

Razdvajanje visine biljke i broja klasova u F1 i F2 generaciji pšenice nakon hibridizacije divergentnih roditelja

Stilin, Anamarija

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:920699>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STORSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Anamarija Stilin

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**RAZDVAJANJE VISINE BILJKE I BROJA KLASOVA U F₁ I F₂ GENERACIJI
PŠENICE NAKON HIBRIDIZACIJE DIVERGENTNIH RODITELJA**

Diplomski rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STORSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Anamarija Stilin

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**RAZDVAJANJE VISINE BILJKE I BROJA KLASOVA U F₁ I F₂ GENERACIJI
PŠENICE NAKON HIBRIDIZACIJE DIVERGENTNIH RODITELJA**

Diplomski rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Anamarija Stilin

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**RAZDVAJANJE VISINE BILJKE I BROJA KLASOVA U F₁ I F₂ GENERACIJI
PŠENICE NAKON HIBRIDIZACIJE DIVERGENTNIH RODITELJA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof.dr.sc. Sonja Vila, predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić, član

Osijek, 2021.

SADRŽAJ:

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Cilj istraživanja | 2 |
| 2. PREGLED LITERATURE | 3 |
| 2.1. Hibridizacija..... | 3 |
| 2.2. Divergentni roditelji..... | 4 |
| 2.3. F ₁ generacija pšenice..... | 4 |
| 2.4. F ₂ generacija pšenice..... | 5 |
| 2.5. Visina biljke | 5 |
| 2.6. Broj klasova po biljci | 6 |
| 3. MATERIJAL I METODE | 8 |
| 3.1. Biljni materijal | 8 |
| 3.2. Poljski pokus..... | 8 |
| 3.3. Praćenje razvoja biljaka F ₂ generacije | 11 |
| 3.4. Prikupljanje podataka o biljkama F ₂ generacije..... | 13 |
| 3.5. Statistička obrada podataka..... | 13 |
| 4. REZULTATI | 15 |
| 4.1. Varijabilnost visine biljaka u kombinaciji križanja Beaver i Achat | 15 |
| 4.2. Varijabilnost broja klasova po biljci u kombinaciji križanja Beaver i Achat..... | 17 |
| 4.3. Varijabilnost visine biljaka u kombinaciji križanja Beaver i Mv Kucsma | 19 |
| 4.4. Varijabilnost broja klasova po biljci u kombinaciji križanja Beaver i Mv Kucsma. | 20 |
| 4.5. Usporedba roditelja i segregacijskih populacija za svojstva visine i broja klasova po biljci | 22 |
| 5. RASPRAVA..... | 26 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 30 |
| 7. POPIS LITERATURE..... | 31 |
| 8. SAŽETAK | 36 |
| 9. SUMMARY | 37 |
| 10. POPIS SLIKA | 38 |
| 11. POPIS TABLICA | 39 |
| 12. POPIS GRAFIKONA..... | 40 |
| TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA | |
| BASIC DOCUMENTATION CARD | |

1. UVOD

Pšenica (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) spada u porodicu *Poaceae*, rod *Triticum*. Jedna je od najznačajnijih kulturnih biljaka u svijetu, uz kukuruz i rižu, a uzgajala se u Maloj Aziji, Kini, Iraku i Egiptu prije više od 10.000 godina. Prije 5000 godina počela se uzgajati u istočnoj Europi, Rusiji, Mađarskoj, Češkoj, Poljskoj, a Rimljani su je širili prema sjevernoj Europi. Danas se uzgaja u gotovo svim zemljama svijeta, od sjevernog polarnog kruga do Južne Afrike, Južne Amerike i Novog Zelanda (Kozumplik i Pejić, 2012.). U 2020. prema FAO podacima globalna proizvodnja pšenice iznosila je 761,5 milijuna tona što je oko 5% manje nego 2019. godine. Prema najnovijim podacima FAO pretpostavlja da će do kraja 2021. godine proizvodnja pšenice doseći 780 milijuna tona što je oko 2,5% više u odnosu na prošlu godinu (FAO, 2021.).

Pšenica je jednogodišnja autogamna odnosno samooplodna biljka, a stranooplodna pšenice procjenjuje od 1 do 4%. Razlikujemo diploidne ($n=7$, genom A), tetraploidne ($n=14$, genom AB) i heksaploidne ($n=21$, genom ABD) vrste pšenice (Kozumplik i Pejić, 2012.).

Kako bi se formirala početna odnosno oplemenjivačka populacija potrebno je odabrati one biljke koje imaju najbolja svojstva i na takav način se dobije populacija koja ima veću genetsku varijabilnost. Roditelji se najčešće odabiru prema općim i specifičnim kombinatnim sposobnostima (OKS i SKS). Procjene tih fenotipskih vrijednosti roditeljskih komponenti provode se na višegodišnjim poljskim pokusima. Oplemenjivanje pšenice provodi se s ciljem stvaranja novih sorti koje će imati veći prinos, bolju kvalitetu zrna, brašna i kruha te veću otpornost biljaka na abiotске i biotске stresove. Oplemenjivački rad se usmjerava na stvaranje ranozrelih genotipova niske stabiljike s većom biomasom i većim žetvenim indeksom te boljim produktivnim busanjem. Prvi korak je odabrati metodu hibridizacije ili križanja. Metode križanja koje se koriste su najčešće metoda kombinacijskog oplemenjivanja pri čemu se kombiniraju pozitivna svojstva dva roditelja, kao što je metoda jednostavnog križanja (Borojević, 1981.). Ovom metodom su je nastala sorta Libellula, koja je bila 60-ih i 70-ih vodeća sorta u Italiji (Martinić-Jerčić, 1990.). Osim uspješnog odabira roditelja i metode hibridizacije velik značaj u oplemenjivačkom procesu ima i broj izvedenih kombinacija križanja u F_1 te broju biljaka u F_2 generaciji. Pri čemu se često kao majčinska biljka odabire sorta koja je u ranijim višegodišnjim poljskim pokusima izdvojena fenotipskim svojstvima od interesa kao što je to visina, duljina klasa, otpornost na

polijeganje i bolesti te zadovoljavajući prinos. Ta jedna sorta se tada odabire kao majčinska komponenta koja se križa s više različitih sorata koje se odabiru kao očinske komponente.

Hibridizacija odabranih roditeljskih komponenti se provodi emaskulacije majčinske biljke te oprašivanjem s očinskom komponentom te na majčinskoj biljci se razvija sjeme F_1 generacije (Martinčić i Kozumplik, 1996.) iz čijih zrna se razvija heterogena populacija F_1 biljaka. U procesu stvaranja novih sorata pšenice nakon hibridizacije odabire se metoda selekcije. Jedna od najčešćih metoda selekcije heterogene populacije biljaka nakon hibridizacije koristi se Pedigre metoda selekcije. Metoda se temelji na pojedinačnom odabiru biljaka i ranim segregacijskim generacijama odnosno odabir biljaka započinje u F_2 generaciji zbog većeg broja cijepanja svojstava kada se biljke razlikuju po fenotipu (Borojević, 1981.; Martinčić i Kozumplik, 1996.).

Osnova selekcijskog procesa je stvoriti odgovarajući *gene pool* koji će pokazivati široku fenotipsku i genotipsku varijabilnost ispitivanih svojstava. Superiornost izdvojenih biljaka ili linija će se temeljiti na najvažnijim svojstvima za proizvodnju pšenice, a ta svojstva su najčešće kvantitativna. Visina biljke i broj klasova po biljci su kvantitativna svojstva. Kvantitativna svojstva određuje velik broj minor gena ili poligena koji imaju mali učinak te su osjetljivi na utjecaj činitelja vanjske sredine. A kvantitativna svojstva populacije mogu se definirati statističkim parametrima, srednjom vrijednošću i genotipskim vrijednostima (Martinčić i Kozumplik, 1996.). McIntosh i sur. (2015.) navode da je identificirano 23 gena koja određuju visinu stabljike pšenice od Rht1 do Rht23. Rht (reduced height) je oznaka gena za patuljaste i polupatuljaste sorte pšenice. Patuljaste i polupatuljaste sorte pšenice prema Martinčiću i Kozumpliku (1996.) nastale su unošenjem Rht1 i Rht8 gena iz japanskih kultivara Akahomughi i Saitama 27. Morfološka svojstva klasova (duljina klasa, masa klasa i slično) su u pozitivnoj korelaciji s prinosom i komponentama prinosa (Gao i sur., 2015.). Stoga je broj klasova po biljci vrlo važan podatak koji će donijeti informacije o prinosu pšenice. Lokusi kvantitativnih svojstava (QTL) povezani su s morfološkim svojstvima klasa.

1.1. Cilj istraživanja

Cilj rada je utvrditi varijabilnost i razdvojiti svojstva visine biljke i broja klasova po biljci u F_1 i F_2 generaciji pomoću dvije kombinacije križanja divergentnih roditelja i provesti analizu navedenih svojstava.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Hibridizacija

Hibridizacija je križanje biljaka različitih nasljednih svojstava. Hibridizaciju dijelimo na intraspecijsku i interspecijsku hibridizaciju. Intraspecijska hibridizacija je križanje biljaka unutar jedne vrste, dok je interspecijska hibridizacija križanje biljaka različitih vrsta. Hibridizacijom nastaju nove vrste koje zovemo hibridi ili križanci (Hrvatska Enciklopedija).

Prema Harrison-u (1993.) postoje četiri prednosti u provođenju hibridizacije, a to su: 1. da primjena hibridizacije ne ovisi o prihvaćanju koncepcije određene vrste, 2. populacije iz kojih potječu hibridi nije potrebno podijeliti po određenim taksonomskim kategorijama, 3. nije potrebno poznavati relativnu sposobnost hibrida ili njihove adaptivne norme roditeljskog tipa i 4. da se sam proces hibridizacije provodi po empirijskim analizama kako bi se utvrdilo jesu li jedinke uključene u proces hibridizacije, a odabrane su iz populacija i razlikuju se po jednom nasljednom svojstvu.

Hibridizacija je jedna od najstarijih i opće prihvaćenih metoda za razvoj genetske varijabilnosti. Tako križanjem različitih genotipova jedinki dobivamo potomstvo koje nosi pozitivna svojstva roditelja odnosno hibride. Hibridi predstavljaju F_1 potomstvo dvaju ili više inbred linija. Za provođenje hibridizacije potrebne su škarice, pinceta, olovka i nepromoćiva papirnata vrećica, etikete i biljni materijal. Pšenica je autogamna biljka čiji se cvat sastoji od klasa, a klas se sastoji od klasnog vretena i klasića. Klasno vreteno je sastavljeno od nodija i internodija. Klasići su naizmjenično poredani na nodijima, a izvana su obavijeni s dvije glume ili pljeve. Unutar klasića nalaze se tri prašnika i tučak s dvostrukom rasperjanom njuškom. Cvjetovi pšenice su dvospolni stoga se provodi emaskulacija ili odstranjivanje muških reproduktivnih organa odnosno prašnika, a zatim oprašivanje majčinskih reproduktivnih organa odnosno tučka. Emaskulacija se obavlja ručno, prvo se režu vrhovi pljevica i odstranjuju se svi prašnici pincetom, nakon toga se klas prekrije papirnatom vrećicom. Tijekom emaskulacije biljaka potrebno je obratiti na pozornost prašnike koji bi trebali biti zelene boje. Ako su prašnici žute boje započela je samooplodnja biljaka. Tako prekriveni klasovi ostavljaju se nekoliko dana da se oporave. Oprašivanje se obavlja tako da se pincetom prenesu prašnici iz očinske biljke u emaskulirane majčinske biljke. Nakon oprašivanja klasovi se opet prekrivaju vrećicama kako bi došlo do oplodnje (Martinčić i Kozumplik, 1996.).

U Hrvatskoj je oplemenjivanje pšenice započelo nakon završetka Drugog svjetskog rata (1945.), a najviše se provodilo u BC Institutu Zagreb i u Poljoprivrednom Institutu Osijek (Kozumplik i Pejić, 2012.). Prva sorta pšenice koja je kreirana u Hrvatskoj je Sirban prolific. Kreirao ju je Gustav Bohutinski početkom 20. stoljeća. Prvu sortu pšenice stvorenu hibridizacijom u Osijeku kreirao je Mirko Korić, sorta Osječka šišulja koja je uvedena je u proizvodnju 1936. godine. Dok je najpoznatija sorta pšenice u Hrvatskoj Zlatna Dolina (polupatuljastog rasta i visokog prinosa zrna) priznata 1971. godine, a poznata je jer je imala 15% veći urod u širokoj proizvodnji nego vodeća talijanska sorta Libellula (Martinić-Jerčić, 1990.).

2.2. Divergentni roditelji

Kako bi se formirala početna odnosno oplemenjivačka populacija potrebno je odabrati one biljke koje imaju najbolja svojstva i na takav način se dobije populacija koja ima veću genetsku varijabilnost. Takva populacija mora imati visoku prosječnu vrijednost svojstva. Roditelji se odabiru prema načinu nasljeđivanja pa je lakše odabrati roditelje čija svojstva kontroliraju major, a ne minor geni. Major geni određuju kvalitativna svojstva, a minor geni određuju kvantitativna svojstva. U kvantitativna svojstva pripada većina morfoloških i bioloških svojstava, a to su sva ona svojstva koja se mogu mjeriti (visina biljaka, masa zrna, masa klasova, duljina klasa, broj klasova i broj vlati i sl.). Tijekom odabira roditelja dovoljno je da samo jedan roditelj ima genetsku osnovu za svojstvo od interesa, ali se obično odabiru najprinosniji kultivari koji su genetski što divergentniji (Martinčić i Kozumplik, 1996.). Odabirom divergentnih roditelja odnosno genetski udaljenih roditelja omogućava se široka genetska varijabilnost u oplemenjivačkoj populaciji i velik broj rekombinacija gena u potomstvu. Zbog velikog broja rekombinacija gena omogućen je velik raspon selekcije među potomstvom pa tako i odabir superiornih genotipova (Bede i Petrović, 2006.).

