

## MORFOGENEZA, FIZIOLOGIJA I EKOLOŠKI ČINIOCI RAZVITKA SJEMENA

H. RUKAVINA, I. KOLAK I Z. ŠATOVIĆ

Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za sjemenarstvo

Faculty of Agriculture, University of Zagreb  
Department of Seed Science

### SAŽETAK

U ovom radu je obrađen nastanak, fiziologija, formiranje i razvitak sjemena kao temelja bilinogojstva. Definirano je sjeme i njegove sastavnice, formiranje ploda te faze razvitka sjemena. Također, objašnjena je diferencijacija embria dikotiledona i monokotiledona, apomiksis i poliembrionia, djeljenje i umnožavanje stanica nakon oplodnje, te okolinski čimbenici.

Rad obuhvaća biotehnologiju i nastanak hranjivog staničja sjemena, vivipariju, partenokariju, otpornost i važnost hormona sjemena. U radu je posebno opisana zrioba i deseminacija (raznošenje) sjemena.

Ključne riječi: sjeme, glavne sastavnice sjemena, morfologija, fiziologija, ekologija

### UVOD

Tisućama godina biljke su se kratile iz vodenih površina, mora, jezera i rijeka prema kopnu kako bi ga osvojile i naselile. Evolucijski razvitak biljaka na kopnu osiguran je zahvaljujući prilagodbi korjena i vaskularnog sustava biljaka. Korjenov sustav je vezao biljku za jedno mjesto i osigurao njenu opskrbu hranjivim tvarima i vodom iz tla. Vaskularni sustav biljke osigurao je transport usvojenih hranjiva, vode i minerala iz korjena u stabljiku, list, plod i sjeme, što je omogućilo fotosintezu. Cijena adaptacije biljaka na tlo bila je relativno niska pokretljivost sjemena i biljaka u prostoru. Tako su paprati razvile spore kako bi širile rezultat seksualne reprodukcije. Evolucija je stvorila veliku raznolikost između vrsta biljaka jer su se različite biljke služile različitim oblicima razmnožavanja i širenja sjemena kako bi u borbi za opstanak osigurale kontinuirani razvitak.

Sjeme je osiguralo širenje potomstava i naseljavanje različitih pa i ekstremnih područja (pustinja, haldnih područja i sl.). I mehanizmi nastanka i širenja sjemena tijekom evolucije su značajno usavršeni. Današnja komercijalna proizvodnja sjemena i sadnog materijala nemoguća je bez dobrog poznavanja svih tih mehanizama putem kojih se genetska osnova biljke u punom iznosu prenosi na generacije.

Najveći broj biljnih vrsta u slobodnoj prirodi i poljodjelskoj proizvodnji razmnožava se sjemenom. Samo manji broj biljnih vrsta razmnožava se vegetativno ili sadnicama (koje se često razmnožavaju iz sjemena, npr. podloge). Razmnožavanje u bilinogojstvu započinje sjetvom sjemena kao zadnjeg proizvoda procesa rasta i razvitka biljke. Sjeme je produkt spajanja muške i ženske gamete u oplodenu jajnu stanicu ili zigotu. Ono može nastati iz neoplođenje jajne stanice sjemenog zametka (apomiksis). Sjemeni zametak ima svojstvo totipotencije tj. raspolaže sa svim genetskim osnovama za klijanje, nicanje i razvitak slijedeće generacije biljke.

### ŠTO JE SJEME?

Morfološki gledano sjeme se definira kao oplodeni sjemeni zametak (ovula) što podrazumijeva dvostruku oplodnju tipičnu za većinu kulturnih biljaka i kritosjemenjača. Dvostruku oplodnju karakterizira oplodnja polarne ili sekundarne jezgre iz koje se formira endosperm za oplodnju jajne stanice iz koje se razvija embrio.

U pravilu se sjeme sastoji od embria, endosperma i zaštitnog vanjskog omotača (ovojnice, lupine ili teste). Sjemeni omotač ili dio ovojnice (omotača) ploda tj. perikarp. Kod dikotiledona endosperm je smješten u kotiledonima a kod monokotiledona je to škrobni endosperm, dok je za gimnosperme tkivo haploidnih gametofita.

Plodovi i sjeme različitih vrsta pa i kultivara unutar iste vrste značajno variraju veličinom, izgledom, oblikom, strukturom embria i kakvoćom endosperma. Ovo je važno za identifikaciju genotipa ali i za proces klijanja i planiranje sjemenskog ili merkantilnog usjeva.

