Tabela 129. Heterozis prema boljem roditelju za komponente prinosa u 2020. godini.

Genotip	BRD NM	BRD MMVZ	VB	PS MR	PS IČL	BRI	BRL	PZL	DM	DV
L1×T1	0,47**	0,00**	3,84**	8,84**	16,18**	16,76**	18,53**	33,51**	1,83**	49,53**
L2×T1	-6,91	-1,00**	-0,94	1,96**	2,34**	7,91**	-2,48	22,14**	23,67**	180,84**
L3×T1	-5,66	-1,00**	-14,52	-11,97	-8,95	-15,29	2,88**	11,26**	-5,33	88,79**
L4×T1	-6,70	5,00	-3,91	-2,80	-0,63**	20,12	9,95**	20,40**	15,86**	-18,13
L5×T1	-6,07	-2,94**	4,84**	4,96**	18,66**	7,82**	13,41**	17,43**	5,81**	-59,17
L6×T1	-6,33	-1,00**	-4,36	-6,60	-3,13**	3,10	-2,58	16,92**	12,51**	40,64**
L7×T1	-14,22	-1,00**	-8,61	-10,51	-16,56	-14,71	-21,67	-5,26	15,57**	84,11**
L8×T1	-4,72	-2,94**	-5,89	-9,13**	4,41**	9,95	-3,28	52,29**	14,73**	115,89**
L1×T2	-6,13	0,00**	-1,23	0,80**	6,56**	11,41**	-0,97	21,48**	-22,22	-42,72
L2×T2	-9,22	3,03	-5,68	-7,45**	-0,07**	0,02	-0,53	-0,39*	-3,14	114,95**
L3×T2	-3,30	0,00**	-15,93	-10,92	-13,95	-24,71	-4,33	6,39**	-22,00	155,00**
L4×T2	-0,89	3,03	-0,29*	-3,85**	-0,14**	6,15	9,95**	14,75**	-1,82	18,13**
L5×T2	-7,01	-2,94**	4,99**	11,16**	23,95**	13,16**	16,76**	34,68**	0,00**	39,05**
L6×T2	-4,52	0,00**	-5,64	-13,19**	2,82**	3,73	-18,45	39,62**	10,62**	-15,50
L7×T2	-14,22	0,00**	-15,63	-15,58	-16,68	-19,57	-21,25	-15,67	-9,61	83,52**
L8×T2	-18,40	0,00**	-2,12	-5,56**	11,34**	4,02**	-12,02	28,75**	-5,37	165,38**
L1×T3	-5,66	0,00**	2,27**	9,24**	10,77**	11,84**	5,19**	22,65**	-18,02	-48,83
L2×T3	-5,99	0,00**	-8,32	0,00	-2,92**	7,65**	1,06**	14,72**	8,40**	-72,77
L3×T3	-1,89	1,01	-22,34	-15,14	-10,35	-7,00	0,96**	1,33**	-26,08	-24,88
L4×T3	-0,45	-3,03**	-3,25	-11,19**	3,03**	11,70	9,45**	27,72**	1,11**	-61,74
L5×T3	-7,48	-5,88**	13,06**	6,20**	25,77**	12,94**	10,06**	26,67**	2,10**	13,62**
L6×T3	2,26**	-1,00**	-8,41	-4,51	-5,05**	1,01	-4,72	14,97**	-14,88	-44,13
L7×T3	-16,89	0,00**	-8,42	-4,71	-12,06	-5,57	-22,50	-4,05	-6,13	-33,33
L8×T3	-10,85	-2,94**	-8,09	-9,13**	4,47	-8,25	-8,74	25,73**	-9,75	-10,33
L1×T4	-7,55	-5,88**	1,18**	0,40**	4,64**	8,50**	-1,48	8,95**	-9,17	45,49**
L2×T4	-6,91	0,00**	1,51**	7,84**	11,17**	14,18**	9,57**	11,16**	17,31**	73,39**
L3×T4	-5,66	-2,94**	-16,83	-7,04	-10,97	-12,13	3,37**	-0,95	-25,91	80,69**
L4×T4	-5,80	-2,94**	0,74**	4,55**	9,78**	24,71**	6,97**	38,17**	10,40**	-15,79
L5×T4	-5,61	0,00**	6,47**	11,98**	27,27**	20,28**	20,32**	11,10**	0,00**	-8,88
L6×T4	0,00**	-5,88**	-6,35	1,04**	4,95**	12,01**	-13,30	16,82**	5,80**	-18,13
L7×T4	-7,11	-5,88**	-6,69	-9,06	-8,58	-3,83	-12,08	9,53**	-8,79	45,92**
L8×T4	-10,85	-2,94**	-6,65	0,40**	18,57**	2,48**	7,49**	11,15**	-13,53	75,97**
L1×T5	-6,79	0,00**	-6,82	-1,61	-7,18	-8,46	-0,47	-18,88	-22,76	-37,10
L2×T5	-4,98	-3,03**	1,88**	-0,39*	-0,51**	18,20	-6,57	-4,24	6,06**	-42,26
L3×T5	-3,17	0,00**	-13,47	-5,63**	0,64	-7,85	5,16**	24,25**	-12,70	0,65**
L4×T5	-3,57	1,01	-1,85	0,70**	6,95**	17,03**	16,90**	15,11**	-2,73	-9,36
L5×T5	-4,98	-5,88**	7,03**	2,07**	10,26	-9,99**	-10,80	7,70**	-5,15	-15,38
L6×T5	-6,33	-1,00**	-1,78	-9,72	-2,67**	13,45	-10,73	-1,55	3,21**	-38,89
L7×T5	-9,78	-3,03**	-0,93	-0,36	-12,64	-8,39	-7,92	18,12**	-4,42	38,39**
L8×T5	-15,84	2,94	-9,46	-8,73**	16,30**	8,36	-15,49	14,00**	-14,78	36,45**

BRD NM, broj dana od nicanja do metličenja; BRD MMVZ, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; VB, visina biljke; PS MR, prečnik stabljike na mestu reza; PSIČL, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; BRI, broj internodija; BRL, broj listova; PZL, površina zelenog lista; DM, dužina metlice; DV, dužina vrata.

Specifično za ovu osobinu bilo je prisustvo čak 10 hibrida koji su u prvoj godini ostvarili pozitivne, a u drugoj negativne visoko značajne vrednosti (L8×T1, L2×T2, L4×T2, L6×T2, L8×T2, L4×T3, L8×T3, L2×T5, L3×T5 i L8×T5). Najveći heterozis za prečnik stabljike na mestu reza u 2019. godini imao je hibrid L4×T5 (36,29**), a najmanji L3×T4 (-6,77), dok je u 2020. godini najveću vrednost imao L5×T4 (11,98**), a najnižu (-15,58). Kod prečnika stabljike iznad 4. lista izdvojilo se 8 hibrida sa visoko značajnim vrednostima u obe godine. 8 hibridnih kombinacija bile su izuzeci ostvarivanjem negativnih visoko značajnih vrednosti u drugoj godini ogleda, L4×T1, L6×T1, L2×T2, L4×T2, L2×T3, L6×T3, L2×T5 i L6×T5. Hibrid L4×T1 imao je najveći heterozis u odnosu na boljeg roditelja u prvoj godini (30,36**), a L5×T5 najniži (-39,34), dok su u drugoj godini to bili hibridi L5×T4 (27,27**) i L7×T2 (-16,68). Najviše pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa u odnosu

na boljeg roditelja za broj internodija u 2019. godini imao je L5×T1 (18,94**), a u 2020. L4×T4 (24,71**), dok su najniže ostvarili hibridi L7×T1 (-12,41) i L3×T2 (-24,71). 14 hibridnih kombinacija ostvarilo je stabilne pozitivne visoko značajne vrednosti za ovu osobinu u obe godine. Izuzetak je bio samo hibrid L5×T5 koji je u prvoj godini imao pozitivnu, a u drugoj negativnu visoko značajnu vrednost. Za broj listova, vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja kretale su se od -33,33 za L7×T1 do 23,87** za L5×T1 u prvoj i od L7×T3 (-22,50) do L5×T4 (20,32**) u drugoj godini. Za ovu osobinu 10 od 40 hibrida je imalo pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa u obe godine. Kada je u pitanju površina zelenog lista dominirale su pozitivne visoko značajne vrednosti heterozisa, a 28 od 40 ispitivanih hibrida su imali pozitivne visoko značajne vrednosti u obe godine. Izuzetak je hibrid L2×T2 koji je samo u drugoj godini imao negativnu značajnu vrednost heterozisa na nivou 0,05 (-0,39*). Hibridne kombinacije L5×T3 (52,79**) i L8×T1 (52,29**) izdvojile su se najvećim vrednostima heterozisa u odnosu na boljeg roditelja, dok je u dvogodišnjem ispitivanju hibrid L1×T5 imao najmanje vrednosti (-30,00 i -18,88). Najviše vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za dužinu metlice imali su L4×T1 u prvoj godini (24,54**) i L2×T1 u drugoj (23,67**). Po najmanjim vrednostima izdvojili su se hibridi L5×T5 u 2019. (-24,76) i u 2020. godini L3×T3 (-26,08). U obe godine, 12 hibrida izdvojilo se po pozitivnim visoko značajnim vrednostima. Kada je u pitanju dužina vrata, izračunate vrednosti heterozisa kretale su se u intervalu od -88,26 za hibrid L2×T3 do 79,20** za hibrid L8×T5 2019. godine i od -72,77 za hibrid L2×T3 do 180,84** za hibrid L2×T1 u 2020. godini. Za ovu osobinu, samo 9 eksperimentalnih hibrida ostvarilo je stabilne pozitivne visoko značajne vrednosti.

U ispitivanju 50 genotipova F₁ i F₂ generacije, zajedno sa roditeljskim komponentama 5 cms linija i 10 linija sudanske trave, ukršanih metodom linija×tester, zabeležen je heterozis u odnosu na boljeg roditelja za prinos zelene krme i prinos suve materije, ukazujući na doprinos gena sa neaditivnim efektom (Agarwal i Shrotria, 2005).

6.4.3. Kvalitet biomase

Analizom prosečnih vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za ispitivane parametre kvaliteta, u tabeli 130, uočene su najviše vrednosti za parametar ADL, a najniže za TSS. Najveća značajnost ostvarenih vrednosti heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za kvalitet bila je kod parametra TSS gde je 33 hibridnih kombinacija ostvarilo značajne negativne vrednosti, zatim kod ADL sa 22 hibrida sa pozitivnim efektom, RFV sa 19 pozitivnih hibridnih kombinacija, ADF sa 11 hibrida sa pozitivnim visoko značajnim vrednostima i 6 hibrida koji su imali pozitivne visoko značajne vrednosti za NDF. Najveće vrednosti za heterozis u odnosu na boljeg roditelja kod ADF (11,99**) i NDF (7,67**) ostvarene su za hibrid L3×T2, za ADL kod L2×T2 (29,92**), za RFV kod L3×T3 (34,52**) i za TSS kod L8×T5 (103,57). Hibridna kombinacija L3×T3 imala je najniži heterozis za ADF (-28,22), NDF (-28,50) i ADL (-25,10). L5×T4 je hibrid sa najnižom vrednošću heterozisa u odnosu na boljeg roditelja za RFV (-20,04), a L8×T4 sa najnižom za TSS (-84,38**).

Ispitivanjem kombinacionih sposobnosti za kvalitet 36 hibrida dobijenih metodom parcijalnog dialela, zajedno sa roditeljskim komponentama (12) i jednim standardom, na dva lokaliteta, zaključeno je da je za većinu parametara bio mali doprinos gena sa neaditivnim efektom za heterozis (Martins Oliveira et al., 2019).

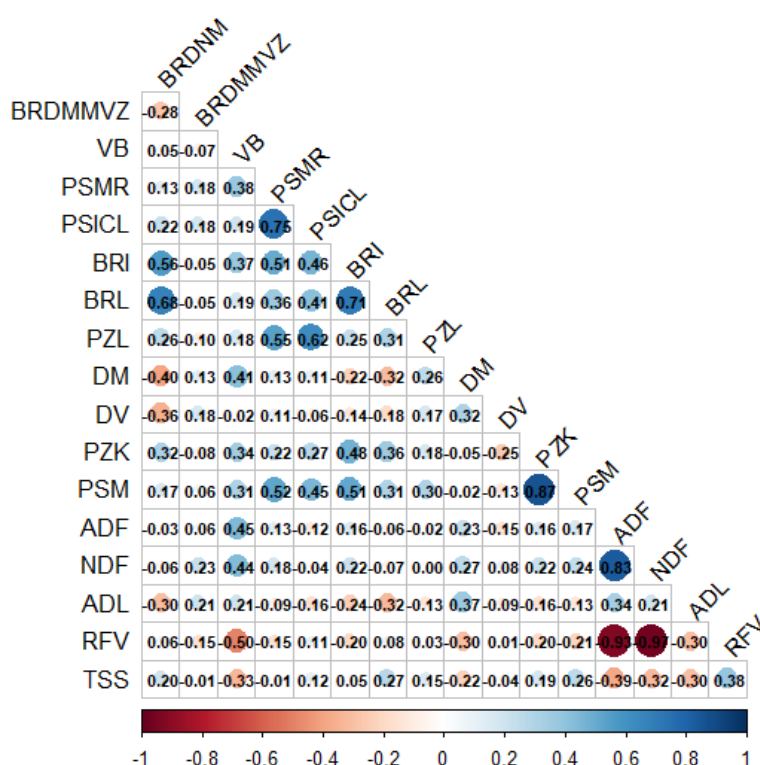
Tabela 130. Heterozis prema boljem roditelju za parametre kvaliteta biomase.

