

**Agrovoc descriptors:** triticum aestivum, heterosis, hybridization, hybrids, seed, breeding methods, infertility, crop yield, prices

**Agris category code:** f30, e16

## Nekateri pristopi za izkoriščanje heteroze pri navadni pšenici (*Triticum aestivum* L.)

Primož TITAN<sup>1</sup>, Vladimir MEGLIČ<sup>2</sup>

Delo je prispelo: 29. marca 2011; sprejeto 16. maja 2011.

Received: March 29, 2011; accepted May 16, 2011.

### IZVLEČEK

Heterozo najpogosteje povezujemo s superiornostjo prve filialne generacije nad parentalno. Z gospodarskega stališča pa je še posebej pomembno, da se lahko ta superiornost izraža kot višji produktivni potencial sorte. Zaradi počasne rasti višine povprečnega pridelka zrnja navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.) na svetovni in državni ravni, je uporaba hibridov pri tej gospodarsko pomembni poljščini vedno bolj pomembna. Pogoj za pridelavo hibridnega semena je tujeprašnost, ki jo je pri navadni pšenici možno doseči z indukcijo moške sterilnosti. V preteklosti so bili za indukcijo moške sterilnosti v materni komponenti hibridne sorte predlagani pristopi, kot je uporaba moško sterilne citoplazme (CMS sistem) prenesene iz *Triticum timopheevi* Zhuk.. Zaradi svoje kompleksnosti se pristopi na genetski osnovi v praksi niso nikoli dovolj uveljavili. Danes omogočajo sredstva za kemično hibridizacijo razvoj hibridnih sort, ki presegajo pridelok zrnja standardnih linijskih sort tudi za več kot dvajset odstotkov. Alternativno kemični indukciji moške sterilnosti predstavljajo transgeni pristopi. Pridelava hibridnega semena navadne pšenice je tehnološko zahteven postopek o gospodarski upravičenosti katerega odločajo raven heteroze, višina pridelka hibridnega semena na enoto površine in prodajna cena pšenice.

**Ključne besede:** Heteroza, hibridna sorta, indukcija moške sterilnosti, navadna pšenica, sredstva za kemično hibridizacijo

### SEVERAL APPROACHES FOR HETEROSIS EXPLOITATION IN COMMON WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

#### ABSTRACT

Heterosis is commonly associated with the superiority of the first filial generation over the parental generation. From the economic point of view it is important that the superiority could be expressed as a higher productive potential of the variety. Given the slow growth of the average grain yield of common wheat (*Triticum aestivum* L.) at global and national level, the use of hybrids for production of this economically important crop, is gaining the importance. The most important condition for hybrid seed production in common wheat is cross-pollination that can be achieved by induction of male sterility. In the past, different approaches for induction of male sterility in common wheat have been proposed, for example the use of cytoplasmic male sterility (CMS system) transferred from *Triticum timopheevi* Zhuk.. Due to its complexity, the genetic approaches have never been exercised in the practice. Today the chemical hybridizing agents allow development of hybrid varieties that can top the yield of standard inbred varieties for more than twenty percent. Transgenic approaches represent the alternative to the chemical induction of male sterility. Hybrid wheat seed production is therefore technologically complex process that depends on the level of heterosis, hybrid seed yield per area unit and the market price of wheat.

**Key words:** Heterosis, hybrid variety, male sterility induction, common wheat, chemical hybridizing agents

<sup>1</sup> Mladi raziskovalec iz gospodarstva, univ. dipl. inž. kmet., Semenarna Ljubljana, d.d., Slovenija, 1000 Ljubljana, Dolenjska c. 242; E: primo.z.titan@kis.si; T. +386 0(1) 280 5261

<sup>2</sup> Predstojnik Oddelka za poljedelstvo in semenarstvo, doc. dr., Kmetijski inštitut Slovenije, Slovenija, 1000 Ljubljana, Hacquetova 17

## 1 UVOD

Rast svetovnega prebivalstva močno vpliva na dogajanje povezano s pridelavo pšenice (*Triticum* spp.). V zadnjih petih letih se je svetovna poraba pšenice dvignila iz 610 milijonov ton na 661 milijonov ton, trend krčenja pridelovalnih površin pa se je nadaljeval (International grains council, 2011). Izrazito krčenje površin namenjenih pridelavi pšenice je značilno za Evropo. Leta 1980 je v Evropi pridelava pšenice potekala na 87.645.967 ha, leta 2009 pa na 61.089.167 ha (FAO, 2011). Poleg izrazitega krčenja pridelovalnih površin vpliva negativno na oskrbo s pšenico v Evropi še upočasnitev rasti višine povprečnega pridelka zrnja. V Veliki Britaniji se je povprečni pridelek zrnja pšenice po letu 1948 zvišal za trikrat, vendar se je rast po letu 2000 bistveno upočasnila (Angus, 2009). Za osrednjo Evropo se ocenjuje, da je letni prispevek zlahknjenja k rasti višine povprečnega pridelka zrnja navadne pšenice padel na 0,5 do 0,6 odstotka. Zaradi odvisnosti od tujih zlahkniteljskih programov je lahko v Sloveniji ta prispevek dejanko še nižji (Drezner, 2010). Počasno rast višine povprečnega pridelka zrnja pšenice v Sloveniji potrjujejo tudi podatki Statističnega urada Republike Slovenije (2011), ki kažejo, da se le ta v zadnjih nekaj letih ni bistveno spremenila in je še vedno pod 5 t/ha.

