Istraživanje učinkovitosti fotosustava II tijekom klasanja jarog ječma

Molnar, Tanja

Master's thesis / Diplomski rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:181:807270

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

ODJEL ZA BIOLOGIJU
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA BIOLOGIJU
Diplomski znanstveni studij biologije

Tanja Molnar

ISTRAŽIVANJE UČINKOVITOSTI FOTOSUSTAVA II TIJEKOM KLASANJA JAROG JEČMA

Diplomski rad

Osijek, 2012.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Diplomski rad

Odjel za biologiju

Diplomski znanstveni studij biologije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Biologija

Istraživanje učinkovitosti fotosustava II tijekom klasanja jarog ječma

Tanja Molnar

Rad je izrađen: Zavod za zoologiju, Laboratorij za staničnu i molekularnu biologiju biljaka

Mentor: izv.prof.dr.sc. Vera Cesar

Kratak sažetak diplomskog rada:

Proces fotosinteze započinje apsorpcijom fotona svijetlosti uz pomoć fotosintetskih pigmenata. U listu ta energija može biti iskorištena na tri načina: dio energije ulazi u proces fotosinteze, dio disipira u obliku topline, a dio disipira u obliku fotona crvene svijetlosti što rezultira fluorescencijom klorofila *a*. Istraživanje je rađeno na četiri sorte ječma (*Hordeum vulgare* L.): Astor, Jaran, Scarlett i Fran. Cilj istraživanja bio je istražiti učinkovitost fotosustava II tijekom klasanja ječma te utvrditi postoji li povezanost između koncentracije klorofila *a* i aktivnosti fotosustava II. Porast fluorescencije klorofila *a* odredila sam OJIP-testom. Koncentraciju fotosintetskih pigmenata sam odredila spektrofotometrijski. Najveća učinkovitost fotosustava II zabilježena je na kraju klasanja ječma kada su izmjerene vrijednosti parametara PI i TR_O/ABS bile najveće. Koncentracija klorofila *a* raste tijekom klasanja ječma da bi na kraju klasanja njegova koncentracija bila najveća, dok daljnjim razvojem ona opada što je potvrđeno smanjenjem RC/SC_O.

Broj stranica: 60

Broj slika:23

Broj tablica: 2

Broj literaturnih navoda: 27

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: ječam, fotosustav II, fluorescencija klorofila *a*, fotosintetski pigmenti, prinos

Datum obrane: 29. listopada 2012. godine

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. **Izv.prof. dr.sc. Janja Horvatić**
2. **Izv. prof. dr.sc. Vera Cesar**
3. **Izv. prof. dr.sc. Elizabeta Has-Schön**

Rad je pohranjen u:

U knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek MS thesis

Department of Biology

Graduate study of Biology

Scientific Area: Natural science

Scientific Field: Biology

The study of photosystem II efficiency during spring barley heading

Tanja Molnar

Thisis performed at: Institute of Zoology, Laboratory for cell and molecular biology of plants

Supervizions: izv.prof.dr.sc. Vera Cesar

Short abstract:

The process of photosynthesis is beginning by photon absorption of light mediated with photosynthetic pigments. Leaves are using light energy in three ways: one part goes into the process of photosynthesis, another one dissipates as heat and third one as photons of red light showing the chlorophyll *a* fluorescence. Study was performed on four varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.): Astor, Jaran Scarlett and Fran. The aim of this study was to investigate the efficiency of photosystem II during the barley heading and correlate it with the concentration of chlorophyll *a*. The rise of chlorophyll *a* fluorescence was determined by OJIP-test. The concentration of photosynthetic pigments was measured spectrophotometrically. The highest efficiency of photosystem II was observed at the end of barley heading what was demonstrated with highest values of the parameters PI and TR_O/ABS. Chlorophyll *a* concentration raised during barley heading and at the end of heading it was the highest. It decreased during the on going development what was confirmed by reducing RC/SC_O.

Number of page: 60

Number of figures: 23

Number of tables: 2

Number of reference: 27

Original in: Croatian

Key words: barley, photosystem II, chlorophyll *a* fluorescence, photosynthetic pigments, yield

Date of the thesis defence:

1. **Izv. prof. dr.sc. Janja Horvatić**
2. **Izv. prof. dr.sc. Vera Cesar**
3. **Izv.prof. dr.sc. Elizabeta Has-Schön**

Thesis deposited in: 29.listopada 2012. godine

Library of Department of Biology, J.J. Strossmayer University

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv.prof.dr.sc. Veri Cesar na pomoći, savjetima i strpljenju prilikom odabira teme i izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se i asistentici Lidiji Begović na pomoći tijekom laboratorijskog rada i savjetima.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima, suprugu, malenoj kćerki te prijateljima na velikoj podršci, razumijevanju i ljubavi kojom su me obasipali tijekom studiranja. Hvala Vam od srca!

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

1.1. Fotosinteza u biljaka 2

1.1.1. Organizacija fotosintetskog aparata 2

1.1.2. Građa i funkcija fotosintetskih pigmenata 7

1.1.3. Fluorescencija klorofila *a* 9

1.2. Opća svojstva i osobine vrste *Hordeum vulgare (sativum)* L. 11

1.2.1. Sistematska klasifikacija ječma 11

1.2.2. Podrijetlo ječma i područje uzgoja 12

1.2.3. Biološke osobine ječma 13

1.2.4. Morfološke osobine ječma 14

1.2.5. Razvojne faze ječma 16

1.2.6. Nutritivna vrijednost ječma 18

1.3. Utjecaj svjetla na prinos biljaka 16

1.4. Cilj rada 21

2. MATERIJALI I METODE 22

2.1. Biljni materijal 22

2.2. Uzorkovanje materijala 24

2.3. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije fotosintetskih pigmenata 26

2.4. Mjerenje rasta fluorescencije klorofila *a* OJIP-testom 27

3. REZULTATI 29

3.1. Koncentracija fotosintetskih pigmenata 29

3.2. Porast fluorescencije klorofila *a* određen OJIP-testom 34

3.3. Prinos istraživanih sorti ječma 43

4. RASPRAVA 44

5. ZAKLJUČAK 47

6. LITERATURA 48

1. UVOD

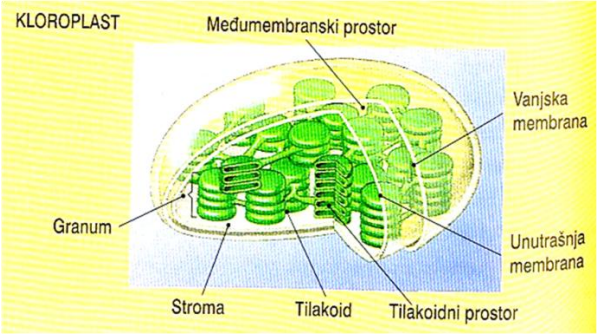
Život je proces za koji je potrebna energija, a na Zemlji postoji zahvaljujući Sunčevoj energiji i organizmima koji je mogu iskorištavati. Biljke, alge i fotosintetizirajuće bakterije prikupljaju i koriste tu energiju za pokretanje sinteze ugljikohidrata. Fotosinteza pretvorbom Sunčeve energije u uporabivi oblik kemijske energije predstavlja izvor praktički svekolike metaboličke energije u biološkim sustavima. Fotosinteza se odvija u fotosintetski aktivnim plastidima, kloroplastima u dvije odvojene faze (Cooper i Hausman, 2004). Svjetlosne reakcije, u kojima se oksidira voda i otpušta kisik, odvijaju se u i na specijaliziranim membranama kloroplasta, tilakoidima. Konačni produkti svjetlosnih reakcija su visoko energizirani spojevi NADPH i ATP. Ova faza fotosinteze zahtijeva apsorpciju fotona svjetlosti pomoću fotosintetskih pigmenata, čime se pokreće prijenos elektrona kroz elektron-transportni lanac od fotosustava II do fotosustava I. Tijekom ovog prijenosa reducira se $NADP^+$ u NADPH i stvara se gradijent protona potreban za sintezu ATP-a. U drugoj fazi fotosinteze, Calvinov ciklus (nazvanom prema znanstveniku Calvinu koji ga je otkrio) NADPH i ATP pokreću sintezu ugljikohidrata od vode i ugljikovog dioksida. Ovaj korak fotosinteze nije ovisan o svjetlosti i naziva se reakcija tame, a događa se u stromi kloroplasta (Stryer, 2006; Pevalek-Kozlina, 2003; Cooper i Hausman, 2004).

Fluorescencija klorofila *a* predstavlja samo mali dio disipacijske energije fotosintetskog aparata. Apsorpcijom svjetlosti molekula klorofila *a* prelazi u pobuđeno stanje, vraćanjem u osnovno stanje ona može emitirati foton svjetlosti (fluorescencija), osloboditi energiju u obliku topline ili prenijeti energiju na susjedne molekule. Mjerenje i analiza fluorescencije klorofila *a* postala je nezamjenjiva metoda u istraživanju fotosinteze. Ona pruža podatke strukturi i funkciji fotosintetskog aparat, efikasnosti fotosustava II te funkciji transportnog lanca elektrona (Strasser i sur., 1995).

1.1. FOTOSINTEZA U BILJAKA

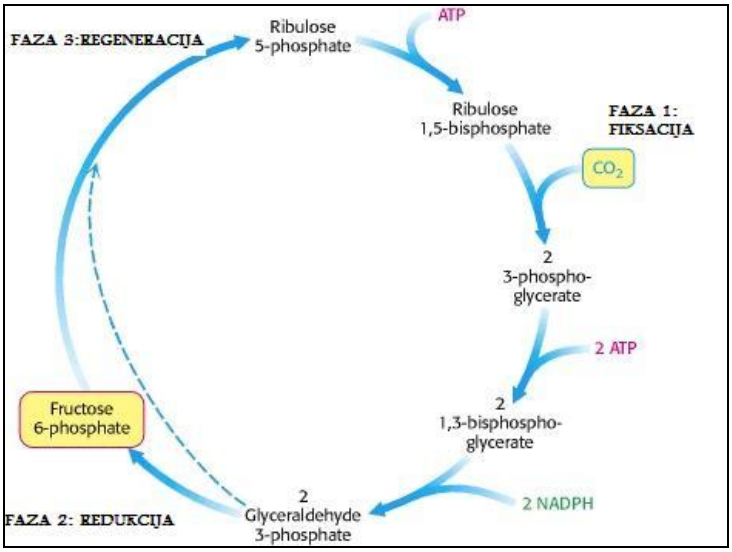
1.1.1. ORGANIZACIJA FOTOSINTETSKOG APARATA

Fotosinteza se u zelenih biljaka odvija u specijaliziranim organelima, kloroplastima (Stryer, 2006). Biljni kloroplasti su plastidi najčešće ovalnog oblika dugačke 5 do 10 μm, njihov broj u stanicama varira, ali uobičajeno je u mezofilnoj stanici prisutno oko 50 kloroplasta. Oblik i broj kloroplasta podliježe promjenama koje su ili razvojno regulirane ili su uvjetovane nekim utjecajem iz okoliša, a mogu biti vrlo drastične (Lepeduš i Cesar, 2010) . Omeđeni su dvostrukom membranom nazvanom ovojnica kloroplasta između kojih je međumembranski prostor (slika 1). Tijekom razvoja, unutrašnjost kloroplasta se popunjava granularnim sadržajem (proteinski matriks), koji se naziva stroma. Tilakoidi su membranske strukture nalik na spljoštene vrećice, koji tijekom razvitka kloroplasta nastaju iz uleknuća unutrašnje membrane. Nakupina takvih struktura čini granum. U jednom granumu može se naći 2-100 grana-tilakoida. Grana tilakoidi su međusobno povezani membranskim strukturama koji se nazivaju stroma-tilakoidima. Tilakoidne membrane odjeljuju tilakoidni prostor od strominoga (Pevalek-Kozlina, 2003). Pretpostavlja se da su lumeni svih tilakoida povezani u jedinstveni tilakoidni prostor (Alberts i sur., 2002). Supramolekularna struktura tilakoidnih membrana vrlo je složena. Različiti proteinski kompleksi, koji su kompleksirani s molekulama fotosintetskih pigmenata (klorofili, feofitini, karotenoidi) uklopljeni su u tilakoidne membrane, gdje obavljaju svoju funkciju-svjetlosne reakcije fotosinteze (Lepeduš i Cesar, 2010). Osim tilakoidnog sustava, u stromi kloroplasta i druge strukture: lipidni globuli (plastoglobuli), 70S ribosomi, molekule RNA i DNA, škrob. Također, u stromi su locirani i različiti enzimi, te manje molekule koje imaju funkciju metabolita ili nastaju kao nusprodukti metabolizma. Mnogi proteini kloroplasta su produkti transkripcije i translacije koja se zbiva unutar samog kloroplasta, a sintetiziraju se na ribosomima kloroplasta. Preostale proteine prisutne u kloroplastima kodira jezgrina DNA, a sintetiziraju se na citoplazmatskim ribosomima i onda unose u kloroplast (Pevalek-Kozlina, 2003).