Genotip	ADF	NDF	ADL	RFV	TSS
L1×T1	-12,10	-14,96	-16,69	2,35**	-24,24**
L2×T1	-3,90	2,37**	-10,82	-1,14	-22,22**
L3×T1	-14,90	-13,24	-9,71	13,32**	-4,17**
L4×T1	0,59**	-2,28	14,12**	-7,67	-44,44**
L5×T1	-9,52	-9,63	27,16**	6,70**	61,11
L6×T1	-3,83	-9,25	-2,35	8,67**	28,57
L7×T1	-11,21	-11,13	23,55**	10,16**	-12,73**
L8×T1	-13,59	-9,69	4,00**	4,88**	-55,56**
L1×T2	-13,71	-16,03	-16,06	-0,42*	-36,36**
L2×T2	-7,65	-2,88	29,92**	-2,20	-63,93**
L3×T2	11,99**	7,67**	1,15**	-10,66	-11,48**
L4×T2	-11,34	-10,84	-19,26	-0,82	-49,18**
L5×T2	-6,87	-13,20	15,22**	1,57**	-60,66**
L6×T2	7,99**	-2,78	22,03**	-4,96	-40,98**
L7×T2	-4,26	-14,83	11,92**	3,70**	-47,54**
L8×T2	-8,62	-12,98	24,57**	-1,52	-77,05**
L1×T3	-14,43	-17,11	-18,56	17,74**	-71,21**
L2×T3	5,50**	-7,35	6,66**	-2,63	-25,00**
L3×T3	-28,22	-28,50	-25,10	34,52**	41,67
L4×T3	2,27**	-8,81	-0,91	6,32**	-4,17**
L5×T3	-6,61	-10,10	3,06**	13,68**	-16,25**
L6×T3	-15,66	-11,76	-9,86	7,85**	31,25
L7×T3	-11,47	-11,73	5,88**	17,68**	-76,36**
L8×T3	-6,68	-4,53	3,04**	5,58**	-66,67**
L1×T4	-11,24	-11,60	-3,78	-11,07	-12,12**
L2×T4	1,61**	1,88**	16,47**	-12,64	-79,69**
L3×T4	-12,75	-7,44	-17,87	11,24**	6,25
L4×T4	1,62**	-1,43	-3,06	-18,61	-25,00**
L5×T4	2,94**	2,36**	-3,43	-20,04	-9,38**
L6×T4	5,90**	2,75**	-11,88	-10,75	-42,19**
L7×T4	-9,15	-12,25	5,29**	2,65**	-50,00**
L8×T4	-0,45	-0,45	-6,68	-19,96	-84,38**
L1×T5	-7,43	-14,36	1,50**	-9,92	-63,64**
L2×T5	-12,64	-16,58	11,19**	13,29**	-42,86**
L3×T5	-10,53	-12,61	1,75**	15,21**	45,83
L4×T5	-1,17	-6,10	-17,14	-14,07	-78,57**
L5×T5	0,82**	-3,32	8,54**	-15,21	-71,43**
L6×T5	2,34**	0,97**	21,29**	-8,22	-57,14**
L7×T5	-0,75	-6,79	5,23**	-10,55	-52,36**
L8×T5	-9,53	-4,96	-1,31	-11,98	103,57

ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; ADL, kisela frakcija lignina; RFV, relativna hranljiva vrednost; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance.

6.5. Korelacija osobina

Na grafikonima 7, 8, 9 i 10 prikazani su koeficijenti korelacije prinosa, komponenti prinosa i parametara kvaliteta za sve ispitivane genotipove podeljene u četiri kategorije, eksperimentalni hibridi, komercijalni hibridi i roditeljske komponente – linije i tester, pri čemu su za analizu korišćene vrednosti dobijene u drugoj godini ispitivanja, 2020. godine. S obzirom da su hemijske analize kvaliteta sprovedene u 2020. godini, korelaciona analiza između ispitivanih osobina izvedena je isključivo na podacima iz te godine. Ovakav pristup omogućava uporedivost podataka jer podrazumeva uparene vrednosti za iste genotipove u istim agroekološkim uslovima. Iako su morfološke osobine ispitivane i u 2019. godini, njihova upotreba u analizi korelacija sa osobinama kvaliteta ne bi bila metodološki opravdana zbog varijacija između dve ispitivane godine. Tamnije boje na grafikonima predstavljaju statistički značajne korelacije između osobina.



Grafik 7. Korelacija prinosa, komponenti prinosa i parametara kvaliteta eksperimentalnih hibrida sirka 2020. godine.

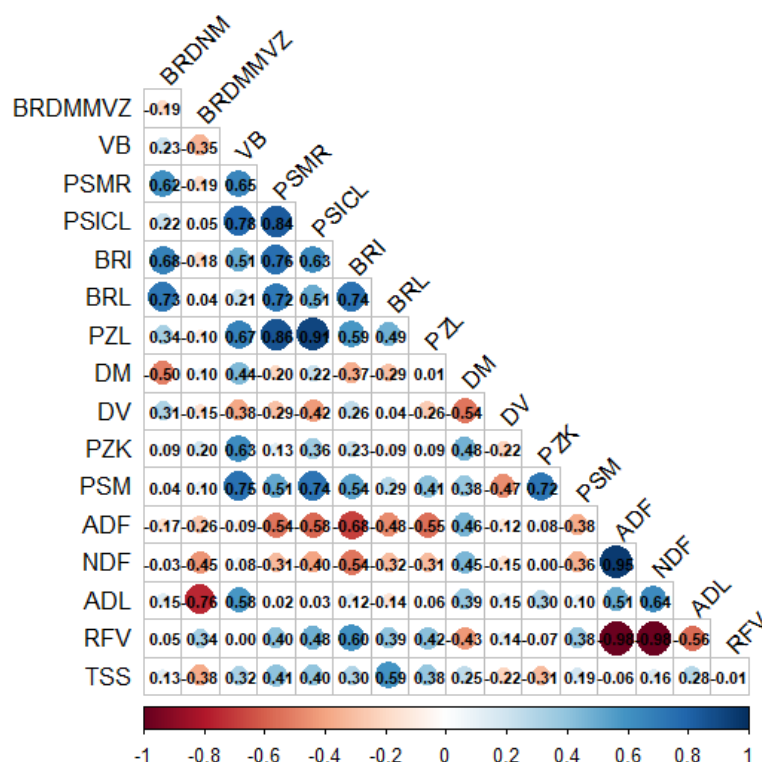
VB, visina biljke; *ADF*, kisela deterdžentska vlakna; *NDF*, neutralna deterdžentska vlakna; *DM*, dužina metlice; *ADL*, kisela frakcija lignina; *BRDMMVZ*, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; *DV*, dužina vrata; *PZL*, površina zelenog lista; *PSMR*, prečnik stabljike na mestu reza; *PSICL*, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; *RFV*, relativna hranljiva vrednost; *TSS*, ukupne rastvorljive čvrste supstance; *PZK*, prinos zelene krme; *PSM*, prinos suve materije; *BRDNM*, broj dana od nicanja do metličenja; *BRI*, broj internodija; *BRL*, broj listova.

Kod testiranih eksperimentalnih hibrida, najviša značajna pozitivna korelacija uočena je između prinosa zelene krme i prinosa suve materije (0,87), što je jedan od očekivanih rezultata, zbog činjenice da se prinos suve materije izračunava uz pomoć vrednosti prinosa zelene krme i od njega zavisi. Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima drugih autora, koji su pored pozitivne visoko značajne korelacije prinosa zelene krme i prinosa suve materije, naveli i pozitivnu korelaciju prinosa zelene krme sa brojem listova po biljci, TSS i brojem dana do 50% cvetanih biljaka (Talmale et al.,

2020; Nikhil et al., 2024). Isti autori predlažu selekciju genotipova sirka na osnovu ovih osobina u cilju povećanja prinosa zelene mase. Prinos suve materije bio je još u pozitivnoj korelaciji sa visinom biljke sirka (0,31), prečnikom stabljike na mestu reza (0,52), prečnikom stabljike sirka iznad četvrtog lista (0,45), površinom zelenog lista (0,30). Kada je reč o parametrima kvaliteta, sa povećanjem prinosa suve materije sirka, rastao je i sadržaj šećera, odnosno TSS (0,26). Prinos zelene krme je sa većinom istih osobina bio u pozitivnoj korelaciji, sa nešto nižim koeficijentima. Izuzetak je korelacija između prinosa zelene krme i visine biljke koja je bila statistički značajna i pozitivna sa koeficijentom 0,34. Slične rezultate navode i Prakash et al. (2010) koji pored značajne pozitivne korelacije zelene krme sa visinom biljke, navode i značajnu pozitivnu korelaciju sa prečnikom stabljike sirka. Takođe, ističu značaj ove dve morfološke osobine u programima selekcije krmnog sirka na prinos zelene krme. Wagaw i Tadesse (2020) su u svom istraživanju ispitivali i utvrdili značajnu pozitivnu korelaciju prinosa zelene krme sa prinosom zrna sirka. Oba parametra prinosa bila su u negativnoj korelaciji sa procentom ADL (-0,16 i -0,13), što znači da se povećanjem prinosa utiče na poboljšanje kvaliteta biljne mase, ali samo kada je ovaj parametar u pitanju. To se vidi iz negativne korelacije prinosa i procenta RFV (-0,20 i -0,21), usled pozitivne korelacije sa parametrima ADF (0,16 i 0,17) i NDF (0,22 i 0,24), koji utiču na lošiji kvalitet. Drugi najviši koeficijent korelacije sa pozitivnim efektom postignut je između NDF i ADF (0,83). Zanimljiva je činjenica da sa visinom biljaka sirka, raste i sadržaj ADF (0,45), NDF (0,44) i ADL (0,21), što znači da se smanjuje RFV u značajnom nivou (-0,50) i pogoršava kvalitet kabastog hraniva. Sa visinom, značajnu pozitivnu korelaciju ostvarili su još dužina metlice (0,41), prečnik stabljike na mestu reza (0,38), kao i broj internodija (0,37), ali je negativnu korelaciju visina imala sa dužinom vegetacije, odnosno brojem dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna (-0,07). Iz statistički značajnih vrednosti koeficijenta korelacije dužine metlice i parametara kvaliteta (ADL – 0,37; NDF – 0,27; ADF – 0,23) može se zaključiti da je metlica doprinosila lošijem kvalitetu biljne mase eksperimentalnih hibrida, te da je preporuka da se za iskorišćavanje sirka u kabastoj ishrani preživara, u cilju postizanja vrhunskog kvaliteta, biljke moraju kositi pre dostizanja faze mlečno-voštane zrelosti zrna. TSS je bio u negativnoj korelaciji sa ADF (-0,39), NDF (-0,32) i ADL (-0,30), ali i u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa RFV (0,38), što dovodi do još jednog zaključka, da bi oplemenjivački rad na povećanju sadržaja šećera u biljnom soku sirka, doveo do rasta hranljive vrednosti biljne mase. Na relativnu hranljivu vrednost većina ispitivanih osobina uticala je negativno, osim prečnika stabljike iznad četvrtog lista sa kojim je bio u pozitivnoj korelaciji (0,11). Janković et al. (2012) su u svojim istraživanjima ustanovili da su morfološka svojstva, visina biljke i masa stabljike imali značajan uticaj na prinos zelene krme tri ispitivana genotipa sirka, dok je svojstvo broj listova pokazalo negativan efekat na prinos.

Kada su u pitanju linije sudanske trave, odnosno ispitivane linije oca hibrida krmnog sirka, najveća pozitivna korelacija utvrđena je između parametara kvaliteta NDF i ADF (0,95), zatim NDF i dužine metlice (0,45). Pozitivna visoko značajna korelacija deterđžentskih vlakana međusobno, kao i broja listova i internodija (0,74) je očekivana i objašnjava se činjenicom da su ovi parovi parametara usko povezani. Visoko značajna pozitivna korelacija visine biljaka sa procentom ADL (0,58) ukazuje na opadanje kvaliteta biljne mase linija sudanske trave sa porastom visine biljaka. Iz tog razloga je potpuno razumljivo da visina biljaka i relativna hranljiva vrednost linija nisu u korelaciji (0,00). U pozitivnoj korelaciji bili su i parametri kvaliteta ADF, NDF, ADL sa dužinom metlice (0,46; 0,45; 0,39) što potvrđuje zaključak analize koeficijenata korelacije eksperimentalnih hibrida, i ukazuje da i linije sudanske trave treba kositi pre izbijanja metlice u cilju postizanja što boljeg kvaliteta biljne mase. RFV je bila u pozitivnoj korelaciji sa dužinom vrata (0,14), prinosom suve materije (0,38), brojem dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna (0,34) i oba parametra prečnika stabljike (na mestu reza, 0,40; iznad četvrtog lista, 0,48). Potvrdili su se i stavovi vezani za visoko negativnu korelaciju RFV sa procentima ADF (-0,98), NDF (-0,98) i ADL (-0,56). Sadržaj TSS u soku stabljike sudanske trave bio je u statistički značajnoj korelaciji sa brojem listova (0,59) i brojem internodija (0,30). Broj dana od nicanja do metličenja i sadržaj TSS bili su u pozitivnoj (0,13), a broj dana od metličenja od mlečno-voštane zrelosti zrna u negativnoj korelaciji (-0,38), što znači da sa kasnijim košenjem linija sudanske trave, sadržaj šećera u soku stabljike opada. Ovaj zaključak je u saglasnosti

sa rezultatima drugih autora (Ayub et al., 2010). Prinosi osim međusobno (0,72), bili su u pozitivnoj korelaciji sa površinom zelenog lista (0,09 i 0,41), prečnikom stabljike na mestu reza (0,13 i 0,51), prečnikom stabljike iznad četvrtog lista (0,36 i 0,74), brojem dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna (0,20 i 0,10) i brojem internodija (0,23 i 0,54).