2.3. F₁ generacija pšenice

Za postavljanje oplemenjivačkog procesa potrebno je postaviti cilj oplemenjivanja, izraditi model i plan križanja i odabrati najbolje roditelje. Roditelji se najčešće odabiru prema općim i specifičnim kombinatnim sposobnostima (OKS i SKS). Nakon hibridizacije i opolednje u klasićima pšenice stvaraju se zrna F₁ generacija. Svako zrno F₁ generacije postaje biljka. F₁ generacija uzgaja se u rijetkom sklopu. Dobiveno potomstvo je jednake genetske konstitucije i maksimalno heterozigotno iako su najčešće za roditeljske parove odabrani homozigoti. Stoga u F₁ generaciji nije moguće odabrati jedinke čiji genotipovi imaju

određene karakteristike ali je moguće odrediti koja su svojstva roditelja u potomstvu dominantna i koja su svojstva recesivna. Iako je rekombinacija gena mala i nije moguće provoditi selekciju biljaka moguće je odstraniti one biljke koje su razvijene samooplodnjom. Odabir biljaka započinje u F₂ generaciji zbog većeg broja cijepanja svojstava kada se biljke razlikuju po vanjskom izgledu i na takav način dolazi do razvoja novih svojstava (Martinčić i Kozumplik, 1996.).

2.4. F₂ generacija pšenice

F₂ generaciju dobijemo sjevom zrna F₁ generacije koje je prethodno zasebno ovršeno i posijano u zasebne redove kao rijetki sklop. U F₂ generaciji dolazi do cijepanja svojstava što dovodi do maksimalne rekombinacije gena. Zbog velike rekombinacije gena povećana je genetska varijabilnost populacije stoga je omogućeno provoditi selekciju biljaka po fenotipu. Selekcija biljaka po fenotipu je odabir biljaka prema njihovom izgledu i ovisi o stupnju nabusavanja tijekom određenih faza razvoja biljki, o klasanju, o obliku i veličini klasa, o visini biljke, o obliku lista, ovisi i o otpornosti biljki na visoke i niske temperature te o otpornosti na bolesti i štetnike. Zbog selekcije biljaka moguće je provoditi i laboratorijske analize (Martinčić i Kozumplik, 1996.).

2.5. Visina biljke

Ciljevi oplemenjivanja pšenice su visok i stabilan prinos i visoka kakvoća prinosa, visoka kvaliteta zrna, otpornost biljke na abiotske i biotske stresove, optimalna zrelost i visina stabljike (Alsberg i Davis, 1928.). Stabljika pšenice je glatka, šuplja, cilindričnog oblika s pet do šest nodija i internodija (Kovačević i Rastija, 2014.). Visina stabljike pšenice je od 50 do 150 centimetara. Visina stabljike je značajno smanjena unošenjem *Rht* gena (Reduced height) i tako su nastale patuljaste i polupatuljaste sorte pšenice visine oko 70 do 80 centimetara (Martinčić i Kozumplik, 1996.).

Visina stabljike je važno agronomsko svojstvo, a ovisi o genotipu i razlikuje se od kultivara do kultivara. Visina stabljike pšenice može varirati unutar pojedinog kultivara ovisno o klimatskim uvjetima (Petrović i sur., 2007.). Stabljika pšenice podijeljena je po nodijima ili člancima pa tako za vrijeme sušnog razdoblja gornji nodiji prekidaju svoj rast nakon isključivanja i ostaju kratki. Dok za vrijeme oblačnog razdoblja i razdoblja visoke vlažnosti gornji nodiji se izdužuju i stabljika postaje viša (Mađarić, 1985.). Izduživanje stabljike dovodi do polijeganja tijekom kojeg se stabljika pšenice savija i prelama u zoni drugog nodija (Kovačević i Rastija, 2014.).

Visina biljke je svojstvo koje opisuje dio stabljike od korijena do vrha klasa. Visina utječe na prinos pšenice mijenjajući odnos između vegetativne i generativne mase. Takav odnos prikazan je pomoću žetvenog indeksa (Denčić i sur., 2006.; Chebotar i sur., 2013.). Visina je kvantitativno svojstvo kompleksnog nasljeđivanja i uključuje uz minor gene i major gene odnosno gene za skraćivanje visine stabljike (*Rht* gene) (Dimitrijević i sur., 2005.). Unošenjem *Rht* gena u genom pšenice poboljšava se odnos vegetativne i generativne mase biljke (Denčić i sur., 2006.; Chebotar i sur., 2013.). Početkom 20. stoljeća započela je introdukcija *Rht* gena, odnosno gena za patuljasti (dwarf) i polupatuljasti (semi-dwarf) rast, u moderne sorte pšenice. U oplemenjivanju pšenice koriste geni iz japanske sorte Norin 10, a to su geni *Rht-B1b* (*Rht1*) i *Rht-D1b* (*Rht2*) geni koji utječu na smanjivanje visine stabljike i povećanje prinosa (Gale i Youssefian, 1985.).

Navedeni geni imaju negativan utjecaj na morfološka i agronomska svojstva u određenim agroklimatskim uvjetima (Bai i sur., 2004.; Addisu i sur., 2009.; Clayshulte i sur., 2007.; Li i sur., 2011.). U takvim uvjetima alternativni gen je *Rht8* gen iz japanske sorte Akakomugi. Dwarf geni iz sorte Norin 10 su osjetljivi na primjenu giberelinske kiseline (GA), a geni iz sorte Akakomugi s *Rht8* genom nisu osjetljivi na primjenu giberelinske kiseline. Međutim identifikacija dwarf gena iz sorte Akakomugi zajedno s *Rht8* genom nije jednostavna u segregacijskim populacijama, a zbog toga su otežana genetska istraživanja ovih gena. Tijekom Zelene Revolucije prinos pšenice je porastao zbog uzgoja patuljastih sorti koje su sadržavale major gene *Rht-B1* (*Rht1*) i *Rht-D1* (*Rht2*), a oko 70% sorti pšenice danas sadrži jedan od ova dva gena (Evans, 1998.). Prema Asplund i sur. (2012.) u Markerima potpomognutoj selekciji najviše se koriste *Rht1*, *Rht2* i *Rht8* geni.

Fotoperiodizam je fiziološki odgovor biljke na dužinu osvjetljenja odnosno na dužinu dana te je u korelaciji s visinom biljke. Reakcija biljaka na fotoperiod sastoji se od sposobnosti biljke da razlikuje svjetlo od tame (Kamran i sur., 2013.). Geni u pšenici koji su povezani s fotoperiodizmom nazivaju se *Ppd* geni koji su prvi put identificirani u japanskoj sorti Akakomugi. Geni za fotoperiodizam kod pšenice su: *Ppd-A1*, *Ppd-B1* i *Ppd-D1*. *Ppd-A1a*, *Ppd-B1a* i *Ppd-D1a* su dominantne alelne varijante gena u pšenici koje su odgovorne na neosjetljivost biljke na fotoperiod (Laurie i sur., 1995.).

2.6. Broj klasova po biljci

Visok prinos zrna pšenice predstavljaju tri svojstva, a to su: broj klasova po jedinici površine, broj zrna po klasu i prosječna masa jednog zrna. Ta svojstva su izravno povezana stoga se u

oplemenjivanju bilja moraju istovremeno poboljšavati jer bi se inače ekspresija jednog svojstva pogoršala (Hristov i sur., 2008.). Najznačajniji čimbenik kod variranja prinosa u manje povoljnim okolinama za uzgoj pšenice je broj klasova po jedinici površine, a broj zrna po klasu i masa 1000 zrna ima veći značaj u povoljnim uvjetima uzgoja pšenice (Yan i sur., 2018.).

Qiongyan i sur. (2017.) navode da je jedan od najvažnijih organa svih žitarica klas jer nosi zrno. Zbog toga broj klasova nosi važnu ulogu u predviđanju količine prinosa. Tijekom brojanja klasova može doći do pogreške kao što je na primjer klasifikacija lista kao klasa u slučaju da se list i stabljika preklapaju, a može doći do greške tijekom koje se umjesto jednog klasa zapišu dva. Osim ove dvije pogreške tijekom brojanja se mogu uvrstiti mali i nezreli klasovi koji imaju drugačiju teksturu od zrelih klasova. Međutim isti autori tvrde da tijekom istraživanja treba fotografirati broj klasova nekoliko dana prije berbe i nakon berbe jer se tako uočavaju razlike između biljki i broja klasova. Osim toga za procjenu prinosa treba se usredotočiti na prosječan prinos zrna po klasu koji se analizira na temelju veličine prvog klasa biljke. Habuš Jerčić i sur. (2020.) navode da je broj klasova po jedinici površine veći u gušćoj sjetvi jer se takvim načinom sjetve uzgaja veći broj biljaka pa samim tim se dobije veći broj klasova. Osim toga isti autori navode da broj klasova ovisi i o genotipu biljke.

Morfološka svojstva klasa određena su lokusima kvantitativnih svojstva (QTL), pa tako lokus Q utječe na visinu biljke i duljinu klasova (Simons i sur., 2006.), lokus C utječe na morfologiju klasa, veličinu zrna, oblik i broj klasova, a lokus S utječe na oblik zrna (Johnson i sur., 2008.). Identificirano je 168 QTL-ova za morfološka svojstva klasova (Zhai i sur., 2016.), a na morfološka svojstva i razvoj klasova utječu geni za vernalizaciju (*Vrn*), fotoperiodizam (*Ppd*) i geni za ranozrelost (*Eps*). Prema navodima Faricelli i sur. (2010.) gen *Eps-A1* iz diploidne pšenice *Triticum monococcum* L. utječe na smjer razvoja biljke, razvoj klasova i broj klasića po biljci.

3. MATERIJAL I METODE

Istraživanje je provedeno od 2018. do 2021. godine na pokušalištu Tenja Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku. Istraživanje obuhvaća dvije kombinacije križanja pšenice. Osim križanja u pokusu su obuhvaćene dvije generacije, F₁ i F₂ generacija, a na temelju prikupljenih podataka provedena je statistička analiza varijabilnosti svojstava visine i broja klasova po biljci u navedenim generacijama.

3.1. Biljni materijal

U ovom istraživanju korištene su tri sorte Beaver, Mv Kucsma i Achat. Sorta Beaver je ozima sorta pšenice porijeklom iz Ujedinjenog Kraljevstva. Priznata je 1993. godine, radi se o polupatuljasta sorta koja sadrži gen za snižavanje visine biljke *Rht-D1* (Aravinda Kumar i sur., 2011.). Sorta pšenice Mv Kucsma je porijeklom iz Mađarske priznata je 1998. godine radi se o patuljasta sorta koja nosi *Rht-B1* gen (Gulyas i sur., 2011.). Sorta Achat je ozima sorta pšenice porijeklom iz Austrije, priznata je 1997. godine poznata kao visokoprinosni i visokokvalitetni kultivar (Loeschenberger i sur., 1998.).

3.2. Poljski pokus

U sklopu pokusa gen kolekcije strnih žitarica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku odabrane su sorte pšenice Beaver, Mv Kucsma i Achat. Podatci o visini biljke, duljini klasa, broju klasića po klasu, broju zrna po klasu te masi klasa roditelja prikupljeni su prije križanja. Podatci su se skupljali tijekom tri godine od 2014. do 2017. godine (tablica 1).

Tablica 1. Prosječne vrijednosti agronomskih svojstava roditelja u križanju

| Prosječne vrijednosti agronomskih svojstava roditelja 2014./2015. godine | | | | | | |
|--|-----------|---------------|---------------|--------------|-----------|------------|
| broj | genotip | visina biljke | duljina klasa | broj klasića | broj zrna | masa klasa |
| 328 | Beaver | 74,52 | 8,92 | 19,96 | 50,28 | 3,6 |
| 199 | Mv Kucsma | 81,84 | 8,72 | 19,96 | 51,52 | 3,88 |
| 251 | Achat | 108,48 | 9,88 | 19,08 | 36,68 | 2,4 |
| Prosječne vrijednosti agronomskih svojstava roditelja 2015./2016. godine | | | | | | |
| broj | genotip | visina biljke | duljina klasa | broj klasića | broj zrna | masa klasa |
| 328 | Beaver | 84,24 | 9,4 | 20,56 | 42,08 | 2,46 |
| 199 | Mv Kucsma | 97,56 | 6,8 | 17,6 | 41,24 | 2,78 |
| 251 | Achat | 111,64 | 9,6 | 19,36 | 35,6 | 2,0276 |
| Prosječne vrijednosti agronomskih svojstava roditelja 2016./2017. godine | | | | | | |
| broj | genotip | visina biljke | duljina klasa | broj klasića | broj zrna | masa klasa |
| 328 | Beaver | 81,76 | 10,40 | 20,96 | 70,36 | 23,43 |
| 199 | Mv Kucsma | 91,64 | 11,72 | 19,52 | 55,88 | 3,26 |
| 251 | Achat | 109,24 | 10,76 | 19,2 | 43,4 | 2,1236 |

Sorta pšenice Beaver odabrana je kao majčinska biljka, a sorte Achat i Mv Kucsma kao očinske biljke. Emaskulacija i oprašivanje klasova sorte Beaver provedeno je u svibnju 2018. Kombinacija križanja sorte Beaver i sorte Achat označeno je kao P_{1.6.}, a kombinacija križanja sorte Beaver i sorte Mv Kucsma označeno je kao P_{1.7.} U srpnju 2019. ručno su požeti klasovi obje kombinacije križanja, ručnom vršidbom klasova zrna Beaver x Achat su označena u vrećicu za sjetvu kao F_{1.6.} (17 zrna), a zrna Beaver x Mv Kucsma kao F_{1.7.} (17 zrna). Krajem listopada 2019. obavljena je sjetva zrna obje F₁ generacije, pri čemu je svako zrno posijano u svoj red. Izniknulo je ukupno 14 biljaka F_{1.6.} i 14 biljaka F_{1.7.} generacije. U srpnju 2020. svaka biljka F₁ generacije u obje kombinacije križanja izvađena je iz zemlje s korijenom, označena i pripremljena za mjerenja. Biljke F_{1.6.} i F_{1.7.} generacije izmjerene su u Laboratoriju za sjemenarstvo. Mjerena su sljedeća svojstva: visina biljke, duljina klasa, broj vlati, broj klasova, masa klasova po biljci i masa zrna po biljci.