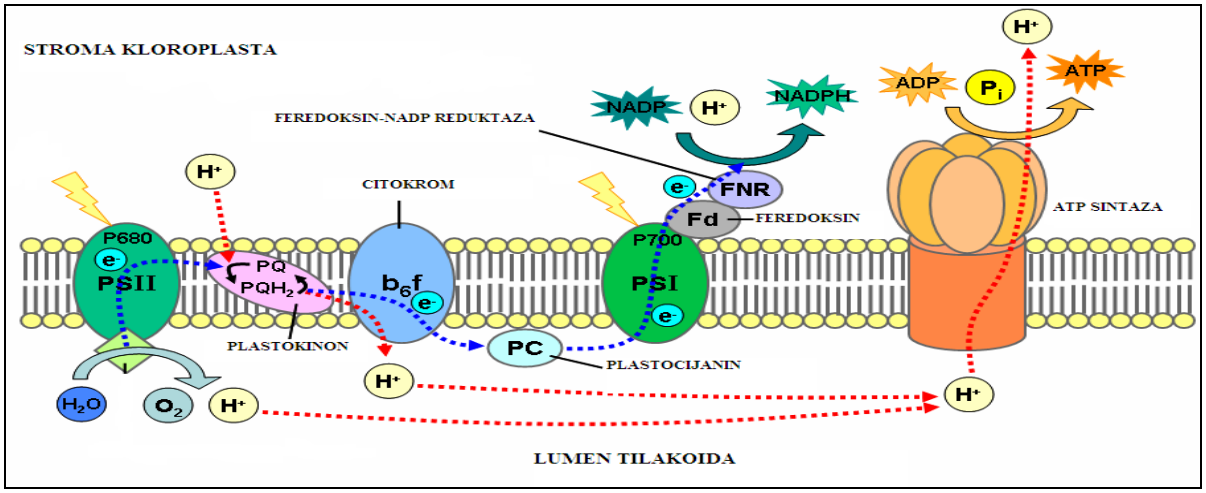
Slika 1. Shematski prikaz građe kloroplasta (prema Pevalek-Kozlina, 2003)

U svjetlosnim reakcijama fotosinteze fotokemijska oksidacija vode do molekularnog kisika povezana je sa stvaranjem reduciranog NADPH i ATP-a. Redukcija CO_2 do ugljikohidrata povezana je s potrošnjom ovih spojeva a događa se u nizu reakcija nazvanih Calvinovim ciklusom. Shematski prikaz Calvinovog ciklusa prikazan je na slici 2. U Calvinov ciklus ugljik ulazi u obliku CO_2, a napušta ga u obliku šećera. Kao izvor energije koriste se ATP, a kao izvor visoko energiziranih elektrona nužnih za redukciju NADPH. Calvinov se ciklus može podijeliti u tri stadija: 1) **fiksacija** molekule CO_2 na molekulu ribuloza-1,5-difosfata i stvaranje dvije molekule 3-fosfoglicerata, 2) **redukcija** karboksilne kiseline do ugljikohidrata u obliku gliceraldehid-3-fosfata i 3) **regeneracija** akceptora CO_2, ribuloza-1,5-difosfata iz gliceraldehid-3-fosfata (Pevalek-Kozlina, 2003).



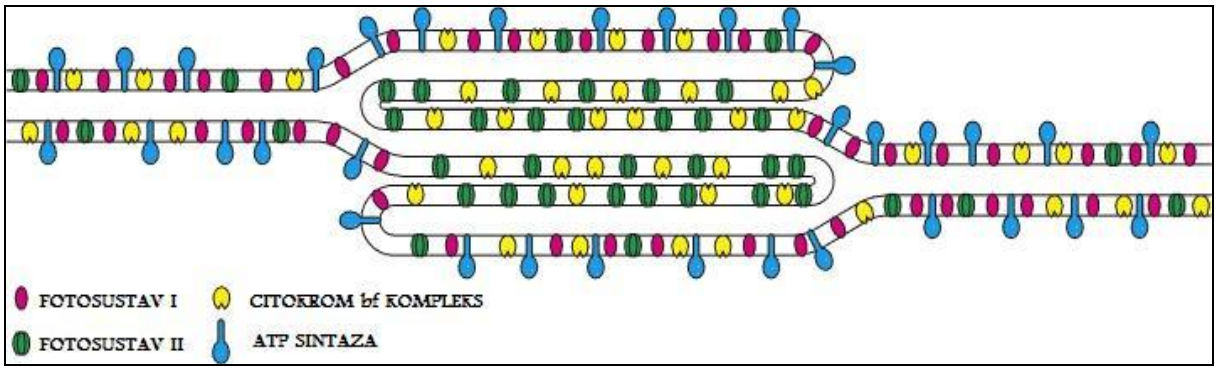
Slika 2. Prikaz Calvinovog ciklusa (prema Stryer, 2006)

Tri proteinska kompleksa tilakoidne membrane sudjeluje u transportu elektrona s vode na $NADP^+$: fotosustav II, citokrom *bf* kompleks i fotosustav I. Prijenos elektrona između njih posredovan je mobilnim nosačima: plastokinon i plastocijanin (slika 3). Tijekom toga prijenosa stvara se gradijent protona preko tilakoidne membrane. Energiju pohranjenu u tom gradijentu iskorištava ATP-sintaza za sintezu ATP-a (Cooper i Hausman, 2004).



Slika 3. Shematski prikaz transportnog lanca elektrona (prema http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Thylakoid_membrane.png, 16.07.2011.)

Proteinski kompleksi nisu nasumično raspoređeni. Fotosustav I i ATP-sintaza nalaze se na stroma tilakoidima i krajnjim dijelovima grana tilakoida. Fotosustav II nalazi se u grana tilakoidima, dok je citokrom *bf* kompleks jednoliko raspoređen između stroma i grana tilakoida, kao i plastokinon i plastocijanin, kao mobilni prenosioci elektrona (slika 4) (Stryer, 2006).

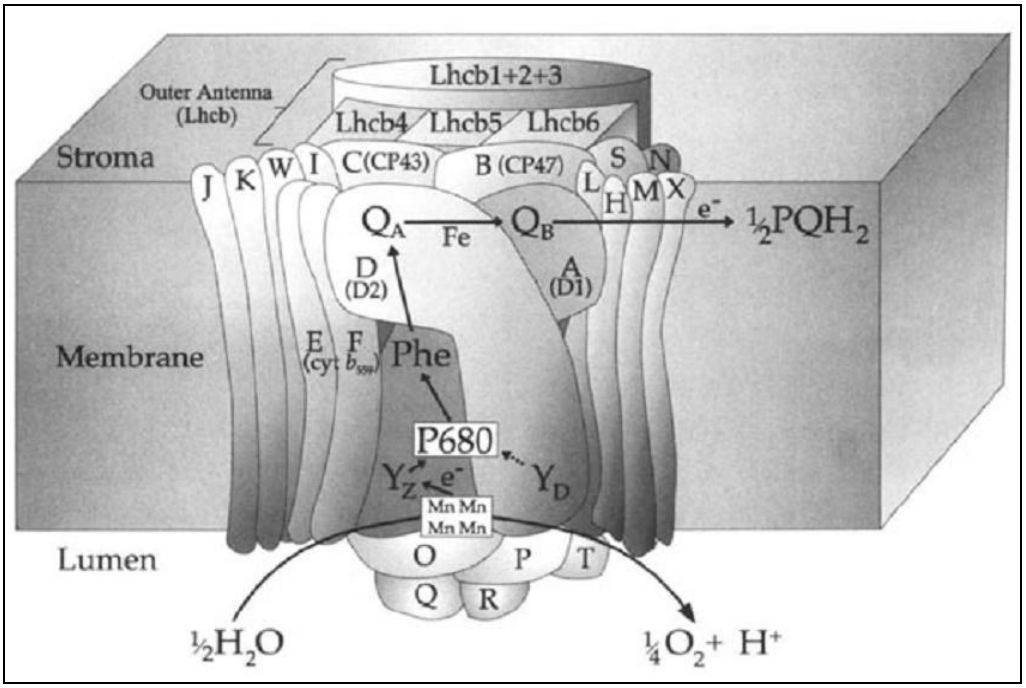


Slika 4. Lokalizacija proteinskih kompleksa transportnog lanca elektrona (prema Stryer, 2006)

Fotosustavi su funkcionalne i strukturne jedinice proteinskog kompleksa koji su uključeni u proces fotosinteze i zajedno provode primarni korak procesa: apsorpcija svjetlosti i prijenos energije i elektrona. Sastoje se od dva dijela: reakcijskog središta i antena kompleksa. Antena kompleks ima ulogu u apsorbiranju fotona svijetlosti kojeg prenose do molekule klorofila smještene u reakcijskom središtu (Pevalek-Kozlina, 2003). Antena kompleksi se sastoje od vanjskog i unutrašnjeg dijela. Vanjski dio čine „light harvesting" kompleksi (LHC) koji na sebe vežu velik broj fotosintetskih pigmenata: klorofil *a*, klorofil *b*, karotenoidi i ksantofili. Njegova je uloga prikupljanje fotona svijetlosti. Unutrašnji dio „core complex" integrirani je dio reakcijskog središta u koji prenosi fotone apsorbiran na vanjskim antenama (Boekema i sur., 1999). Reakcijsko središte čini skupina integriranih membranskih proteina i klorofil koji primaju energiju s kompleksa antena i pretvaranju je u kemijsku energiju. U tilakoidnim membranama klorofila prisutna su dva tipa fotosustava: fotosustav I i fotosustav II (Pevalek-Kozlina, 2003).

Fotosustav II apsorbiranu energiju koristi za redukciju plastokinona, oksidaciju vode i stvaranje transmembranskog gradijenta protona. Zbog toga fotosustav II ima ulogu voda-plastokinon-oksidoreduktaze (Barber i sur., 1997). Građen je od najmanje 25 različitih proteinskih podjedinica gdje je moguće razlikovati tri funkcionalno i strukturno različita dijela: antena kompleks, reakcijsko središte i kompleks koji ima ulogu u ekstrakcije kisika iz vode („oxygen-evolving complex- OEC") (Hankamer i sur., 1997). Unutrašnji dio antena kompleksa građen je od CP 47 i CP 43 proteina koji imaju ulogu u prijenosu elektrona do reakcijskog središta te u formiranju OEC kompleksa. Reakcijsko središte fotosustava II je izgrađeno od D1 i D2 proteina na koji su vezane četiri ili pet molekula klorofila *a*, dvije

molekule feofitina i dvije molekule plastokinona. Plastokinon Q_A vezan je na D2 protein dok je plastokinon Q_B vezan na D1 protein. Na D1 i D2 proteine još su vezani i klaster mangana i citokrom *b*559. Manganski klaster čini jezgru OEC kompleksa te je važan za formiranje funkcionalnog fotosustava II (Boekema i sur., 1999). Na slici 5 je prikazana shematska građa fotosustav II kao i transport elektrona kroz njega.