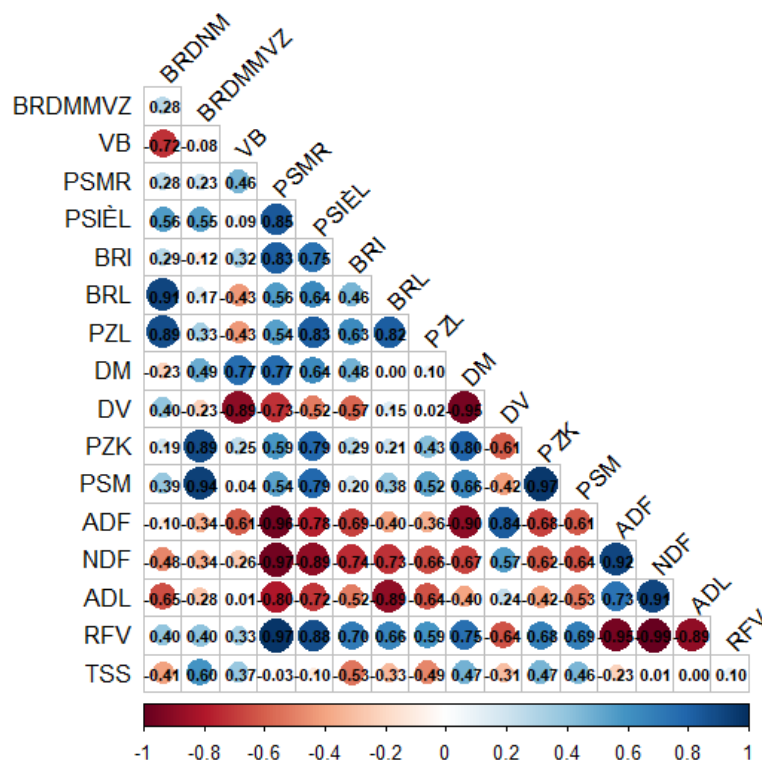


Grafik 8. Korelacija prinosa, komponenti prinosa i parametara kvaliteta linija oporivača 2020. godine.

TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance; *BRDNM*, broj dana od nicanja do metličenja; *BRI*, broj internodija; *BRL*, broj listova; *DV*, dužina vrata; *RFV*, relativna hranljiva vrednost; *ADL*, kisela frakcija lignina; *DM*, dužina metlice; *VB*, visina biljke; *ADF*, kisela deterdžentska vlakna; *NDF*, neutralna deterdžentska vlakna; *BRDMMVZ*, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; *PZL*, površina zelenog lista; *PZK*, prinos zelene krme; *PSMR*, prečnik stabljike na mestu reza; *PSICL*, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; *PSM*, prinos suve materije.

U kategoriji ispitivanih testera, najveći pozitivni koeficijent korelacije postignut je između *RFV* i oba parametra prečnika stabljike (iznad četvrtog lista 0,88 i na mestu reza 0,97). Procenat relativne hranljive vrednosti pokazao je pozitivnu korelaciju i sa prinosom (zelene krme 0,68 i suve materije 0,69), a sa visinom biljaka sirka za zrno nije zabeležena negativna korelacija kao što je to bio slučaj kod linija sudanske trave (0,33). Visoko značajna pozitivna korelacija uočena je između broja dana od nicanja do metličenja sirka za zrno i broja listova (0,91), površine zelenog lista (0,89), prečnika stabljike iznad četvrtog lista (0,56) i dužine vrata (0,40). Kao i kod ispitivanih linija, i kod testera je utvrđena visoko značajna korelacija između prinosa zelene krme i prinosa suve materije (0,97). Oba parametra prinosa bila su u pozitivnoj značajnoj korelaciji sa prečnikom stabljike na mestu reza (0,59 i 0,54), prečnikom stabljike iznad četvrtog lista (0,79 za oba parametra prinosa), brojem dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna (0,89 i 0,94) i *TSS* (0,47 i 0,46). Procenat *ADL*, *ADF* i *NDF* ponovo su pokazali visoko značajnu pozitivnu korelaciju međusobno (*ADL* i *ADF* 0,73; *ADF* i *NDF* 0,92; *ADL* i *NDF* 0,91) kao i značajno negativnu korelaciju *ADL*, *ADF* i *NDF* sa *RFV* (-0,89; -0,95; -0,99). Pored *RFV*, bili su u negativnoj korelaciji i sa prečnikom stabljike na mestu reza (-0,80; -0,96; -0,97), kao i sa prečnikom stabljike iznad četvrtog lista (-0,72; -0,78; -0,89). Uočena je i visoko značajna negativna korelacija ovih parametara kvaliteta sirka za zrno i prinosa

zelene krme (-0,42; -0,68; -0,62) i suve materije (-0,53; -0,61; -0,64). Dolapčev et al. (2017) ukazali su na srednje jaku i statistički vrlo značajnu pozitivnu korelaciju između visine biljke i dužine metlice linija sirka za zrno i u svom istraživanju zaključili da su ove dve osobine regulisane istim ili sličnim genima. Davila-Gomez et al. (2011) zaključili su da postoji pozitivna korelacija između TSS i ukupnog sadržaja šećera u soku iz stabljike sirka.

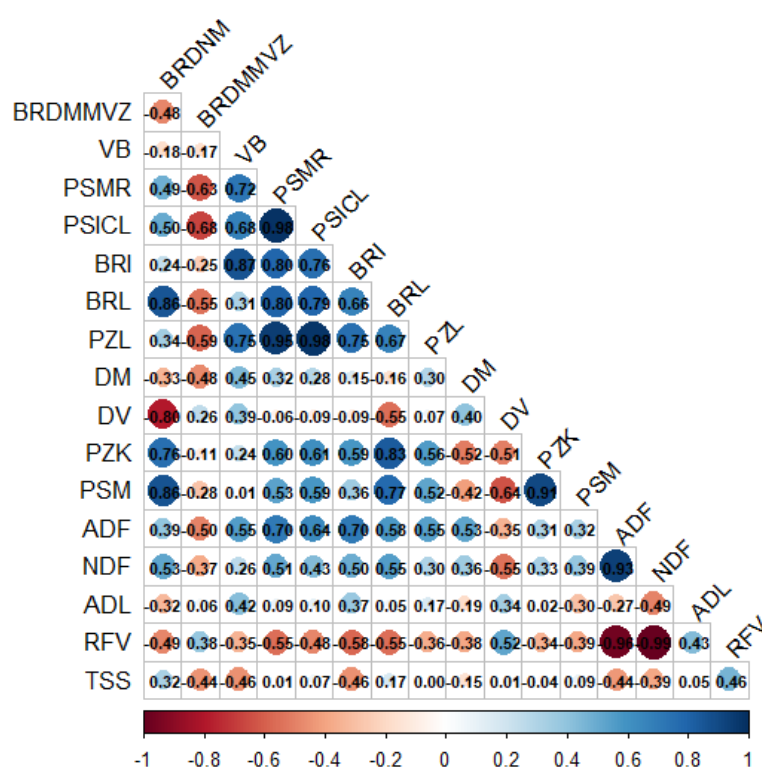


Grafik 9. Korelacija prinosa, komponenti prinosa i parametara kvaliteta cms majki – testera 2020. godine.

VB, visina biljke; DM, dužina metlice; PSMR, prečnik stabljike na mestu reza; PSIČL, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; RFV, relativna hranljiva vrednost; BRDMMVZ, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance; PZK, prinos zelene krme; PSM, prinos suve materije; ADL, kisela frakcija lignina; ADF, kisela deterdžentska vlakna; NDF, neutralna deterdžentska vlakna; BRI, broj internodija; PZL, površina zelenog lista; DV, dužina vrata; BRDNM, broj dana od nicanja do metličenja; BRL, broj listova.

Kod ispitivanih komercijalnih hibrida prinos zelene krme i suve materije hibrida krmnog sirka, pored međusobne korelacije (0,91), pokazali su visoko značajnu pozitivnu korelaciju sa brojem dana od nicanja do metličenja (0,76; 0,86), brojem listova (0,83; 0,77), brojem internodija (0,59; 0,36), prečnikom stabljike na mestu reza (0,60; 0,53) i prečnikom stabljike iznad četvrtog lista (0,61; 0,59). Uočena je i visoka pozitivna korelacija prinosa zelene krme sa površinom zelenog lista (0,56) što je u saglasnosti sa rezultatima Kumar et al. (2024). Isti autori predlažu selekciju na osnovu površine lista u cilju dobijanja hibrida visokog potencijala prinosa. Kao i kod eksperimentalnih hibrida i linija sudanske trave i kod komercijalnih hibrida je uočena negativna korelacija relativne hranljive vrednosti i visine biljaka, koja je u ovoj kategoriji ispitivanih genotipova naročito došla do izražaja (-0,35), pa možemo zaključiti da su ovi hibridi u procesu selekcije izgubili na kvalitetu u cilju postizanja maksimalnih visina biljaka, iznad 300 cm. Takođe, relativna hranljiva vrednost biljne mase opadala je i sa povećanjem prinosa zelene krme (-0,34), prinosa suve materije (-0,39), broja listova (-0,55), broja internodija (-0,58), kao i prečnika stabljike (-0,55 i -0,48). Sa povećanjem broja dana od nicanja do metličenja, povećavao se i sadržaj TSS (koeficijent korelacije 0,32), ali je TSS značajno opadao sa povećanjem dužine trajanja perioda od metličenja do postizanja mlečno-voštane

zrelosti zrna (-0,44). Osim sa sadržajem šećera, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna bio je u značajno negativnoj korelaciji sa brojem dana od nicanja do metličenja (-0,48), kao i sa većinom morfoloških parametara, broj listova (-0,55), broj internodija (-0,25), visina biljke (-0,17), dužina metlice (-0,48), površina zelenog lista (-0,59), prečnik stabljike na mestu reza (-0,63) i prečnik stabljike iznad četvrtog lista (-0,68). Vrednosti koeficijenta korelacije za parametre kvaliteta kod komercijalnih hibrida krmnog sirka nisu u saglasnosti sa rezultatima analize u preostale tri kategorije ispitivanih genotipova. Procenat ADL je bio u pozitivnoj korelaciji sa RFV (0,43) i u negativnoj sa ADF (-0,27) i NDF (-0,49). Parametri ADF i NDF bili su u očekivano visoko značajnoj pozitivnoj korelaciji međusobno (0,93), kao i sa visinom biljaka hibrida krmnog sirka (0,55 i 0,26). U ispitivanju koje je obuhvatilo 32 genotipa krmnog sirka, utvrđena je značajna varijabilnost u ispitivanim osobinama, pri čemu su analize korelacije ukazale na visoku značajnu pozitivnu korelaciju prinosa zelene biomase sa površinom lista, visinom biljke, dužinom lista i brojem listova po stabljici, na fenotipskom i genotipskom nivou (Singh et al., 2019). Takvi rezultati ove osobine čine pouzdanim selekcionim kriterijumima u oplemenjivanju krmnog sirka.



Grafik 10. Korelacija prinosa, komponenti prinosa i parametara kvaliteta komercijalnih hibrida 2020. godine.

VB, visina biljke; *DM*, dužina metlice; *PSMR*, prečnik stabljike na mestu reza; *PSICL*, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; *RFV*, relativna hranljiva vrednost; *BRDMMVZ*, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; *TSS*, ukupne rastvorljive čvrste supstance; *PZK*, prinos zelene krme; *PSM*, prinos suve materije; *ADL*, kisela frakcija lignina; *ADF*, kisela deterdžentska vlakna; *NDF*, neutralna deterdžentska vlakna; *BRI*, broj internodija; *PZL*, površina zelenog lista; *DV*, dužina vrata; *BRDNM*, broj dana od nicanja do metličenja; *BRL*, broj listova.

6.6. Analiza indeksa poleganja hibrida krmnog sirka

Svi testirani hibridi krmnog sirka, eksperimentalni i komercijalni, ocenjeni su za osobinu poleganje biljaka na osnovu procenta biljaka koje su polegle u okviru elementarne parcelice i dodeljen im je indeks za ovu osobinu. Prosečne vrednosti za indeks poleganja iz dvogodišnjeg ispitivanja predstavljene su u tabeli 131. Svi ispitivani genotipovi svrstani su u 4 kategorije i to, 1-3, 3-5, 5-7 i 7-9. 1-3 je kategorija u koju su svrstani hibridi koji su u 2019. i 2020. godini pokazali najveću osetljivost na poleganje, odnosno najveći broj biljaka je polegao kod eksperimentalnih hibrida L8×T1, L8×T2, L1×T3, L8×T3, L1×T4, L8×T4 i L1×T5. Vrednostima 3-5 ocenjeni su hibridi koji su imali umerenu do jaku osetljivost prema poleganju i u ovu kategoriju su svrstani eksperimentalni hibridi L3×T1, L5×T1, L7×T1, L1×T2, L2×T2, L6×T2, L2×T3, L6×T3, L7×T3, L2×T4, L7×T4, L2×T5, L5×T5, L6×T5, L7×T5 i L8×T5. Kategorija hibrida koji su bili umereno tolerantni prema poleganju i ostvarili indekse u intervalu 5-7, bila je najbrojnija i obuhvatala je čak 18 hibrida, od kojih 16 eksperimentalnih (L2×T1, L4×T1, L6×T1, L3×T2, L4×T2, L5×T2, L7×T2, L3×T3, L4×T3, L5×T3, L3×T4, L4×T4, L5×T4, L6×T4, L3×T5 i L4×T5) i 2 komercijalna (KH1 i KH2). Četvrtu grupu hibrida činilo je 5 komercijalnih hibrida koju su u najvećem procentu bili tolerantni na poleganje, iz tog razloga su dobili ocene od 7-9, i to genotipovi KH3, KH4, KH5, KH6 i KH7.