Nakon ručne vršidbe klasova svake biljke pojedinačno, zrno je spremljeno u prethodno označene papirnate vrećice (slika 1). Zrna svake biljke F₁ generacije je nakon toga pripremljeno za sjetvu, tako je podijeljeno na dva dijela, jedan dio zrna je ostavljen za mogućnost ponavljanja pokusa i nastavak analiza, a drugi dio zrna je iskorišten za sjetvu F₂ generacije (slika 2.).



Slika 1. Zrno F₁ generacije



Slika 2. Zrno F₂ generacije

(Foto: A. Stilin)

Zrno za F₂ generaciju je prije sjetve tretirano fungicidom Systiva® (BASF) koji je pripremljen prema uputama proizvođača (slika 3.). Tretiranje se provelo tako da se pripremljena količina zrna svake biljke stavljala posebno u kutijicu s odgovarajućim poklopcem. U kutijicu je stavljeno od 2 do 3 kapi otopine sredstva nakon čega je zrno promiješano i ravnomjerno obloženo sredstvom (slika 4.). Takvo zrno vraća se u vrećicu s odgovarajućom oznakom i dobro se zatvara kako ne bi došlo do gubitka ili miješanja zrna tijekom transporta do pokušališta.



Slika 3. Fungicid Systiva® (BASF)
(Izvor: <https://cropsolutions.basf.com.au/products/systiva>)



Slika 4. Tretirano zrno
(Foto: A. Stilin)

Ručna sjetva F₂ provedena je po blok sustavu na manjim parcelama koje su prethodno označene (slika 5 i 6) u studenom 2020. godine. Glavna karakteristika blok sustava je grupiranje jedinica (biljaka) u blokove kako bi se postigla veća kontrola pokusne pogreške. Blokovi se postavljaju tako da čine cjelinu, a u ovome pokusu su postavljeni u pravokutnom obliku iako se obično postavljaju tako da čine što kvadratniji oblik jer se na takav način smanjuje utjecaj heterogenosti tla. Pet zrna svake biljke iz F₁ generacije su posijana na svakih 10 centimetara po tri reda, pa tako jedan red biljki unutar parcele predstavlja jedno ponavljanje. Tri reda unutar parcele predstavljaju jednu biljku. Ukupno je posijano 420 zrna F₂ generacije. Na kraju sjetve svake od kombinacije križanja su posijani roditelji radi lakše vizualne usporedbe dobivenih križanaca. Tijekom lipnja i srpnja 2021. obavljani su pregledi i mjerenja biljaka F₂ generacije obje kombinacije križanja.



Slika 5. Označavanje parcela



Slika 6. Oznake križanaca

(Foto: A. Stilin)

3.3. Praćenje razvoja biljaka F₂ generacije

Nakon sjetve, 19. studenog 2020. godine, započelo je praćenje razvoja biljaka F₂ generacije pšenice. Prva provjera razvoja biljaka F₂ generacije provedena je 05. ožujka 2021. godine i utvrđeno je da su potomci slabo narasli, manje od 50% (slika 7), dok su roditeljske komponente normalno izrasle. Odnosno biljke su u fazi nicanja koja započinje pojavom prvog lista nekoliko centimetara iznad površine tla. Drugi pregled, 23. travnja 2021., uključivao je postavljanje novih oznaka križanaca žute boje radi lakšeg raspoznavanja biljaka unutar parcela, a vidljivo je da su biljke F₂ generacije započele fazu vlatanja (slika 8).



Slika 7. Prva provjera razvoja F₂ generacije Slika 8. Biljke F₂ generacije u fazi vlatanja

Foto: A. Stilin

Treći pregled F₂ generacije proveden je 05. svibnja 2021. godine biljke su bile u fazi vlatanja, a neke su dostigle i visinu do 20 centimetara. Četvrti pregled proveden je 25. svibnja 2021. godine i utvrđeno je da je započela faza klasanja kod križanaca F₂6.14. (slika 9.) i F₂7.14. biljaka (slika 10.). Pojedine biljke nisu ni iznikle kao što je biljka F₂.7.12. (slika 11.). Peti pregled F₂ generacije proveden je 26.05.2021. godine te su prebrojani klasovi svake biljke posebno. Tijekom prebrojavanja klasova bilo je potrebno svaku biljku odvojiti kako ne bi došlo do pogreške tijekom prebrojavanja klasova.



Slika 9. Biljka F₂.7.12.
(Foto: A. Stilin)



Slika 10. Faza klasanja križanaca F₂.6.14.
(Foto: A. Stilin)



Slika 11. Faza klasanja križanaca F₂7.14.
(Foto: A. Stilin)

Dana 02.06.2021. godine proveden je šesti pregled segregacijske F₂ generacije tijekom kojeg su prebrojane vlati i klasovi F₂.6. i F₂.7. križanaca. Sedmi pregled biljaka F₂ generacije proveden je 11.06.2021. godine te je izmjerena visina biljaka nakon čega je provedena i ručna žetva. Tijekom ručne žetve vodilo se računa da se svaka biljka F generacije odvoji te da se klasovi svake biljke spremaju u nepromočive papirnate vrećice uz odgovarajuće oznake.

3.4. Prikupljanje podataka o biljkama F₂ generacije

Prikupljanje podataka o biljkama odvalo se u dva navrata. Tijekom mjerenja izmjeren je broj klasova po biljci i visina biljke. Za mjerenje visine biljke koristilo se mjerni štap (slika 12.) koje mjeri do 120 centimetara. Visina biljke mjeri se tako da se izmjeri visina biljke od tla do klasa i od tla do vrha klasa.



Slika 12. Mjerni štap za mjerenje visine biljke

(Foto: A. Stilin)



Slika 13. Prebrojavanje broja vlati i klasova

(Foto: S. Petrović)

3.5. Statistička obrada podataka

Svojstva visina biljke i broj klasova po biljci su kvantitativna svojstva s različitom varijabilnošću odnosno to su svojstva koja se mogu numerički izraziti. Za analizu dobivenih podataka korištene su sljedeće mjere opisne statistike: aritmetička sredina (\bar{x}), varijanca (σ^2), standardna devijacija (σ) i koeficijent varijacije (KV).

Aritmetička sredina, oznake \bar{x} , je jedna od mjera centralne tendencije odnosno srednjih vrijednosti koja se dobije tako da se zbroj vrijednosti svih jedinica promatranja određenog uzorka podijeli s ukupnim brojem članova tj. predstavlja prosječnu vrijednost koja reprezentira sva obilježja iz kojih je izračunata.

Formula aritmetičke sredine: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, gdje $\sum x_i$ predstavlja zbroj vrijednosti svih jedinica promatranja, a n predstavlja ukupan broj članova.

Varijanca, oznake σ^2 , je mjera varijacije koja predstavlja prosjek kvadrata odstupanja vrijednosti obilježja od njegove aritmetičke sredine.

Formula varijance: $\sigma_x^2 = \frac{\sum x_i - \bar{x}}{n}$.

Standardna devijacija, oznake σ , je jedna od mjera varijacije i pokazatelj je varijabilnosti promatranog skupa i računa se samo uz aritmetičku sredinu, a poznavanjem obje vrijednosti moguće je utvrditi varijabilnost određenog svojstva. Standardna devijacija izračunava se kao kvadratni korijen iz varijance.

Formula standardne devijacije: $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$.

Koeficijent varijacije, oznake KV, je mjera varijacije koja se najčešće upotrebljava za promatranje varijacija raznih obilježja, a predstavlja postotni odnos aritmetičke sredine i standardne devijacije.

Formula koeficijenta varijacije: $KV = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} * 100 \%$ (Horvat i Ivezić, 2005.).

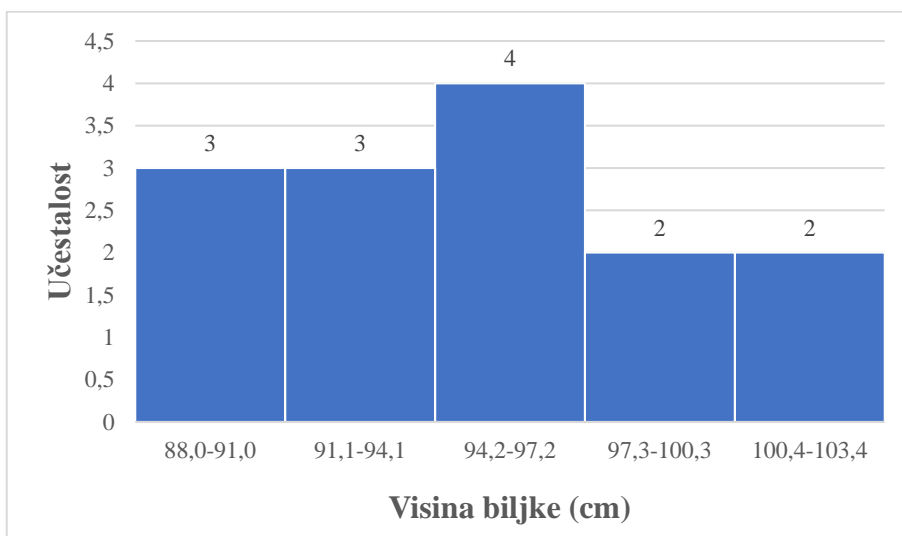
Provedena jednofaktorijska analiza varijance (ANOVA) je kako bi se utvrdila varijabilnost odnosno razlike u ispitivanim svojstvima između jedinki F₂ generacije.

4. REZULTATI

Istraživanje je provedeno na pokušalištu Tenja Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek. Roditelji su odabrani na temelju srednjih vrijednosti za svojstva visine biljke i broja klasova po biljci kroz tri vegetacijske godine. Za roditeljske komponente odabrani su kultivari Beaver, Achat i Mv Kucsma. Nakon hibridizacije prikupljeni su podaci o segregacijskim populacijama F₁ i F₂.

4.1. Varijabilnost visine biljaka u kombinaciji križanja Beaver i Achat

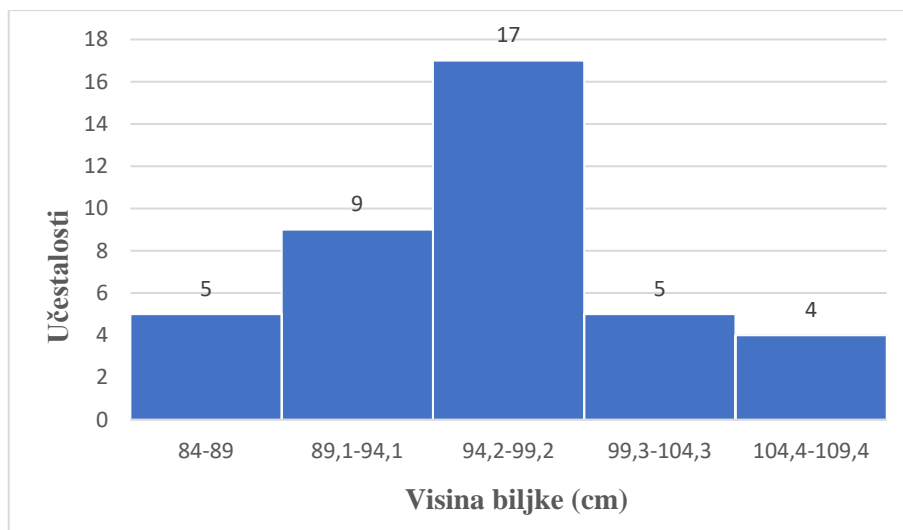
Kombinacijom roditelja P_{1.6}. odnosno križanjem kultivara Beaver i kultivara Achat dobivena je F_{1.6}. generacija. Raspon i učestalost visine biljaka F_{1.6}. generacije prikazani su na grafikonu 1.



Grafikon 1. Varijabilnost svojstva visine biljaka F_{1.6}. generacije

Najveći broj biljaka, njih četiri su imale su visinu biljke od 94,2 cm do 97,2 cm što je rangu prosječne visine roditelja. Dvije biljke su se nalazile u rasponu od 100,4 cm do 103,4 cm, dok je ukupno šest biljaka bilo u rasponu od 88,0 cm do 91,0 cm. Tako je razlika između najviše i najniže biljke F₁ generacije prve kombinacije križanja (P_{1.6}) iznosila 15,4 cm..

Nakon sjetve zrna s oznakama F_{2.6} generacije i izmjerenim visinama biljkama unutar generacije dobiveni su rezultati o varijabilnosti svojstva visine biljke. Iz posijanog zrna uzgojeno je ukupno 40 biljaka. Na temelju izmjerenih visina biljaka izrađen je histogram učestalosti te raspon vrijednosti F_{2.6} generacije koji je prikazan na grafikonu 5.