Možnost za hitrejšo rast višine povprečnega pridelka zrnja navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.), ki je med vsemi pšenicami za svetovno gospodarstvo najpomembnejša predstavlja izkoriščanje heteroze. Bujnejši rastlinski habitus prve filialne generacije ( $F_1$  generacija), ki je nastala z nadzorovanim križanjem dveh genetsko različnih homozigotnih staršev je bila prva asociacija, ki se je nanašala na heterozo. Superiornost heterozigotnega stanja  $F_1$  generacije nad homozigotnim stanjem starševske generacije pa je naredila izkoriščanje heteroze gospodarsko pomembno. Pri strnih žitih se za izkoriščanje heteroze uporabljajo

hibridne sorte in sintetiki (Fehr, 1987). Danes se na slovenski sortni listi nahajajo le linijske sorte navadne pšenice, ki nastanejo z večkratno samooploditvijo potomstva nastalega s križanjem najmanj dveh genetsko različnih staršev. Za razliko od linijskih sort, se pri hibridnih sortah navadne pšenice neposredno uporablja prva generacija potomstva križanja dveh genetsko različnih staršev. Razvoj hibridnih sort navadne pšenice je danes omejen predvsem na razvite zahodne države (Kindred in Gooding, 2005).

Za pridelavo hibridnega semena je potrebna tujeprašnost in ločenost moških in ženskih socvetij na isti rastlini, tako da je na enostaven način možno doseči nadzorovano križanje dveh genetsko različnih staršev. V primeru navadne pšenice, ki spada med samoprašne rastlinske vrste je nadzorovano križanje dveh genetsko različnih staršev možno doseči z indukcijo moške sterilnosti v materni komponenti hibridne sorte. Indukcija moške sterilnosti pomeni, da pelod ni viabilen in posledično se rastlina ni sposobna samooploditi (Schachschneider, 1997). Da lahko pride do nastanka hibridnega semena so poleg indukcije moške sterilnosti pomembne še floralne lastnosti starševskih komponent. V primeru, da se po učinkoviti indukciji moške sterilnosti v materni komponenti krovna pleva in predpleva ne razpreta pod večjim kotom kot pri normalnem cvetenju, ne more priti do prave tujeprašnosti (ksenogamija) in s tem do nastanka hibridnega semena (De Vries, 1971). Izkoriščanje heteroze pri navadni pšenici je torej zahteven postopek, o gospodarski upravičenosti katerega odločajo raven heteroze, izplen hibridnega semena na enoto površine in prodajna cena pšenice.

## 2 HETEROZA ZA PRIDELEK ZRNJA

Raven heteroze se določa, kot povprečna starševska heteroza (potomec se primerja s povprečjem obeh staršev), heterobeltiozis (potomec se primerja z boljšim staršem) in standardna heteroza (potomec se primerja s standardno sorto) ter se navadno izraža v odstotkih. Ob upoštevanju običajne gostote setve za navadno pšenico lahko znaša heterobeltiozis za pridelek zrnja od 2,8 do 40,7 odstotkov, standardna heteroza za pridelek zrnja pa od -3,8 do 32,1 odstotkov. V primeru, da se raven heteroze določa za posamezno rastlino lahko heterobeltiozis za pridelek zrnja znaša tudi 160,4 odstotkov (Bruns in Peterson, 1998; Cisar in Cooper, 2002). Raven heteroze je odvisna od kombinacijske sposobnosti starševskih komponent. Ločimo splošno in

specifično kombinacijsko sposobnost. Splošna kombinacijska sposobnost predstavlja povprečno vrednost, ki jo starševska komponenta doseže pri križanju z vsemi očetovskimi komponentami, specifična kombinacijska sposobnost pa pove kako reagira ta starševska komponenta pri križanju s posamezno očetovsko komponento. Po Borojevicu (1992) splošna kombinacijska sposobnost predstavlja aditivni učinek genov, specifična kombinacijska sposobnost pa neaditivni učinek genov. Glede na raziskave Cukadarja in Ginkla (2001) obstajajo med starševskimi komponentami in hibridnimi sortami naslednje povezave:

- Splošna kombinacijska sposobnost starševskih komponent ima na pridelek zrnja hibridnih sort navadne pšenice večji vpliv od specifične kombinacijske sposobnosti.
- Možno je vzgojiti hibridne sorte z visoko povprečno starševsko heterozo za pridelek zrnja, vendar to še ne pomeni, da te hibridne sorte dosegajo višje pridelke zrnja od vodilnih linijskih sort.
- Med višino pridelka zrnja hibridne sorte in povprečnim pridelkom zrnja obeh starševskih komponent obstaja zelo močna povezava. Visokoproduktivne starševske komponente omogočajo razvoj visokoproduktivnih hibridnih sort.