Autori Bean et al. (2013) ustanovili su nizak koeficijent korelacije između poleganja i sadržaja lignina i poleganja i visine biljaka. U drugim istraživanjima, najveći procenat poleganja imale su biljke *bmr* tipa sirka, koje su ostvarile i najmanje prinose suve materije (Miron et al., 2007). Indeks poleganja ukazuje na genotip koji je sklon poleganju i u rezultatima testiranja 58 genotipova tokom dve vegetacione sezone pokazao je pozitivnu korelaciju sa dužinom internodija (Fan et al., 2022). Uzimajući u obzir činjenicu da su dužina internodija i visina biljke u pozitivnoj korelaciji, podrazumeva se da visoki genotipovi sirka imaju veći rizik od poleganja.

Zbog specifičnosti dizajna poljskog ogleda u ovom istraživanju, kao i činjenice da biljke sirka, naročito hibrida krmnog sirka i linije sudanske trave, usled poleganja susednih genotipova, trpe fizički i postaju manje tolerantne, detaljnija statistička analiza ocene indeksa poleganja nije rađena i ne smatra se relevantnom za ovo ispitivanje. Analiza ove osobine ostavlja mnogo prostora za dalja proučavanja i ispitivanja, kao i za donošenje zaključaka.

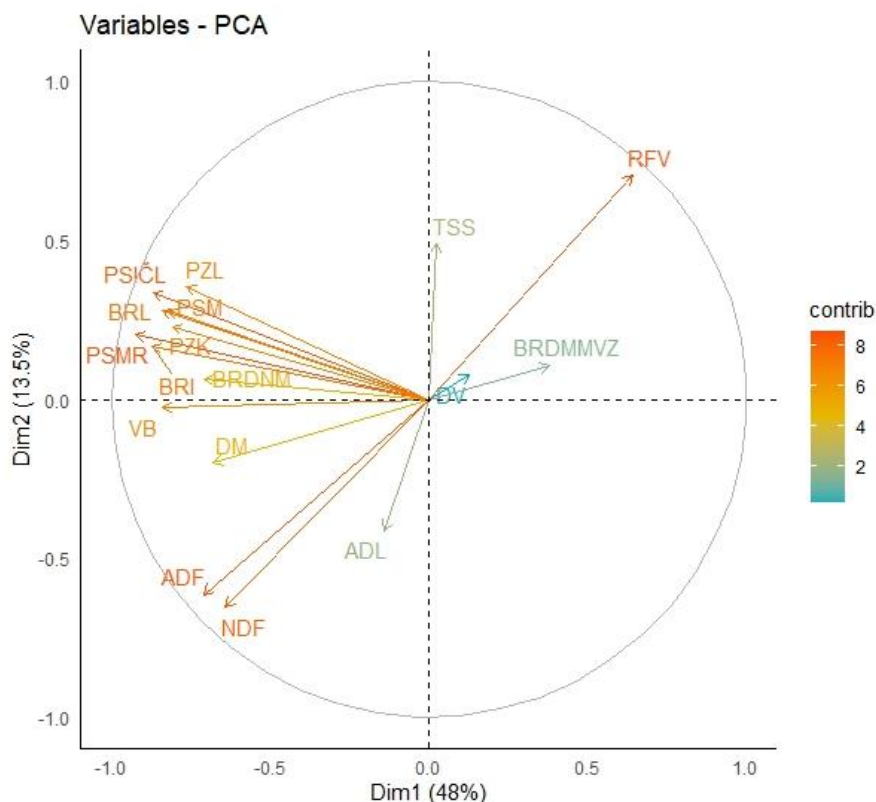
Tabela 131. Grupisanje eksperimentalnih i komercijalnih hibrida na osnovu procenata poleglih biljaka u dvogodišnjem testiranju.

Genotip	Kategorije			
	1-3	3-5	5-7	7-9
L1×T1				X
L2×T1			X	
L3×T1		X		
L4×T1			X	
L5×T1		X		
L6×T1			X	
L7×T1		X		
L8×T1	X			
L1×T2		X		
L2×T2		X		
L3×T2			X	
L4×T2			X	
L5×T2			X	
L6×T2		X		
L7×T2			X	
L8×T2	X			
L1×T3	X			
L2×T3		X		
L3×T3			X	
L4×T3			X	
L5×T3			X	
L6×T3		X		
L7×T3		X		
L8×T3	X			
L1×T4	X			
L2×T4		X		
L3×T4			X	
L4×T4			X	
L5×T4			X	
L6×T4			X	
L7×T4		X		
L8×T4	X			
L1×T5	X			
L2×T5		X		
L3×T5			X	
L4×T5			X	
L5×T5		X		
L6×T5		X		
L7×T5		X		
L8×T5		X		
KH1			X	
KH2			X	
KH3				X
KH4				X
KH5				X
KH6				X
KH7				X

Kategorije: 1-3, više od 75% poleglih biljaka; 3-5, 50% do 75% poleglih biljaka; 5-7, 25% do 50% poleglih biljaka; 7-9, manje od 25% poleglih biljaka

6.7. Multivarijaciona analiza

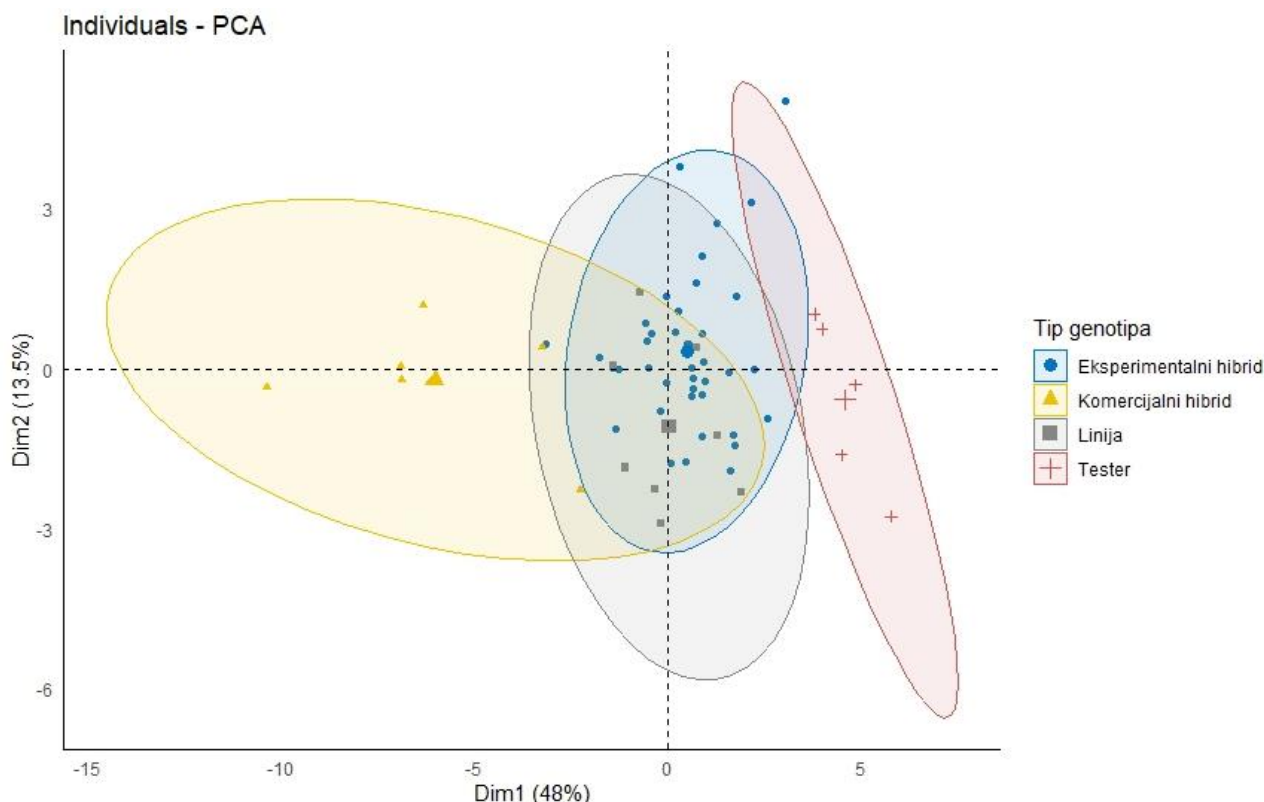
Analiza glavnih komponenti korišćena je za grafički prikaz korelacije testiranih parametara, kao i za prikaz odnosa svih ispitivanih kategorija genotipova sirka, na osnovu vrednosti ostvarenih tokom 2020. godine u okviru poljskog ogleda (grafik 11 i grafik 12).



Grafik 11. Analiza glavnih komponenti (PCA) ispitivanih osobina genotipova sirka u 2020. godini. VB, visina biljke; DM, dužina metlice; PSMR, prečnik stabljike na mestu reza; PSIČL, prečnik stabljike iznad četvrtog lista; RFV, relativna hranljiva vrednost; BRDMMVZ, broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna; TSS, ukupne rastvorljive čvrste supstance; PZK, prinos zelen krme; PSM, prinos suve materije; BRI, broj internodija; PZL, površina zelenog lista; DV, dužina vrata; BRDNM, broj dana od nicanja do metličenja; BRL, broj listova

Tipovi i fenotipske varijabilnosti ispitivanih genotipova sirka procenjeni su primenom analize glavnih komponenti. Analiza glavnih komponenti (PCA, *principal component analysis*) sprovedena je radi utvrđivanja međusobnih asocijacija između ispitivanih kvantitativnih osobina svih genotipova sirka, s ciljem sagledavanja dominantnih obrazaca varijabilnosti i identifikacije osobina koje najviše doprinose ukupnoj diferencijaciji genotipova (grafik 11). Prve dve glavne komponente (Dim1 i Dim2) zajedno objašnjavaju 61,5% ukupne varijanse, pri čemu prva komponenta (Dim1) obuhvata 48%, a druga (Dim2) 13,5% varijanse. Na grafikonu osobina u okviru PCA, većina varijabli orijentisana je prema negativnom polju prve komponente (Dim1), što ukazuje na njihovu snažnu asocijaciju i sličan doprinos ukupnoj varijabilnosti. Osobine kao što su prečnik stabljike na mestu reza (PSMR), površina zelenog lista (PZL), broj listova (BRL), broj internodija (BRI), prinos zelene mase (PZM) i visina biljke (VB) pokazale su visoke doprinose prvoj komponenti i bile su međusobno pozitivno asocijirane, što ukazuje da se ove morfološke i produktivne osobine istovremeno uvećavaju kod pojedinih genotipova. S druge strane, osobine vezane za kvalitet krme, poput ADF i NDF, pozicionirane su u suprotnom smeru u odnosu na RFV, čime je potvrđena njihova negativna asocijacija. Ova veza je i biološki utemeljena, s obzirom na to da visoke vrednosti ADF i NDF ukazuju

na smanjenu svarljivost i kvalitet krme, te posledično dovode do nižih vrednosti RFV, što se direktno odražava na hranljivu vrednost biomase sirka. Dodatno, osobine poput ADL, TSS i broj dana od metličenja do mlečno-voštane zrelosti zrna, imale su manje doprinose ukupnoj varijansi i pozicionirane su bliže centru koordinatnog sistema, što ukazuje na slabiju ulogu ovih parametara u razdvajanju genotipova u prostoru prve dve komponente. Generalno, dobijeni rezultati jasno ukazuju na postojanje grupa međusobno pozitivno asociranih morfološko-produktivnih osobina, nasuprot parametrima koji određuju sadržaj vlakana, pri čemu RFV predstavlja ključnu osobinu u proceni kvaliteta, negativno asociranu sa vlaknima, a pozitivno sa produktivnim komponentama.



Grafik 12. Analiza glavnih komponenti (PCA) genotipova krmnog sirka grupisanih po tipu u 2020. godini.

Analiza glavnih komponenti omogućila je uočavanje obrazaca među genotipovima sirka na osnovu proučavanih osobina vezanih za prinos i kvalitet krme (grafik 12). Prve dve komponente obuhvataju ukupno 61,5% ukupne varijabilnosti (Dim1 – 48%; Dim2 – 13,5%), što ukazuje da ove dimenzije pružaju dobar uvid u međusobne asocijacije i sličnosti među genotipovima. Na grafiku su jasno uočljivi različiti skupovi genotipova prema tipu. Tester su pozicionirani pretežno u desnom delu dimenzije 1, ističu se osobinama koje pozitivno utiču na kvalitet krme, uključujući viši RFV, što ukazuje na bolju svarljivost i nutritivnu vrednost. Njihovo grupisanje ukazuje na negativnu asocijaciju sa ADF i NDF sadržajem, što je u skladu s očekivanim karakteristikama visokokvalitetnih roditeljskih linija. Komercijalni hibridi su grupisani levo na PCA grafikonu i odvojeni od ostalih kategorija genotipova, što sugerise da ove genotipe karakterišu više vrednosti ADF i NDF, koje su negativno asocirane sa RFV, i kao takve ukazuju na niži kvalitet krme, što je u saglasnosti sa ranije navedenim rezultatima. Ova grupa pokazuje manju varijabilnost u odnosu na druge tipove. Eksperimentalni hibridi zauzimaju centralni i desni deo dijagrama, preklapajući se delimično sa linijama i testerima. Ova distribucija ukazuje na raznolikost među ispitivanim eksperimentalnim hibridima, pri čemu se pojedini genotipovi približavaju testerima i imaju sličan profil osobina (viši RFV, niži ADF i NDF), dok su drugi bliži komercijalnim hibridima. Linije su koncentrisane oko centra grafikona, pokrivajući širi spektar varijabilnosti i pokazuju umerene asocijacije sa osobinama iz prve komponente. Njihov položaj ukazuje na prelazne osobine između testera i hibrida, što potvrđuje njihov status roditeljskih

komponenti u oplemenjivanju. U celini, ova analiza potvrđuje da se ADF i NDF negativno asociraju sa RFV, a genotipovi koji pokazuju visoke vrednosti RFV predstavljaju poželjan materijal za dalje oplemenjivanje. Raspored grupa jasno sugeriše postojanje fenotipske diferencijacije među tipovima genotipova, sa posebnim potencijalom testera za dobijanje potomstva sa poboljšanim kvalitetom krme i pojedinih eksperimentalnih hibrida.