Sjeme se može razvijati samostalno na biljci a može biti zaštićeno u plodu (tobolac). U hortikulturi plod može biti ujedno i sjeme kao kod pšenice, salate, lubenice i sl.

Temeljem morfološko-deskriptivnih sastavnica embria i omotača sjemena zeljaste biljke imaju slijedeću podjelu:

1. Sjeme s dominantnim endospermom ili perispermom kao organi zaliha hrane (endospermni) a razvrstavaju se na četiri skupine:

a) Vrste s vrlo malim rudimentarnim embriom koji je mali i slabo razvijen. Ovakav embrio se minimalno povećava kod klijanja npr. kod magnolije. Ovdje spadaju:

- *Ranunculaceae* (*Aquilegia*, *Delphinium*),
- *Papaveraceae* (*Papaver*),
- *Fumariaceae* (*Dicentra*),
- *Araliaceae* (*Fatsia*),
- *Magnoliaceae* (*Magnolia*),
- *Aquifoliaceae* (*Ilex*)

b) Vrste s linearnim embriom gdje je embrio više razvijen nego pod a, a povećava se dalje kod klijanja. Ovdje spadaju:

- *Apiaceae* (*Daucus*),
- *Ericaceae* (*Calluna*, *Rhododendron*),
- *Primulaceae* (*Cyclamen*, *Primula*),
- *Genitjanaceae* (*Gentiana*),
- *Solanaceae* (*Datura*, *Solanum*),
- *Oleaceae* (*Fraxinus*).

c) Vrste s malim embriom koji ispunjava više od polovine sjemena. Ovdje spadaju:

- *Clusiaceae* (*Heuchera*, *Hypericum*, *Sedum*),
- *Begoniaceae* (*Begonia*),
- *Solanaceae* (*Nicotiana*, *Petunia*, *Salpiglossis*),
- *Scrophulariaceae* (*Antirrhinum*, *Linaria*);
- *Campanulaceae* (*Lobelia*)

d) Vrste s perifernim embriom koji okružuje staničje endosperma ili perisperma. Ovdje spada:

- *Polygonaceae* (*Eriogonum*)
- *Chenopodiaceae* (*Kochia*)
- *Amaranthaceae* (*Amarantus*, *Celosia*, *Gompbena*)

2. Sjeme s dominantnim embriom tj. neendospermni, klasificiran prema tipu sjemenske ovojnice. Ovdje spadaju:

a) Vrste s tvrdim omotačem koji ne dopušta ulazak vode u sjeme. Ovdje ubrajamo sljedeće familije:

- *Fabaceae*,
- *Geraniaceae* (*Pelargonium*),
- *Anacardiaceae* (*Rhus*),
- *Rhamnaceae* (*Ceanothus*),
- *Malvaceae* (*Abutilon*, *Althea*),
- *Cuscutaceae* (*Convolvulus*)

b) Vrste s tankom sjemenom ovojnicom (omotačem) i ljepljivim površinskim slojem. Karakteristične familije su:

- *Brassicaceae* (*Arabis*, *Iberis*, *Lobularia*, *Mathiola*),
- *Linaceae* (*Linum*),
- *Violaceae* (*Viola*),
- *Lamiaceae* (*Lavandula*).

c) Vrste koje imaju drvenasti vanjski omotač s unutrašnjim semipermeabilnim slojem. Ovdje spadaju:

- *Rosaceae* (*Potentilla*),
- *Zygophyllaceae* (*Larrea*),
- *Cisteceae* (*Cistus*, *Helianthemum*),
- *Onagraceae* (*Clarkia*, *Oenothera*),
- *Plumbaginaceae* (*Armenia*),
- *Apocynaceae*,
- *Polemoniaceae* (*Plox*),
- *Hydrophyllaceae* (*Nemophila*, *Phacelia*),
- *Boraginaceae* (*Anchusa*),
- *Verbenaceae* (*Lantana*, *Verbena*),
- *Lamiaceae* (*Coleus*, *Moluccella*),
- *Dispaceae* (*Dipsacus*, *Scobiosa*).

d) Vrste s fibralnim vanjskim omotačem koji ima više ili manje semipermeabilni sloj membrane uključujući i ostatak endosperma. Ovdje ubrajamo mnoge predstavnice familije *Asteraceae*.