Grafikon 2. Varijabilnost svojstva visine biljaka F_{2.6} generacije

Najveći broj biljaka, njih 17 se nalazio u rasponu od 94,2 do 99,2 cm i vrijednosti tih biljaka su unutar prosječnih vrijednosti roditelja. Četiri biljke su se nalazile u rasponu od 104,4 do 109,4 cm, dok je ukupno devet biljaka bilo u rasponu od 89,1 do 94,1 cm. Tako je razlika između najviše i najniže biljke F₂ generacije prve kombinacije križanja iznosila 25 cm.

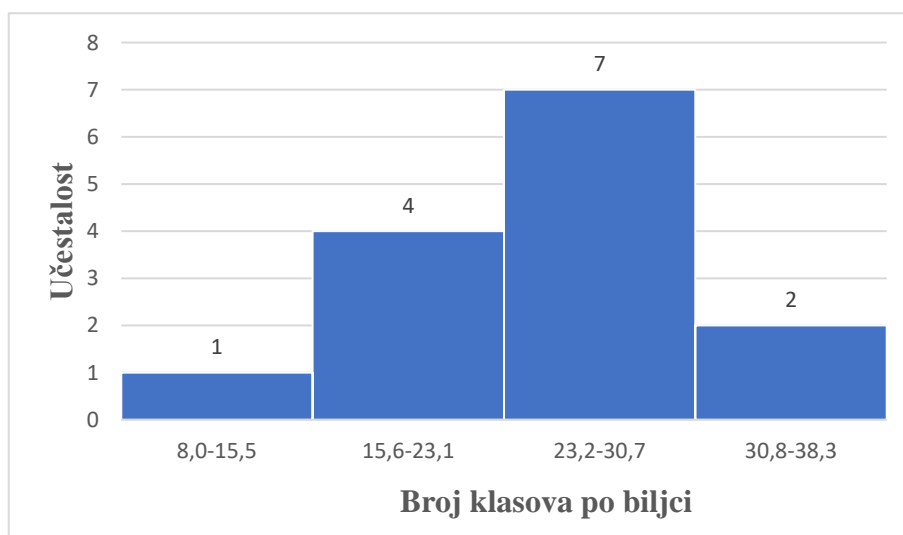
Tablica 2. Broj biljaka, prosječne vrijednosti visine i varijanca roditelja, F₁ i F₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Achat

| Roditelji i hibridi | broj jedinki | \bar{x} | σ | σ^2 | KV (%) |
|---------------------|--------------|-----------|----------|------------|--------|
| Beaver | 14 | 80,93 | 2,34 | 5,46 | 2,89 |
| F _{1.6} . | 14 | 95,07 | 4,71 | 22,21 | 4,95 |
| F _{2.6} . | 40 | 96,28 | 5,91 | 34,95 | 6,14 |
| Achat | 14 | 108,86 | 1,66 | 2,75 | 1,52 |

Aritmetička sredina F_{1.6} generacije iznosila 95,07 cm što je u rasponu prosječnih vrijednosti (aritmetička sredina) roditelja (tablica 2.) odnosno gotovo je jednaka prosječnoj vrijednosti oba roditelja. Koeficijent varijacije (KV) iznosio je 4,95% dok standardna devijacija iznosila 4,71 cm. Mjerenjem visine 40 biljaka u F_{2.6} generacije vrijednosti su se kretale u rasponu od 84 do 109 cm. Aritmetička sredina za biljaka F_{2.6} generacije iznosila je 96,28 cm, što je za 1,38 cm više nego prosječna vrijednost roditelja. Koeficijent varijacije iznosio je 6,14%, a standardna devijacija 5,91 cm.

4.2. Varijabilnost broja klasova po biljci u kombinaciji križanja Beaver i Achat

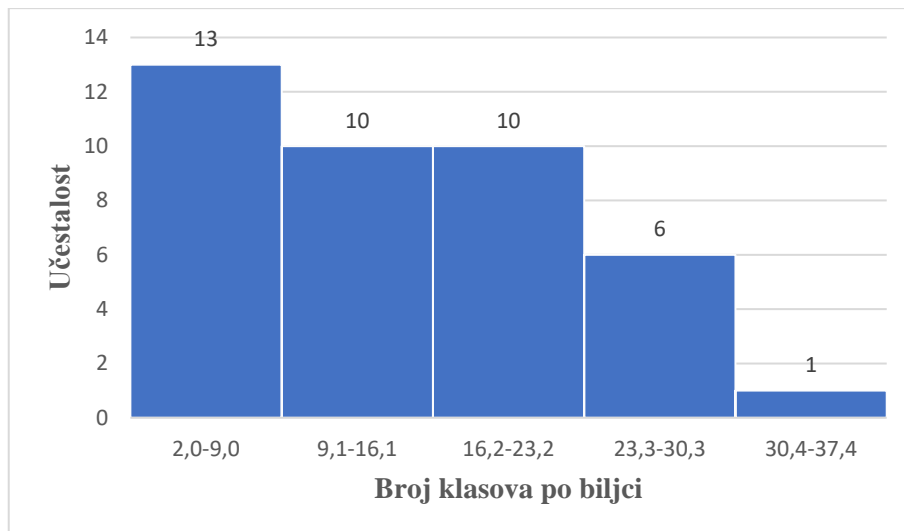
Prosječan broj klasova po biljci kultivara Beaver iznosi ~21, a kod kultivara Achat broj klasova po biljci iznosi ~28 klasova. Prebrojavanjem broja klasova po biljci F_{1.6.} generacije i na temelju prikupljenih podataka izrađen je histogram učestalosti za svojstvo broja klasova po biljci u F_{1.6.} generaciji (grafikon 3.).



Grafikon 3. Varijabilnost svojstva broja klasova po biljci F_{1.6.} generacije

Najveći broj biljaka, njih sedam: F_{1.6.2.}, F_{1.6.5.}, F_{1.6.6.}, F_{1.6.8.}, F_{1.6.12.}, F_{1.6.13.} i F_{1.6.14.} se nalaze u rasponu od 23,3 do 30,7 klasova po biljci. Te biljke su bile unutar prosječnih vrijednosti roditelja. Četiri biljke se nalaze u rasponu broja klasova po biljci od 15,6 do 23,1, dok su dvije biljke u rasponu od 30,8 do 38,3. Tako je razlika između najvećeg i najmanjeg broja klasova po biljci F_{1.6.} generacije prve kombinacije križanja iznosila 30 klasova.

Nakon što su biljke dostigle punu zriobu prebrojan je broj klasova po biljci unutar F_{2.6.} generacije. Na temelju prikupljenih podataka izrađen je histogram učestalosti te raspon vrijednosti za svojstvo broja klasova po biljci unutar F_{2.6.} generacije (grafikon 4).



Grafikon 4. Varijabilnost broja klasova po biljci F_{2.6}. generacije

Najveći broj biljaka, njih 13 se nalazilo u rasponu broja klasova po biljci od 2,0 do 9,0. Jedna biljka je bila u rasponu od 30,4 do 37,4, dok je ukupno 10 biljaka bilo u rasponu od 16,2 do 23,2 klasova po biljci što je u rasponu prosječnih vrijednosti roditelja. Tako je razlika između najvećeg i najmanjeg broja klasova po biljci F_{2.6}. generacije iznosila 35 klasova.

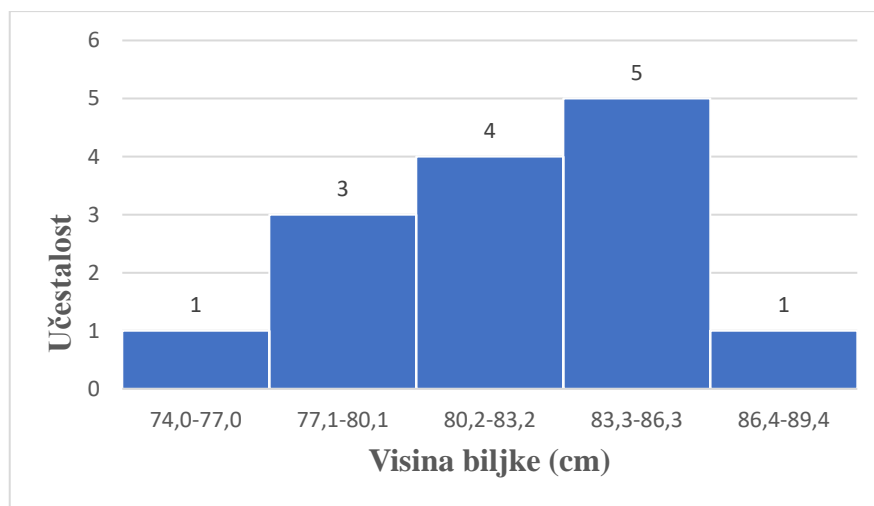
Tablica 3. Broj biljaka, prosječne vrijednosti broja klasova po biljci i varijanca roditelja, F₁ i F₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Achat

| Roditelji i hibridi | broj jedinki | \bar{x} | σ | σ^2 | CV (%) |
|---------------------|--------------|-----------|----------|------------|--------|
| Beaver | 14 | 21,57 | 1,95 | 3,8 | 9,04 |
| F _{1.6} . | 14 | 25,57 | 6,48 | 41,96 | 25,34 |
| F _{2.6} . | 40 | 14,24 | 8,56 | 73,31 | 60,11 |
| Achat | 14 | 29,64 | 1,86 | 3,48 | 6,27 |

Aritmetička sredina iznosila je 25,57 klasova po biljci što je između prosječnih vrijednosti roditelja (tablica 3.). Koeficijent varijacije iznosio je 25,34% dok je standardna devijacija iznosila 6,48. Vrijednosti broja klasova po biljci F_{2.6}. generacije na ukupno 40 biljaka su se kretale od 2 do 37 klasova po biljci. Aritmetička sredina F_{2.6}. generacije za broj klasova po biljci iznosila je 14,24 klasa po biljci. Koeficijent varijacije iznosio je 60,11%, a standardna devijacija je bila 8,56 klasova po biljci.

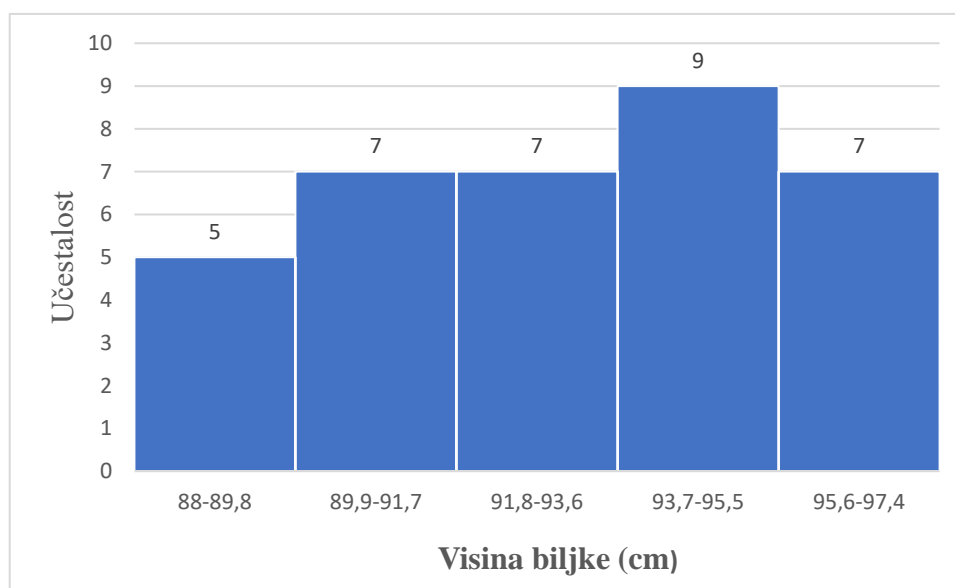
4.3. Varijabilnost visine biljaka u kombinaciji križanja Beaver i Mv Kucsma

Križanjem kultivara Beaver i Mv Kucsma dobivena je F_{1.7}. generacija biljaka. Na temelju izmjerenih vrijednosti visine biljaka F_{1.7}. generacije izrađen je histogram (grafikon 5) pri čemu su se visine biljaka kretale u rasponu od 74 do 89 cm. Najveći broj biljaka (pet, 35,7%) su bile u rasponu od 83,3 do 86,3 cm. Tako je razlika između najviše i najniže biljke F_{1.7}. generacije druge kombinacije križanja iznosila čak 15 cm.



Grafikon 5. Varijabilnost svojstva visine biljaka F_{1.7}. generacije

Na temelju izmjerenih visina biljaka F_{2.7}. generacije izrađen je histogram (grafikon 6).



Grafikon 6. Varijabilnost svojstva visine biljaka F_{2.7}. generacije

Najveći broj biljaka, njih devet ne nalazilo u rasponu od 93,7 do 95,5 cm. Sedam biljaka je bilo u rasponu od 95,6 do 97,4 cm, dok je ukupno pet biljaka bilo u rasponu od 88,0 do 89,8 cm. Tako je razlika između najviše i najniže biljke F_{2.7.} generacije iznosila 9 cm.