Drugi autori navode rezultate PCA analize koji pokazuju usku povezanost hemijskih i nutritivnih komponenata u sadržaju suve materije pre i posle siliranja biljne mase sirka (Rodrigues et al., 2020). Rezultati Berti et al. (2013) ukazuju na jaku povezanost prinosa biomase sa faktorom spoljašnje sredine i komponentama ćelijskog zida sirka. Shukla et al. (2017) su u svojim eksperimentima ustanovili da visoka koncentracija šećera u soku iz stabljike sirka, nije uslovljena visokim vrednostima za visinu biljaka.

Rezultati PCA i korelacione analize su u saglasnosti, međusobno se dopunjuju i potvrđuju iste obrasce. Na osnovu sprovedene korelacione i PCA analize utvrđene su konzistentne i statistički značajne veze između ispitivanih morfoloških, produktivnih i osobina kvaliteta genotipova krmnog sirka. Prinosi zelene krme i suve mase bili su u pozitivnoj korelaciji sa visinom biljke, brojem listova, površinom zelenog lista i prečnikom stabljike, što je potvrđeno i njihovim zajedničkim pozicioniranjem unutar prve glavne komponente. Nasuprot tome, parametri kvaliteta ADF, NDF i ADL pokazali su snažnu negativnu korelaciju sa relativnom hranljivom vrednošću, što je takođe potvrđeno kroz njihovu suprotnu orijentaciju u PCA dijagramima. Posebno se ističe pozitivan doprinos osobine prečnik stabljike iznad četvrtog lista, koja je pokazala stabilnu povezanost sa RFV u više kategorija genotipova. Dobijeni rezultati ukazuju na jasan kontrast između osobina koje doprinose visokom prinosu i onih koje određuju kvalitet, čime se potvrđuje potreba za uravnoteženim selekcionim pristupom u oplemenjivanju krmnog sirka.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu dvogodišnjeg ispitivanja kombinacionih sposobnosti metodom linija×tester, 40 eksperimentalnih hibrida, zajedno sa 8 linija sudanske trave u funkciji oca hibrida i 5 testera (linije sirka za zrno) u funkciji majke, za agronomski značajne osobine – prinos, komponente prinosa i kvalitet biomase, mogu se izvesti sledeći zaključci:

Između ispitivanih kategorija genotipova, linije sirka za zrno, linije sudanske trave i hibrida krmnog sirka postojale su razlike u deskriptivnim pokazateljima, koje su bile očekivane, s obzirom na različitu morfologiju tipova gajenog sirka. Ove razlike jasno ukazuju da bi, osim za potrebe ispitivanja kombinacionih sposobnosti i heterozisa, sve agronomске forme sirka trebalo ispitivati i upoređivati isključivo odvojeno, u okviru svojih kategorija sa standardima koji pripadaju istom tipu sirka. Preporuka za buduća ispitivanja je da analiza svih genotipova treba da bude usklađena sa kategorijom sirka kojoj genotip pripada, što znači da će se i ispitivani parametri, osobine od značaja za određenu kategoriju, razlikovati (prinos, komponente prinosa i kvalitet zrna ili prinos, komponente prinosa i kvalitet biomase). Takođe, za gajenje različitih formi sirka potrebno je primeniti odgovarajuću tehnologiju proizvodnje u skladu sa njihovom namenom, odnosno u zavisnosti od cilja proizvodnje (jednootkosne ili višootkosne sorte i hibridi; proizvodnja zrna, proizvodnja krme ili proizvodnja za specifične namene).

Meteorološki faktori, temperatura i padavine, tokom vegetacionog perioda 2019. i 2020. godine, imali su uticaj na trajanje fenoloških faza sirka, odnosno na broj dana od nicanja do metličenja i na broj dana od metličenja do mlečno-voštane faze zrelosti zrna. Ostvarene vrednosti u 2020. godini za oba parametra bile su veće kod svih ispitivanih kategorija sirka, što se može objasniti većom količinom padavina u drugoj godini ispitivanja (733,2 mm), kao i ranijom setvom.

Rezultati varijacione analize ukazuju na postojanje statistički značajnih razlika između ispitivanih genotipova, kako u srednjim vrednostima, tako i u kombinacionim sposobnostima (opštim i posebnim). Time je potvrđena prva radna hipoteza da svaki genotip predstavlja jedinstven skup specifičnih gena i njihovih interakcija, čime dolazi do diferencijacije u vrednostima OKS i PKS. Identifikovane su linije L4, L5 i L6 među sudanskom travom i tester T4 među linijama sirka za zrno, kao dobri kombinatori za veći broj osobina, što ih čini pogodnim roditeljima za dalji oplemenjivački rad. Takođe, određene hibridne kombinacije kao što su L1×T2, L6×T5, L3×T5 i L5×T3 i L8×T5 pokazale su stabilne i pozitivne vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti u godinama ispitivanja, što ih svrstava u perspektivne hibride.

U skladu sa drugom hipotezom, kroz evaluaciju eksperimentalnih hibrida različitog genetskog porekla (fenotipski divergentnih roditelja), utvrđeno je postojanje izraženog heterozisa u odnosu na boljeg i srednjeg roditelja. Najviše vrednosti heterozisa zabeležene su kod hibrida L6×T5 i L5×T3, što potvrđuje da se u velikom broju kombinacija sudanske trave i sirka za zrno ispoljio pozitivan efekat interakcije roditeljskih genotipova.

Analizom genetičkih parametara potvrđena je i treća hipoteza, da nasleđivanje osobina prinosa i kvaliteta biomase kod krmnog sirka pokazuje visok stepen međuzavisnosti između komponenti prinosa i ukupnog prinosa. Pozitivne i statistički značajne korelacije su utvrđene između visine biljke, prečnika stabljike i površine zelenog lista sa prinosom zelene krme i suve materije. Ovi

rezultati ukazuju da indirektna selekcija na osnovu komponenti prinosa može biti efikasna strategija za poboljšanje ukupnog prinosa biomase. Korišćenjem korelacionih veza između osobina, moguće je odabrati genotipove koji poseduju poželjne osobine – visok prinos, dobar kvalitet i stabilnost u različitim agroekološkim uslovima. Analiza glavnih komponenti pokazala je da postoji pozitivna povezanost između ukupnog prinosa i većine komponenti prinosa.

Analiza vrednosti odnosa OKS/PKS ukazala je da neaditivna genetička varijansa ima dominantnu ulogu u nasleđivanju većine ispitivanih osobina, pri čemu je najveći doprinos ekspresiji osobina imao faktor interakcije linija×tester. Ovi nalazi dodatno potvrđuju četvrtu hipotezu, da je analiza genetičkih parametara ključna za intenziviranje selekcije i optimizaciju oplemenjivačkog rada. Na osnovu ovih saznanja, moguće je sprovesti ciljanu hibridizaciju uz izbor kombinacija koje pokazuju visok nivo komplementarnosti roditelja u ekspresiji poželjnih osobina.

Ovi rezultati su važan doprinos karakterizaciji germplazme i formiranju baze podataka za dalje korišćenje u međunarodnim mrežama genetičkih resursa, kao i za formiranje sržne kolekcije Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, jedine institucije u Srbiji koja se bavi oplemenjivanjem sirka. Na osnovu dobijenih rezultata, istraživanje je pružilo konkretne preporuke za izbor roditelja i hibridnih kombinacija u oplemenjivačkom programu krmnog sirka. Identifikovane superiorne kombinacije mogu biti osnova za stvaranje novih visokoprinosnih hibrida krmnog sirka sa poboljšanim kvalitetom biomase, kako za ishranu preživara u formi silaže, tako i za proizvodnju biogasa u biodigestorima. Time se ne samo ostvaruje naučni doprinos selekciji sirka, već se i neposredno utiče na praktičan razvoj stočarske proizvodnje i obnovljivih izvora energije.

8. LITERATURA

- Addai, I.K., Alimiawo, M. (2015): Graphical Determination of Leaf Area Index and its Relationship with Growth and Yield Parameters of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as Affected by Fertilizer Application. *Journal of Agronomy* 14: 272-278.
- Agarwal, M., Shrotria, P.K. (2005): Heterosis and inbreeding depression in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian J. Genet.* 65(1): 12-14.
- Ahalawat, N.K., Arya, V.K., Kumar, P., Singh, S.K. (2018): Genetic divergence in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Journal of Applied and Natural Science* 10(1): 439-444.
- Akata, E.A., Diatta, C., Faye, Y.M., Diop, A., Maina, F., Sine, B., Tchala, W., Ndoye, I., Morris, G.P., Cisse, N. (2017): Combining ability and heterotic pattern in West African sorghum landraces. *African Crop Science Journal* 25(4): 491-508.
- Almodares, A., Hadi, M.R., Ranjbar, M., Taheri, R. (2007): The effects of nitrogen treatments, cultivars and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. *Journal of plant sciences* 6(2): 423-426.
- Amare, K., Zeleke, H., Bultosa, G. (2015): Variability for yield, yield related traits and association among traits of sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) varieties in Wollo, Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 7(5): 125-133.
- Aruna, C., Audilakshmi, S. (2008): A strategy to identify potential germplasm for improving yield attributes using diversity analysis in sorghum. *Plant Genetic Resources* 6(3):187-194.
- Aruna, C., Cheruku, D. (2019): Chapter 10 – Genetic Improvement of Grain Sorghum. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 157-173.
- Aruna, C., Swarnalatha, M., Praveen Kumar, P., Devender, V., Suguna, M., Blümmel, M., Patil, J. (2015): Genetic options for improving fodder yield and quality in forage sorghum. *Tropical Grasslands –Forrajes Tropicales* 3(1): 49-58.
- Atumo, T.T., Mengesha, G.G. (2022): Growth and yield performance of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) crop under anthracnose stress in dryland crop-livestock farming system. *Experimental Results* 3(14): 1-15.
- Audilakshmi, S., Mall, A.K., Swarnalatha, M., Seetharama, N. (2010): Inheritance of sugar concentration in stalk (brix), sucrose content, stalk and juice yield in sorghum. *Biomass and Bioenergy* 6(34): 813-820.
- Ayele, F., Mekbib, F., Tirfessa, A., Begna, T., Teressa, T. (2025): Combining Ability Analysis of Locally Adapted Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Landraces Under Moisture Stress Environments. Preprint, version 1. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7004848/v1>.
- Ayub, M., Nadeem, MA., Tahir, M., Ghafoor, A., Ahmed, Z., Naeem, M. (2010): Comparative Studies on the Growth, Forage Yield and Quality of Sorghum (*Sorghum Bicolor* l.) Varieties under Irrigated Conditions of Faisalabad. *Pak. j. life soc. Sci.* 8(2): 94-97.

- Bahadure, D.M., Marker, S., Umakanth, A.V., Prabhakar, Ramteke, P.W., Patil, J.v., Rana, B.S. (2015): Combining ability and heterosis on millable stalk and sugar concentration for bioethanol production across environments in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). Electronic Journal of Plant Breeding 6(1): 58-65.
- Bangarwa, K.S., Grewal, R.S., Lodhi, G.P., Thakral, N.K. (1989): Association analysis for some quantitative traits in forage sorghum. Indian J. of Heredity 21: 25-28.
- Bartual, R., Hallauer, A.R. (1976): Estimation of genetic variances in BSSS by use of inbred lines developed by full-sib selection. Maydica 21: 49–60.
- Bazaluk, O., Havrysh, V., Fedorchuk, M., Nitsenko, V. (2021): Energy Assessment of Sorghum Cultivation in Southern Ukraine. Agriculture 11(8): 695.
- Bean, B.W., Baumhardt, R.L., McCollum, F.T., McCuistion, K.C. (2013): Comparison of sorghum classes for grain and forage yield and forage nutritive value. Field Crops Research 142: 20-26.
- Begna, T. (2021): Combining ability and heterosis in plant improvement. Open J Plant Sci 6(1): 108-117.
- Begna, T., Birhan, T., Tadesse, T. (2023): Gene action and combining ability estimation in elite sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] inbred lines under Dry Lowland Areas of Ethiopia. Preprint, version 1. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2866862/v1>.
- Begna, T., Birhan, T., Tadesse, T. (2024): Investigation of combining ability and heterosis in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes under moisture stress areas. Ecological Genetics and Genomics 33: 100304.
- Berenji, J. (1985): Ocena kombinirajućih sposobnosti i heterotisa i analiza komponenti prinosa sirka za zrno. Magistarski rad. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija.
- Berti, M.T., Johnson, B., Gesch, R.W., Samarappuli, D.P., Ji, Y., Seames, W., Kamireddy, S.R. (2013): Forage sorghum: an excellent feedstock for second generation biofuels in the North Central Region of the USA. In The Proceedings of the 21st European Biomass Conference, Denmark, Copenhagen, pp. 160-165.
- Bhat, B.V. (2019): Chapter 11 – Breeding Forage Sorghum. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), Breeding Sorghum for Diverse End Uses. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 175–191.
- Bolsen, K.K., Moore, K.J., Coblenz, W.K., Siefers, M.K., White, J.S. (2003): Sorghum silage. Silage science and technology 42: 609-632.
- Borojević, S. (1992): Principi i metode oplemenjivanja bilja. Naučna knjiga, Beograd.
- Bozorgvar, N., Khademosharieh, M.M., Neamatollahi, E., Jahansuz, M.R. (2013): Determine the best varieties of forage sorghum. Advances in Environmental Biology 7(6): 1105-1112.
- Buxton, D.R., Redfearn, D.D. (1997): Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization. The Journal of Nutrition 127(5): 814-818.
- Caravetta, G.J., Cherney, J.H., Johnson, K.D. (1990): Within-Row Spacing Influences on Diverse Sorghum Genotypes: I. Morphology. Agron. J. 82: 206-210.

- Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A., Miron, J. (2006): Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology* 131(1-2): 121-133.
- Chaudhari, N.P., Gangani, M.K., Chaudhari, M.N., Anjana, R.A. (2017): Combining Ability and Gene Action Analysis for Green Forage Yield and its Components in Fodder Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Trends in Biosciences* 10(32): 7015-7020.
- Chaudhary, D.P., Saini, R.K., Maurya, B.K., Sharma, M., Kumar, R., Sen, R., Singh, S.K. (2018): Study of Genetic Variability and Fodder Yield Components in Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 7: 5-9.
- Chikuta, S., Odong, T., Kabi, F., Rubaihayo, P. (2017): Combining Ability and Heterosis of Selected Grain and Forage Dual Purpose Sorghum Genotypes. *Journal of Agricultural Science* 9(2): 122-130.
- Conner, A.B., Karper, R.E. (1927): Hybrid vigor in sorghum. *Texas Agric Exp. Stn. Bull.* 359.
- Contreras-Govea, F.E., Marsalis, M.A., Lauriault, L.M., Bean, B.W. (2010): Forage Sorghum Nutritive Value: A Review. *Forage & Grazinglands* 8: 1-6.
- Cook, R.C., Shipley, L.A., Cook, J.G., Camp, M.J., Monzingo, D.S., Robatcek, S.L., Berry, S.L., Hull, I.T., Myers, W.L., Denryter, K., Long R.A. (2022): Sequential detergent fiber assay results used for nutritional ecology research: Evidence of bias since 2012. *Wildlife Society Bulletin* 46: 1348.
- Čamdžija, Z. (2014): Kombinacione sposobnosti za prinos zrna i agronomska svojstva ZP inbred linija kukuruza. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija.
- Ćupina, B., Erić, P., Mihailović, V., Mikić, A., Krstić, Đ., Vučković, S. (2007): Značaj, stanje i perspektive jednogodišnjih krmnih biljaka u agro-ekološkim uslovima Srbije. *Zbornik radova, A Periodical of Scientific Research on Field & Vegetable Crops*. Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 44(1).
- Dahlberg, J.A. (2000): Classification and Characterization. In: Smith, C.W., Frederiksen, R.A. (Eds.), *Sorghum: origin, history, technology, and production*. John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 99-132.
- Dahlberg, J., Berenji, J., Sikora, V., Latković, D. (2011): Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica* 56: 1750.
- Davila-Gomez, F.J., Chuck-Hernandez, C., Perez-Carrillo, E., Rooney, W.L., Serna-Saldivar, S.O. (2011): Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). *Industrial Crops and Products* 33(3): 611-616.
- Debnath, S.C., Sarker, K.R. (1989): Quantitative genetic analysis of grain yield and some other agronomic traits in maize. *Pakistan J. Sci. and Industrial Res.* 32(4): 253-256.
- Dehinwal, A.K., Pahuja, S.K., Shafiqurrahman, M., Kumar, A., Sharma, P. (2017): Studies on Combining Ability for Yield and Its Component Traits in Forage Sorghum. *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 5(5): 493-502.

- DePeters, E.J., Taylor, S.J., Baldwin, R.L. (1989): Effect of dietary fat in isocaloric rations on the nitrogen content of milk from Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 72: 2949-2957.
- Disasa, T., Feyissa, T., Admassu, B. (2017): Characterization of Ethiopian Sweet Sorghum Accessions for °Brix, Morphological and Grain Yield Traits. *Sugar Tech* 19: 72-82.
- Doggett, H. (1988): Sorghum. Tropical Agricultural Series, Longmans, Harlow, UK.
- Dolapčev, A., Prodanović, S., Sikora, V., Živanović, T., Vasiljević, S., Karagić, Đ., Katanski, S. (2017): Analiza odnosa visine biljke i dužine metlice u NS-kolekciji linija oprašivača sirka za zрно. Zbornik radova 1, XXII Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem. Čačak, Srbija, pp. 31-36.
- Dvoračkova, J., Doležal, P., Vyskočil, I. (2013): Effect of the growing season duration of sorghum and Sudan grass hybrids on the chemical composition and digestibility of organic matter. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 61(6): 1629-1635.
- Dweikat, I. (2015): Chapter 4 – Sorghum Breeding. In: Wang, Y.H., Upadhyaya, H.D., Kole, C. (Eds.), *Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum*. Taylor & Francis Group, London, pp. 90-113.
- Eastin, J.D. (1972): Photosynthesis and translocation in relation to plant development. In: Rao, N.G.P., House, L.R. (Eds.), *Sorghum in Seventies*. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, India, pp. 214-246.
- Ekefre, D.E., Mahapatra, A.K., Latimore M.J., Bellmer, D.D., Jena, U., Whitehead, G.J., Williams, A.L. (2017): Evaluation of three cultivars of sweet Sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. *Heliyon* 3: e00490.
- El-Sherbeny, G.A.R., Khaled, A.G.A., Hovney, M.R.A., Zarea, B.A. (2019): Combining ability and gene action using Line by Tester analysis on some new hybrids of grain sorghum under drought conditions. *PKV Res. J.* 49(1): 118-129.
- Erdurmus, C., Erdal, S., Oten, M., Kiremitci, S., Uzun, B. (2021): Investigation of Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes for Yield and Yield Components. *Maydica* 66: 1-13.
- Fan, H., Wang, J., Shen, S., Yang, M., Li, S., Feng, B., Zhong, R., Ma, C., Wang, J., Xie, R., Wang, L. (2022): High-Throughput Phenotyping of Cross-Sectional Morphology to Assess Stalk Mechanical Properties in Sorghum. *Agriculture* 12: 1696.
- FaoStat (2024): Faostat Statistics. Crop and Livestock Products – Statistics on Area Harvested of Sorghum and Average Yield of Grain in World, European Region and Serbia. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fekadu, D., Walelegn, M., Terefe, G. (2017): Indexing Ethiopian Feed Stuffs Using Relative Feed Value: Dry Forages and Roughages, Energy Supplements, and Protein Supplements. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 7(21): 57-60.
- Felderhoff, T.J., Murray, S.C., Klein, P.E., Sharma, A., Hamblin, M.T., Kresovich, S., Vermerris, W., Rooney, W.L. (2012): QTLs for Energy-related Traits in a Sweet × Grain Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Mapping Population. *Crop Science* 52: 2040-2049.
- Fisher, R.A. (1918): The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Trans. R. Soc. Edinb.* 52: 399-433.

- Franks, C.D., Mayor, M.L.M. (2015): Chapter 7 – Molecular Breeding. In: Wang, Y.H., Upadhyaya, H.D., Kole, C. (Eds.), Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum. Taylor & Francis Group, London, pp. 169-181.
- Gardner, C.O. (1963): Estimates of genetic parameters in cross fertilizing plants and their importance in plant breeding. In: Hanson, W.D., Robinson, H.F. (Eds.), Statistical genetics and plant breeding. Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Counc. Publ., Washington, pp. 225-252.
- GeoSrbija (2024): Nacionalna infrastruktura geoprostornih podataka. <https://a3.geosrbija.rs/>.
- Getachew, G., Putnam, D., Ben, C.D., Peters, E.D. (2016): Potential of Sorghum as an Alternative to Corn Forage. American Journal of Plant Sciences 7: 1106-1121.
- Glamočlija, Đ.N. (2012): Posebno ratarstvo – žita i zrnene mahunarke. Poljoprivredni fakultet, Zemun.
- Gondal, M., Hussain, A., Yasin, S., Musa, M., Rehman, H. (2017): Effect of seed rate and row spacing on grain yield of sorghum. SAARC Journal of Agriculture 15(2), 81–91.
- Grubić, G., Adamović, M. (2003): Ishrana visokoproduktivnih krava. Institut PKB Agroekonomik, Beograd-Padinska Skela, Srbija.
- Hamza, N.B., Idris, A.E., Elmunsor, I.I., Ibrahim, A.I.A., Abuali, A.I. (2016): Drought Tolerance Assessment in Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Genotypes Using Agromorphological Traits and DNA Markers. International Journal of Plant Breeding and Genetics 10: 125-131.
- Harlan, J.R., de Wet, J.M.J. (1972): A Simplified Classification of Cultivated Sorghum. Crop Science 12: 172-176.
- Horrocks, R.D., Vallentine, J.F. (1999): Harvested Forages. Academic Press, London, UK.
- Hossain, M.S., Islam, M.N., Rahman, M.M., Mostofa, M.G., Khan, M.A.R. (2022): Sorghum: A Prospective Crop for Climatic Vulnerability, Food and Nutritional Security. J. Agric. Food Res. 8: 100300.
- House, L.R. (1985): A Guide to Sorghum Breeding. 2nd ed. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India.
- Ingle, K.P., Gahukar, S.J., Khelurkar, V.C., Ghorade, R.B., Kalpande, V.V., Jadhav, P.V., Moharil, M.P. (2018): Heterosis and Combining Ability for Grain Yield Trait in Rabi Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Using Line x Tester Mating Design. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 32: 1925-1934.
- Jain, S.K., Elangovan, M., Patel, N.V. (2009): Genetic and environmental variability in dual sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for yield and related traits. Forage Res. 34: 201–204.
- Janković, S., Rakić, S., Ikanović, J., Kuzevski, J., Živanović, L., Lakić, Ž. (2012): Correlation coefficients of morphological: Productive traits of species of Sorghum genus. Biotechnology in Animal Husbandry 28(3): 585-593.
- Janković, S., Ikanović, J., Kolarić, Lj., Živanović, Lj., Popović, V., Dražić, G., Rakić, S., Trkulja, V. (2017): Prospects for using Sudan grass as a source of renewable energy. In: Proceedings of the

- Kahrman, F., Egesel, C.O., Orhun, G.E., Alaca, B., Avci, F. (2016): Comparison of graphical analyses for maize genetic experiments: Application of biplots and polar plot to line x tester design. *Chilean journal of agricultural research* 76(3): 285-293.
- Kalton, R.R. (1988): Overview of the forage sorghums. In: *Proceedings of the 43rd Annual Corn and Sorghum Res. Conf. Chicago, IL*, pp. 1–12.
- Kanagarasu, S., Nallathambi, G., Ganesan, K. (2010): Combining ability analysis for yield and its component traits in maize (*Zea mays* L.). *Electr. J. Plant Breed.* 1: 915-920.
- Kanbar, A., Flubacher, N., Hermuth, J., Kosova, K., Horn, T., Nick, P. (2021): Mining Sorghum Biodiversity – Potential of Dual Purpose Hybrids for Bio-Economy. *Diversity* 13: 192.
- Kempthorne, O. (1957): *An introduction to genetic statistics*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Khalil, S.R.A., Abdelhafez, A.A., Amer, E.A.M. (2015): Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. *Annals of Agricultural Sciences* 60(2): 317-324.
- Kikindonov, T., Kikindonov, G. (2014): Initial development and growth of biomass and dry matter in Sudan grass and Sorghum × Sudan grass hybrids. *Discourse J. Agric. Food Sci.* 2: 149–151.
- Kikindonov, T., Enchev, S., Slanev K. (2013): Influence of the variety and sowing rate on the green mass productivity of Sudan grass and Sorghum x Sudan grass hybrids. *Agricultural science and technology* 5(1): 50-52.
- Kimani, P.M., Wachira, F., Cheruiyot, E.K., Owuoche, J., Kimani, E. (2014): Genetic diversity of African sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) accessions based on microsatellite markers. *Australian Journal of Crop Science* 8(2): 171-177.
- Krishnamurthy, K., Jagannath, M.K., Rajashekara, B.G., Raghunatha, G. (1974): Estimation of Leaf Area in Grain Sorghum from Single Leaf Measurements. *Agron. J.* 66: 544-545.
- Kumar, A.A., Reddy, B.V., Ramaiah, B., Sahrawat, K.L., Pfeiffer, W.H. (2013): Gene effects and heterosis for grain iron and zinc concentration in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Field Crops Research* 146: 86-95.
- Kumar, B., Singh, M., Kumar, A., Kumar, S., Kumar, R., Singh, A.K. (2024): Sweet sorghum utilization for dual-purpose: Feed-fodder and fuel production (A review). *Ecology, Environment & Conservation Journal* 30(2): 852-857.
- Kumari, P., Pahuja, S.K., Arya, S., Satpal, N.R., Kumar, A. (2018): Study of combining ability effects in forage sorghum hybrids for yield and quality traits. *Electronic Journal of Plant Breeding* 9(2): 528-537.
- Kurelec, V. (1962): Tavaszi zoldtakarmany helyes kiegeszítése fejostehenek számára. *M. Mezogazd.* 17/21, 17.
- Latković, D., Marinković, B., Crnobarac, J., Jaćimović, G., Berenji, J., Sikora, V. (2015): Gajenje alternativnih njivskih biljaka. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.