Obstoj šibke povezave med povprečno starševsko heterozo za pridelek zrnja, splošno in specifično kombinacijsko sposobnostjo za pridelek zrnja ter genetsko razdaljo starševskih komponent je potrdila

raziskava Maria Corbellinija in sodelavcev, ki je bila objavljena leta 2002. Raziskava je obsegala 100 Fi hibridov, njihove vrednosti za povprečno starševsko heterozo za pridelek zrnja so znašale od -16,6 do 31,1 odstotka in so bile znotraj mejnih vrednosti podobnih raziskav. Na osnovi šibke povezave med povprečno starševsko heterozo za pridelek zrnja in genetsko razdaljo starševskih komponent lahko sklepamo, da je za uspešno izkoriščanje heteroze pri navadni pšenici potreben širok izbor starševskih komponent. Za doseganje visoke ravni heteroze je perspektivna uporaba sorodnikov navadne pšenice, ki imajo podobno genomsko strukturo. Pri križanju navadne pšenice s piro (*Triticum spelta* L.) bi lahko dosegli bistveno višjo raven heteroze kot pri križanju navadne pšenice z navadno pšenico (Qixin in sod., 1997).

### 3 INDUKCIJA MOŠKE STERILNOSTI

Za indukcijo moške sterilnosti pri navadni pšenici je bilo v preteklosti predlaganih več pristopov na genetski osnovi; kromosomska moška sterilnost (XYZ sistem), jedrna moška sterilnost (NMS sistem) in različne oblike citoplazemsko-genetske moške sterilnosti (CMS sistem). Od navedenih pristopov je najbolj proučen sistem citoplazemsko-genetske moške sterilnosti (Driscoll, 1972; Ogihara, 1999; Cisar in Cooper, 2002). Pri navadni pšenici je bila citoplazemsko-genetska moška sterilnost odkrita v petdesetih letih prejšnjega stoletja. O stabilni obliki citoplazemsko-genetske moške sterilnosti so prvič poročali leta 1962 na osnovi križanja navadne pšenice s timofejevo pšenico (*Triticum timopheevi* Zhuk). Istega leta so poročali tudi o genih za obnovo fertilitnosti v F<sub>1</sub> generaciji (Rf geni), ki so jih prav tako odkrili v timofejevi pšenici (Mahajan in Nagarajan, 1998). Vzgoja hibridnih sort navadne pšenice z uporabo citoplazemsko-genetske moške sterilnosti poteka na naslednji način (Borojevic, 1992; Cisar in Cooper, 2002; Ivančič, 2002):

1. Vnos citoplazemsko-genetske moške sterilnosti v linijo, ki bo predstavljala materno komponento hibridne sorte (linija A). Pri navadni pšenici se, kot vir citoplazemsko-genetske moške sterilnosti najpogosteje uporablja timofejeva pšenica (*Triticum timopheevi* Zhuk.). Poleg omenjene vrste predstavljajo zanimiv vir citoplazemsko-genetske moške sterilnosti za navadno pšenico tudi nekateri predstavniki rodu *Aegilops* L.
2. Vzdrževanje moško sterilne linije A s pomočjo fertilnega analoga (linija B). Vzdrževanje poteka, kot križanje moško sterilne linije A z linijo B.
3. Vnos Rf genov v opravevalca (linija R).

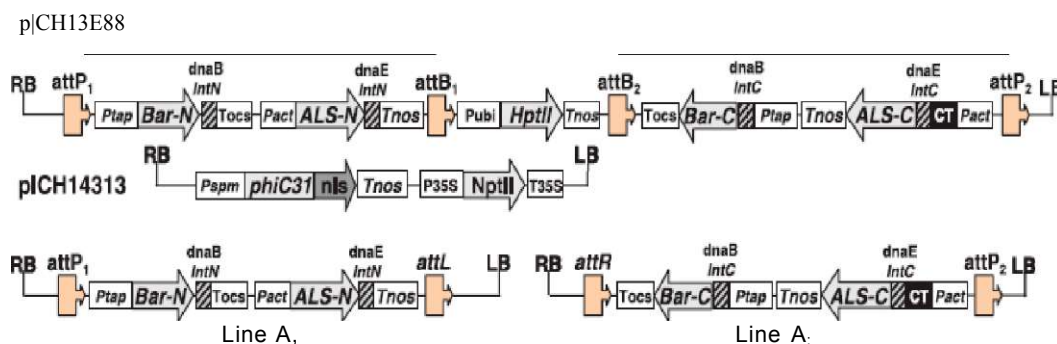
4. Pridelava hibridnega semena s križanjem linije A z linijo R.