3. Neklasificirana skupina sjemena

a) Rudimentarni embrio bez hranjivog staničja. Karakteristična familija:

- *Orchidaceae* (Orhideje općenito),

b) Modificirani mali embrio smješten na periferiji sjemna.

Ovdje spadaju:

- *Poaceae* (trave)

c) Pazušni mali embrio okružen staničjem gametofita. U ovu skupinu ubrajaju se: gimnosperme, napose četinari koji mogu imati i do 15 kotiledona (bor-*Pinus*).

## EMBRIO

Po svojoj konstituciji embrio je nova biljka koja je nastala kao rezultat spajanja ženske i muške gamete tijekom oplodnje. Dioba zigote ne počinje dok se ne formira manji dio endosperma. Prva dioba zigote je asimetrična pa njome nastaju dvije stanice. Jedna stanica je blizu mikropile, izdužena je i više istaknuta nego druga terminalna stanica. Veća stanica prolazi seriju mitotskih dioba čega je rezultat višestanično tkivo ili suspensor koji je pričvršćen za proembrio. Suspensor izlučuje hidrolitičke enzime koji razgrađuju endosperm što osigurava usvajanje hranjiva i njihov transfer u embrio koji se razvija.

Terminalna stanica nastala prvom diobom zigote razvija se u embrio. Stadij embria s nekoliko stanica naziva se proembrio. Proembrio sjemena dikotiledona prolazi kroz četiri karakteristična stadija i to: okrugli, srcoliki, torpedo i zreli.

Okrugli stadij karakteriziran je brojnim mitotskim dobama koje proizvode okruglo tijelo s prividno nedefiniranim stanicama.

Srcoliki stadij označen je formiranjem dvaju bočnih višestaničnih produžetaka koje postaju kotiledone.

Torpedni stadij je nazvan tako zbog toga što se embrionska os sjedinjuje s kotiledonima čega je rezultat embrio koji ima oblik torpeda. U ovom stadiju u proembriu se počinju diferencirati vaskularni elementi. Daljnji razvoj vodi k formiranju epikotila kod nekih vrsta (grašak i soja) dok kod drugih epikotil nedostaje.

Monokotiledone također prolaze okrugli embrionski stadij. Međutim, budući da se formira samo jedna kotiledona, ne pokazuju preostale stadije tipične za dikotiledone. Ova jedina kotiledona u trava se zove skutelum, čija je funkcija absorpcija endosperma i transfer njegovih hranjiva u klijajući embrio.

Dikotiledone vrste imaju različite oblike kotiledona. Općenito, kotiledone koje ostaju ispod površine tla (hipogejske) su više masivne od onih koje izlaze na površinu tijekom klijanja (epigejske). Ove kotiledone su često listolike i u nekim slučajevima postaju fotosintetski aktivne.

Isto tako, neke vrste produciraju sjeme koje nije potpuno razvijeno. Tako mrkva producira nezreli embrio koji se razvija tek nakon odvajanja od majčinske biljke.

Obzirom na sadržaj hranjivog staničja sjeme se može podijeliti na tri osnovna tipa: neendospermno, endospermno i neklasificirano.

Endospermni tip sjemena je onaj kod kojeg je rast kotiledona zaustavljen u različitim fazama razvitka tako da embrio ima jednu trećinu do jedne polovine ukupne veličine tijekom zriobe sjemena. Ostatak šupljine sjemena ispunjen je endospermom ili perispermom ovisno o vrsti. Razlikujemo četiri temeljna tipa endospermnog sjemena.

Neendospermni tip sjemena ima brz rast djeljenjem stanica i povećanjem mase embria asimilirajući (usvajajući) i priljubljeni nucelus. Ovo je prečeno širenjem embria kroz dijeljenje stanica na periferiji kotiledona koji asimiliraju endosperm. Kod ovakvog sjemena, endosperm i/ili nucelus je reduciran na ostatak između embria i integumenata tj. sjemenog omotača.

Neklasificirano sjeme uključuje sjeme monokotiledona s modificiranom embrio strukturom i mjestom u sjemenu, sjeme gimnosperma koje koriste haploidno staničje gametofita kao hranidbenog staničja i sjeme orhideja koje ne proizvodi rezervnu hranu.