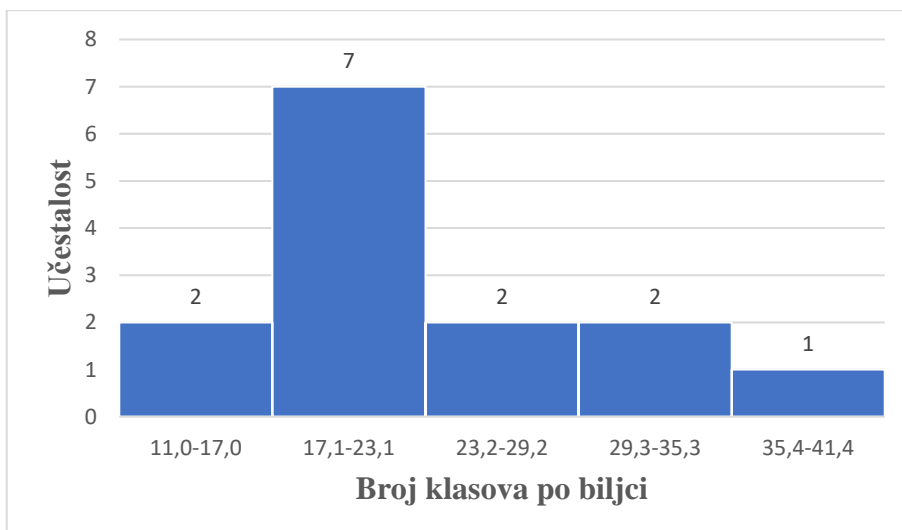
Tablica 4. Broj biljaka, prosječne vrijednosti visine i varijanca roditelja, F₁ i F₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Mv Kucsma

| Roditelji i hibridi | broj jedinki | \bar{x} | σ | σ^2 | KV (%) |
|---------------------|--------------|-----------|----------|------------|--------|
| Beaver | 14 | 81,36 | 2,17 | 4,71 | 2,67 |
| F _{1.7.} | 14 | 82,36 | 3,64 | 13,23 | 4,41 |
| F _{2.7.} | 35 | 93,00 | 2,68 | 7,2 | 2,88 |
| Mv Kucsma | 14 | 94,93 | 2,2 | 4,84 | 2,32 |

Aritmetička sredina iznosila je 82,36 cm što je u rasponu vrijednosti roditeljskih komponenti (tablica 4.), ali niže od prosječne roditeljske vrijednosti visine biljaka. Koeficijent varijacije iznosio je 4,41 %, a standardna devijacija 3,28 cm. Mjerenjem visine biljaka F_{2.7.} generacije dobivene su vrijednosti u rasponu od 88 do 97 cm. Aritmetička sredina F_{2.7.} generacije za svojstvo visine biljke iznosila 93,00 cm što je za 4,85 cm više od prosječne roditeljske vrijednosti visine biljaka. Standardna devijacija F_{2.7.} generacije iznosila 2,68 cm dok koeficijent varijacije iznosio 2,88%.

4.4. Varijabilnost broja klasova po biljci u kombinaciji križanja Beaver i Mv Kucsma

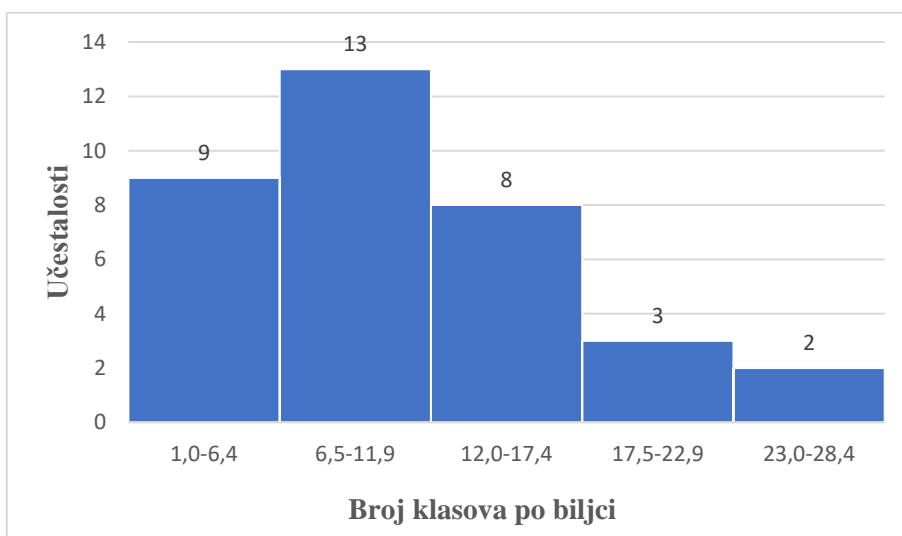
Križanjem kultivara Beaver i Mv Kucsma odnosno iz P_{1.7.} kombinacije roditelja dobivena je F_{1.7.} generacija biljaka. Na temelju izmjerenih vrijednosti izrađen je histogram za svojstvo broja klasova po biljci za F_{1.7.} generaciju (grafikon 7.).



Grafikon 7. Varijabilnost broja klasova po biljci F_{1.7}. generacije

Najveći broj biljaka (50%) se nalazio u rasponu od 17,1 do 23,1 broja klasova po biljci, četiri biljke su bile u rasponu od 23,2 do 35,3, dok je samo jedna biljka u rasponu od 35,4 do 41,4 klasova po biljci.

Na grafikonu 8 je prikazan histogram svojstva broja klasova po biljci F_{2.7}. generacije.



Grafikon 8. Varijabilnost broja klasova po biljci F_{2.7}. generacije

Najveći broj biljaka (13) nalazio se u rasponu od 6,5 do 11,9 broja klasova po biljci, dok je ukupno osam biljaka od 12,0 do 17,4. Razlika između najvećeg i najmanjeg broja klasova po biljci iznosila 27 klasova.

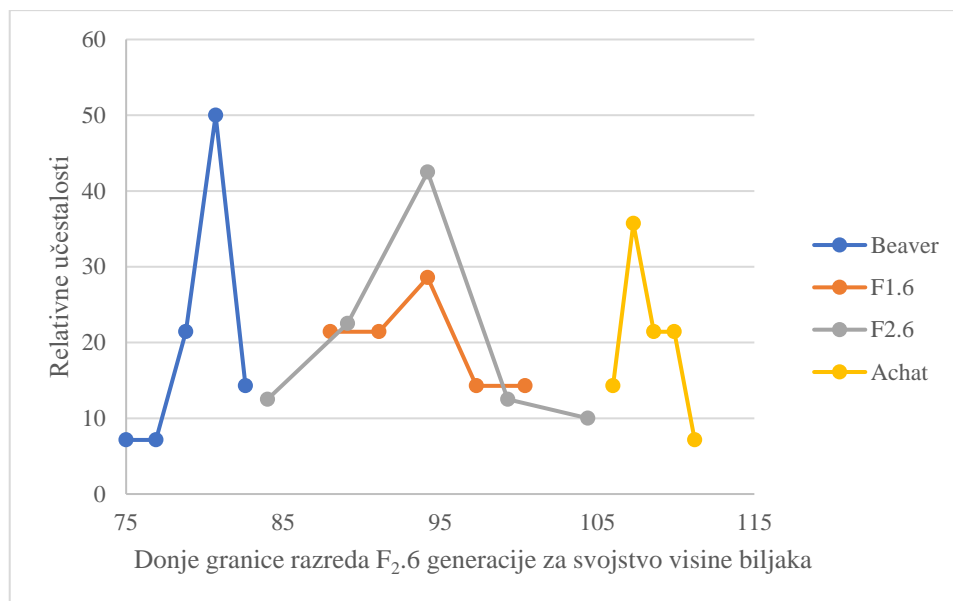
Tablica 5. Broj biljaka, prosječne vrijednosti broj klasova po biljci i varijanca roditelja, F₁ i F₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Mv Kucsma

| Roditelji i hibridi | broj jedinki | \bar{x} | σ | σ^2 | CV (%) |
|---------------------|--------------|-----------|----------|------------|--------|
| Beaver | 14 | 21,57 | 1,95 | 3,8 | 9,04 |
| F _{1.7.} | 14 | 23,36 | 7,16 | 51,23 | 31,00 |
| F _{2.7.} | 35 | 10,49 | 6,03 | 36,36 | 58,00 |
| Mv Kucsma | 14 | 14 | 1,88 | 3,54 | 13,00 |

Aritmetička sredina je iznosila 23,36 klasova po biljci što je više nego li prosjek oba roditelja (tablica 5.). Standardna devijacija iznosila je 7,16 klasova po biljci, a koeficijent varijacije iznosio 30,65%. Broja klasova po biljci F_{2.7.} generacije kretao se od 1 do 28 klasova po biljci. Aritmetička sredina F_{2.7.} generacije iznosila je 10,49 klasova po biljci što je manje od raspona vrijednosti roditeljskih komponenti od 14 do 22 klasa po biljci. Standardna devijacija iznosila 6,03, a koeficijent varijacije iznosi 58 %.

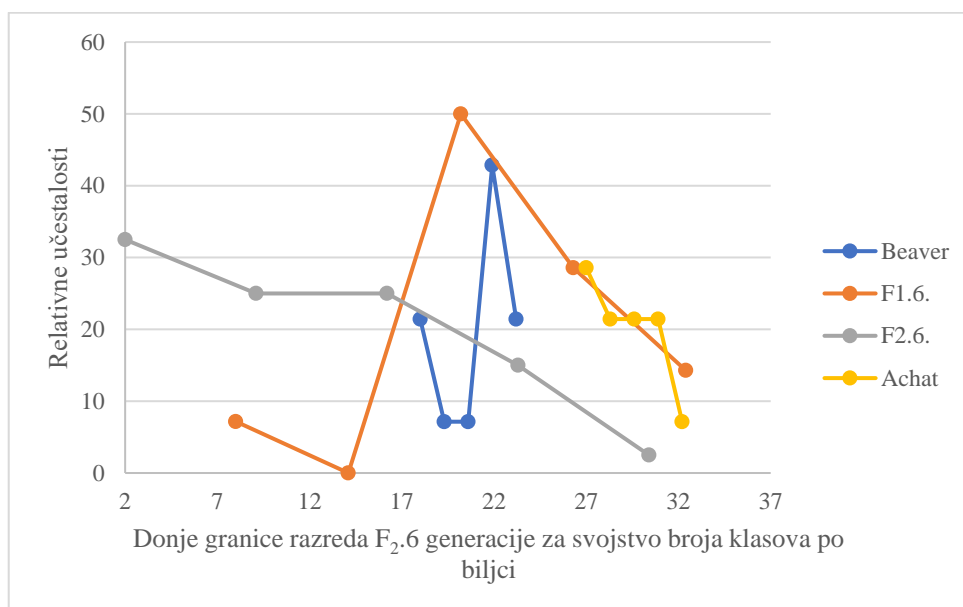
4.5. Usporedba roditelja i segregacijskih populacija za svojstva visine i broja klasova po biljci

Grafički prikaz usporedbe prosječnih vrijednosti roditeljskih komponenti prve kombinacije križanja (P_{1.6.}) te njihovih segregacijskih populacija (F_{1.6.} i F_{2.6.}) za svojstvo visine biljaka je prikazano grafikonom 9. Prosječna vrijednosti svojstva visine biljke za kultivar Beaver iznosila je 80,17 cm, a za kultivar Achat 109,79 cm te su vrijednosti F_{1.6.} i F_{2.6.} generacije u rasponu prosječnih vrijednosti roditeljskih komponenti. Na x osi grafikona 9. prikazane su donje granice razreda F_{2.6.} generacije zbog većeg raspona vrijednosti visine izmjenjenih biljaka. Distribucija vrijednosti visina biljaka u obje segregacijske populacije nalaze se unutar raspona vrijednosti visina roditeljskih komponenti.



Grafikon 9. Usporedba visine biljaka P_{1.6}. kombinacije roditelja, F_{1.6}. i F_{2.6}. generacije

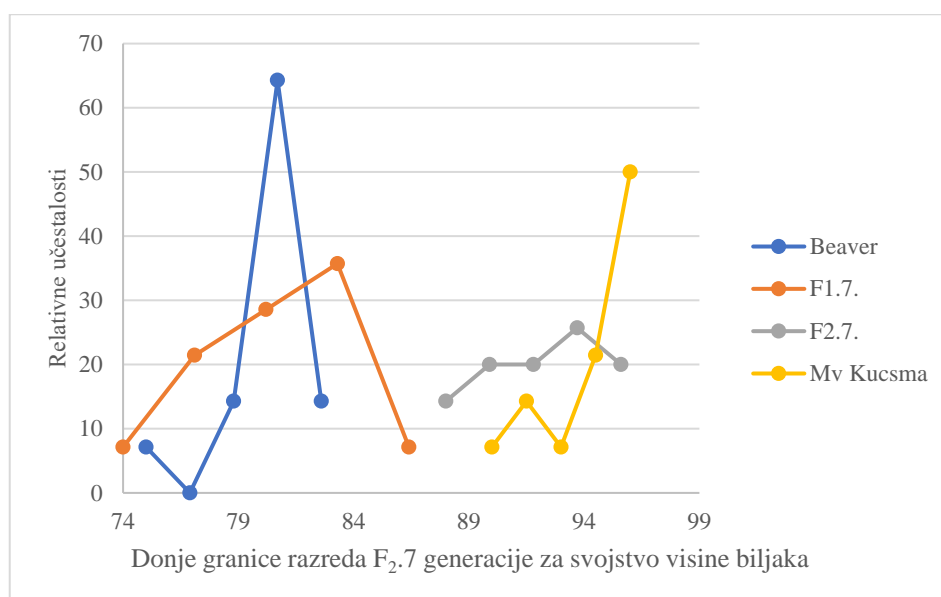
Grafički prikaz usporedbe prosječnih vrijednosti broja klasova po klasu roditeljskih komponenti prve kombinacije križanja (P_{1.6}.) te njihovih segregacijskih populacija (F_{1.6}. i F_{2.6}.) za svojstvo broja klasova po klasu je prikazano grafikonom 10. Prosječan broj klasova po biljci kultivara Beaver iznosi 21 klas, a za kultivar Achat je 30 klasova po biljci. Broj klasova po biljci F_{1.6}. generacije je unutar raspona vrijednosti roditelja. Na x osi grafikona 10. prikazane su donje granice razreda F_{2.6}. generacije zbog većeg raspona vrijednosti broja klasova po biljci.