Slika 5. Shematski prikaz građe fotosustava II te prijenosa elektrona kroz njega (prema Hankamer i sur., 1997)

Tijekom prijenosa elektrona apsorbiranog pomoću antena kompleksa na molekule klorofila smještene u reakcijskom središtu PS II (P680) dolazi do odvajanja naboja. Elektron se s P680 prenosi na feofitin i dalje na vezani plastokinon Q_A . Reducirani Q_A^- prenosi elektrone na slabo vezani Q_B. Q_B može primiti dva elektrona pri čemu nastaje Q_B^{2-} koji se spaja s dva protona i nastaje plastohidrokinon (PQH_2) koji disocira s D1 kao konačni produkt fotosustava II (Barber, 1997). $P680^+$ se reducira pomoću elektrona dobivenih cijepanjem vode pri čemu sudjeluju kationi mangana i tirozinski ostaci D1 proteina (D1-Tyr161). Tijekom oksidacija D1-Tyr161elektroni se prenose na oksidirano reakcijsko središte $ChlP680^+$. D1-Tyr161 se reducira primanjem elektrona od vode preko manganskog klastera. Ova reakcija se treba ponoviti četiri puta ne bi li iz jedne molekule vode nastala jedna molekula kisika, pri tome

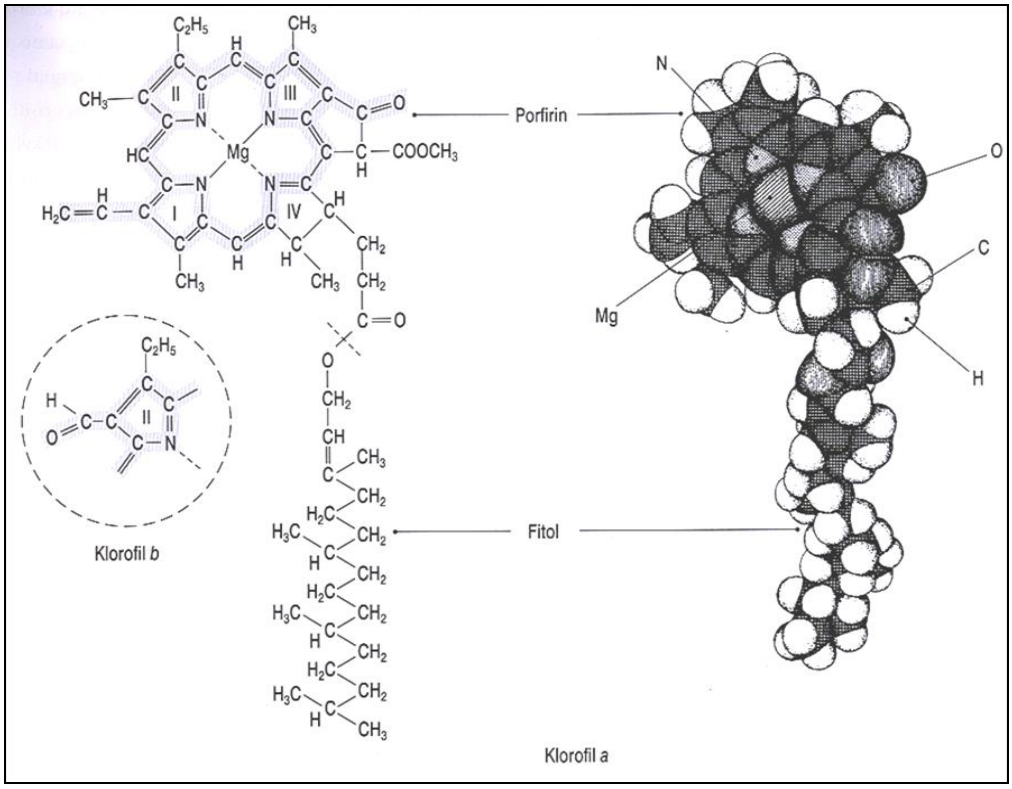
reakcijsko središte PSII primi četiri elektrona i četiri puta se oksidira. Tijekom toga dolazi do nakupljanja pozitivnog naboja na manganskom klasteru te on iz osnovnog S_0 prelazi u oksidacijsko stanje S_{1-4}. Nastankom jedne molekule kisika u lumen tilakoida se otpuštaju četiri protona koji sudjeluju u stvaranju gradijenta protona potrebnog za sintezu ATP-a (Hankamer i sur., 1997).

1.1.2. GRAĐA I FUNKCIJA FOTOSINTETSKIH PIGMENATA

Fotosintetski pigmenti hvataju Sunčevu energiju apsorpcijom fotona. Svjetlo apsorbirano tim pigmentima izaziva pokretanje elektrona iz normalne molekularne orbitale u orbitalu s više energije pretvarajući na taj način Sunčevu energiju u kemijsku (Cooper i Hausman, 2004). Djelotvoran spektar za fotosintezu je u području crvene i plave svjetlosti što upućuje na zaključak da u fotosintezi sudjeluju zeleni pigmenti klorofili koji apsorbiraju u tom području. Svjetlost može u kloroplastu obaviti rad samo ako je apsorbirana. Od raznih klorofila u fotosintezi najznačajniji je klorofil *a*, koji se jedini nalazi u reakcijskim središtima fotosustava I i II te ima ključnu ulogu u fotosintetskom prijenosu elektrona, odnosno pretvaranju svjetlosne u kemijsku energiju. Ulogu pomoćnih fotosintetskih pigmenata imaju karotenoidi i klorofil *b* koji se nalaze u antena kompleksu gdje apsorbiraju fotone i prenose energiju do klorofila *a* u reakcijskim središtu. Osim ove uloge karotenoidi imaju ulogu i u zaštiti klorofila od fotooksidacije (Pevalek-Kozlina, 2003).

Molekula klorofila je supstituirani tetrapirol (Stryer, 2006). Osnovna struktura klorofila je porfirinski sustav koji čine četiri pirolska prstena međusobno povezana metilnim skupinama u prstenasti sustav. Prstenasta struktura sadrži labavo vezane elektrone i to je dio molekule odgovoran za prijenos elektrona i redoks reakcije. Za boju molekule odgovoran je raspored dvostrukih veza. U središtu porfirinskog prstena nalazi se atom magnezija koji je koordiniran sa četiri atoma dušika pirolskih prstena. (Pevalek-Kozlina, 2003). Prema tome, klorofila je magnezij-porfirin (Stryer, 2006). Za pirolski prsten br.IV esterskom vezom vezan je alkohol fitol-terpenoid koji se sastoji od četiri izoprenske jedinice sto ga čini vrlo hidrofobnim i upravo je on odgovoran za topljivost kloroplasta u lipidima. Tim repom se klorofil pričvršćuje za proteine u membrani. Za razliku od fitolnog repa, porfirinska jezgra je hidrofilna. Pojedini klorofili međusobno se razlikuju po ostalim supstituentima: klorofila *a* na drugom pirolnom prstenu ima vezanu metilnu skupinu, a klorofil *b* aldehidnu skupinu. Strukturna građa klorofila *a* i klorofila *b* prikazana je na slici 6. U biljkama i nekim algama osim klorofila *a*

prisutan je i klorofil *b*, i to u koncentracijama koja može iznositi i do 1/3 konc.klorofila *a*. Klorofil *a* je plavozeleni pigment, dok je klorofil *b* žutozelene boje (Pevalek-Kozlina, 2003).

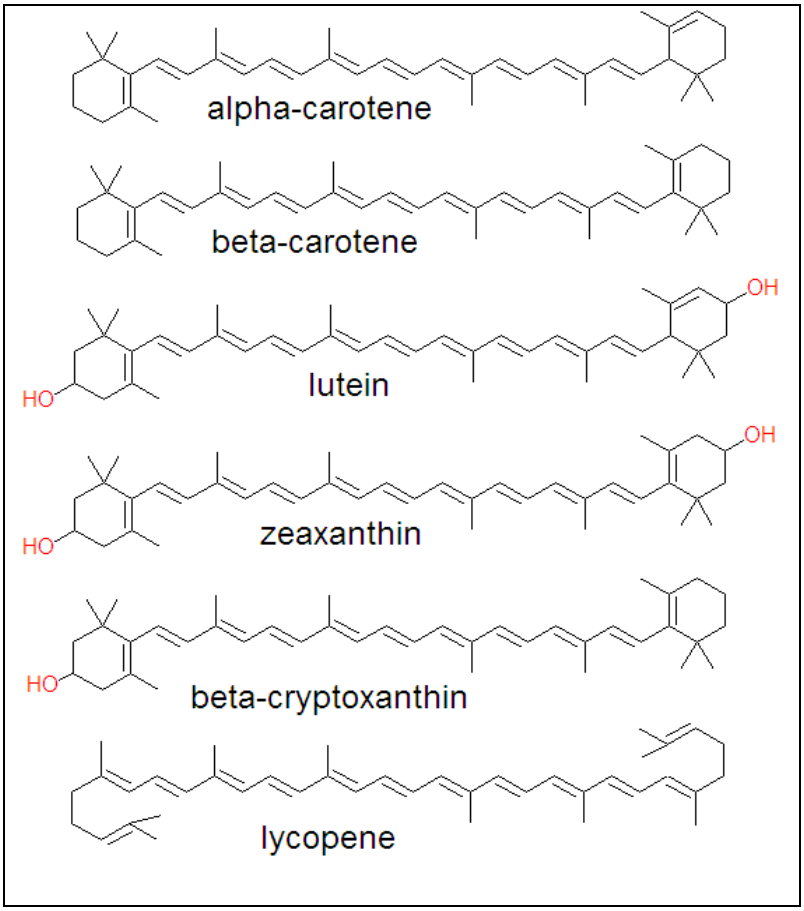


Slika 6. Strukturna građa klorofila *a* i *b* (prema Pevalek-Kozlina, 2003)

Karotenoidi pripadaju skupini terpenoida. Nastali su spajanjem jednostavnih izoprenskih jedinica. Zbog brojnih konjugiranih dvostrukih veza, obojeni su žuto, narančasto ili crveno. Razlikujemo dvije skupine: karotene (čisti ugljikovodici) i ksantofile (osim ugljika i vodika, sadrže još i kisik) (Lepeduš i Cesar, 2010). Karotenoidi se nalaze vezani s proteinima reakcijskih središta i antena kompleksa. Imaju ulogu pomoćnih fotosintetskih pigmenata. Svjetlosna energija koju apsorbiraju karotenoidi brzo se prenosi na klorofile ali je učinkovitost tog prijenosa obično niža nego kod prijenosa energije od klorofila na klorofil. U većini biljnih vrsta, karotenoidi su slabo djelotvorni prenosioci energije (Pevalek-Kozlina, 2003).

Karotenoidi također imaju zaštitnu ulogu. Strukturne formule nekih karotenoida prikazane su na slici 7. Velike količine energije koju apsorbiraju pigmenti mogu oštetiti fotosintetske

membrane, ako se ta energija ne pohrani fotokemijski. U uvjetima jakog osvjetljenja molekule klorofila prelaze u pobuđeno tripletno stanje koje omogućava nastajanje singletnog kisika. Singletni kisik je jako reaktivan i može oštetiti dijelove fotosintetskog aparata ili druge stanične dijelove. Pobuđeno stanje karotenoida nema dovoljno energije za nastajanje singletnog kisika i brzo se vraća u osnovno stanje, otpuštajući višak energije u obliku topline (Pevalek-Kozlina, 2003).



Slika 7. Strukturne formule karotenoida

(prema http://www.plantstress.com/articles/Oxidative%20Stress_files/IMG00029.gif, 20.07.2011.)