- Laxman, S. (2001): Studies on Heterosis and Combining Ability in Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) through Line x Tester Analysis. J.ReS.ANGRAU 29(4): 12-17.
- Lima, L.O.B., Pires, D.A.A., Moura, M.M.A., Rodrigues, J.A.S., Tolentino, D.C., Viana, M.C.M. (2017): Agronomic traits and nutritional value of forage sorghum genotypes. Acta Scientiarum. Animal Sciences 39(1): 7-12.
- Lyons, S.E., Ketterings, Q.M., Godwin, G.S., Cherney, D.J., Cherney, J.H., Van Amburgh, M.E., Meisinger, J.J., Kilcer, T.F. (2019): Optimal harvest timing for brown midrib forage sorghum yield, nutritive value, and ration performance. Journal of Dairy Science, 102(8): 7134-7149.
- Madhusudhana, R. (2019a): Chapter 9 – Genetics of important economic traits in sorghum. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), Breeding sorghum for diverse end uses. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 141-156.
- Madhusudhana, R. (2019b): Chapter 6 – Marker-assisted breeding in sorghum. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), Breeding sorghum for diverse end uses. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 93-114.
- Mahmood, A., Ullah, H., Ijaz, M., Javaid, M.M., Shahzad, A.N., Honermeier, B. (2013): Evaluation of Sorghum Hybrids for Biomass and Biogas Production. Aust. J. Crop Sci. 7: 1456–1462.
- Malik, M.F.A., Hussain, M., Awan, S.I. (2007): Yield response of fodder sorghum (*Sorghum bicolor*) to seed rate and row spacing under rain-fed conditions. Journal of agriculture and social sciences 3(3): 95-97.
- Mastrorilli, M., Katerji, N., Rana, G. (1999): Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. European journal of Agronomy 11(3-4): 207-215.
- Meteorološki godišnjak – klimatološki podaci (2024): Republički hidrometeorološki zavod Srbije. http://www.hidmet.gov.rs/index_eng.php.
- Miller, P., Muller, N., Monk, R., Murty, D.S., Obilana, AB. (1997): Breeding photoperiod insensitive sorghums for adaptation and yield. In: Proceedings of the International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet. Lubbock, TX, pp. 59-65.
- Mindaye, T.T., Mace, E.S., Godwin, I.D., Jordan, D.R. (2016): Heterosis in locally adapted sorghum genotypes and potential of hybrids for increased productivity in contrasting environments in Ethiopia. The Crop Journal 4(6): 479-489.
- Miron, J., Zuckerman, E., Adin, G., Solomon, R., Shoshani, E., Nikbachat, M., Yosef, E., Zenou, A., Weinberg, Z.G., Chen, Y., Halachmi, I., Ben-Ghedalia, D. (2007): Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behavior and lactation performance of dairy cows. Animal Feed Science and Technology 139(1-2): 23-39.
- Mofokeng, A.M., Shimelis, H., Laing, M. (2017): Breeding strategies to improve sorghum quality. Australian Journal of Crop Science 11(02): 142-148.
- Mohammed, M.I., Talib, N.H. (2008): Heterosis and combining ability for quality traits in forage sorghum. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2(1): 99-104.

- Molaverdi, M., Karimi, K., Khanahmadi, M., Goshadrou, A. (2013): Enhanced sweet sorghum stalk to ethanol by fungus *Mucor indicus* using solid state fermentation followed by simultaneous saccharification and fermentation. *Industrial crops and products* 49: 580-585.
- Moore, J.E., Undersander, D.J. (2002): Relative Forage Quality: An Alternative to Relative Feed Value and Quality Index. In: *Proceedings of the 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Pp. 16-32.
- Murphy, R.L., Morishige, D.T., Brady, J.A., Rooney, W.L., Yang, S., Klein, P.E., Mullet, J.E. (2014): *Ghd7* (Ma6) represses sorghum flowering in long days: *Ghd7* alleles enhance biomass accumulation and grain production. *The Plant Genome* 7(2).
- Murray, S.C., Sharma, A., Rooney, W.L., Klein, P.E., Mullet, J.E., Mitchell, S.E., Kresovich, S. (2008): Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: I. QTL for Stem Sugar and Grain Nonstructural Carbohydrates. *Crop Sci.* 48: 2165-2179.
- Murty, B.R., Govil, J.N. (1967): Description of 70 groups in genus sorghum based on a modified Snowden's classification. *Indian J. Genet.* 27:75-91.
- Mut, H., Gulumser, E., Dogrusoz, M.C., Basaran, U. (2017): Effect of Different Nitrogen Levels on Hay Yield and Some Quality Traits of Sudan Grass and Sorghum Sudan Grass Hybrids. *Animal nutrition and feed technology* 17: 269-278.
- Nandan, R., Rashmi, K., Sanjay, S., Mandal, S.S., Singh, B. (2021): Combining ability analyses of grain yield and kernel micronutrient content in maize (*Zea mays*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 91(8): 1127–1130.
- Nikhil, S.K., Gangwar, L.K., Mourya, A.K. (2024): Characters Study of Selection Criteria and Genetic Variability in Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Genotype for Green Fodder Yield and Its Contributed Traits. *Environment and Ecology* 42(3): 956-960.
- Oliveira, I.C.M., Marcal, T.d.S., Bernardino, K.d.C., Ribeiro, P.C.d.O., Parrella, R.A.d.C., Carneiro, P.C.S., Schaffert, R.E., Carneiro, J.E.d.S. (2019): Combining Ability of Biomass Sorghum Lines for Agroindustrial Characters and Multitrait Selection of Photosensitive Hybrids for Energy Cogeneration. *Crop Science* 59: 1554-1566.
- Oliver, A.L., Pedersen, J.F., Grant, R.J., Klopfenstein, T.J. (2005): Comparative effects of the sorghum *bmr-6* and *bmr-12* genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop science* 45(6): 2234-2239.
- Pahuja, S.K., Grewal, R.P.S., Singh, N., Singh, P., Jindal, Y., Pundir, S.R. (2002): Evaluation of forage sorghum hybrids for yield and morphological traits. *Int. Sorghum & Millets Newsletter* 43: 42-45.
- Parlak, A.O., Gokkus, A., Alaturk, F., Hanoglu, H., Tolu, C. (2016): Herbage yield and quality of wheat stubble and sorghum Sudan grass pastures. *Scientific Papers, Series A, Agronomy LIX*: 374-377.
- Parmar, H.P., Patel, J.R., Patel, P.C. (2004): Combining ability for quantitative traits in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Forage Res.* 29(4): 170-172.
- Pataki, I. (2010): Kombinacione sposobnosti i način nasleđivanja komponenti prinosa F1 hibrida krmnog sirka (*Sorghum bicolor* L. Moench) stvorenih ukrštanjem sirka za zrno i sudanske trave. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.

- Pataki, I. (2011): Sirak i sudanska trava kao krmne i energetske biljke. Zbornik referata 45. Savetovanja agronoma Srbije. Zlatibor, Srbija, pp 137-142.
- Pataki, I., Marinković, R., Vasiljević, S., Mikić, A., Milić, D. (2007): Kombinacione sposobnosti za visinu biljke kod krmnog sirka i sudanske trave analizom linija x tester. Zbornik radova, A Periodical of Scientific Research on Field & Vegetable Crops 44(1): 185-192.
- Pataki, I., Katić, S., Mihailović, V., Milić, D., Vasiljević, S., Mikić, A. (2010): Iskorišćavanje hibridizacije (F1) u oplemenjivanju krmnog sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Ratarstvo i povrtarstvo 47(1): 225-230.
- Pedersen, J.F., Vogel, K.P., Funnell, D.L. (2005): Impact of reduced lignin on plant fitness. Crop Sci. 45: 812–819.
- Pholsen, S., Sornsungnoen, N. (2004): Effects of Nitrogen and Potassium Rates and Planting Distances on Growth, Yield and Fodder Quality of a Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Pakistan Journal of Biological Sciences 7: 1793-1800.
- Phuong, N., Stutzel, H., Uptmoor, R. (2013): Quantitative trait loci associated to agronomic traits and yield components in a *Sorghum bicolor* L. Moench RIL population cultivated under pre-flowering drought and well-watered conditions. Agricultural Sciences 4(12): 781-791.
- Podder, S., Samarappuli, D., Anderson, J.V., Berti, M.T. (2020): Phenotyping a diverse collection of forage sorghum genotypes for chilling tolerance. Agronomy 10(8): 1074.
- Porter, K.S., Axtell, J.D., Lechtenberg, V.L., Colenbrander, V.F. (1978): Phenotype, fiber composition, and in vitro dry matter disappearance of chemically induced brown midrib (bmr) mutants of sorghum. Crop Science 18(2): 205-208.
- Pothisoong, T., Jaisil, P. (2011): Yield Potential, Heterosis and Ethanol Production in F1 Hybrids of Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). KMITL Sci. Tech. J. 11(1): 17-24.
- Prakash, R., Ganesamurthy, K., Nirmalakumari, A., Nagarajan, P. (2010): Correlation and path analysis in sorghum *Sorghum bicolor* L. Moench. Electronic Journal of Plant Breeding 1(3): 315-318.
- Prasada Rao, K.E., Mengesha, M.H., Gopal Reddy, V. (1989): International use of sorghum germplasm collection. In: Brown, A.H.D., Marshall, D.R., Frankel, D.H., Williams, J.T. (Eds.) The use of plant genetic resources. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. pp. 49–67.
- Pravilnik o metodama ispitivanja sorti krmnog sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) i sudanske trave (*Sorghum sudanense* Stapf.) radi priznavanja sorte (2018): Odsek za priznavanje sorti poljoprivrednog bilja. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, <https://www.sorte.minpolj.gov.rs/sites/default/files/pravsudtrava.pdf>.
- Premalatha, N., Kumaravadivel, N., Veerabadhiran, P. (2006): Heterosis and combining ability for grain yield and its components in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 66(2): 123-126.
- Prodanović, S., Šurlan Momirović, G., Rakonjac, V., Petrović, D. (2015): Genetički resursi biljaka. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija.
- Quinby, J.R. (1974): The Genetic Control of Flowering and Growth in Sorghum. In: Brady, N.C. (Ed.) Advances in Agronomy. Academic Press 25: 125-162.

- Quinby, J.R. (1975): The genetics of sorghum improvement. *J. Hered.* 66: 56-62.
- Quinby, J.R., Karper, R.E. (1954): Inheritance of height in sorghum. *Agron. J.* 46: 212-216.
- R Core Team (2022): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rakshit, S., Bellundagi, A. (2019): Chapter 5 – Conventional Breeding Techniques in Sorghum. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), *Breeding sorghum for diverse end uses*. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 77-91.
- Rao, N.K., Bramel, P.J., Reddy, V.G., Deb, U.K. (2004): Conservation, utilization and distribution of sorghum germplasm. In: Bantilan, M.C.S., Deb, U.K., Gowda, C.L.L., Reddy, B.V.S., Obilana, A.B., Evenson, R.E. (Eds.) *Sorghum genetic enhancement: research process, dissemination and impacts*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, India pp. 43-64.
- Rao, P.S., Zegada-Lizarazu, W., Bellmer, D., Monti, A. (2015a): Chapter 13 – Prospect of Sorghum as a Biofuel Feedstock. In: Wang, Y.H., Upadhyaya, H.D., Kole, C. (Eds.), *Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum*. Taylor & Francis Group, London, pp. 303-330.
- Rao, P.S., Reddy, B.V.S., Nagaraj, N., Upadhyaya, H.D. (2015b): Chapter 1 – Sorghum Production for Diversified Uses. In: Wang, Y.H., Upadhyaya, H.D., Kole, C. (Eds.), *Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum*. Taylor & Francis Group, London, pp. 1-27.
- Reddy, P.S., Reddy, B.V.S., Rao, P.S. (2011): Genetic Analysis of Traits Contributing to Stalk Sugar Yield in Sorghum. *Cereal Research Communications* 39(3): 453–464.
- Reenu, S.A., Rani, K., Dahiya, P., Poonia, A. (2022): Exploiting the heterosis and correlation analysis studies in forage sorghum for quality improvement. *Forage Res.* 48(1): 31-36.
- Rodrigues, P.H.M., Pinedo, L.A., Meyer, P.M., da Silva, T.H., Guimaraes, I.C.D.S.B. (2020): Sorghum silage quality as determined by chemical–nutritional factors. *Grass and Forage Science* 75(4): 462-473.
- Rohila, N., Arya, S., Pahuja, S.K., Kumari, P., Pinki, Rani, K., Devi, N. (2018): Morphological Characterization and Quality Parameters of Various Forage Sorghum Genotypes (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(6): 2057-2071.
- Rooney, W.L., Aydin, S. (1999): Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop science* 39(2): 397-400.
- Rooney, W.L., Blumenthal, J., Bean, B., Mullet, J.E. (2007): Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 1(2): 147-157.
- Saballos, A. (2008): Development and utilization of sorghum as a bioenergy crop. In: Vermerris, W. (Ed.) *Genetic improvement of bioenergy crops*. Springer New York, NY, pp. 211-248.
- Saballos, A., Vermerris, W., Rivera, L., Ejeta, G. (2008): Allelic association, chemical characterization and saccharification properties of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Bioenergy Research* 1(3): 193-204.
- Saeed, I.A.M., El-Nadi, A.H. (1998): Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. *Irrigation science* 18(2): 67-71.