Grafikon 10. Usporedba broja klasova po biljci između roditeljskih komponenti P_{1.6}, F_{1.6} i F_{2.6} generacije

Distribucija vrijednosti broja klasova po biljci u segregacijskim populacijama značajno odstupa od roditeljskih vrijednosti pri čemu je najveći broj varijanata između 16 i 21 klas po biljci.

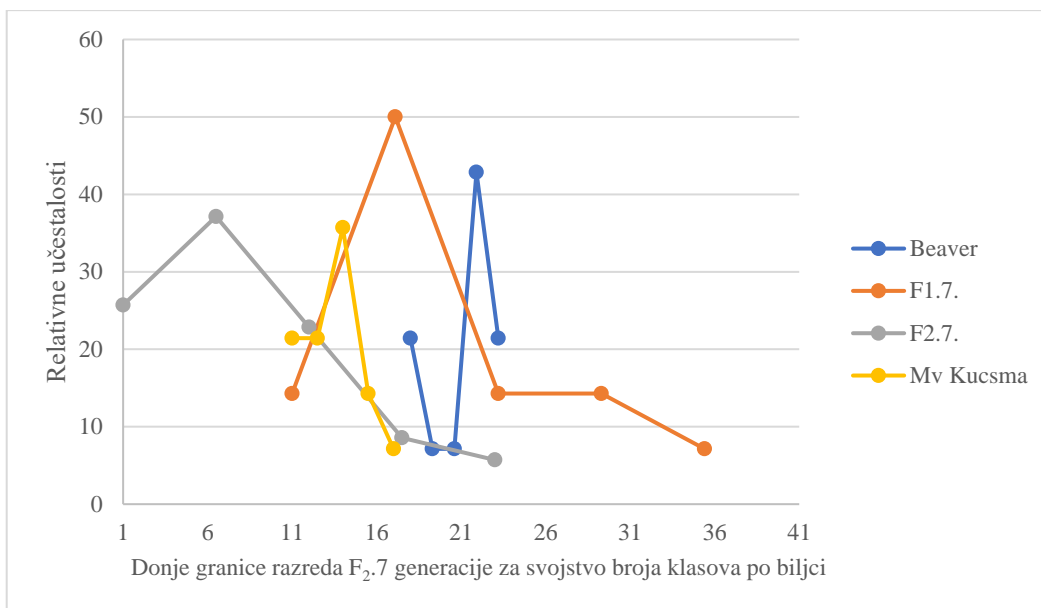
Grafički prikaz usporedbe prosječnih vrijednosti roditeljskih komponenti druge kombinacije križanja (P_{1.7}) te njihovih segregacijskih populacija (F_{1.7} i F_{2.7}) za svojstvo visine biljaka je prikazano grafikonom 11. Na x osi grafikona 11 prikazane su donje granice razreda F_{2.7} generacije zbog toga većeg raspona vrijednosti visine izmjerenih biljaka.



Grafikon 11. Usporedba visine biljke roditeljskih komponenti P_{1.7}, F_{1.7} i F_{2.7} generacije

Prosječan broj klasova po biljci kod kultivara Beaver iznosi 22 klasa po biljci, a prosječan broj klasova po biljci kultivara Mv Kucsma iznosi 14 klasova po biljci. Distribucija vrijednosti broja klasova po biljci F_{1.7} je bliža vrijednostima majčinske komponente, dok su vrijednosti biljaka u F_{2.7} bliža očinskoj komponenti.

Na grafikonu 12 prikazana je usporedba druge kombinacije križanja (P_{1.7}) s F_{1.7} i F_{2.7} generacijama za svojstvo broja klasova po biljci. Na x osi grafikona 12 prikazane su donje granice razreda F_{2.7} generacije zbog većeg raspona broja klasova po biljci.



Grafikon 12. Usporedba roditeljskih komponenti P_{1.7}, F_{1.7} i F_{2.7} generacije za svojstvo broja klasova po biljci

Najveća relativna učestalost jedinki u F_{1.7} generacije se nalazi unutar srednjih vrijednosti obje roditeljske komponente, dok je su vrijednosti F_{2.7} generacije manje od vrijednosti obje roditeljske komponente za svojstvo broja klasova po biljci.

5. RASPRAVA

Visina biljke te broj klasova po biljci su, kao i većina morfoloških i bioloških svojstava kvantitativna svojstva. Fenotipska ekspresija svojstava ovisi o djelovanju većeg broja minor gena koji imaju mali pojedinačni učinak, te su pod značajnim utjecajem okoliša. Navedena svojstva visine biljke i broja klasova po biljci te uz duljinu klasa, broj klasića po klasu itd. su u pozitivnoj korelaciji s prinosom zrna. Neizostavan korak u stvaranju kultivara su ispitivanje varijabilnosti, heritabilnosti te komponenti fenotipske varijance. Procjena genetskih komponenti varijabilnosti kvantitativnih svojstava uključuju aditivno, dominantno i epistatično djelovanje gena. Ukoliko je prisutno aditivno djelovanje gena uočava se parcijalna dominacija te intermedijarno nasljeđivanje, u slučaju dominantnog djelovanja javlja se interlokusna interakcija koja za posljedicu ima punu dominaciju, a kod epistatičnog djelovanja se javlja interalelna interakcija te mogućnost transgresivnog cijepanja (Borojević, 1981.).

Varijanca za svojstvo visine biljke prve kombinacije križanja Beaver i Achat utvrđena je veća varijanca u F₂.6. generaciji (34,95) u odnosu na F₁.6. generaciju (22,21) što je bilo očekivano s obzirom da je F₁ generacija nakon križanja uniformna te da je srednja vrijednost generacije približno jednaka prosjeku oba roditelja, a da se tek u F₂ generaciji očekuje razdvajanje biljaka po genotipu i fenotipu. Uspoređujući rezultate visine biljaka F₁ generacije te njihovu distribuciju (grafikon 9.) možemo pretpostaviti da je visina F₁ generacije parcijalno dominantna s obzirom da je srednja vrijednost visine gotovo jednaka roditeljskom prosjeku. U F₂ generaciji srednja vrijednost visine je za 5 cm niža od prosjeka roditelja. Također najveći broj varijanata u (42,5%, grafikon 9) ukazuje na to da je i F₂ vjerojatno intermedijarna, te uz pretpostavljeni aditivni učinak gena te uz prisutan učinak okoliša uočavamo simetričnu kontinuiranu varijabilnost visine biljaka. Distribucija frekvencija ukazuje na to da je selekcijom moguće izdvojiti genotipove koji imaju različitu visinu biljke nego roditeljske komponente.

Varijanca za svojstvo visine biljke u drugoj kombinaciji križanja Beaver i Mv Kucsma u F₁.7. generacije iznosi 13,23, a u F₂.7. generaciji je manja i iznosi 7,20. Možemo pretpostaviti da je razlog manje varijance je raspodjela varijanta u F₂ generaciji takva da je najveći broj biljaka (oko 75%, grafikon 11) bio u rasponu od 91 do 97 cm te je krivulja pomaknuta u desno prema vrijednostima višeg roditelja. Distribucija varijanata ukazuje na mogućnost intralelne interakcije u razvajanju svojstava visinu i u F₂ generaciji što je pretpostavka

dominantnog učinka gena uz uočenu asimetričnu kontinuiranu varijabilnost u smjeru roditelja koji je donor dominantnih gena, dok je prosječna vrijednost F1 generaciju u tom slučaju jednaka ili približno jednaka jednom od roditelja.

Varijanca za svojstvo broj klasova po biljci u prvoj kombinaciji križanja u F_{1.6}. generaciji iznosila je 41,96, a u F_{2.6}. generaciji je bila veća i iznosila 74,31. Opet očekivano s obzirom da se u F2 generaciji očekuje maksimalno razdvajanje genotipova te maksimalan učinak kombinacije alela roditelja. Varijanca za svojstvo broj klasova po biljci u F_{1.7}. generaciji iznosi 51,23, a varijanca u F_{2.7}. generacije je iznosila 36,36. Visoka varijanca u obje kombinacije križanja su rezultat nepravilne raspodjele varijanata s ekstremno malim brojem klasova po biljci te nervnomjernog nicanja u nekim parcelama te mogućeg vanjskog utjecaja (bolest, štetnici te vrlo vjerojatno lomljenje biljaka u ranoj fazi, fazi klasanja te neposredno prije žetve). Vrlo visok broj biljaka 35 % u F_{2.6} te gotovo 50% u F_{2.7} (Grafikoni 3 i 5) ukazuje na navedene probleme tijekom pokusa i tijekom mjerenja. Promatrajući distribucije varijanata u obje kombinacije vidljivo je odstupanje broja klasova po biljci u oba smjera i manjeg i većeg broja klasova koji nije bio zabilježen u roditeljskim komponentama (grafikon 10 i grafikon 12).

Broj klasova po biljci u F_{2.6}. generaciji je manji od prosječnih vrijednosti roditelja (Beaver s 21,57 klasova, Achat s 29,64 klasa), a iznosi 14,24 klasa po biljci. Prosječan broj klasova po biljci F_{1.7}. generacije iznosi 23,36 klasova po biljci što je veće od prosječnih vrijednosti roditelja (Beaver s 21,57 klasova, Mv Kucsma s 14,0 klasova). Broj klasova po biljci u F_{2.7}. generaciji iznosi 14,48, a to je manje od prosječnih vrijednosti roditelja. Na temelju raspoloživih podataka te raspodjele varijanata u segregacijskim populacijama za svojstvo broja klasova po biljci možemo pretpostaviti mogućnost pojave transgresivnog cijepanja svojstava u prvoj kombinaciji P_{1.6} odnosno ili pojave pune dominacije u drugoj kombinaciji P_{1.7} križanja. Svojstvo broja klasova po biljci je vrlo složeno kvantitativno svojstvo te je pod jakim utjecajem činiteja okoline te ostalih gena koji i na ostale komponente prinosa. Pojava transgresivnog cijepanja se može javiti u križanju roditelja s različitim svojstvima što je vidljivo prema vrijednostima potomstva koja su izvan distribucije varijanata oba roditelja. Uzrok transgresije su interlokusne interakcija gena odnosno epistaze, pri čemu se pretpostavlja superdominacija, a predstavlja jednu od najznačajnijih mogućnosti za dobivanje novih svojstava koje niti jedan roditelj nije imao (Borojević i Borojević, 1971.).

Dokukina i Bohuslavskyi (2020.) istraživali su nasljeđivanje visine biljaka u F₁ generaciji pet kombinacija križanja. Križane su jara sorta pšenice Kharkivska 26 (85 cm) i pet sintetičkih sorti pšenice (ABD genom) koja je nastala kombinacijom križanja sorte *Triticum durum* Desf. i *Aegilops tauschii* Cross. Sorte nastale ovakvim križanjem nazivaju se sintetičke sorte zato što predstavljaju izvor brojnih poželjnih svojstava kod biljaka, a to su: otpornost na bolesti, visok sadržaj proteina i glutena u zrnu, zatim prilagodljivost biljaka različitim abiotskim čimbenicima i slično. Za svojstvo visine utvrđen je internedijaran način nasljeđivanja u četiri kombinacije dok je u u jednoj kombinaciji roditelja utvrđeno dominantno djelovanje gena te transgresija. Navode da je za kombinaciju križanja Kharkivska 26 / IU13948, utvrđen velik broj biljaka u kojima je promjećeno transgresivan način nasljeđivanja i to za svojstva visine, duljine klasa, broja klasića i broja zrna po klasu te mase 1000 zrna.

Afridi i sur. (2017.) istraživali su nasljeđivanje komponenti prinosa u jare pšenice koristeći dialelno križanje. Križali su šest sorti jare pšenice i analizom varijance utvrdili su statistički značajne razlike između genotipova za svojstvo ranozrelosti, visinu biljke, broj klasova po biljci, duljinu klasa, broj zrna po klasu i masu zrna. Utvrđeno je aditivno i dominantno djelovanje gena za svojstvo visine, pri čemu je u određenih kombinacija utvrđena asimetrična distribucija dominantnih i recesivnih alela što upućuje na zamjetan učinak primarnop dominantnih alela u nasljeđivanju visine. Ispitali su i broj klasova po biljci u F₂ generaciji pri čemu je dobiven veći u odnosu na broj klasova po biljci nego u roditeljskim komponentama, dok je u u F₁ generaciji utvrđen manji broj klasova po biljci.