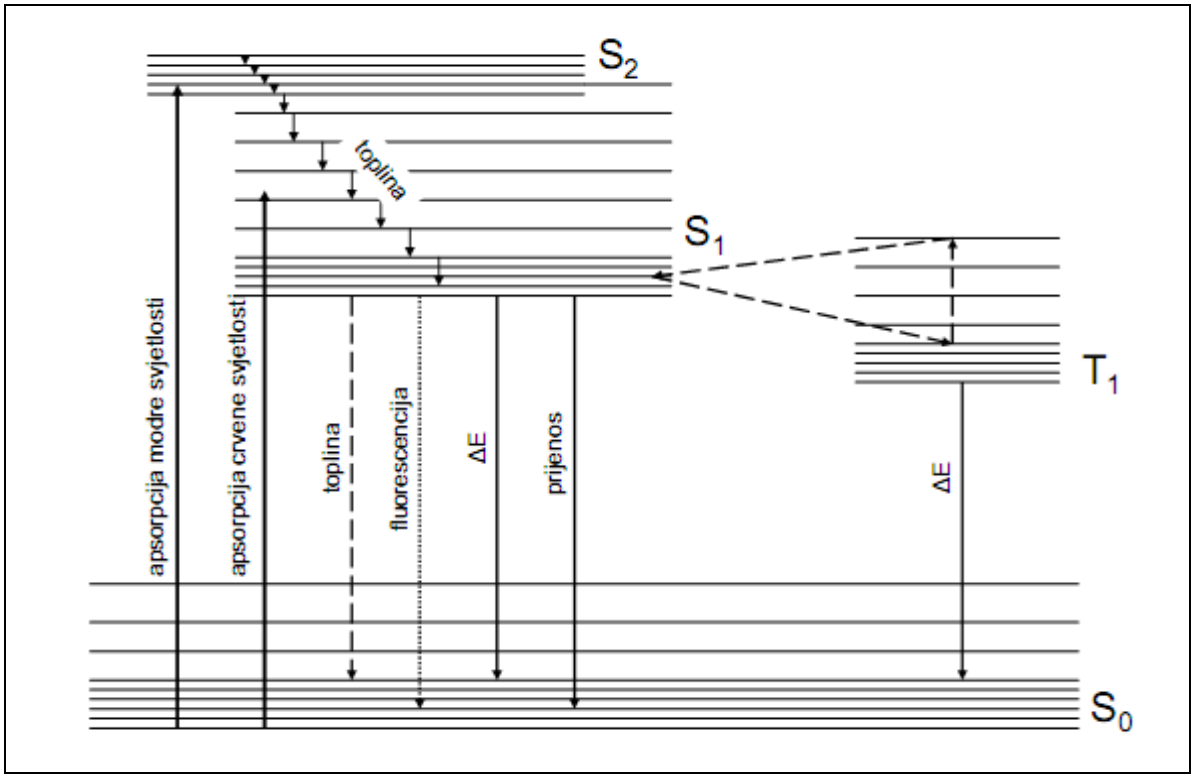
1.1.3. FLUORESCENCIJA KLOROFILA *a*

Elektroni se u atomu kreću po točno određenim putanjama koje su karakterizirane određenim sadržajem energije, no također mogu prelaziti iz jedne energetske razine u drugu apsorpcijom ili emisijom energije. Apsorpcija svjetlosti plavog ili crvenog dijela spektra uzrokuje prijelaz molekule klorofila u pobuđeno stanje. Iz molekule klorofila izbacuje se elektron bogat energijom i ona postaje ionizirana. Taj elektron mogu prihvatiti određeni akceptori ili se on putem nekoliko redoks sustava može vratiti u molekulu klorofila. Zbog velikog broja konjugiranih dvostrukih veza u molekuli klorofila ima mnogo gibljivih π-elektrona koji mogu biti dodijeljeni pojedinim atomima ili vezama. Neki pigmenti nakon apsorpcije fotona emitiraju energiju i toplinu. Elektron se podiže u stanje više energije, a pri povratku u početno stanje otpušta se foton. Ta se pojava naziva fluorescencija. Fluorescentna svjetlost uvijek ima veću valnu duljinu i manju energiju od svijetlosti koja ju je izazvala (Pevalek-Kozlina, 2003).

U kloroplastima zelenih listova molekule fotosintetskih pigmenata su raspoređene u dva fotosustava, fotosustav I i fotosustav II. Antenske molekule klorofila apsorbiraju svjetlosnu energiju i prenose je do reakcijskog središta gdje u specijaliziranoj molekuli klorofila a dolazi do separacije naboja, tj. predaje elektrona akceptorskoj molekuli. U optimalnim okolišnim uvjetima se najveći dio apsorbirane energije (oko 95%) koristi za reakcije fotosinteze, ostatak energije gubi se u obliku topline i svjetlosti, pri čemu dolazi do fluorescencije klorofila. Tri spomenuta načina oslobađanja energije su u međusobnoj kompeticiji što znači da povećanje učinkovitosti jednoga od njih dovodi do smanjenja druga dva (Maxwell i Johnson, 2000).

Pri apsorpciji svjetlosti u molekuli klorofila neki od π elektrona prelaze iz osnovnog u pobuđeno stanje (slika 8). Osnovno stanje klorofila je singletno stanje (S_0). Apsorpcijom crvene i modre svjetlosti delokalizirani vanjski elektroni (π elektroni) se podižu u više orbitale, tj. na pobuđeno singletno (S_1 i S_2) ili tripletno stanje. Apsorpcija modre svijetlosti rezultira stanjem S_2 koje je toliko nestabilno da se energija oslobođena tijekom brzog prijelaza S_2 u S_1 u potpunosti izgubi u obliku topline. Apsorpcija crvene svijetlosti rezultira stanjem S_1. Prijelaz S_1 u S_0 je sporiji pa su moguće i druge pretvorbe energije: emisija fotona svjetlosti (fluorescencija), prijenos energije na susjedne molekule i oslobađanje elektrona bogatog energijom. Tripletno stanje klorofila nema značenje za fotosintetsku pretvorbu svjetlosne energije u kemijsku, ali može dovesti do stvaranja singletnog kisika. To sprječavaju ksantofili

koji omogućuju relaksaciju tripletnog stanja klorofila, a zatim rasipaju eksitacijsku energiju u obliku topline (Strasser i sur., 1995).



Slika 8. Prikaz energetskih razina i prijelaza elektrona u molekuli klorofila a (prema Strasser i sur., 1995)

Mjerenje i analiza fluorescencije klorofila *a* postala je nezamjenjiva metoda u istraživanju fotosinteze. Fotosintetski organizmi mijenjaju svoje stanje kako bi se prilagodili promjenama u okolišu, a ta se promjena stanja odražava i na promjenu fluorescencije klorofila *a*. Ona pruža podatke strukturi i funkciji fotosintetskog aparat, efikasnosti fotosustava II te funkciji transportnog lanca elektrona (Strasser i sur., 1995).

1.2. OPĆA SVOJSTVA I OSOBINE VRSTE *Hordeum vulgare (sativum)* L.

1.2.1. SISTEMATSKA KLASIFIKACIJA JEČMA

Nadcarstvo: *Eucariota*

Carstvo: *Plantae*

Podcarstvo: *Tracheobionta*

Odjeljak: *Angiospermae*

Razred: *Monocotyledonae*

Podrazred: *Commelinidae*

Red: *Cyperales*

Porodica: *Poacea* –trave

Rod: *Hordeum* - ječam

Vrsta: *Hordeum vulgare* L. *(sativum)*– obični ječam



Slika 9. Shematski prikaz građe ječma, *Hordeum vulgare (sativum)* L (prema http://luirig.altervista.org/cpm/albums/thome/thome00239-hordeum-vulgare.jpg, 28.07.2011.)

U rodu *Hordeum* ima samo jedna vrsta koja se s obzirom na broj plodnih klasića na svakom članku klasnog vretena dijeli na tri podvrste:

1. *Hordeum vulgare ssp. vulgare (hexastichum)* – višeredni ječam – ima sva tri klasića plodna
2. *Hordeum vulgare ssp. distichum* – dvoredni ječam – samo je centralni klasić plodan dok su bočni sterilni
3. *Hordeum vulgare ssp. intermedium* – prijelazni ječam (sa 1-3 sterilna klasića) (Jevtić, 1986; Gagro, 1997).

1.2.2. PODRIJETLO JEČMA I PODRUČJE UZGOJA

Uzgoj ječma poznat je još od prije 7000 godina u Egiptu, a u nekim drugim zemljama (Kina, Indija) uspijevao je prije oko 5000 godina. Ječam se smatra jednom od najstarijih žitarica u Europi. Sijao se još u kameno doba, kultivirao u starom Egiptu, Mezopotamiji i području europskih sojenica. Sumerani su uz uobičajenu primjenu u kuhinji, tu žitaricu koristili kao mjeru i novac, a Vedski tekstovi spominju ječam i rižu kao dva besmrtna nebeska sina. U svijetu se ječam proizvodi na oko 80 milijuna hektara, s prosječnim prirodom od oko 2,3 tone po hektaru. Površine zasijane ječmom u svijetu su u porastu.

Višeredni ječmovi potječu iz Istočne Azije, a iz Etiopije i Eritreje potiču različite forme i varijeteti jarog ječma. Iz Sirije i Palestine potječe dvoredni divlji ječam. Pretpostavlja se da ječam potječe od divlje vrste *Hordeum spontaneum.* Među žitaricama ječam ima najveći areal rasprostranjenja, od 10 do 70^0 sjeverne širine, što se objašnjava visokim polimorfizmom i otpornošću na nepovoljne uvjete uzgoja. Postoje ozime i jare forme s kraćom vegetacijom. Uspijeva na velikim nadmorskim visinama, na više od 4000 metara (Himalaja, Tibet, Južna Amerika) (Gagro, 1997).

U Hrvatskoj se u zadnjih dvadesetak godina sijalo puno više ječma nego danas. Proizvodnja ječma, u proizvodnom području Republike Hrvatske izložena je nizu stresnih činitelja koji značajno utječu na urod i kakvoću zrna ječma. U našim uvjetima najčešći biotički i abiotički stresovi uzrokovani su bolestima, kiselim tlima, hladnoćom, sušom, čestim neuobičajenim temperaturama i količinama oborina u vrijeme nicanja, rasta i nalijevanja zrna, visokim temperaturama tijekom svibnja i lipnja koje utječu na intenzitet i trajanje nalijevanja zrna, te mogu izazvati prisilnu zriobu (Lalić i sur., 2007).

1.2.3. BIOLOŠLE OSOBINE JEČMA

Uzimajući u obzir vrijeme sjetve razlikujemo ozime i jare forme ječma. Ozime forme ječma siju se krajem rujna i u prvoj polovici listopada. Minimalna temperatura klijanja iznosi 1 - 2 °C, a optimalna oko 20 °C. Optimalna temperatura rasta je 15 °C, a za klasanje, cvatnju, oplodnju i zriobu od 23 – 24 °C. Ozime forme ječma mogu, bez štetnih posljedica, izdržati temperature do -12°C. Jare forme ječma siju se krajem siječnja i do polovice ožujka. U planinskim područjima sjetva može trajati i do polovice travnja. Kao i kod ozimih formi, minimalna temperatura klijanja je 1 – 2 °C, a optimalna od 15 – 22 °C. Optimalna temperatura za intenzivnu vegetaciju, klasanje, cvatnju, oplodnju i zriobu je od 20 – 25 °C. Jare forme mogu podnijeti kratkotrajne mrazove i temperature do -8 °C. Vegetacijsko razdoblje jarog ječma traje 55 do 130 dana, a ozimog 240 do 260 dana. Ozime i jare sorte razlikuju se također i po toplinskom stadiju. Toplinski stadij je stadij u razvoju ječma u kojem biljka prolazi kroz određeno razdoblje niskih temperatura kako bi mogla prijeći iz vegetativne u generativnu fazu. Kod ozimih sorti, stadij jarovizacije odvija se pri temperaturama od 0 do 10 ºC u trajanju od 10 do mjesec dana. Jare sorte toplinski stadij prolaze pri temperaturama od preko 10 ºC tijekom 7 – 14 dana (Gagro, 1997).

Pod utjecajem različitih uvjeta uzgoja, formirana su tri različita ekološka tipa ječma: sjeverni, srednjeeuropski i južni. Svaki od njih se dolikuje svojim biološkim osobinama i zahtjevima prema klimatskim faktorima i uvjetima uzgoja (Todorović i sur., 2003).

Sjeverni tip ječma (jare forme): odlikuje se kratkom vegetacijom, 60-100 dana. Nemaju velike zahtjeve prema toplini, ali prema vlazi ima, ne podnosi sušu i visoke temperature. Sadrži maje proteina a više škroba, zato se prvenstveno koristi za proizvodnju piva i ljudsku prehranu, a dijelom i za prehranu stoke (Todorović i sur., 2003).

Srednji ili srednjeeuropski tip ječma (jare i ozime forme):za ovaj tip ječma najbolja je umjereno topla klima, bez naglih kolebanja i sa ravnomjernim rasporedom padalina (kratka vegetacijska sezona s kišovitim ljetima) (Todorović i sur., 2003).