- Sakhi, S., Okuno, K., Shahzad, A., Jamil, M. (2014): Evaluation of Sorghum (*Sorghum bicolor*) Core Collection for Drought Tolerance: Pollen Fertility and Mean Performance of Yield Traits and Its Components at Reproductive Stage. *International Journal of Agriculture & Biology* 16(2): 251-260.
- Sankarapandian, R., Ramalingam, J., Pillai, M.A., Vanniarajan, C. (1994): Heterosis and combining ability studies for juice yield related characteristics in sweet sorghum. *Annals of Agricultural Research* 15(2) 199-204.
- Santosh, Pandey, P.K. (2024): Combining Ability Analysis for Forage Yield and Quality Traits in Forage Sorghum [*Sorghum bicolor* L. Moench]. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* 27(7):1401-1419.
- Shanti, M., Susheela, R., Anuradha, M., Shashikala, T., Murali, B. (2019): Evaluation of sorghum genotypes under varied fertilizer levels for fodder yields and quality. *Range Mgmt. & Agroforestry* 40(1): 167-169.
- Sharma, J.R. (2008): *Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding*. New Age International Publishers, Delhi, India
- Shukla, S., Felderhoff, T.J., Saballos, A., Vermerris, W. (2017): The relationship between plant height and sugar accumulation in the stems of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Field Crops Research* 203: 181-191.
- Sikora, V., Berenji, J. (2005): Perspektive gajenja sirka za zrno u nas. *Zbornik radova, Sveska* 41. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, pp. 451-458.
- Sikora, V., Berenji, J., Maksimović, L., Popović, V. (2013): Sirak u uslovima abiotičkog stresa I. Stres izazvan sušom. *Bilten za alternativne biljne vrste* 45(86): 1-10.
- Sikora, V., Maksimović, L., Popović, V., Brdar-Jokanović, M., Koren, A. (2019): Sorghum in conditions of abiotic stress. Stress caused by extreme temperatures and soil reaction. *Alternative crops and cultivation practices* (1): 18-26.
- Singh, L., Tomar, S.S., Parashar, A., Kishore, A. (2022): Performance of open-pollinated and hybrid fodder varieties of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in grid region. *YMER* 21(5): 1435-1441.
- Singh, R.K., Chaudhary, B.D. (1976): *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kalyani Publishers, Ludhiana, New Delhi.
- Singh, R.K., Shrotria, P.K. (2008): Combining ability analysis for forage yield and its components in forage sorghum. *Forage Research* 34(2): 79-82.
- Singh, S.K., Gangwar, L.K., Chaudhary, M. (2019): Studies on character association and path analysis in forage sorghum. *Int J Chem Stud* 7(5): 2939-2942.
- Soil Texture Calculator (2024): Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>.
- Sorghum Checkoff (2024): <https://www.sorghumcheckoff.com/>.

- Stephens, J.C., Holland, R.F. (1954): Cytoplasmic male-sterility for hybrid sorghum seed production. *Agron. J.* 46: 20-23.
- Sukumaran, S., Li, X., Li, X., Zhu, C., Bai, G., Perumal, R., Tuinstra, M.R., Vara Prasad, P.V., Mitchell, S.E., Tesso, T.T., Yu, J. (2016): QTL mapping for grain yield, flowering time, and stay-green traits in sorghum with genotyping-by-sequencing markers. *Crop Science* 56(4): 1429-1442.
- Sumalini, K., Desale, J.S., Gulia, S.K. (2005): Genetics of grain and forage traits in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Forage Res.* 31(1): 30-32.
- Šurlan-Momirović, G., Rakonjac, V., Prodanović, S., Živanović, T. (2012): Genetika i oplemenjivanje biljaka – praktikum. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Tadesse, T., Tesso, T., Ejeta, G. (2008): Combining ability of introduced sorghum parental lines for major morpho-agronomic traits. *Journal of SAT Agricultural Research* 6.
- Talmale, U.N., Deshmukh, D.T., Khade, P.A. (2020): Correlation and Path Analysis for Yield and Yield Contributing Traits in Forage Sorghum. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 11: 2808-2814.
- Tariq, A.S., Akram, Z., Shabbir, G., Khan, K.S., Mahmood, T., Iqbal, M.S. (2014): Heterosis and combining ability evaluation for quality traits in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics* 46(2): 174-182.
- Thakare, D.P., Ghorade, R.B., Bagade, A.B. (2014): Combining ability studies in Grain Sorghum using line X tester analysis. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 3(10): 594-603.
- Thurber, C.S., Ma, J.M., Higgins, R.H., Brown, P.J. (2013): Retrospective genomic analysis of sorghum adaptation to temperate-zone grain production. *Genome biology* 14(6): 68.
- Tilaye, A., Mekbib, F., Nida, H. (2024): Genetic Variability and Association of Traits among Sorghum Genotypes [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Under Drought Stress Area. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 11(6): 89-100.
- Tunca, E., Koksall, E.S., Taner, S.C., Akay, H. (2024): Crop height estimation of sorghum from high resolution multispectral images using the structure from motion (SfM) algorithm. *International Journal of Environmental Science and Technology* 21(2): 1981-1992.
- Umakanth, A.V., Kumar, A.A., Vermerris, W., Tonapi, V.A. (2019): Sweet sorghum for biofuel industry. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), *Breeding sorghum for diverse end uses*. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 255-270.
- UPOV deskriptor (2018): International Union for the Protection of New Varieties of Plants, Geneva, Sorghum Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability. <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg122.pdf>
- Venkateswaran, K., Elangovan, M., Sivaraj, N. (2019b): Chapter 2 – Origin, domestication and diffusion of *Sorghum bicolor*. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat, B., Tonapi, V.A. (Eds.), *Breeding sorghum for diverse end uses*. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 15-31.
- Venkateswaran, K., Sivaraj, N., Pandravada, S.R., Reddy, M.T., Babu, B.S. (2019a): Chapter 3 – Classification, Distribution and Biology. In: Aruna, C., Visarada, K.B.R.S., Venkatesh Bhat,

- B., Tonapi, V.A. (Eds.), Breeding sorghum for diverse end uses. Woodhead Publishing, Delhi, India, pp. 33-60.
- Vermerris, W., Saballos, A., Ejeta, G., Mosier, N.S., Ladisch, M.R., Carpita, N.C. (2007): Molecular breeding to enhance ethanol production from corn and sorghum stover. *Crop Science* 47: 142.
- Vinoth, P., Selvi, B., Senthil, N., Iyanar, K., Jeyarani S., Santhiya S. (2021): Estimation of gene action, combining ability and heterosis for yield and yield contributing traits in sorghum [*Sorghum bicolor* L Moench]. *Electronic Journal of Plant Breeding* 12(4): 1387-1397.
- Wagaw, K., Tadesse, T. (2020): Combining Ability and Heterosis of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Hybrids for Grain and Biomass Yield. *American Journal of Plant Sciences* 11: 2155-2171.
- Warkad, Y.N., Potdukhe, N.R., Dethe, A.M., Kahate, P.A., Kotgire, R.R. (2008): Genetic variability, heritability and genetic advance for quantitative traits in sorghum germplasm. *Agricultural Science Digest* 28(3): 165-169.
- Whitfield, M.B., Chinn, M.S., Veal, M.W. (2012): Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. *Industrial Crops and Products* 37(1): 362-375.
- Williams-Alanis, H., Aranda, U., Cavazos, G.A., Garcia, F.Z., Juarez, M.G., Vazquez, M.D.C.R., Barron, J.E. (2022): Line x tester analysis to estimate combining ability in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo*. 54(2): 12-21.
- Wynne, J.C., Emary, D.A., Rice, P.H. (1970): Combining ability estimation in F1 *Arachis hypogaea* hybrid. *Crop Sci.* 10: 713-715.
- Zegada-Lizarazu, W., Monti, A. (2013): Photosynthetic response of sweet sorghum to drought and re-watering at different growth stages. *Physiologia plantarum* 149(1): 56-66.
- Zhang, Y., Chen, J., Gao, Z., Wang, H., Liang, D., Guo, Q., Zhang, X., Fan, X., Wu, Y., Liu, Q. (2024): Identification of heterosis and combining ability in the hybrids of male sterile and restorer sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] lines. *PLoS One* 19(1): e0296416.
- Zhao, J., Mantilla Perez, M.B., Hu, J., Salas Fernandez, M.G. (2016): Genome-Wide Association Study for Nine Plant Architecture Traits in Sorghum. *The Plant Genome* 9.
- Zheng, L.Y., Guo, X.S., He, B., Sun, L.J., Peng, Y., Dong, S.S., Liu, T.F., Jiang, S., Ramachandran, S., Liu, C.M., Jing, H.C. (2011): Genome-wide patterns of genetic variation in sweet and grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *Genome biology* 12(11): 114.
- Zhou, F., He, S., Wang, M.L., Tang, C., Xu, Y., Fan, F., Xie, G.H. (2021): Correlation and combining ability of main chemical components in sorghum stems and leaves using cytoplasmic male sterile lines for improving biomass feedstocks. *Industrial Crops and Products* 167: 113552.
- Zhou, H., Zuhu, D., Jun, L., Zhang, M. (2005): Analysis on combining ability for the energy sugar stalk breeding. *Acta Agric. Univ. Jiangxiensis* 27(2): 14-20.
- Zuber, M.S., Colbert, T.R., Bauman, L.F. (1977): Effect of brown-midrib-3-mutant in maize (*Zea mays* L.) on stalk strength. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 79: 310–314.

BIOGRAFIJA

Anja (Svetislav) Dolapčev Rakić rođena je 27.12.1991. godine u Vrbasu. Osnovnu školu i gimnaziju završila je u Vrbasu, odličnim uspehom. Dobitnica je diplome „Vuk Karadžić” za izuzetan opšti uspeh u osnovnoj školi. Osnovne studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Biljna proizvodnja, modul Ratarstvo i povrtarstvo završila je 21.04.2015. godine sa prosečnom ocenom 9,10. Diplomski rad pod naslovom „Heritabilnost i komponente varijanse agronomskih osobina različitih genotipova pšenice” odbranila je ocenom 10. Školske 2011/2012. godine bila je stipendistkinja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Tokom osnovnih studija bila je stipendistkinja Opštine Vrbas. Učestvovala je na Međunarodnom istraživačkom simpozijumu za studente osnovnih studija (International Undergraduate Research Symposium – IURS) na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija, 2012. godine; na Državnom univerzitetu u Tarlaku (Tarlac State University), Tarlak, Filipini, 2013. godine i na Državnom univerzitetu u Čikagu (Chicago State University), Čikago, Illinois, Sjedinjene Američke Države, 2014. godine. Master studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Poljoprivrede, modul Ratarstvo i povrtarstvo završila je 26.09.2016. godine sa prosečnom ocenom 9,86. Master rad pod naslovom „Karakterizacija i evaluacija linija sirka” odbranila je ocenom 10. Doktorske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Poljoprivredne nauke, modul Ratarstvo i povrtarstvo, upisala je školske 2016/2017. godine. Od maja do avgusta 2015. godine radila je u Institutu PKB „Agroekonomik” DOO, Padinska Skela, Beograd na poslovima stručni saradnik za selekciju strnih žita. Od 01.10.2015. godine zaposlena je u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, institutu od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju. U zvanje istraživač saradnik u oblasti Biotehničke nauke izabrana je 22.05.2020. godine. U maju 2018. godine završila je edukaciju „Advancements in Plant Breeding, Trial Design and Analysis” u organizaciji Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad u saradnji sa UC Davis Plant Breeding Academy. U okviru regionalnog projekta Međunarodne agencije za atomsku energiju – MAAE (International Atomic Energy Agency – IAEA) „Enhancing Productivity and Resilience to Climate Change of Major Food Crops in Europe and Central Asia” završila je obuku „Virtual Event – Regional Training Course on Field Experimental Design and Data Analysis for the Advancement of Mutant Populations” u februaru 2023. godine i „Regional Training Course on Molecular Markers and Tilling Applications for Crops Improvement” od 25.09. do 06.10.2023. godine u gradu Katowice, u Poljskoj. Kao mladi istraživač, učestvovala je na projektu Interreg IPA Cross-border Cooperation Programme Hungary – Serbia „Competitive sustainability of agricultural enterprises through the development of new products with added value based on alternative plant species – CORNUCOPIA”. U martu 2018. godine odazvala se na Poziv Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije talentovanim mladim istraživačima – studentima doktorskih akademskih studija za učešće na naučnoistraživačkim projektima i angažovana je na projektu TR 31024 pod nazivom „Povećanje tržišnog značaja krmnih biljaka oplemenjivanjem i optimizacijom tehnologije proizvodnje semena”. Bila je učesnica COST akcije „International Nucleome Consortium”, CA18127, 2019-2023. Angažovana je na projektima iz programa Horizon 2020 „Climate resilient orphan crops for increased diversity in agriculture – CROPDIVA”, 101000847, 2021-2025 i iz programa Horizon Europe „Breeding European legumes for increased sustainability – BELIS”, 101081878, 2023-2028; „Knowledge creation and increasing acreage of legumes in diversified cropping systems by quantification of their ecosystem services – LEGENDARY”, 101135494, 2024-2028; „Valorization legumes related ecosystem services – VALERECO”, 101135472, 2024-2028. Do sada je kao autor ili koautor objavila 39 naučnih radova u naučnim časopisima međunarodnog i nacionalnog značaja i zbornicima apstrakata i radova sa međunarodnih i nacionalnih naučnih skupova. Koautor je dve sorte krmnog bilja priznate na međunarodnom nivou i četiri sorte priznate na nacionalnom nivou. Članica je Centra izuzetnih vrednosti za leguminoze, Društva za krmno bilje Republike Srbije, Društva genetičara Srbije i Udruženja sudskih veštaka „Vojvodina”. Govori engleski i rusinski jezik, a služi se ruskim i španskim jezikom.

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: **Anja S. Dolapčev Rakić**

Broj indeksa: RA160039

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

Kombinacione sposobnosti sirka za zrno i sudanske trave za komponente prinosa i kvalitet biomase

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, 24.09.2025.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: **Anja S. Dolapčev Rakić**

Broj indeksa: RA160039

Studijski program: poljoprivredne nauke, modul ratarstvo i povrtarstvo

Naslov rada: **Kombinacione sposobnosti sirka za zrno i sudanske trave za komponente prinosa i kvalitet biomase**

Mentori: **prof. dr Slaven Prodanović**, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu i

dr Vladimir Sikora, naučni savetnik, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala radi pohranjenja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, 24.09.2025.

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković” da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Kombinacione sposobnosti sirka za zrno i sudanske trave za komponente prinosa i kvalitet biomase

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
- ③ 3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci.
Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, 24.09.2025.

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.