Pristopi na genetski osnovi so se v praksi izkazali za preveč kompleksne. CMS sistem na primer zahteva pet do šest povratnih križanj za vnos moško sterilne citoplazme vrste *Triticum timopheevi* Zhuk. v materno komponento hibridne sorte, poleg tega pa povzroča probleme z obnovo fertilitnosti v F<sub>1</sub> generaciji (McRae, 1985). Danes se za pridelavo hibridnega semena navadne pšenice uporabljajo sredstva za kemično hibridizacijo. Sredstva za kemično hibridizacijo omogoča indukcijo moške sterilnosti v enem koraku, vendar pa je delovanje aktivne snovi odvisno od številnih dejavnikov.

Da pridelava hibridnega semena navadne pšenice ne bi bila odvisna od dejavnikov na katere ni mogoče vplivati je bilo v zadnjih letih predlaganih nekaj transgenih pristopov za indukcijo moške sterilnosti (Gils in sod., 2008). Precej obetaven je dvokomponentni sistem vzgoje hibridnih sort (angl. split gene approach), ki vključuje dve lastnosti, moško sterilnost in odpornost na herbicid. Dvokomponentni sistem temelji na moško sterilnem fenotipu, ki je odporen na herbicide na osnovi sulfonilsečnine in imidazolinonov. To omogoča vzdrževanje moško sterilne matrne komponente z aplikacijo herbicida. V tem sistemu se uporabljata genetski determinanti za toksičen encim barnaza, ki je pod kontrolo za tapetum peloda specifičnega promotorja in za mutirano acetolaktat sintazo (ALS), ki je pod kontrolo riževega promotorja. Obe genetski determinanti sta deljeni a se nahajata na istem fragmentu (A1 oz. A2), tako da le heterozigoti vsebujejo

vse fragmente za tvorbo funkcionalnih proteinov. Fragmenti se nahajajo na identičnih lokusih na homolognih kromosomih. Posamezen fragment določa le nefunkcionalen protein. Aktiven genski produkt nastane s fuzijo produktov dveh različnih fragmentov. Da lahko pride do tvorbe funkcionalnih proteinov vsebujejo posamezni fragmenti sekvence modrozelenih alg *Synechocystis* sp. (*DnaE* in *DnaB* sekvence). Genotipi, ki vsebujejo dve kopiji posameznega fragmenta (A1 ali A2) so normalno fertilni in občutljivi na sulfonilsečninske herbicide, le heterozigoti, ki vsebujejo obe vrsti genskih fragmentov so moško sterilni in odporni na sulfonilsečninske in imidazolinonske herbicide. Za gensko transformacijo sta bila pripravljena konstrukta pICH13688 in pICH14313, ki sta bila klonirana v pBIN19 binarni vektor. Genski konstrukti pICH13688 je nosil N in C terminalne

sekvence *Bar-N* in *Bar-C* iz *Bacillus amyloliquifaciens* in *ALS-N*, *ALS-C* terminalne sekvence mutiranega *ALS* gena *Arabidopsis thaliana*. Konstrukti pICH14313 je bil dodan zaradi indukcije mestno specifične rekombinacije. Konstrukti pICH13688 je vseboval tarčna mesta (*attB* in *attP*) za delovanje mestno specifične rekombinaze, ki jo je determinirala sekvenca *PhiC31* na genskem konstruktu pICH14313. S pomočjo indukcije mestno specifične rekombinacije je bilo možno vzpostaviti mehanizem vzdrževanja moško sterilne matere pri avtogamni rastlinski vrsti, kot je navadna pšenica. Genski konstrukti pICH13688 je vseboval tudi *Int-N* in *Int-C*, N in C terminalne sekvence, ki so pomagale pri fuziji genskih produktov A1 in A2 vstavljenih fragmentov (Gils in sod., 2008).



Slika 1: Struktura genskih konstruktov pred in po rekombinaciji (Gils in sod., 2008).  
Figure 1: Structure of the constructs before and after recombination (Gils et al., 2008).