Južni tip ječma (ozime forme): ovaj tip ječma odlikuje se po tome što može izdržati niske temperature i sušu bolje od srednjeeuropskog. Ovaj tip ječma je manje osjetljiv na visoke temperature, sušu i „toplinski udar“ (Todorović i sur., 2003) .

1.2.4. MORFOLOŠKE OSOBINE JEČMA

Korijen ječma se sastoji od primarnog i sekundarnog korijena i žiličast je. Primarni korijen se sastoji od 4 do 8 korjenčića. Na korijenu se oblikuju fine korijenove dlačice koje upijaju hranu i vodu, dok primarni korijen učvršćuje sjemenku i mladu biljčicu za tlo. Ječam se uz pomoć ovog korijena hrani dok se ne razvije sekundarni korijenov sustav kada njegova važnost postaje neznatna. Sekundarni korijenov sustav je zapravo glavni korijenov sustav u žitarica, no kod ječma je on slabije razvijen i ima malu moć upijanja. Zbog toga je potrebno osigurati da površina na kojima se uzgaja bude izbalansirana odnosno da sadrži dosta hranjivih tvari (Gagro, 1997).

Stabljika ječma sastoji se od 5 do 7 koljenaca (nodija) i međukoljenaca (internodija), šuplja je, s manje građevnih elemenata, pa je zato nježnija i sklonija polijeganju. U visinu može narasti i do 1,5 m. Suvremeni sortiment ima stabljiku nižu od metra, pa je otporniji na polijeganje i pogodniji je za gušću sjetvu i jaču hranidbu, a to omogućuje povećanje prinosa. Ječam busa bolje od svih pravih žitarica pa može razviti i do 5 sekundarnih stabljika. Boja stabljike tijekom vegetacije je zelena dok u punoj zrelosti stabljika poprima slamasto-žutu boju (Gagro, 1997).

List ječma građen je kao i list ostalih žitarica. Sastoji se od lisnog rukavca i plojke. Lisni rukavac obuhvaća internodije poput cijevi, rubovi mu nisu srasli nego najčešće prelaze jedan preko drugoga i tako se prilagođuju rastu stabljike. Rukavac raste na koljencu lista, stvarajući prstenasto zadebljanje. Zadaća mu je da učvršćuje stabljiku, da štiti od mehaničkih povreda i drugih nepovoljnih utjecaja. Lisna je plojka izdužena, uža, lancetasta, na vrhu zašiljena. Ona je glavni organ za fotosintetsku aktivnost biljke. Listovi su na stabljici spiralno postavljeni da bi što bolje iskoristili sunčevu svijetlost. Lisne plojke gornjih listova dulje su i šire od plojki donjih listova. Gornji listovi mogu najbolje iskoristiti svijetlo, pa je posebno važno sačuvati njihovu aktivnost do kraja vegetacije. Tijekom klasanja ječma listovi od baze do vrha stabljike prolaze fazu senescencije. Posljednji list koji odlazi u senescenciju je zastavičar. Na prijelazu lisnog rukavca u lisnu plojku ječam ima jako razvijene (srpaste) roščiće (auricole), koji obuhvaćaju stabljiku i prelaze jedan preko drugoga, pa se po tome svojstvu ječam znatno razlikuje od drugih žitarica (Gagro, 1997).

Klas ječma građen je od koljenastog klasnog vretena i klasića sa usjecima, u kojima su smješteni klasići. Za razliku od ostalih žitarica u usjeku klasnog vretena može biti jedan, dva

ili tri klasića od kojih plodan može biti samo jedan, sva tri ili jedan do tri, na čemu se i zasniva sistematika ječma. Klasići su postavljeni jedan iznad drugoga, pa tako oblikuju red: kod višerednog (šesterorednog) ječma razvijena su sva tri klasića pa sa svake strane klasa postoje tri reda, odnosno ukupno šest redova (zrna), dok je kod dvorednog ječma potpuno razvijen samo jedan klasić sa svake strane klasa. Osje je kod većine sorti ječma dugo i karakteristično nazubljeno, dok neki varijeteti imaju umjesto osja troroge listaste izrasline (furke). Kod dvorednog ječma, bočni neplodni klasići nemaju osje (Gagro, 1997).

Plod je ječma zrno (karyopis). Sastoji se od omotača (ljuske), endosperma i klice. Pljevice su srasle sa zrnom koje je zaobljeno s leđne strane, s izraženom brazdicom, ali bez bradice. Može biti žute, zelene, sive i ljubičaste boje. Plod ječma sadrži 10-15% bjelančevina, 70-75% ugljikohidrata, 4-5% celuloze, oko 2,5% ulja i 2,5-3% mineralnih tvari. Ječam je samooplodan, zatvorenog cvijeta i oplodnja se odvija prije nego klas izađe iz zadnjeg rukavca lista (Gagro, 1997).

1.2.5. RAZVOJNE FAZE JEČMA

Tijekom procesa rasta ječam prolazi kroz faze klijanja, nicanja, busanja, vlatanja, klasanja, cvatnje, oplodnje i zriobe. Dok raste, ječam povećava svoje biljne organe te se morfološki izrađuje.

1. Klijanje

U određenim uvjetima sjeme iz stadija mirovanja prelazi u aktivno stanje. Sjeme sposobno za klijanje upija određenu količinu topline te uz prisutnost određene količine topline i zraka (kisika) počinje klijati. Bez ta tri čimbenika proces klijanja se neće dogoditi. U sjemenu se nalazi rezervna hrana (škrob, masti, bjelančevine) koja se biokemijskim procesima razrađuje, i na taj način biljka sebi osigurava potrebnu energiju, a novonastale proizvode koristi za sintezu novih i izgradnju biljnih tkiva. U klijanju se iz klice razvije klicin korijenak a iz njega ječam razvije 4 do 8 primarnih korjenčića. Iz klicinih pupoljaka razvije se stabljika (Gagro, 1997).

2. Nicanje

Klicin pupoljak je zaštićen klicinim listićem koji je na vrhu zašiljen i odlikuje se povećanom čvrstoćom što mu omogućuje da štiti nježno tkivo listova i omogućuje rast klice kroz zemlju do površine. Kad klica izbije na površinu, klicin se listić otvara i pojavljuje se prvi listić, što označavamo nicanjem. Usporedno s razvojem listova, razvija se sekundarni korijenov sustav iz nodija koji je najbliži površini tla. Kada se pojavi prvi listić, počinje asimilacija, dakle biljka počinje samostalno živjeti. Uz prisutnost topline i svjetlosti stvara fotosintetske proizvode koje ugrađuje u organe koji nastaju i razvijaju se (Gagro, 1997).

3. Busanje

Ječam se, kao i ostale žitarice, odlikuje sposobnošću da iz pupova koji se nalaze u pazušcima listova odnosno u čvoru busanja glavne stabljike razvije manji ili veći broj izdanaka, odnosno novih stabljika. To svojstvo nazivamo busanjem. Iz čvora busanja se ne razvijaju samo nove stabljike već i sekundarni korijenov sustav, stoga on ima vrlo važnu ulogu u životu biljke. Busanje je najintenzivnije pri temperaturama od 10 – 15 °C. Busanje kod jarog ječma nastupa 18 – 20 dana poslije nicanja, a kod ozimog kada izbije treći list (tri

tjedna nakon nicanja). U vrijeme busanja razvijaju se vegetativni i generativni organi biljke (osim cvijeta) (Gagro, 1997).

4.Vlatanje

Nakon busanja odvija se porast stabljike-vlati, što nazivamo vlatanjem i traje 35-45 dana. Vlatanje počinje kada se prvi nodij odvoji od čvora busanja i traje sve do pojave prvog klasa (od kraja ožujka do polovice svibnja). U osnovi svakog nodija nalazi se zona rasta pa se internodiji izdužuju produživanjem stanica (interkalarni rast), vršni internodij raste tjemenim pupom i završava klasom odnosno metlicom (Gagro, 1997).

5. Klasanje

Klas se kod ječma oblikuje u vrijeme busanja, a cvijet u početku vlatanja. U razdoblju porasta stabljike rasti i klas, koji je smješten u zadnjem rukavcu lista. Klasanjem nazivamo vrijeme u kojem se klas pojavljuje iz zadnjeg rukavca lista, može trajati do deset dana što ovisi o sorti, hibridu ječma te o klimatskim uvjetima i agrotehnici. To je vrlo važno vegetacijsko razdoblje jer se tada odvija vrlo intenzivan vegetativni porast,pa biljci treba osigurati dovoljno hrane i vode da bi se svi klasići u klasu dobro razvili. Kod jarog ječma klasanje započinje 30 – 74 dana poslije nicanja, dok ozimi ječam klasa 167 – 184 dana poslije nicanja (Gagro, 1997).

6. Cvatnja i oplodnja

Kada u klasićima ječma sazriju cvjetni organi-prašnici i tučak, počinje cvatnja. Kod ječma se tijekom cvatnje cvijet ne otvara, samooplodna je biljka. Oplodnja se dogodi kada pelud padne na njušku tučka i proklija u peludnu mješinicu. Dvije spermalne stanice dolaze u zametnu vrećicu plodnice, jedna spermalna stanica spaja se sa jajnom stanicom, a druga sa središnjom jezgrom zametne vrećice. Oplođena jajna stanica oblikuje klicu, a oplođena jezgra oblikuje endosperm. Plodnica stvara vanjski dio ploda i tako povećanjem sjemenog zametka oblikuje zrno. Zrno brzo raste i za desetak dana postiže svoju prirodnu duljinu, te u početku sadrži oko 95% vode (Gagro, 1997).

7. Zrioba

Deset dana poslije oplodnje u sjemenu ječma se oblikuju svi dijelovi i sjeme ima sve značajke svoje vrste. Tada nastupa faza nalijevanja zrna ili zriobe. Zrno povećava svoju

debljinu i širinu te se sve više povećava količina suhe tvari. Zrioba zrna ječma odvija se u četiri faze: mliječna, voštana i puna zrioba te prezrelost. Tijekom mliječne faze dolazi do odumiranja baznih listova ječma, počinju prestajati funkcije stabljike, te se značajno povećava organska tvar u zrnu. Postotak vode u zrnu se postupno smanjuje na 65-50%. Voštana zrioba nastupa postupno nakon mliječne zriobe. Sasušene biljke poprimaju karakterističnu boju svoje vrste kao i zrno koje postaje žuto. Tijekom ove faze voda u zrnu se postupno smanjuje i na kraju iznosi oko 20%. U ovom stanju preporučuje se žetva jer se tada mogu postići najveći prinosi i najveća kakvoća. Puna zrioba nastupa samo nekoliko dana nakon kraja voštane zriobe. Slama se potpuno suši, zrno potpuno dozrijeva a količina vode u njemu se smanjuje na oko 14%. Prekida se veza između zrna i baze cvjetnog dijela, ono postaje slobodno, samo ga pljeva i pljevica drže na klasu. Nakon ove faze nastupa prezrelost ili mrtva zrelost u kojoj dolazi do razgradnje vlat koja se lako lomi, klasno vreteno postaje lomljivo, pljeve i pljevice se sve više otvaraju i zrno ispada (Gagro, 1997).

1.2.6. NUTRITIVNA VRIJEDNOST JEČMA

Zrno ječma bogato je ugljikohidratima (oko 80% - od toga 40 – 60% škrob), ali sadržava manji udio proteina (10 – 15%). Sadrži 4 – 5% celuloze i 2,5% ulja. Izvor je mineralnih tvari, koje, iako s malim udjelom (2 – 4% - P, K, Ca, Cl, Mg, S, Na), imaju utjecaj na ishranu kod životinja. Dobar je izvor beta-glukana.. Kao i većina ostalih žitarica, sadrži velike količine vitamina B skupine i manje količine ostalih vitamina (vitamin A, E i K). Od vitamina posebno se ističe djelovanje pantotenske kiseline koja je prijeko potrebna za metabolizam ugljikohidrata, masti i bjelančevina. Taj vitamin ulazi u strukturu koenzima A koji je zadužen za oslobađanje energije iz ugljikohidrata te igra važnu ulogu u metabolizmu masti, zbog čega ječam i ima onaj poznati učinak zagrijavanja (Ronzio, 2003).