Novoselović i sur. (2003.) proveli su istraživanje kako bi procijenili učinke gena i genetsku varijabilnost za križanje dvije ozime sorte pšenice. Procjenjivali su svojstva prinosa i visinu biljke u dva različita područja, U Osijeku i Novoj Gradiški. U Osijeku su križanjem sorte Soissons (srednja vrijednost: visine $64,3 \pm 0,69$ cm i broja klasova po biljci $11,0 \pm 0,34$ klasa) i sorte Žitarka (srednja vrijednost: visine $65,0 \pm 0,58$ cm i broj klasova po biljci $7,6 \pm 0,23$) dobili su F₁. generacije čije su srednje vrijednosti u rasponu prosječnih vrijednosti roditelja. Visina biljaka F₁. generacije iznosi $63,9 \pm 0,78$ cm, a broj klasova po biljci iznosi $8,6 \pm 0,35$. Prosječne vrijednosti F₂. generacije veće od prosječnih vrijednosti roditelja, prosječna visina biljke F₂. generacije iznosi $70,0 \pm 0,44$ cm, a broj klasova po biljci iznosi $10,8 \pm 0,21$ klas. U Novoj Gradiški prosječne ili srednje vrijednosti za sortu Soissons iznose $75,3 \pm 0,29$ cm i $9,0 \pm 0,25$ klasova po biljci. Prosječne vrijednosti sorte Žitarka iznose $68,4 \pm 0,36$ cm i $6,9 \pm 0,21$ klas po biljci. Vrijednosti F₁. generacija i za visinu ($70,7 \pm 0,54$ cm)

i broj klasova po biljci ($6,8 \pm 0,23$) te vrijednosti F_2 . generacije za visinu ($73,6 \pm 0,38$ cm) i broj klasova po biljci ($7,0 \pm 0,11$) nalaze se u rasponu prosječnih vrijednosti roditelja.

Tijekom istraživanja Akhtar i sur. (2018.) procjenjivali su djelovanje gena za prinos pšenice i svojstva kao što su visina biljke, broj klasova po biljci, broj zrna po klasu i tako dalje. Istraživanje je provedeno na dvije kombinacije križanja krušne pšenice, 1. PARI-73 x V-7682 i 2. V-6055 x Chakwal-50. U prvoj kombinaciji križanja visina P_1 roditelja iznosila je 78,10 cm, P_2 127,77 cm, a visina F_1 generacije iznosila je 103,37 te u F_2 generaciji je visina biljke iznosila 108,63 cm. Broj klasova po biljci za P_1 iznosio je 10,67, za P_2 10,53, a broj klasova po biljci u F_1 generaciji iznosio je 8,07 dok je u F_2 generaciji iznosio 10,20 klasova. Visina biljaka druge kombinacije križanja (V-6055 x Chakwal-50) za P_1 je iznosila 72,80 cm, u P_2 110,90, a visina biljke u F_1 generaciji iznosila je 89,60 cm te u F_2 92,74 cm. Broj klasova po biljci u drugoj kombinaciji križanja za P_1 roditelja iznosio je 14,93, kod P_2 9,60 klasova, a u F_1 generaciji broj klasova iznosio je 9,23 te u F_2 generaciji 11,60 klasova po biljci. Prema rezultatima istraživanja Akhtara i sur. (2018.) možemo zaključiti da su vrijednosti F_1 . i F_2 . generacije prve kombinacije križanja te vrijednost F_2 generacije druge kombinacije križanja bile u rasponu prosječnih vrijednosti roditelja. A vrijednost F_1 . generacije druge kombinacije križanja bila je niža u odnosu na roditeljske komponente.

Navedena istraživanja te Novoselovića i sur. (2003.), Afridi i sur. (2017.) te Arhtar i sur. (2018.) potvrđuju i rezultate u ovom istraživanju. Razlike u broju klasova po biljci između roditelja i F_2 . generacije ovisi o vremenskim uvjetima, otpornosti biljaka na polijeganje, oštećenja klasova uzrokovana abiotskim ili biotskim stresom mogu dovesti do značajnih odstupanja vrijednosti u mjerenjima.

Uspjeh selekcije ne ovisi samo o ukupnoj genotipskoj i okolišnoj komponenti varijabilnosti već i o komponentama genotipske varijabilnosti. Za detaljno tvrdivanje komponenti fenotipske i genotipske varijance u nasljeđivanju visine u ove dvije kombinacije križanja te same procjene heritabiliteta potrebno je dodatno provesti dialna križanja te utvrditi mogući kombinatorni učinak majčinske komponente u ovom križanju, sorte Beaver. Također se planira analizirati Rht alele F_2 generacija u obje kombinacije križanja u svrhu i molekularne varijabilnost visine biljke.

6. ZAKLJUČAK

Jednostavnom hibridizacijom majčinske biljke Beaver te dvije očinske komponente Achat i Mv Kucsma u dvije kombinacije križanja dobili smo F_1 i F_2 generaciju. Analizom podataka za svojstvo visine biljke te usporedbom distribucije varijanata F_1 i F_2 generacijama te vrijednostima statističkih parametara križanju Beaver x Achat može se zaključiti da je djelovanje gena aditivno, odnosno da je način nasljeđivanja parcijalna dominacija odnosno intermedijaran način nasljeđivanja svojstva visine. U drugoj kombinaciji križanja Beaver x Mv Kucsma se pretpostavlja se da je prisutno dominantno djelovanje gena, pri čemu je prisutna puna dominacija kao način nasljeđivanja. Za svojstvo broja klasova po biljci u obje kombinacije križanja uočena su velika odstupanja u raspodjeli varijanata u segregacijskim populacijama. U kombinaciji križanja Beaver x Achat uočena je mogućnost pojave transgresivnog cijepanja, dok se u kombinaciji križanja Beaver x Mv Kucsma uočena mogućnost pojave pune dominacije svojstva broja klasova po biljci. Razlike u broju klasova po biljci između roditelja i F_2 generacije ovisi o vremenskim uvjetima, otpornosti biljaka na polijeganje te biotskim stresom uslijed čega su moguća odstupanja u mjerenjima. Genetska varijabilnost u F_2 generaciji je ključna za uspjeh selekcije koja ovisi ne samo o međusobnom odnosu genotipske i okolišne varijabilnosti već o komponentama genotipske varijabilnosti.

7. POPIS LITERATURE

1. Addisu, M., Snape, J.W., Simmonds, J.R., Gooding, M.J. (2009.): Reduced height (Rht) and photoperiod insensitivity (Ppd) allele associations with establishment and early growth of wheat in contrasting production systems. *Euphytica*, 166: 249-267.
2. Akhtar, N., Waseem, A., Mehmood, T., Bano, S., Raza, A., Aziz, A. (2018.): Gene action appraisal for seed yield and related traits in bread wheat. *The journal of Animal & Plant Sciences*, 28: 1457-1465.
3. Alsberg, C.L., Davis, J.S. (1928.): *Wheat Studies: The objectives of wheat breeding*. Food Research Institute.
4. Afridi, K., Khan, N. U., Mohammad, F., Shah, S. J. A., Gul, S., Khalil, I. A., Sajjad, M., Ali, S., Ali, I., Khan, S. M. (2017.): Inheritance pattern of earliness and yield traits in half diallel crosses of spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 1-30.
5. Aravinda Kumar, B.N., Azam-Ali, S.N., Snape, J.W., Weigtman, R.M., Foulkes, M.J. (2011.): Relationships between carbon isotope discrimination and grain yield in winter wheat under well-watered and drought conditions. *Journal of Agricultural Science*, 149:252-272.
6. Asplund, L., Leino, M.W., Hagenbald, J. (2012.): Allelic variation at the Rht8 locus in a 19th century wheat collections. *Scientific World Journal*, 146-151.
7. Bai, G., Das, M.K., Carver, B.F., Xu, X., Krenzer, E.G. (2004.): Covariation for Microsatellite Marker Alleles Associated with Rht8 and Coleoptile Length in Winter Wheat. *Crop Science*, 44: 1187–1194.
8. Bede, M., Petrović, S. (2006.): Genetska varijabilnost roditelja – uvjet uspješnom oplemenjivanju pšenice *Sjemenarstvo* 23(2006)1 str. 5-11.
9. Borojević, S. (1981.): *Principi i metodi oplemenjivanja bilja*. Ćirpanov, Novi Sad.
10. Borojević, S., Borojević, K. (1981.): *Genetika*, 188-198.
11. Chebotar, G.O., Chebotar, S.V., Motsnyy, I.I., Sivolap, Y.M. (2013.): Clasification of the Rht8-Ppd D₁ gene linkage on the 2D chromosome of winter bread wheat. *Cytology and Genetics*, 47: 70-74.
12. Clayshulte, S.R., Haley, S.D., Byrne, P.F., Shan, X. (2007.): Trait Associations at the Xgwm 261 and Rht-B1 Loci in Two Winter Wheat Recombinant Inbred Line Populations. *Crop Science*, 47 (6): 2346- 2355.
13. Denčić, S., Mladenov, N., Kobiljski, B., Hristov, N., Rončević, P., Đurić, V. (2006.): Rezultati 65-godišnjeg rana na oplemenjivanju pšenice na Naučnom institutu za

- ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad. Zbornik radova. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo. Novi Sad, 42: 339-359.
14. Dimitrijević, M., Petrović, S., Belić, M., Hadžić, V., Kraljević-Balalić, M., Nešić, Lj., Kapor, Z., Beljanski, N., Vuković, N. (2005): Genetička varijabilnost sorti pšenice na solonjecu u uslovima popravke zemljišta. Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta, 1: 100–112.
 15. Dokukina, K. I., Bohuslavskiy, R. L. (2020.): Trait inheritance in bread spring wheat hybrids with synthetics with ABD genomic structure. National Center of Plant Genetic Resources of Ukraine, 1: 58.02.
 16. Evans, L.T. (1998.): Crop evolution, adaptation and yield. *Photosynthetica*, 34: 56-60.
 17. FAO (2020.): Crop Prospects and Food Situation. Quarterly Global Report No.2.
 18. FAO (2021): Crop Prospects and Food Situation. Quarterly Global Report No.1.
 19. Faricelli, M. E., Valárik, M., Dubcovsky, J. (2010.): Control of flowering time and spike development in cereals: the earliness *per se* *Eps-1* region in wheat, rice, and *Brachypodium*. *Functional & Integrative Genomics*, 10: 293–306.
 20. Gao, F.M., Wen, W.E., Liu, J.D., Rasheed, A., Yin, G.H., Xia, X.C., Wu, X., He, Z. (2015.): Genome-wide linkage mapping of QTL for yield components, plant height and yield-related physiological traits in the Chinese wheat cross Zhou 8425B/Chinese Spring. *Frontiers in Plant Science*, 6:1099. Datum pristupa: 21.05.2021.
 21. Gale, M.D., Youssefian, S. (1985.): Dwarfing genes in wheat. U: Russell, G. E. (ur.) *Progress in Plant Breeding*. Butterworths. London, 1–35.
 22. Gulyas, G., Bognar, Z., Lang, L., Rakszegi, M., Bedo, Z. (2011.): Distribution of dwarfing genes (Rht-B1 and Rht-D1) in Martonvasar wheat breeding materials. *Acta Agronomica Hungarica*, 59: 249-254.
 23. Harrison, R.G. (1993.): Hybrids and hybrid zones: historical perspective. In *Hybrid zones and the evolutionary process* (ed R.G. Harrison). Oxford University Press, Oxford, 3-12.
 24. Habuš Jerčić, I., Kereša, S., Gotić, A., Mihovilović Bošnjak, A., Barić, M. (2020.): Reakcija genotipova pšenice na različite gustoće sjetve. Zbornik radova. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet. Zagreb, 177-180.
 25. Horvat, D., Ivezić, M. (2005.): *Biometrika u poljoprivredi*. Osijek: Poljoprivredni fakultet, 2005.

26. Hristov, N., Mladenov, N., Špika, A.K., Štatkić, S., Kovačević, N. (2008): Direktni i indirektni efekti pojedinih svojstava na prinos zrna pšenice. Zbornik radova. Institut za ratarstvo i povrtarstvo. Novi Sad, 45:15-20.
27. Johnson, E.B., Nalam, V.J., Zemetra, R. S., Riera-Lizarazu, O. (2008.): Mapping the compactum locus in wheat (*Triticum aestivum* L.) and its relationship to other spike morphology genes of the Triticeae. *Euphytica*, 163: 193-201.
28. Kamran, A., Randhawa, H. S., Pozniak, C., Spaner, D. (2013.): Phenotypic effects of the flowering gene complex in Canadian spring wheat germplasm. *Crop Science*, 53: 84-94.
29. Kovačević, V., Rastija, M. (2014.): *Žitarice*. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera Osijek, Poljoprivredni fakultet Osijek, 2014.
30. Kozumplik, V., Pejić, I. (2012.): *Oplemenjivanje poljoprivrednog bilja u Hrvatskoj*. Zagreb : Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2012.
31. Laurie, D. A., Pratchett, N., Bezant, J. H., Snape, J. W. (1995.): RFLP mapping of major gene and eight quantitative trait loci controlling flowering time in winter x spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cross. *Genome*, 38: 575-585.
32. Li, P., Chen, J., Wu, P., Zhang, J., Chu, C., See, D., Brown-Guedira, G., Zemetra, R., Souza, E. (2011.): Quantitative Trait Loci Analysis for the Effect of Rht-B1 Dwarfing 43 Gene on Coleoptile Length and Seedling Root Length and Number of Bread Wheat. *Crop Science*, 51: 2561- 2568.
33. Loeschberger, F., Buerstmayr, H. . and Lemmens, M. 1998. Two newly released winter wheat varieties with breadmaking quality: Ludwig and Achat. *Ann. Wheat Newslett.* 44. 31-32
34. Mađarić, Z. (1985.): *Pšenica- Suvremena proizvodnja pšenice*. Osijek, 20-22.
35. Martinčić, J., Kozumplik, V. (1996.): *Oplemenjivanje bilja: I Teorija i metode, II Ratarske kulture*; Osijek: Poljoprivredni fakultet, Zagreb: Agronomski fakultet, 1996
36. Martinić-Jerčić, Z. (1990.): *Wheat in Croatia and Yugoslavia in 1990. related to previous period. The state and future. Introductory report for the round table on the state and future in production and breeding of wheat*. Zagreb.
37. McIntosh, R.A., Dubcovsky, J., Rogers, W.J., Morris, C., Appels, R., Xia, X.C. (2015.): *Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2015-2016. Supplement*.
38. Novoselović, D., Baric, M., Drezner, G., Gunjaca, J., Lalic, A. (2004.): Quantitative inheritance of some wheat plant traits. *Genetics and Molecular Biology*, 27: 92.