Pred vnosom konstruktov v primarni ekspresijski sistem vrste *Arabidopsis thaliana* je bil sistem fuzije ločenih N in C terminalnih sekvenc preiskujen z agroinfiltracijo v liste vrste *Nicotiana benthamiana*. Ker je bil končni cilj doseči moško sterilnost pri enokaličnicah, posebej pri navadni pšenici, je konstrukti vsebovali promotore iz družine trav. Ekspresija *Bar-N* in *Bar-C* sekvence je bila pod kontrolo za tapetum peloda specifičnega promotorja *Ptap*. Ekspresija *ALS-N* in *ALS-C* sekvence mutirane verzije *ALS* gena *Arabidopsis thaliana* je bila pod

kontrolno riževga promotorja *Pact*. Kot terminatorske sekvence so bile konstruktom dodane *Tnos* (nopaline synthase terminator), *Tocs* (octopine synthase terminator) in *T35S* sekvence. Reporterski sistem je temeljil na *GUS* genu. Uspešnost integracije genskih konstruktov v rastlinski genom je bila preverjena s pomočjo polimerazne verižne reakcije in Southern blottinga (Gils in sod., 2008).

#### 4 SREDSTVA ZA KEMIČNO HIBRIDIZACIJO

Prvi dokumentiran podatek o vplivu kemične spojine na moško sterilnost rastline izvira iz leta 1953. Takrat so opazili vpliv bakrovega hidrazida na atrofijo pelodnih zrn (Dotlacil in Apltauerova, 1978). Leta 1957 je bil ob predstavitvi dela, ki je demonstriralo uporabo kemikalije FW-450 (a, P-dikloroizobutirat) za vzgojo hibridnih sort bombaža (*Gossypium hirsutum* L.) prvič uporabljen izraz gametocid, ki bi naj označeval kemikalije, ki selektivno vplivajo na moško sterilnost

rastline. Danes se pogosteje od izraza gametocid uporablja izraz sredstvo za kemično hibridizacijo (McRae, 1985). Sredstva za kemično hibridizacijo so kemikalije, ki ob uporabi v določeni fenofazi matere komponente hibridne sorte povzročijo prenehanje nastajanja cvetnega prahu ali mu odvzamejo zmožnost oploditve in tako povzročijo, da samoprašna rastlinska vrsta ni sposobna samooploditve (Ur.l. RS št. 91/2003). Na splošno velja, da lahko med aktivnimi snovmi, ki

spadajo v skupino rastnih regulatorjev s herbicidnim delovanjem najdemo veliko potencialnih sredstev za kemično hibridizacijo. Prve aktivne snovi z znanim gametocidnim delovanjem izhajajo iz skupine halogeniranih alifatskih kislin. Med halogeniranimi alifatskimi kislinami izstopata po gametocidnem delovanju a, P-dikloroizobutirat in 2,2-dikloropropionska kislina. Med prve kemikalije, ki so bile proučevane kot potencialna sredstva za kemično hibridizacijo spada tudi etefon (2-kloroetilfosfonska kislina), ki se ga danes uporablja kot sredstvo za redčenje plodičev v sadjarstvu (McRae, 1985). Za serijo fenil oksonikotinatov (RH-531, RH-532, RH-2956, RH-4667, RH-5148, RH-0007) velja, da so bile to prve patentirane kemikalije, ki se jih je želelo uporabiti v komercialni proizvodnji hibridnega semena navadne pšenice. Med serijo fenil oksonikotinatov se najpogosteje omenja uporabo aktivne snovi fenridazon (1-(4-klorofenil)-1,4-dihidro-6-metil-4-oksopiridazin-3-karboksilna kislina) (Hewstone in sod., 1992). V prvo generacijo patentiranih kemikalij z gametocidnim delovanjem spada tudi aktivna snov 3-(p-klorofenil)-6-metoksi-s-triazin-2,4-(1h,3h)-dion-trietanolamin pripravek DPX 3778). Za prvo generacijo sredstev za kemično hibridizacijo je značilno fitotoksično delovanje, nespecifično delovanje, velika odvisnost aktivne snovi od zunanjih dejavnikov ter nizek izplen

hibridnega semena na enoto površine (Johnson in Brown, 1978). Predstavniki druge generacije sredstev za kemično hibridizacijo so predvsem heterociklične karboksilne kisline s poudarkom na piridazinskem strukturnem tipu, ki so bile razvite izključno za doseganje atrofije pelodnih zrn. Primeri teh aktivnih snovi so klofencet (2-(4-klorofenil)-3-etil-2,5-dihidro-5-oksopiridazin-4-karboksilna kislina), sintofen (1-(4-klorofenil)-1,4-dihidro-5-(2-metoksietoksi)-4-oksokinolin-3-karboksilna kislina), azetidin-3-karboksilna kislina in aktivne snovi na osnovi piridin monokarboksilatov ter benzenove kisline (Čiha in Ruminski, 1991; Wong in sod., 1995; Chakraborty in Devakumar, 2006). Za klofencet in sintofen je značilno izrazito selektivno delovanje, vendar je za obe aktivni snovi dokazano rakotvorno delovanje, zaradi česar je področje njune uporabe zelo omejeno. V Evropski skupnosti ima uporabno dovoljenje izdano le aktivna snov sintofen, ki se uporablja kot pripravek CROISOR® 100 (Saaten Union, 2011). Razvoj sodobnih sredstev za kemično hibridizacijo se nadaljuje, predvsem v smeri doseganja boljše selektivnosti gametocidnega delovanja ter manjšega vpliva na okolje. Perspektivna je uporaba N-acilanilinov, analogov aminokislin in strukturnih himer aktivnih snovi s herbicidnim delovanjem (Chakraborty in Devakumar, 2005).