1.3. UTJECAJ SVJETLA NA PRINOS BILJAKA

U poljoprivredi prinos žitarica (također poznat pod nazivom „poljoprivredna proizvodnja“) je mjerilo prinosa žitarica po jedinici površine zemljišta. Kako bi se osigurao što bolji prinos ječmu je potrebno osigurati što kvalitetnije uvjete za rast. Sam rast biljke predstavlja povećanje količine suhe tvari uočljivo i mjerljivo kao povećanje debljine i širine pojedinih organa ili cijele biljke. Temelj svakog rasta je primanje tvari iz okoline i njihova ugradnja u biljne organe. Energije za taj proces potiče iz temeljnog procesa tvorbe organske tvari-procesa fotosinteze. Prilikom uzgoja neke biljke nije uvijek cilj sama biljka, već neki od organa. U slučaju kod ječma je njegovo zrno. Sam prinos je definiran kao količina biljnih organa koji su cilj uzgoja proizvedena po jedinici površine u jednom vegetacijskom razdoblju. Nije važna samo količina nego i kvaliteta prinosa. Pod tim se podrazumijeva količina suhe tvari, boja i veličina ploda, tvrdoća, no u zadnje vrijeme je važna i energetska ili hranidbeno-fiziološka vrijednost prinosa. Kako bi se postigao maksimalan prinos visoke kvalitete ječmu je potrebno osigurati dovoljne količine vode i hranjivih tvari, ali i dovoljne količine svjetlosti (biljka dugog dana) (Mihalić i Bašić, 1997).

Svjetlost je svakako najvažniji agroekološki čimbenik jer sudjeluje u tvorbi biljnog zelenila-klorofila i temeljnom procesu za život na zemlji-fotosintezi. Najvažniji izvor svjetla za biljke je Sunce, premda se fotosinteza može normalo odvijati i pri umjetnom svjetlu. Sunčevo zračenje se sastoji od zraka različitih valnih duljina koje imaju različit utjecaj na biljke. Ultraljubičaste zrake čine samo 1% Sunčeva svjetla, ali su fiziološki i kemijski vrlo aktive, djeluju na tvorbu antocijanina, na fotoperiodičku reakciju biljke, inaktiviraju hormone rasta, pridonose tvorbi vitamina D. Plave i crvene zrake imaju kemijski učinak, crveno-žuti dio spektra stimulira stvaranje ugljikohidrata, plavi bjelančevina a crveni klorofila. Infracrvene zrake imaju toplinski učinak i važne su za transpiraciju biljke. Približno polovicu ukupne svjetlosne energije bilje pretvaraju u toplinu i troše za transpiraciju, aktiviranje različitih metaboličkih enzima, za aktivaciju klijanja, cvatnje i dr (Mihalić i Bašić, 1997).

Za razliku od topline, svjetlo je mnogo ravnomjernije raspoređeno na Zemlji. Intenzitet svjetla mijenja se u vremenu i prostoru, odnosno ovisi o zemljopisnoj širini. S udaljavanjem od ekvatora prema polovima, sunčevo svjetlo je sve manjeg intenziteta ali sve duljeg trajanja, a u njemu prevladavaju zrake većih valnih duljina (narančaste, crvene i infracrvene zrake). Gospodarske biljke koriste samo 1-4% od ukupne količine svjetla, tako da je jedan od ciljeva u daljnjim istraživanjima stvaranje sorti i hibrida s građom i raspodjelom nadzemnih organa,

posebno lisne mase, koji omogućuju maksimalan prijem i korištenje svjetla za sintezu organske tvari u procesu fotosinteze. Najvažniji je utjecaj svjetla na sintezu klorofila i proces fotosinteze, a preko nje na rast i razvoj biljke, na količinu i kakvoću prinosa (Mihalić i Bašić, 1997).

1.4. CILJ RADA

Svrha ovog diplomskog rada je istražiti učinkovitost fotosustava II tijekom klasanja jarog ječma mjerenjem koncentracije pigmenata i fluorescencije klorofila *a*. Istraživanje bi trebalo pokazati postoji li povezanost između koncentracije fotosintetskih pigmenata i aktivnosti fotosustava II u listovima zastvičarima nekoliko sorti ječma. Dobiveni rezultati doprinijeti će spoznajama o fotokemiji fotosustava II koji bi se mogli iskoristiti u daljnjim istraživanjima u kojima bi se mogla povećati njegova aktivnost, s kojom bi se povećala stopa fotosinteze, a s njom i sam prinos ječma.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. BILJNI MATERIJAL

Kao biljnim materijal u ovom istraživanju koristila sam četiri sorte jarog ječma: Astor, Fran, Jaran i Scarlett.

Osnovne karakteristike pojedinih sorti jarog ječma:

Astor je jari dvoredni ječam. Selekcioniran na Poljoprivrednom institutu Osijek iz križanja linija *Villa*Nehaj***.** Astor je visokorodna sorta koja se ističe visokim sadržajem proteina. Habitus sorte Astor, s dugim i uspravnim listovima omogućuje proizvodnju ove sorte u gustim sklopovima. Namijenjen je potrebama stočarstva i industrije slada, a bitno je poboljšanih osobina sadržaja proteina i vrlo visoke hektolitarske mase zrna (hektolitarska masa zrna iznosi 70 kg) (Lalić i sur., 2009; ftp://hlt - platform.hu/ Language/Croatian/Crawl /Larbin 2004 /content/d00177/_derived/home, 14.02.2012.).

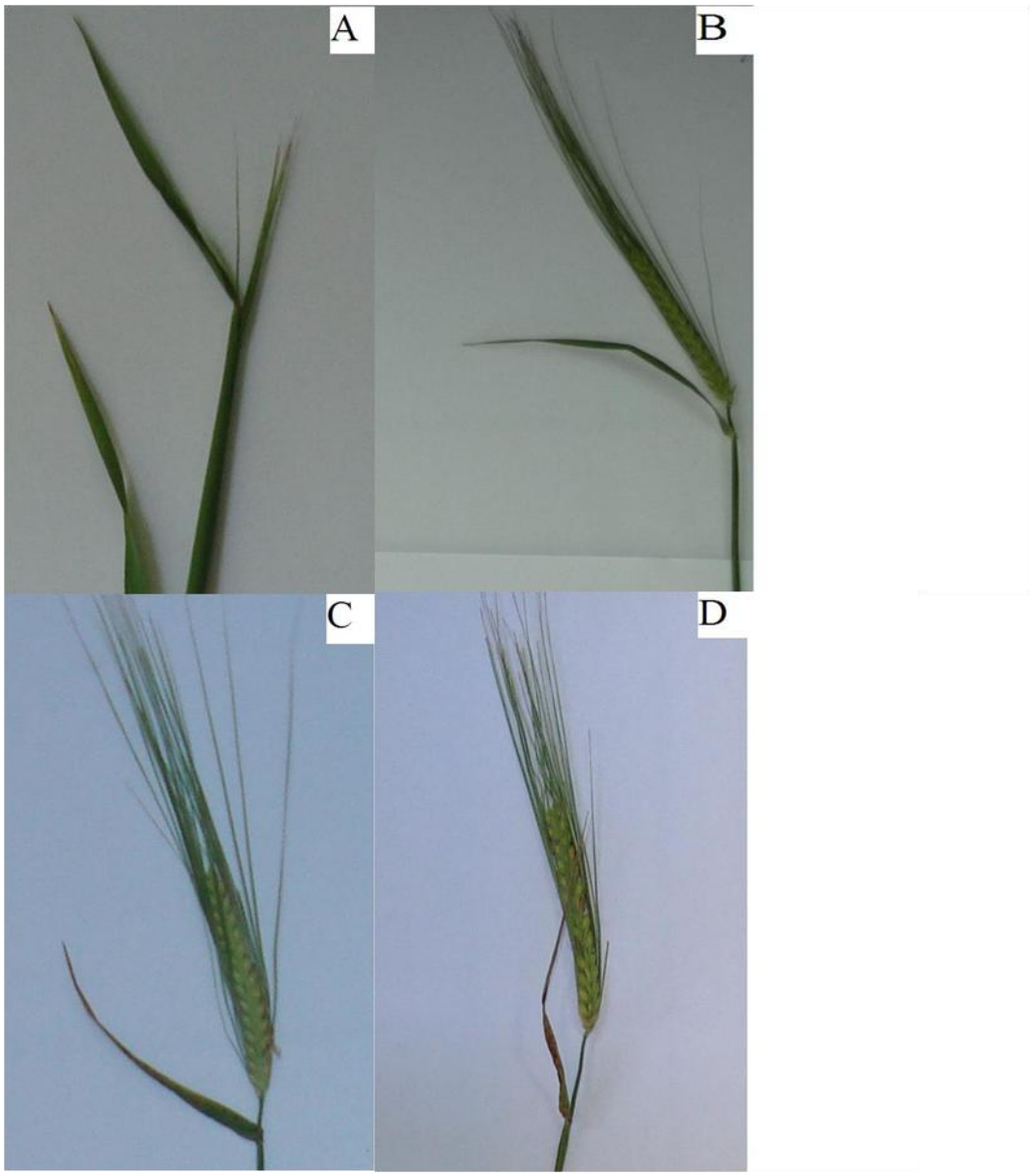
Fran je jari dvoredni ječam, selekcioniran je na Poljoprivrednom institutu Osijek iz križanja linija *Osk.6.24/16–89*Osk.4.73/2–91*. Visokorodna sorta s potencijalom rodnosti većim od 7 t/ha, visokog uroda zrna I. klase. Niskog je habitusa rasta (oko 62 cm). Dvorednog je i polurastresitog klasa, povijenog u fazi formiranja zrna. Zrno mu je vrlo krupno (masa 1000 zrna oko 50 grama), okruglasto, ujednačeno (udjel zrna I. klase 94–97%), izvrsno formirano s pljevicama svijetložute boje, s odlikom izrazito visoke hektolitarske mase zrna (iznad 70 kg). Dugačkog je osja koje se vrlo lako odvaja od obuvenca u žetvi. Sorta jarog ječma Fran namijenjena je potrebama stočarstva i pivarstva. Fran postiže urode zrna i iznad 7 t/ha, uz optimalni sklop od 800–900 klasova/m2. U uvjetima pravilno primijenjene agrotehnike za proizvodnju slada daje slad dobrih odlika, odgovarajuće razgrađenosti, povoljnog sadržaja proteina i visokog sadržaja ekstrakta (Poljoprivredni Institut Osijek, Katalog, 2010).

Jaran je **s**orta jarog dvorednog ječma s potencijalom rodnosti većim od 6 t/ha, visokog prinosa zrna I. klase. Ima stabljiku srednje visine (oko 70 cm). Klas mu je dvoredan, rastresit, nutans tipa (povijeni klas s pljevicama usmjerenim prema dolje) s osjem koje se lako odvaja od zrna**.** Zrno mu je krupno, dobro formirano s fino naboranim pljevicama**.** U uvjetima pravilno primijenjene agrotehnike za proizvodnju slada daje slad dobrih odlika, odgovarajuće razgrađenosti, povoljnog sadržaja proteina i visokog sadržaja ekstrakta (Poljoprivredni Institut Osijek, Katalog, 2010)

Scarlett je sorta jarog dvorednog ječma koja daje dobre i stabilne prinose iz godine u godinu. Ima odličnu pivarsku kvalitetu**,** prilagodljiv je svim tipovima tla i otporan na polijeganje. Ne zahtijeva regulatore rasta**.** Scarlett je sorta pivarskog jarog ječma koja se najviše uzgaja na svijetu upravo zbog svojih dobrih pivarskih kvaliteta koje joj garantiraju laganu komercijalizaciju (Katalog PPK, Nova Gradiška).