#### SJEMENI OMOTAČ (ovojnica, lupina, testa)

Sjemeni omotaci sastavljeni su od sjemene ovojnice, ostataka nucelusa i endosperma a ponekad i od ostalih dijelova cvijeta (ploda), Sjemeni se omotač još naziva testa a dobiven je iz integumenata sjemenog zametka. Tijekom razvitka sjemeni omotač postaje modificiran (promjenjiv) tako da u zriobi ima izgled tipičan za familiju, vrstu ili kultivar. Omotač sjemena može biti važan i za identifikaciju kultivara ili genotipa.

Kod većine vrsta sjemeni omotač se u zriobi suši, postaje tvrd i odebljava. Boja sjemenog omotača može biti različita od svih osnovnih boja do mnogobrojnih kombinacija i spektrova što također može biti sastavnica identifikacije.

Neke vrste i kultivari imaju nepropusni omotač sjemena za vodu. Unutrašnji sloj sjemenog omotača je tanak, proziran i membranozan. Ostaci endosperma i nucelusa mogu se naći ugrađeni u unutrašnjost sjemenog omotača čineći specijalan neprekinuti sloj oko embria.

Neke biljne vrste imaju priljubljen dio ploda na sjeme a druge imaju različite ustroje ugrađene na sjemenu radi boljeg i bržeg umnožavanja ili očuvanja vrsta. Sjemeni omotač osigurava mehaničku zaštitu za embrio ili spavajuću biljku. Isto tako sjemeni omotač osigurava brže ili sporije klijanje sjemena što je tipično za vrstu ali i kultivar unutar vrste.

## ENDOSPERM

Razvoj endosperma uvjetovan je spajanjem jedne spermalne jezgre sa 2 polarne jezgre tj. sekundarnom jezgrom iz čega nastaje triploidni endosperm. Ovaj proces općenito se događa kod većine kritosjemenjača, iako se kod njih mogu opaziti i druge razine ploidijske endosperma.

U sjemenu golosjemenjača (npr. *Pinus spp.*) endosperm je haploidan, zbog toga što se razvija isključivo iz majčinskog tkiva bez oplodnje. Nakon dvostuke oplodnje, endosperm započinje svoj razvoj prije embrija. On stječe energiju za svoj rast produkcijom filamemata ili haustorija koje penetriraju u susjedno majčinsko nucelarno tkivo pospješujući apsorpciju hranjiva, kao i izravnom apsorpcijom hranjiva difuzijom iz susjednog tkiva, prvenstveno iz nucelusa.

Endosperm se može razvijati na više načina. Najuobičajeni način je početna dioba jezgre endosperma bez formiranja stanične stijenke. Poslije više dioba jezgre stanična stijenka počinje se formirati na periferiji embrionske vreće i kulminira u kompletno celularnom (staničnom) endospermu.

Poznati primjer ovog tipa formiranja endosperma je stadij vodenog mjehura kod kukuruza te mliječni (nuklearni) i mesni (celularni) endosperm kod kokosovog oraha. Kod nekih vrsta (npr. duhana), stanični endosperm se formira poslije svake diobe jezgre. Druge vrste, kao npr. neke trave i javor imaju samo jezgrin (nuklearni) endosperm.

Vanjski sloj endosperma razvije se u aleuronski sloj koji posjeduje velike količine bjelančevina i ima važnu ulogu u sintezi enzima koji sudjeluju u razgradnji endosperma tijekom klijanja. Aleuron je dobro razvijeno tkivo kod žitarica i salate dok je kod sjemena drugih vrsta manje razvijen.

Kod nekih vrsta razvitak endosperma prestaje rano te nucelus koji je diploidno majčinsko tkivo, postaje ispunjen rezervom hrane. Ovo energetski bogato tkivo služi kao primarni izvor energije tijekom klijanja sjemena kod šećerne repe, špinata i drugih članova porodice *Chenopodiaceae* i *Amaranthaceae*. U vrijeme zriobe sjemena preostalo nucelarno tkivo poznato je kao perisperm.

Sjeme bez ili se minimalnim sadržajem endosperma zove se neendospermno sjeme. Ovo sjeme ima veliki embrio u relaciji sa cjelokupnim sjemenom. Ovo tipizira porodice *Fabaceae*, *Cucurbitaceae* i *Asteraceae*.

Endosperm je tipičan po sadržaju velike količine energetski bogatih tvari kao škrob. U manjem opsegu u sjemenu pojedinih vrsta nađene su skladišne bjelančevine, a u nekim vrstama kao što je npr. vigna, endosperm može sadržavati velike količine ulja. U većini slučajeva u vrijeme zriobe sjemena endosperm degenerira zbog loma staničnih membrana.