## 5 APLIKACIJA SREDSTVA ZA KEMIČNO HIBRIDIZACIJO

Sredstva za kemično hibridizacijo so najpogosteje v formulaciji, ki omogoča enostavno absorpcijo aktivne snovi, kot je na primer koncentrat za emulzijo (EC formulacija). Delovanje sredstva za kemično hibridizacijo je odvisno od higroskopičnosti aktivne snovi, porabe aktivne snovi na enoto površine, koncentracije aktivne snovi, časa aplikacije, genotipa in zunanjih dejavnikov (temperatura zraka, relativna zračna vlaga, hitrost vetra...) (Blouet in sod., 1999). O učinkovitem delovanju sredstva za kemično hibridizacijo lahko govorimo, ko je v materni komponenti hibridne sorte dosežena vsaj 98 odstotna moška sterilnost (Ur.l. RS št. 91/2003). Za starejše aktivne snovi z gametocidnim delovanjem je značilna

visoka poraba aktivne snovi na enoto površine. Dotlacil in Apltauerova (1978) sta s pripravkom Ethrel (39,6 % 2-kloroetilfosfonske kisline) dosegla 90 odstotno moško sterilnost pri porabi omenjenega pripravka višji od 15 l/ha. Naknadne raziskave so pokazale, da so tako visoki odmerki povezani s fitotoksičnim delovanjem in kopičenjem ostankov v tleh. Za predstavnike druge generacije sredstev za kemično hibridizacijo je značilna višja higroskopičnost, kar omogoča nižjo porabo aktivne snovi na enoto površine. Aktivna snov sintofen aplicirana v obliki pripravka CROISOR® 100 izraža učinkovito delovanje že pri nižjem odmerku od 1 kg/ha (Wong in sod., 1995).



Slika 2: Učinkovita kemična indukcija moške sterilnosti.  
Figure 2: Effective chemical induction of male sterility.

Določanje časa aplikacije sredstva za kemično hibridizacijo je zaradi številnih dejavnikov, ki vplivajo na delovanje aktivne snovi pogosto težavno. Pri aktivnih snoveh, ki so bile razvite za doseganje atrofije pelodnih zrn kot je na primer sinofen, sovpada optimalen čas aplikacije s premejnično fazo razvoja navadne pšenice (Wong in sod., 1995). Pri uporabi pripravka CROISOR® 100, ki vsebuje aktivno snov sintofen se je izkazalo, da je najvišji učinek možno doseči s tretiranjem v času, ko znaša dolžina klasa na glavnem poganjku od 15 do 20 mm. Na čas aplikacije sredstva za kemično hibridizacijo torej vpliva tudi način delovanja aktivne snovi. Sredstva za kemično hibridizacijo se po svojem vplivu na razvoj pelodnih zrnih, delijo v naslednje skupine (Blouet in sod., 1999):

- Med mikrosporogenezo pride do indukcije mejotskih anomalij v maternih celicah mikrospor.
- Med palinogenezo je razvoj mikrospor spremenjen z disfunkcijo celic tapetuma.
- Do delovanja sredstva za kemično hibridizacijo pride pozneje v razvoju. Pelodna zrna se normalno razvijajo vendar se prašnice ne razpočijo, oziroma pelodna zrna niso sposobna kalitve na brazdi pestiča.

Pri aplikaciji sredstva za kemično hibridizacijo je potrebno upoštevati razdaljo, ki jo lahko cvetni prah navadne pšenice prepotuje od oprasovalca do brazde pestiča matrne komponente. Ob upoštevanju te razdalje lahko razmerje v širini pasu očetovske in matrne komponente znaša od 1 : 2 do 1 : 4, pri čemer se kot optimalna širina pasu matrne komponente šteje 4 m (Cisar in Cooper, 2002).