2.2. UZORKOVANJE MATERIJALA

Za svoje istraživanje, biljni materijal, ječam sam uzimala na pokusnim poljima Poljoprivrednog instituta Osijek u Osijeku. Uzorkovala sam četiri vrste jarog ječma: Astor, Fran, Jaran i Scarlett. Svaka sorta uzorkovana je na pokusnim poljima u četiri ponavljanja. Uzorkovanje sam vršila tijekom dvije vegetacijske sezone u 2010. i 2011. godini. U vegetacijskoj sezoni 2010. prvo uzorkovanje sam napravila početkom klasanja određene sorte ječma, drugo krajem klasanja, treće na početku nalijevanja zrna a četvrto uzorkovanje kada je zrno bilo zrelo. Međutim, u stadiju zrelog zrna na stabljikama ječma nije više bilo zelenog lista zastavičara (list na kojem sam provodila svoje istraživanje), koji je bio u stadiju senescence te kao takav nije bio u mogućnosti fotosintetizirati (slika 10). Zbog toga u slijedećoj godini istraživanja (2011.) ovaj stadij nije bio istraživan. Tijekom uzimanja uzoraka u 2010. godini vladali su nepovoljni vremenski uvjeti (velika količina kiše) zbog kojih nisam bila u mogućnosti obaviti sva četiri planirana uzorkovanja za svaku sortu te su zbog toga rezultati bili nepotpuni. Jedino sam za treće uzorkovanje, stadij nalijevanja zrna, uspjela uzorkovati sve četiri sorte. Zbog gore navedenih razloga istraživanja sam ponovila tijekom vegetacijske sezone u 2011. godini. U istraživanju 2011. godine nisam uzorkovala sortu Fran budući da su rezultati iz 2010. godine pokazali da mjerenja na toj sorti nisu nužna za kvalitetno zaključivanje. Biljke su uzorkovane nasumično u jutarnjim satima (između 8 i 10 sati). Na pokusnim poljima odmah sam izmjerila porast fluorescencije klorofila *a* OJIP-testom pomoću instrumenta Handy PEA (Plant Efficiency Analyser) fluorimetra, Hansatech. Laboratorijske analize rađene su u tri replike po svakom ponavljanju za svaku pojedinu sortu. Rezultati dobiveni za sva četiri ponavljanja neke sorte činili su jedan statistički uzorak.



Slika 10. Klasovi i list zastavičar ječma sorte Astor od početka klasanja do zrelog klasa (A- početak klasanja, B- kraj klasanja (cvatnja i oplodnja), C- početak nalijevanja zrna, D- početak zriobe zrna).

2.3. SPEKTROFOTOMETRIJSKO ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE FOTOSINTETSKIH PIGMENATA

Biljni materijal koji sam koristila za određivanje koncentracije pigmenata bili su listovi zastavićari koji su na biljci smješteni na vrhu stabljike i tijekom procesa klasanja ječma zadnji odlaze u proces senescencije. Listove sam sitno nasjeckala i homogenizirala pomoću tučka u tarioniku u tekućem dušiku uz dodatak $MgOHCO_3$ na vrhu spatule. Odvagala sam 0,1 g praha i stavila ga u prethodno odvagane Eppendorf kivete od 0,2 ml uz dodatak hladnog acetona (80%). Tkivo sam ekstrahirala 15 min u hladnjaku a zatim ga centrifugirala 10 min na 15000 g. Supernatant sam dekantirala u plastične epruvete. S obzirom da je nakon prve ekstrakcije talog ostao zelene boje, provodila sam proces reekstrakcije acetonom sve dok tkivo nije izgubilo zelenu boju. Pomoću menzure izmjerila sam volumen svakog uzorka. Izmjerila sam apsorpciju na 470 nm, 664,8 nm i 661,6 nm pomoću instrumenta Specord 40, Analytic Jena. Na temelju poznate mase, volumena i apsorpcije na određenim valnim duljinama izračunala sam koncentraciju fotosintetskih pigmenata pomoću sljedećih jednadžbi (po Lichtenthaler-u 1987) :

Chl *a* = (11.24 × A(661.6nm) - 2.04 × A(644.8nm)) × V / (m × 1000)

Chl *b* = (20.13 × A(644.8nm) - 4.19 × A(661.6nm)) × V / (m × 1000)

Chl *a*+*b* = (7.05 × A(661.6nm) + 18.09 × A(644.8nm)) × V / (m × 1000)

Car = (1000 × A(470nm) - 1.90 × (11.24 × A(661.6nm) - 2.04 × A(644.8nm)) - 63.14 × (20.13 × A(644.8nm) - 4.19 × A(661.6nm)) × V / (214 × m × 1000)

Chl *a* = koncentracija klorofila a u mg/g mase svježe tvari uzorka

Chl *b*= koncentracija klorofila b u mg/g mase svježe tvari uzorka

Chl *a*+*b*= koncentracija ukupnog klorofila u mg/g mase svježe tvari uzorka

Car = koncentracija karotenoida u mg/g mase svježe tvari uzorka

2.4. MJERENJE RASTA FLUORESCENCIJE KLOROFILA *a* OJIP-TESTOM

Fluorescencija je proces disipacije eksitacijske energije emitiranjem fotona svjetlosti. Prije mjerenja fluorescencije na listove zastavičare koje sam naizmjenično odabrala postavila sam klipsice (30 min) kako bi dio lista bio u tami. Time sam postigla da plastokinon (Q_A), kao primarni akceptor elektrona bude u potpunosti oksidiran a reakcijska središta otvorena što je preduvjet za mjerenje minimalnog intenziteta fluorescencije (F_0). Fluorescenciju sam izmjerila pomoću instrumenta Handy PEA (Plant Efficiency Analyser) fluorimetar, Hansatech. Za indukciju rasta fluorescencije klorofila primjenila sam puls crvene saturacijske svjetlosti (pik 650 nm, 3000 μmol_{FOTONA} m^{-2} s^{-1}). Primanjem svijetlosti plastokinon se reducira a reakcijska središta zatvaraju čime se postiže maksimalan intenzitet fluorescencije (F_m). PEA-fluorimetar omogućava bilježenje promjene fluorescencije tijekom 1s. Iz dobivenih podataka o intenzitetu fluorescencije izračunala sam primjenom OJIP-testa prema jednadžbama u tablici 1 slijedeće parametre: indeks fotosintetske učinkovitosti (PI), maksimalni kvantni prinos fotosustava II (TR_O/ABS), gustoću aktivnih reakcijskih središta (RC/CS_O) te parametre koji pokazuju distribuciju energije po reakcijskom središtu: prosječnu apsorpciju po aktivnom centru (ABS/RC), ″ trapping″ tj. odvajanje naboja i redukcija Q_A do Q_A- (TR_O/RC), elektronski transport (ET_O/RC), količinu disipirane (neiskorištene) energije (DI_O/RC).

Tablica 1. Podaci i parametri OJIP-testa

F_0	intenzitet fluorescencije nakon 50 μs (O stupanj)
F_{300}	intenzitet fluorescencije nakon 300 μs
F_J	intenzitet fluorescencije nakon 2 ms (J stupanj)
F_I	intenzitet fluorescencije nakon 30 ms (I stupanj)
F_M	maksimalni intenzitet fluorescencije (P stupanj)
F_V	maksimalna varijabilna fluorescencija; F v = F_m -F_0
t_{max}	vrijeme potrebno da se postigne F m
V_J	varijabilna fluorescencija na J stupnju; Vj = (Fj-F_0)/(F_m –F_0)
V_I	varijabilna fluorescencija na I stupnju; Vi = (Fi-F_0)/(F_m –F_0)
S_m	normalizirana komplementarna površina iznad OJIP krivulje ; S_m = AREA/(F_m -F_0)
M_O	ukupna brzina zatvaranja RC; M_0 = (TRo/RC)-(ET_0/RC) = 4(F3ooμs-F_0)/(F_m -F_0)
N	prometni broj ; N = S_m x [($dV/dt)_0$] / Vj
RC/CS_O	gustoća aktivnih reakcijskih središta; RC/CS_0 = Fv /F_m x (V.,/M_0) x ABS/CS_0
F_V/F_M	maksimalni kvantni prinos fotosustava I I ; Fv /Fm = [1 - (F_0 /Fm)] = TR_0 /AB S
ET_O/AS_O	kvantni prinos elektronskog transporta; ET_0/ABS = 1 ~ (F_0 /F_m)
ET_O/TR_O	efikasnost kojom „uhvaćeni " („trapped") eksciton omogućava prijenos elektrona u elektron-transportnom lancu dalje od QA~; ET0/TR_o = (1 - Vj)
ABS/RC	apsorpcija po aktivnom reakcijskom središtu; ABS/RC = M_0 x (1/Vj) x [1/(F_V /F_m)]
TR_O/RC	"trapping" po aktivnom reakcijskom središtu; TRo/RC = M_0 x (1/Vj)
ET_O/RC	elektronski transport po aktivnom reakcijskom središtu: ET_0/RC = M_0 x (l / V j) x (l - V j)
DI_O/RC	disipacija po aktivnom reakcijskom središtu; DI_0/RC = (ABS/RC) - (TRQ/RC)
ABS/CS_O	apsorpcija po ekscitiranoj površini ; ABS/CSo ~ F_0
TR_O/CS_0	"trapping" po ekscitiranoj površini ; TR_0/CSo= [1 - (F_0 /F_M)] • F_0
ET_O/CS_O	elektronski transport po ekscitiranoj površini ; E T o / C S o = [l - (F o / F m)] - (l - V j) - F_0
DI_O/CS_O	disipacija po ekscitiranoj površini ; DI_0 /SC_0 = (ABS/CS_0) - (TRo/CS_0)
PI_{ABS}	indeks fotosintetske učinkovitosti ; PI = (RC/ABS) x (T R_0 / D I_0) x [ET_0/(Tro - ET_0)] RC/ABS = (RC/TRo)x(TRo/ABS) = [(Fj-F0)/4(F3ooM s-Fo)] x (Fv /Fm) TRo/DIo = Fv /F_0 E T O/ (T R Q - ETQ) - (Fm -Fj)/(Fj-F0)

3. REZULTATI

3.1. KONCENTRACIJA FOTOSINTETSKIH PIGMENATA

Rezultati mjerenja koncentracije fotosintetskih pigmenata uzorkovani tijekom vegetacijske sezone 2010. prikazani su na slici 11,12 i 13.

Na početku klasanja (slika 11) koncentracija klorofila *a* najveća je kod sorte Astor. Između koncentracija klorofila *a* sorti Fran i Jaran nema statistički značajne razlike te su one manje u odnosu na sortu Astor.

Kod sorte Jaran utvrđena je najveća koncentracija klorofila *b*, dok je kod sorte Fran ona najmanja. Sorta Astor ima manju koncentraciju klorofila *b* od one u sorte Jaran, a veća od one u sorte Fran.

Koncentracija ukupnog klorofila najmanja je kod sorte Fran. Između utvrđenih koncentracija ukupnog klorofila sorti Astor i Jaran nema statistički značajne razlike te su one značajno veće u odnosu na onu u sorte Fran.

Sorta Astor ima najmanju koncentraciju karotenoida, dok je kod sorte Jaran ona najmanja. Koncentracija karotenoida sorte Fran veća je od one u sorte Jaran, a manja od one u sorte Astor.

Na završetku klasanja (slika 12) koncentracija klorofila *a* sorti Astor i Scarlett statistički se značajno ne razlikuju te su manje u odnosu na sortu Jaran. Kod sorte Jaran utvrđena je najveća koncentracija klorofila *a* .

Koncentracija klorofila *b* sorti Astor, Jaran i Scarlett statistički se značajno ne razlikuju.

Između utvrđenih koncentracija ukupnog klorofila sorti Astor i Scarlett nema statistički značajne razlike. Sorta Jaran ima veću koncentraciju ukupnog klorofila od one u sorti Astor i Scarlett.