39. Petrović, S., Dimitrijević, M., Belić, M. (2007.): Heritabilnost visine biljke i parametara klasa pšenice na ritskoj crnici. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 146-152.
40. Simons, K.J., Fellers, J.P., Trick, H.N., Zhang, Z.C., Tai, Y.S., Gill, B.S., Faris, J.D.(2006.): Molecular characterization of the major wheat domestication gene *Q*. *Genetics*, 172: 547-555.
41. Qiongyan, L., Cai, J., Berger, B., Okamoto, M., Miklavcic, S.J. (2017.): Detecting spikes of wheat plants using neural networks with Laws texture energy. *Plant Methods*, 13:83.
42. Yan, X.Y., McMaster, G.S., Yu, Q. (2018.): Spatial Patterns of Relationship Between Wheat Yield and Yield Components in China. *International Journal of Plant Production*, 12: 61-71.
43. Zhai, H., Feng, Z., Li, J., Liu, X., Xiao, S., Ni, Z., Sun, Q. (2016.): QTL Analysis of Spike Morphological Traits and Plant Height in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Using a High-Density SNP and SSR-Based Linkage Map. *Frontiers in Plant Science*, 7:1617.

https://www.researchgate.net/publication/227154266_Effects_of_reduced_height_Rht_and_photoperiod_insensitivity_Ppd_alleles_on_yield_of_wheat_in_contrasting_production_systems Datum pristupa: 25.05.2021

<https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/cjps-2016-0309> Datum pristupa: 13.09.2021

https://www.researchgate.net/publication/215447096_Relationships_between_carbon_isotope_discrimination_and_grain_yield_in_winter_wheat_under_wellwatered_and_drought_conditions Datum pristupa: 27.05.2021.

<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/385610/> Datum pristupa: 07.05.2021.

https://www.researchgate.net/publication/43260368_Covariation_for_Microsatellite_Marker_Alleles_Associated_with_Rht8_and_Coleoptile_Length_in_Winter_Wheat Datum pristupa: 16.05.2021.

https://www.researchgate.net/publication/228645784_Trait_Associations_at_the_Xgwm_261_and_Rht-B1_Loci_in_Two_Winter_Wheat_Recombinant_Inbred_Line_Populations Datum pristupa: 16.05.2021.

<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> Datum pristupa: 08.05.2021.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10142-009-0146-7> Datum pristupa: 21.05.2021.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.01099/full> Datum pristupa: 21.05.2021.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6161307/> Datum pristupa: 30.06.2021.

<https://farming.co.uk/news/what-late-sown-wheat-needs-to-vernalise-and-flower> Datum pristupa: 30.06.2021.

https://www.researchgate.net/publication/273688894_Distribution_of_dwarfing_genes_Rht-B1b_and_Rht-D1b_in_Martonvasar_wheat_breeding_materials Datum pristupa: 05.07.2021.

https://www.researchgate.net/publication/237731700_Analysis_of_Combining_Ability_for_Spike_Characteristics_in_Wheat_Triticum_aestivum_L Datum pristupa: 23.08.2021.

https://www.researchgate.net/publication/227094089_Mapping_the_compactum_locus_in_wheat_Triticum_aestivum_L_and_its_relationship_to_other_spike_morphology_genes_of_the_Triticeae Datum pristupa: 27.05.2021.

https://www.researchgate.net/publication/26371186_Quantitative_inheritance_of_some_wheat_plant_traits Datum pristupa: 13.09.2021.

<https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-017-0231-1> Datum pristupa: 15.07.2021.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1748268/> Datum pristupa: 17.07.2021.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4737501/> Datum pristupa: 17.07.2021.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC156360/> Datum pristupa: 18.07.2021.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01617/full> Datum pristupa: 20.07.2021.

8. SAŽETAK

U ovome istraživanju prikazana je varijabilnost visine biljaka i broja klasova po klasu u dvije kombinacije križanja. Korištena jednostavna metoda hibridizacije u kojoj se kao majčinska biljka odabrao kultivar koji je izdvojen prema svojstvima od interesa. Kultivar Beaver odabran je kao majčinska komponenta, a kultivari Achat i Mv Kucsma kao očinske komponente. Provedena je hibridizacija majčinske biljke s očinskim komponentama, te su razvijene F_1 i F_2 generacije. Biljni materijal je uzgojen na pokušalištu „Tenja“ Fakulteta agrobiotehničkih znanosti. Svojstvo visine biljke i svojstvo broj klasova po biljci su kvantitativna svojstva koja određuje velik broj minor gena koji su osjetljivi na utjecaj činitelja vanjske sredine. Cilj ovog istraživanja je jednostavnom hibridizacijom pšenice u dvije kombinacije križanja dobiti podatke o navedenim svojstvima u F_1 i F_2 generaciji, te analizom podataka usporediti distribucije varijanata u obje kombinacije križanja. Analizom podataka kombinacije križanja Beaver i Achat utvrđena je mogućnost intermedijarnim načinom nasljeđivanja svojstvo visine biljke, a analiza podataka za svojstvo broj klasova po biljci ukazuje na pojavu transgresivnog cijepanja. Analizom podataka druge kombinacije križanja Beaver i Mv Kucsma za svojstvo visine biljke ukazuje na mogućnost pokazuje punom dominacijom kao načina nasljeđivanja i visine biljke i broja klasova po klasu.

Ključne riječi: pšenica, F_1 generacija, F_2 generacija, visina biljke, broj klasova po biljci

9. SUMMARY

Variability of plant height and number of spikes per plant was examined in two cross combinations. A simple hybridization method was used in which maternal component was selected according to the characteristics of interest. The Beaver cultivars was maternal, while cultivars Achat and Mv Kucsma were selected as paternal components. A cross between maternal plant and two paternal plants was carried out, and F₁ and F₂ generations were produced. All plant material was grown at field trial "Tenja" of the Faculty of agrobiotechnical sciences. Plant height and spike number per plant are quantitative traits controlled by many minor genes which are under great influence of external factors. The aim of this research is to obtain data on variability and distribution of plant height and number of spikes per plant between parental and F₁ and F₂ generations in two cross combinations. After data analysis possibility of intermediate gene effect of plant height in cross combination Beaver and Achat was presumed possibility of transgressive segregation. Data analysis of second cross combination between Beaver and Mv Kucsma revealed the possibility of full dominance for plant height as well number of spikes per plant.

Keywords: wheat, F generation, F generation, plant height, spike number per plant

10. POPIS SLIKA

| Br. | Naziv slike | Str. |
|------------|--|-------------|
| Slika 1. | Zrno F ₁ . generacije | 9. |
| Slika 2. | Zrno F ₂ . generacije | 9. |
| Slika 3. | Fungicid Systiva® (BASF) | 10. |
| Slika 4. | Tretirano zrno | 10. |
| Slika 5. | Označavanje parcela | 10. |
| Slika 6. | Oznake križanaca | 10. |
| Slika 7. | Prva provjera razvoja F ₂ generacije | 11. |
| Slika 8. | Biljke F ₂ . generacije u fazi vlatanja | 11. |
| Slika 9. | Biljka F ₂ .7.12. | 12. |
| Slika 10. | Faza klasanja križanaca F ₂ .6.14. | 12. |
| Slika 11. | Faza klasanja križanaca F ₂ .7.14. | 12. |
| Slika 12. | Mjerni štap za mjerenje visine biljke | 13. |
| Slika 13. | Prebrojavanje broja vlati i klasova | 13. |

11. POPIS TABLICA

| Br. | Naziv tablice | Str. |
|------------|---|-------------|
| Tablica 1. | Prosječne vrijednosti agronomskih svojstava roditelja u križanju | 8. |
| Tablica 2. | Broj biljaka, prosječne vrijednosti visine i varijanca roditelja, F ₁ i F ₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Achat | 16. |
| Tablica 3. | Broj biljaka, prosječne vrijednosti broja klasova po biljci i varijanca roditelja, F ₁ i F ₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Achat | 18. |
| Tablica 4. | Broj biljaka, prosječne vrijednosti visine i varijance roditelja, F ₁ i F ₂ generacije kombinacije Beaver i Mv Kucsma | 20. |
| Tablica 5. | Broj biljaka, prosječne vrijednosti broja klasova po biljci i varijanca roditelja, F ₁ i F ₂ generacije kombinacije križanja Beaver i Mv Kucsma | 22. |

12. POPIS GRAFIKONA

| Br. | Naziv grafa | Str. |
|--------------|--|-------------|
| Grafikon 1. | Varijabilnost svojstva visine biljaka F _{1.6.} generacije | 15. |
| Grafikon 2. | Varijabilnost svojstva visine biljaka F _{2.6.} generacije | 16. |
| Grafikon 3. | Varijabilnost svojstva broja klasova po biljci F _{1.6.} generacije | 17. |
| Grafikon 4. | Varijabilnost broja klasova po biljci F _{2.6.} generacije | 18. |
| Grafikon 5. | Varijabilnost svojstva visine biljaka F _{1.7.} generacije | 19. |
| Grafikon 6. | Varijabilnost svojstva visine biljaka F _{2.7.} generacije | 19. |
| Grafikon 7. | Varijabilnost broja klasova po biljci F _{1.7.} generacije | 21. |
| Grafikon 8. | Varijabilnost broja klasova po biljci F _{2.7.} generacije | 21. |
| Grafikon 9. | Usporedba visine biljaka P _{1.6.} kombinacije roditelja, F _{1.6.} i F _{2.6.} generacije | 23. |
| Grafikon 10. | Usporedba broja klasova po biljci između roditeljskih komponenti P _{1.6.} , F _{1.6.} i F _{2.6.} generacije | 23. |
| Grafikon 11. | Usporedba visine biljke roditeljskih komponenti P _{1.7.} , F _{1.7.} i F _{2.7.} generacije | 24. |
| Grafikon 12. | Usporedba roditeljskih komponenti P _{1.7.} , F _{1.7.} i F _{2.7.} generacije za svojstvo broja klasova po biljci | 25. |

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

Razdvajanje visine biljke i broja klasova u F₁ i F₂ generaciji pšenice nakon hibridizacije divergentnih roditelja

Anamarija Stilin

Sažetak: U ovome istraživanju prikazana je varijabilnost visine biljaka i broja klasova po klasu u dvije kombinacije križanja. Korištena jednostavna metoda hibridizacije u kojoj se kao majčinska biljka odabrao kultivar koji je izdvojen prema svojstvima od interesa. Kultivar Beaver odabran je kao majčinska komponenta, a kultivari Achat i Mv Kucsma kao očinske komponente. Provedena je hibridizacija majčinske biljke s očinskim komponentama, te su razvijene F₁ i F₂ generacije. Biljni materijal je uzgojen na pokušalištu „Tenja“ Fakulteta agrobiotehničkih znanosti. Svojstvo visine biljke i svojstvo broj klasova po biljci su kvantitativna svojstva koja određuje velik broj minor gena koji su osjetljivi na utjecaj činitelja vanjske sredine. Cilj ovog istraživanja je jednostavnom hibridizacijom pšenice u dvije kombinacije križanja dobiti podatke o navedenim svojstvima u F₁ i F₂ generaciji, te analizom podataka usporediti distribucije varijanata u obje kombinacije križanja. Analizom podataka kombinacije križanja Beaver i Achat utvrđena je mogućnost intermedijarnim načinom nasljeđivanja svojstvo visine biljke, a analiza podataka za svojstvo broj klasova po biljci ukazuje na pojavu transgresivnog cijepanja. Analizom podataka druge kombinacije križanja Beaver i Mv Kucsma za svojstvo visine biljke ukazuje na mogućnost pokazuje punom dominacijom kao načina nasljeđivanja i visine biljke i broja klasova po klasu.

Rad je izrađen pri: Fakultet Agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Mentor: izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović

Broj stranica: 42

Broj grafikona i slika: 25

Broj tablica: 5

Broj literaturnih navoda: 43

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: pšenica, F₁ generacija, F₂ generacija, visina biljke, broj klasova po biljci

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

- 1.prof.dr.sc. Sonja Vila, predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Graduate Thesis

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

University Graduate Studies, Plant production, course Plant breeding and seed

Segregation of plant height and spike number per plant in F₁ and F₂ wheat generation after hybridization of divergent parents

Anamarija Stilin

Summary: Variability of plant height and number of spikes per plant was examined in two cross combinations. A simple hybridization method was used in which maternal component was selected according to the characteristics of interest. The Beaver cultivars was maternal, while cultivars Achat and Mv Kucsma were selected as paternal components. A cross between maternal plant and two paternal plants was carried out, and F₁ and F₂ generations were produced. All plant material was grown at field trial "Tenja" of the Faculty of agrobiotechnical sciences. Plant height and spike number per plant are quantitative traits controlled by many minor genes which are under great influence of external factors. The aim of this research is to obtain data on variability and distribution of plant height and number of spikes per plant between parental and F₁ and F₂ generations in two cross combinations. After data analysis possibility of intermediate gene effect of plant height in cross combination Beaver and Achat was presumed possibility of transgressive segregation. Data analysis of second cross combination between Beaver and Mv Kucsma revealed the possibility of full dominance for plant height as well number of spikes per plant.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović

Number of pages: 42

Number of figures: 25

Number of tables: 5

Number of references: 43

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Keywords: wheat, F₁ generation, F₂ generation, plant height, spike number per plant

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. prof.dr.sc. Sonja Vila, chairman
2. izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić, member

Thesis is archived in: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1d.