Pri potrjevanju semenskega posevka hibridnih sort, kjer je bila moška sterilnost matrne komponente dosežena s sredstvi za kemično hibridizacijo se lahko upošteva odstotek moške sterilnosti matrne komponente, ki mora dosegati 98 odstotkov ali stopnjo hibridnosti, ki mora dosegati 95 odstotkov. Odstotek moške sterilnosti matrne komponente se določi s formulo  $(S_c - S_f) / S_c \times 100$ , pri čemer je  $S_c$  število semen na klas netretirane rastline,  $S_f$  pa število semen na klas tretirane rastline (Chakraborty in Devakumar, 2005). Stopnja hibridnosti predstavlja delež hibridnosti v semenu, vključno s hibridi prve generacije, ki ne pripadajo hibridni sorti, razen semena iz samooplodnje in semena drugih sort (Ur.l. RS št. 91/2003). Zaradi kratkega obdobja med žetvijo semenskega posevka hibridne sorte in setvijo ozimim se v praksi za potrjevanje semenskega posevka hibridnih sort navadne pšenice pogosteje uporablja

<sup>1</sup> Mladi raziskovalec iz gospodarstva, univ. dipl. inž. kmet., Semenarna Ljubljana, d.d., Slovenija, 1000 Ljubljana, Dolenjska c. 242; E: primoz.titan@kis.si; T. +386 0(1) 280 5261

<sup>2</sup> Predstojnik Oddelka za poljedelstvo in semenarstvo, doc. dr., Kmetijski inštitut Slovenije, Slovenija, 1000 Ljubljana, Hacquetova 17

določanje odstotka moške sterilnosti. Stopnjo hibridnosti se določi po žetvi semenskega posevka v laboratoriju, odstotek moške sterilnosti pa pred žetvijo

semenskega posevka na polju. Poleg tega pri slednji metodi odpadejo stroški zaradi laboratorijske analize (Cisar in Cooper, 2002).

## 6 ZAKLJUČEK

Na prostem trgu, ki velja za vse članice Evropske skupnosti, torej tudi za Republiko Slovenijo se cena pridelka pšenice (*Triticum* spp.) oblikuje na žitnih borzah. Na volatilitnost žitnega trga oziroma nihanje cene pridelka posamezen pridelovalec nima vpliva in je tako prepuščen dogajanju, ki ga z nobeno makro in mikroekonomsko analizo ni mogoče predvideti. Poleg volatilitnosti trga vplivajo na ekonomičnost pridelave pšenice še stroški, ki se pa zaradi rasti cene fosilnih goriv nenehno zvišujejo. Dvig ekonomičnosti pridelave pšenice je možen z znižanjem stroškov, ki pa negativno vpliva na zanesljivost oskrbe s pšenico zaradi stagnacije ali padca produktivnosti. Tako se po obdobju hiperprodukcije v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja ponovno poudarja napredek pri rasti višine povprečnega pridelka zrnja navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.), ki je med vsemi pšenicami za svetovno gospodarstvo najpomembnejša. Možnost za hitrejšo rast višine povprečnega pridelka zrnja navadne pšenice predstavlja izkoriščanje heteroze, ki se najpogosteje povezuje s superiornostjo prve filialne generacije nad parentalno generacijo. Z gospodarskega stališča je še posebej pomembno, da se lahko ta superiornost izraža, kot višji produktivni potencial. Pri navadni pšenici se za izkoriščanje heteroze uporabljajo hibridne sorte. Za pridelavo hibridnega semena je potrebno doseči nadzorovano križanje dveh genetsko

različnih staršev. V primeru navadne pšenice, ki spada med samoprašne rastlinske vrste je nadzorovano križanje dveh genetsko različnih staršev možno doseči z indukcijo moške sterilnosti v materni komponenti hibridne sorte. Za indukcijo moške sterilnosti pri navadni pšenici so bili v preteklosti predlagani pristopi na genetski, kemični in transgeni osnovi. V praksi se je uveljavila uporaba sredstev za kemično hibridizacijo, ki omogoča indukcijo moške sterilnosti v enem koraku. Perspektivnost izkoriščanja heteroze pri navadni pšenici dokazujejo tudi rezultati Kmetijskega inštituta Slovenije, ki so pokazali, da je s francoskimi hibridnimi sortami navadne pšenice možno doseči več, kot do 20 odstotkov višje pridelke v primerjavi s standardnimi linijskimi sortami. Poleg introdukcije hibridnih sort navadne pšenice potekajo na Kmetijskem inštitutu Slovenije tudi raziskave povezane z razvojem okolju prijaznejših sredstev za kemično hibridizacijo, testiranjem kombinacijske sposobnosti starševskih komponent in proučevanjem uporabe predstavnikov heksaploidne skupine pšenic za izboljšanje izkoriščanja heteroze pri navadni pšenici. Pričakovan rezultat raziskovalnega dela je razvoj visoko produktivne dednine prilagojene slovenskim pedoklimatskim razmeram.