## FIZIOLOGIJA RAZVITKA SJEMENA

Rastom i razvitkom embria i endosperma, raste i sjeme te prolazi kroz tri fiziološka stadija.

U prvom stadiju sjeme se razvija do 80% svoje veličine. Ovaj stadij karakteriziran je brojnim staničnim diobama i elongacijom, kad se težina sjemena povećava zbog toga što sjeme prima hranjiva sa majčinske biljke kroz funikulus.

U drugom stadiju funikulus degenerira i sjeme se odvaja od majčinske biljke. Na kraju ovog stadija sjeme ima maksimalnu suhu težinu. Ovo se razdoblje naziva i fiziološka zrioba i to je vrijeme kada je sjeme na svom maksimalnom nivou kakvoće. Treći stadij predstavlja sušenje sjemena ili desikaciju. To je faza kada je sjeme izloženo brojnim agroekološkim čimbenicima. Povećane temperature, oborine ili napad patogena tijekom desikacije smanjuju njegovu kakvoću, klijavost, snagu rasta klice i sl. Sjeme sadrži oko 80% vlage tijekom oplodnje i žanje se sa manje od 10% vlage.

Izvor asimilata za rast sjemena je majčinska biljka. Formiranje škroba pripisuje se mobilizaciji šećera koji se stvaraju tijekom fotosinteze. Kod ječma i pšenice većina ovih ugljikohidrata dolazi iz zastavice dok je kod graška glavno vrelo ovih ugljikohidrata list. Kod uljarica se masne kiseline formiraju kao produkt konverzije šećera kroz seriju kemijskih reakcija. Cjelokupni ugljik koji ispunjava sjeme ne koristi se u sintezi škroba i masnih kiselina. U ovim makromolekulaama pronađeno je oko 70% ukupnog ugljika. Ostatak je izgubljen kroz respiraciju kao CO<sub>2</sub> ili upotrijebljen za rast reproduktivnih struktura.

Sinteza bjelančevina zahtjeva translokaciju asparagina i glutamina kao i drugih aminokiselina iz korijena i listova u sjeme u razvoju.

## OKOLINA I RAZVITAK SJEMENA

Različiti okolinski čimbenici (hranidba, vlaga, temperature, fotoperiod i sl.) imaju izravan utjecaj na formiranje sjemena na uspjeh ili neuspjeh sjemenarstva. S toga je od velike važnosti upoznati ove čimbenike i njihov izravni utjecaj na sjeme kao i međusobne interakcije ovih čimbenika.

### *Mineralna hranidba*

Mineralna hranidba je među najvažnijim okolinskim čimbenicima, a pod izravnom je kontrolom proizvođača sjemena. U većini slučajeva tla koja su deficitarna na izvjesnim elementima uvjetuju niži prirod, dok imaju manji utjecaj na kakvoću sjemena. Ipak, krupnosjemene mahunarke uzgajane na tlima sa deficitom mangana proizvode sjeme s smeđim nekrotičnim površinama na



vanjskoj površini kotiledona. Zemni orašac uzgajan na tlima s nedostatkom kalcija pokazuje nekroze hipokotila u vrijeme klijanja sjemena i pojave klijanaca. U slučaju deficijencije pojedinih elemenata moguća je primjena tri korektivna pristupa:

1. Aplikacija gnojiva izravno u tlo što ima poseban efekat za glavne elemente (N, P i K).
2. Folijarna aplikacija, koja je uspješna u slučaju nedostatka mikroelemenata.
3. Aplikacija izvjesnih elemenata izravno u sjemeni omotač ili paletiranje sjemena.

Vrijeme gnojidbe, također je vrlo važno. Tako npr. aplikacija dušika tijekom nalijevanja sjemena često rezultira kasnijom žetvom te sjemenom sa manjom klijavošću. Ovdje dušik produžuje vegetativni rast, pa je sjeme često nezrelo u vrijeme nastupa prvog mraza (soja).