## 7 LITERATURA

- Angus B. (2009): Integration into a practical breeding platform. V: Complementary strategies to raise wheat yield potential, El Batan, 10-13 nov. 2009. CIMMYT.
- Bruns, R., Peterson, C.J. (1998): Yield and stability factors associated with hybrid wheat. *Euphytica*, 100: 1-5.
- Blouet, A., Streiff, K., Guckert, A. (1999): Possibilities for hybrid seed production in wheat. V: Heterosis and hybrid seed production in agronomic crops. Basra A.S. (ur.). Binghamton, Food Products Press®: 81-108.
- Borojevic, S. (1992): Principi i metodi oplemenjivanja bilja. Naučna knjiga, Beograd: 384 str.
- Chakraborty, K., Devakumar, C. (2005): iV-acylanilines, herbicide-CHA chimera, and amino acid analogues as novel chemical hybridizing agents for wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 53: 7899-7907.
- Chakraborty, K., Devakumar, C. (2006): Ethyloxanilates as specific male gametocides for wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Breeding*, 125: 441-447.
- Cisar, G., Cooper, D.B. (2002): Hybrid wheat. V: Bread wheat. Curtis B.C., Rajaram S., Gómez Macpherson H. (ur.). Rome, FAO Plant Production and Protection Series.
- Ciha, A.J., Ruminski, P.G. (1991): Specificity of pyridinemonocarboxylates and benzoic acid analogs as chemical hybridizing agents in wheat. *J. Agric. Food Chem.*, 39: 2072-2076.
- Corbellini, M., Perenzin, M., Accerbi, M., Vaccino, P., Borghi, B. (2002): Genetic diversity in bread wheat, as revealed by coefficient of parentage and molecular markers, and its relationship to hybrid performance. *Euphytica*, 123: 273-285.
- Cukadar, B., Ginkel, M. (2001): Yield potential of bread wheat hybrids produced by Genesis®. V: Proceedings of the Warren E. Kronstad. Reeves J., McNab A., Rajaram S. (ur.), Ciudad Obregon, 15. - 17. 3. 2001: 99-101.

- De Vries, A.P. (1971): Flowering biology of wheat particularly in view of hybrid seed production, a review. *Euphytica*, 20: 152-170.
- Dotlacil, L., Apltauerova, M. (1978): Pollen sterility induced by ethrel and its utilization in hybridization of wheat. *Euphytica*, 27: 353-360.
- Drezner, G. (2010): "Tradicijsko održavanje dana polja pšenice i ječma". Osijek, Poljoprivredni institut Osijek (osebni vir, junij 2010).
- Driscoll, C.J. (1972): XYZ system of producing hybrid wheat. *Crop Science*, 12: 516-517.
- FAOSTAT. 2011. Food and agricultural organization of the united nations. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (5. dec. 2010).
- Fehr, W.R. (1987): Principles of cultivar development. Macmillan Publishing Company, Iowa State University: 536 str.
- Grain market report. 2011. International grains council (IGC). <http://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsummary.pdf> (5. dec. 2010).
- Gils, M., Marillonnet, S., Werner, S., Grutzner, R., Giritch, A., Engler, C., Schachschneider, R., Klimyuk, V., Gleba, Y. (2008): A novel hybrid seed system for plants. *Plant Biotechnology Journal*, 6: 226-235.
- Ivančič, A. (2002). Osnove rastlinske hibridizacije. Fakulteta za Kmetijstvo, Maribor: 672 str.
- Johnson, R.R., Brown, C.M. (1978): Use of DPX 3778 to produce hybrid wheat seed. *Crop Science*, 18: 1026-1028.
- Kindred, D.R., Gooding, M.J. (2005): Heterosis for yield and its physiological determinants in wheat. *Euphytica*, 142: 149-159.
- McRae, D.H. (1985): Advances in chemical hybridization. *Plant breed. Review.*, 3: 169-191.
- Ogihara, Y., Kurihara, Y., Futami, K., Tsuji, K., Murai, K. (1999): Photoperiod-sensitive cytoplasmic male sterility in wheat: nuclear-mitochondrial incompatibility results in differential processing of the mitochondrial orf25 gene. *Curr. Genet.*, 36: 354-362.
- Pravilnik o trženju semena žit. Ur.l. RS št. 91/2003.
- Pridelava poljščin (ha, t, t/ha), Slovenija, letno. 2011. Statistični urad Republike Slovenije. <http://www.stat.si/pxweb/Dialog/Saveshow.asp> (2. feb. 2011).
- Schachschneider, R. (1997): Hybridweizen - Stand und Erfahrungen. V: 48. Arbeitstagung der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, Gumpenstein: 27-32.
- Qixin, S., Zhongfu, N., Zhiyong, L., Jianwei, G., Tiecheng, H. (1997): Use of RAPD markers to identify divergent heterotic groups and improve the heterosis of hybrid wheat. V: The genetics and exploitation of heterosis in crops, Mexico city, 17-22 aug. 1997. CIMMYT.
- Qu' est-ce que le ble hybride ?. 2011. Saaten Union. <http://www.saaten-union.fr/index.cfm/portal/8/nav/296.html> (10. feb. 2011).
- Wong, M., Blouet, A., Guckert, A. (1995): Effectiveness of SC2053 as a chemical hybridizing agent for winter wheat. *Plant Growth Regulation*, 16: 243-248.