#### *Vlaga tla*

Vlaga tla ima značajan utjecaj na kakvoću sjemena zbog njene uloge u povećanju topivosti esencijalnih elemenata potrebnih za rast majčinske biljke. Vlaga tla je ovisna o rasporedu i količini oborina, plodnosti tla, njegovoj strukturi i teksturi, insolaciji te utjecaju vjetra. Vlaga tla se može regulirati navodnjavanjem sjemenskih usjeva. Bez ove melioracijske mjere danas je gotovo nezamisliva proizvodnja sjemena hibrida kukuruza u vrućem i suhom kukuruznom pojasu SAD-a (Corn Belt), glavnoj zoni uzgoja svijeta (američki srednji zapad gdje središte sjemenske proizvodnje kukuruza čine države Iowa, Indiana, Nebraska i Illinois). U godinama s prosječnim ili većim oborinama sadržaj dušika tj. bjelančevina u sjemenu je niži, dok je nivo fosfora, kalija, kalcija i magnezija viši. Do ove pojave dolazi zbog denitrifikacije dušika i povećanje topivosti ostalih elemenata.

#### *Oborine*

Oborine uz vlagu tla imaju izravan utjecaj na prirod i kakvoću sjemena. Obilne kiše tijekom cvatnje imaju negativan utjecaj na polinaciju te oplodnju kod sjemenkog luka, suncokreta, raži i drugih biljnih vrsta.

Suhi uvjeti sjemenske proizvodnje povećavaju broj abnormalnih i sterilnih peludnih zrnaca kod većine žitarica što ima za posljedicu smanjeni prirod sjemena, smanjenje mase 1000 sjemenki a ponekad i smanjenje energije klijanja sjemena.

S druge strane, obilne kiše tijekom zadnjeg stadija zriobe sjemena imaju izravan utjecaj na njegovu kakvoću tj. često uzrokuju povećano disanje što rezultira u njegovoj manjoj težini i kakvoći. Ovakvi uvjeti također mogu uzrokovati prokljavanje sjemena u klasu.

### *Temperatura*

Izloženost sjemena različitim temperaturama tijekom dozrijevanja utječe na njegovu kakvoću. Tako se sadržaj ulja kod soje i uljane repice povisuje tijekom posljednjih 5 tjedana dozrijevanja ukoliko su temperature u navedenom razdoblju iznad prosjeka.

Obrnuto, sadržaj ulja u sjemenu suncokreta i lana povisuje se kadu su biljke tijekom dozrijevanja sjemena izložene temperaturama nešto nižim od prosječnih npr. 13-18° C.

Visoke temperature i zakašnjela žetva uslijed vlažnog vremena mogu povisiti nivo slobodnih masnih kiselina u sjemenu nekih uljarica (npr. uljane repice) što smanjuje ukupnu kakvoću sjemena.

Visoke noćne temperature ubrzavaju razvoj sjemena riže osiguravajući povećanje aleuronskog sloja sjemena.

Temperature tijekom razvoja sjemena imaju važnu ulogu u izražavanju njegove dormantnosti. Visoke temperature općenito su povezane s povećanjem tvrdojsjemenosti i dormantnošću kod brojnih kultura. Ipak, sjeme salate američkog kultivara Grand Rapid dozrijevajući pod višim temperaturama ima manji stupanj dormantnosti nego u slučaju dozrijevanja u uvjetima normalnih temperatura. Visoke temperature tijekom ranog stadija dozrijevanja sjemena pšenice reduciraju osjetljivost sjemena na prokljavanje u klasu. Kod nekih kultivara raži (Petkus) i pšenice (Dukat), niske temperature tijekom kasnijeg stadija razvoja sjemena uvjetuju ispunjenje zahtjeva za vernalizacijom koja je nužna za indukciju cvatnje.

### *Svjetlo*

Svjetlo ima izravan utjecaj na stupanj dormantnosti kod nekih biljnih vrsta. Tako npr. neke lobode izložene dugom fotoperiodu produciraju sjeme s debelim omotačem i visokom dormantnošću. Pod istim uvjetima neke *Brassica* vrste zahtjevaju veći intenzitet svjetla za klijanje i nicanje.

Tvrdojsjemenost mahunarki je izravno povezana s fotoperiodom. Tako npr. sjeme dozorilo pod uvjetima dugog dana zadržava se duže u mahuni te razvija deblji i nepropusniji sjemeni omotač.

Tablica 1. Sastav rezervne hrane kod sjemena različitih biljnih vrsta  
 (Prema knjizi: McDonald and Copeland. 1996. Seed Production, Principles and Practices)

Vrsta	Bjelančevine (%)	Masti (%)	NET (%) (glavna komponenta)	Glavni skladišni organ
Kukuruz	11	5	75 (škrob)	endosperm
Slatki kukuruz	12	9	70 (škrob)	endosperm
Zob	13	8	66 (škrob)	endosperm
Pšenica	12	2	75 (škrob)	endosperm
Raž	12	2	76 (škrob)	endosperm
Ječam	12	3	76 (škrob)	endosperm
Bob	23	1	56 (škrob)	kotiledon
Lan	24	36	24 (škrob)	kotiledon
Poljski grašak	24	6	56 (škrob)	kotiledon
Vrtni grašak	25	6	52 (škrob)	kotiledon
Zemni orašac	31	48	12 (škrob)	kotiledon
Soja	37	17	26 (škrob)	kotiledon
Pamuk	39	33	15	kotiledon
Uljana repica	21	48	19 (škrob)	kotiledon
Lubenica	38	48	5	kotiledon
Uljana palma	9	49	28	endosperm
Datulja	6	9	58 (galaktomanan)	endosperm
Ricinus	18	64	trag	endosperm
Bor	35	48	6	megagametofit

## ZAKLJUČAK

Temeljem iznešenog u ovom radu možemo izvesti slijedeće zaključke:

Evolucijski razvitak sjemena osigurao je razmnožavanje i prilagodbu vrsta od kojih su samo neke kultivirane i važne za čovjeka.

Embrio sjemena različitih vrsta može biti mali, veliki ili neklasificirani a po konstituciji embrio predstavlja novu malu spavajuću biljku.

Endosperm sjemena ima izravnu važnost kao rezervno hranjivo za klijanje i početni razvitak klijanca.

Tijekom rasta i razvitka sjemena ono prolazi ti glavna stadija do formiranja novog klijanca.

Sjemeni omotač čuva embrio i endosperm od nepovoljnih vanjskih čimbenika a osigurava klijanje u uvjetima koji su tipični za vrstu.

Okolinski čimbenici kao hranidba, vlaga, temperatura, fotoperiod imaju izravan utjecaj na formiranje sjemena li i na klijanje, nicanje i početni rast nove biljke.

## MORPHOGENESIS, PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF SEED DEVELOPMENT

### SUMMARY

A seed as the main component of agronomy and plant propagation, along with its components has been defined. We have described its appearance, formation and development. In addition, we have explained the endosperm development in angiosperms and gymnosperm seeds, as well as the stages of the embryo formation in monocots and dicots after the fertilisation. Physiology of seed development has also been addressed in the paper. Furthermore, special attention has been given on the environmental effects on seed development, such as mineral nutrition, soil moisture and rainfall, temperature, and light.

Key words: seed, seed main components, morphology, physiology, ecology

### LITERATURA

1. Bawley, J. D. and M. Black 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Press, New York.
2. Chapman, St. R. and L. P. Carter. 1976. Crop Production: Principles and Practices.
3. Copeland, L. O. 1976. Principles of Seed Science and Technology. Burgess Press, Minneapolis.
4. Dubravec, Katarina 1993. Botanika. Zagreb.
5. Heydecker, W. 1972. Seed Ecology. PSU, University Park, Pennsylvania.
6. Hudson, T. H. et al. 1997. Plant Propagation, Principles and Practices. New Jersey.
7. Janick, J., R. W. Schery, F. W. Woods and V. W. Ruttan. 1974. Plant Science: an Introduction to World Crops. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
8. Khan, A. A. 1982. The Physiology and Biochemistry of Seed Development, Dormancy and Germination. New York.
9. Mayber, A. M. The Germination of Seeds. New York.
10. Mahlstede, J. P. and E. S. Haber. 1975. Plant Propagation. John Wiley & Sons, INC, New York.
11. McDonald M. B., and L. O. Copeland. 1996. Seed Production: Principles and Practices. Chapman & Hall, New York.
12. Murray, D. R. 1984. Seed Physiology Development. Academic Press. New York.
13. Roberts, E. H. 1972. Viability of Seeds. New York.
14. Šugar, I. 1990. Botanički leksikon. Zagreb.

**Adresa autora - Author's address:**  
mr. sc. Hrvoje Rukavina  
prof. dr. sc. Ivan Kolak  
dr. sc. Zlatko Šatović  
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za sjemenarstvo  
Svetošimunska 25  
HR - 10 000 Zagreb

**Primljeno – Received:**  
1. 10. 1999.