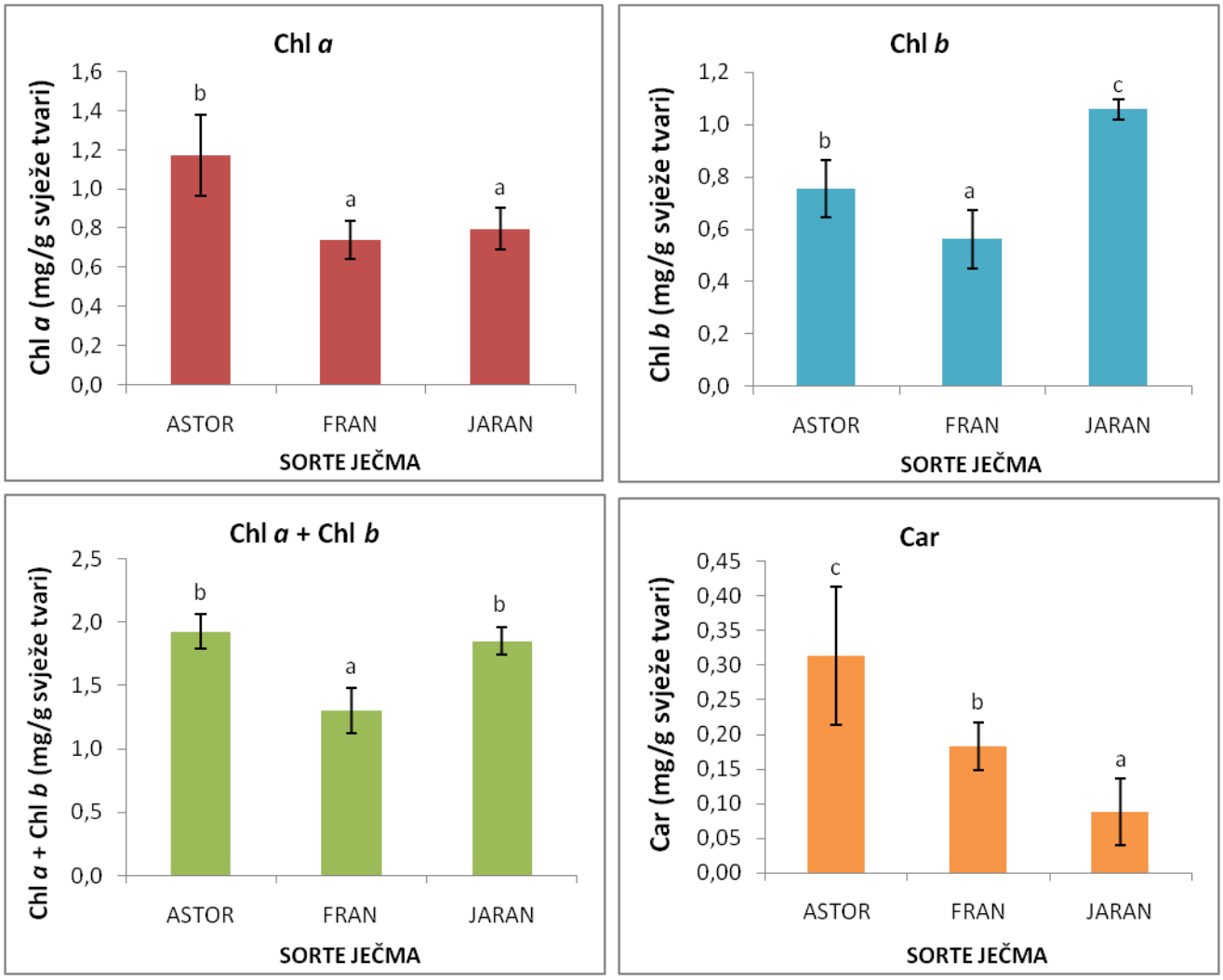
Koncentracija karotenoida veća je kod sorte Jaran u odnosu na ostale dvije sorte između kojih nema razlike u koncentraciji karotenoida.

Na početku nalijevanja zrna (slika 13) najveća koncentracija klorofila *a* utvrđena je kod sorte Scarlett, dok je kod sorte Astor ona najmanja. Između utvrđenih koncentracija klorofila *a* sorti Fran i Jaran nema statistički značajne razlike te su one manje u odnosu na koncentraciju u sorte Scarlett, a veće u odnosu na sortu Astor.

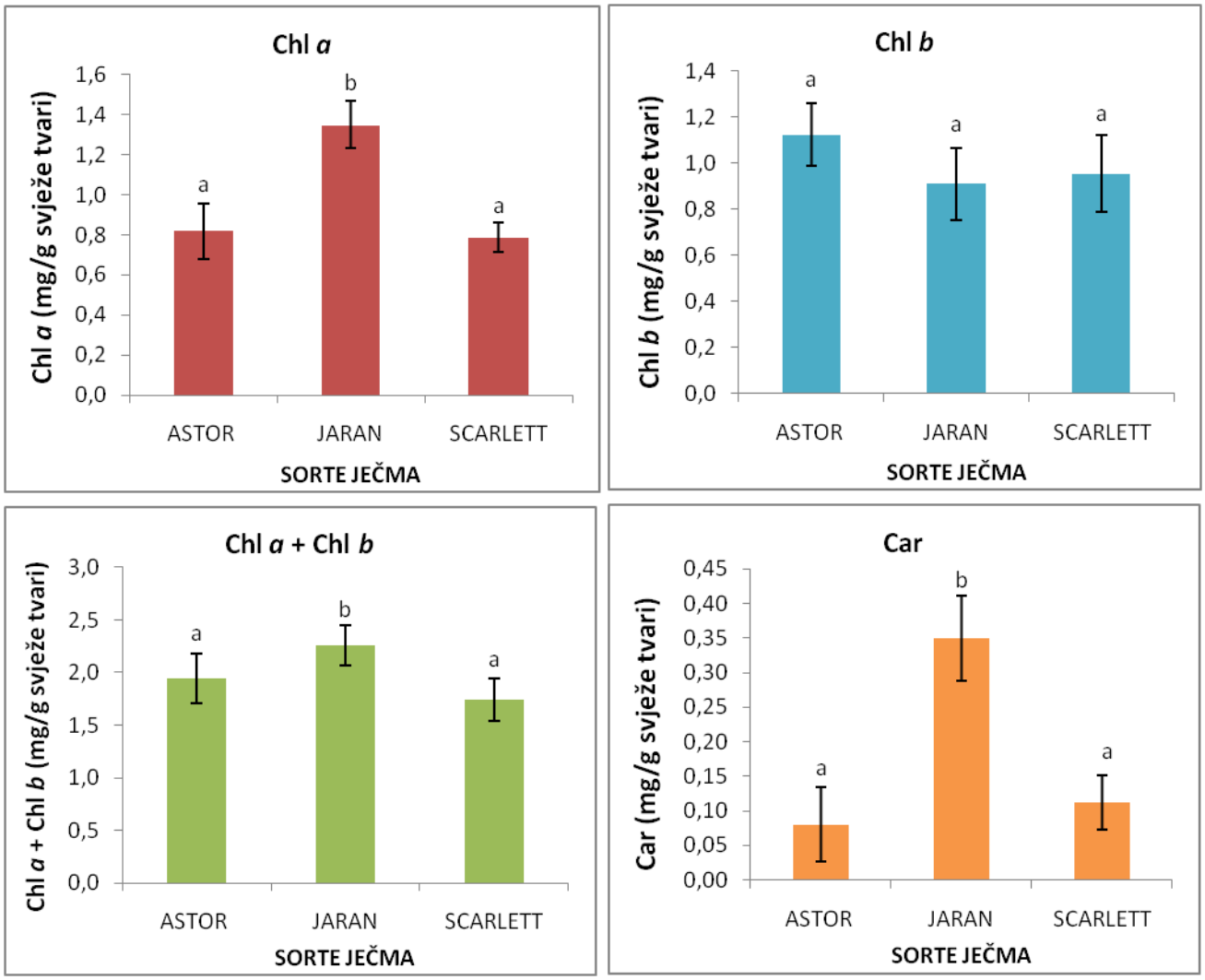
Kao i na kraju klasanja, između utvrđenih koncentracija klorofila *b* na početku nalijevanja zrna sorti Astor, Fran, Jaran i Scarlett nema statistički značajne razlike.

Najveća koncentracija ukupnog klorofila utvrđena je kod sorte Scarlett. Između koncentracija ukupnog klorofila sorti Astor, Fran i Jaran nema statistički značajne razlike te su one manje od one u sorte Scarlett.

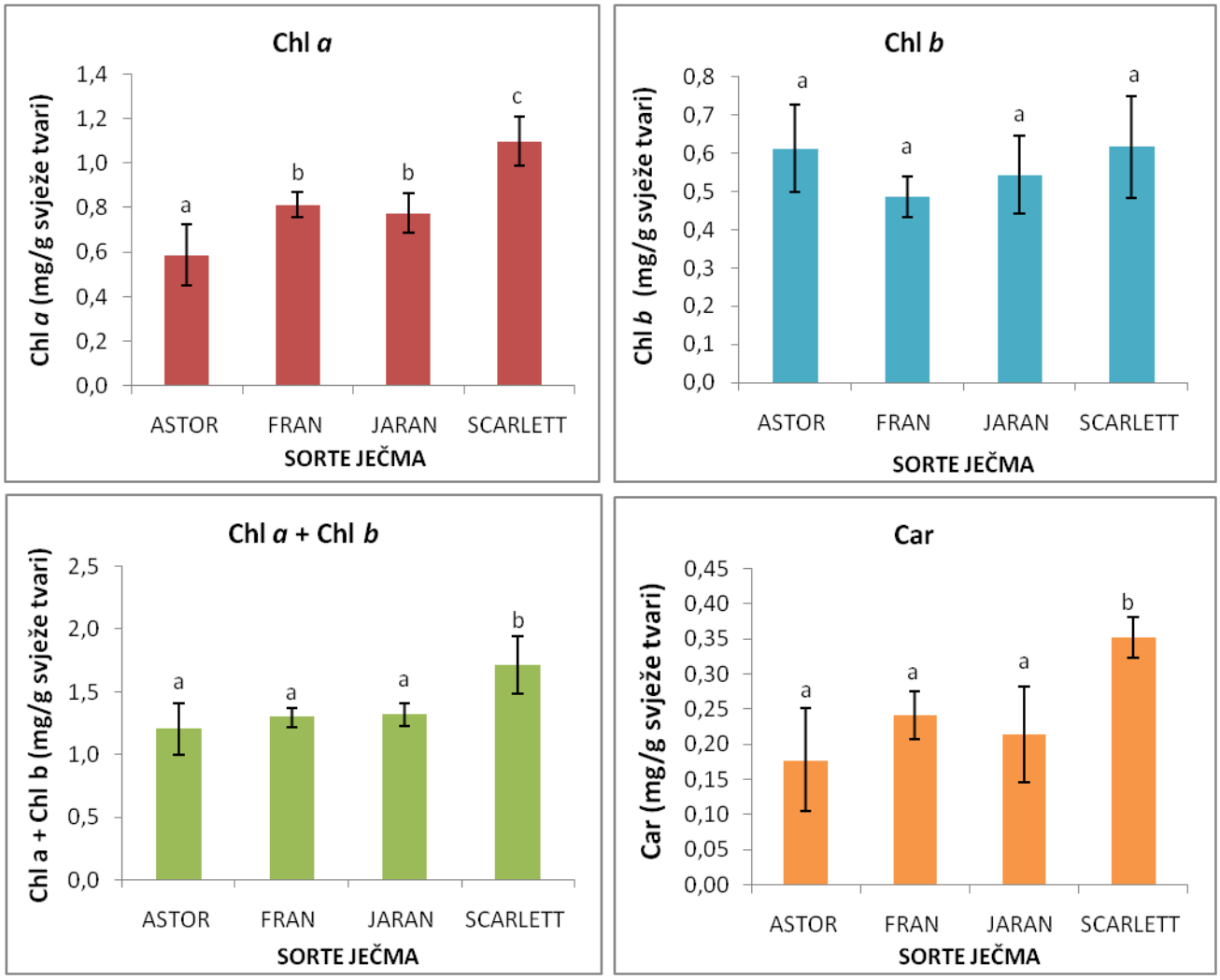
Sorta Scarlett ima najveću koncentraciju karotenoida. Koncentracije karotenoida sorti Astor, Fran i Jaran statistički se značajno ne razlikuju te su manje od one u sorte Scarlett.



Slika 11. Grafički prikaz koncentracije fotosintetskih pigmenata (klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnog klorofila i karotenoida) izražene u mg/g svježe tvari za svaku sortu ječma na početku klasanja uzorkovanog 2010. godine.



Slika 12. Grafički prikaz koncentracije fotosintetskih pigmenata (klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnog klorofila i karotenoida) izražene u mg/g svježe tvari za svaku sortu ječma na kraju klasanja uzorkovanog 2010. godine.



Slika 13. Grafički prikaz koncentracije fotosintetskih pigmenata (klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnog klorofila i karotenoida) izražene u mg/g svježe tvari za svaku sortu ječma na početku nalijevanja zrna uzorkovanog 2010. godine.

Rezultati mjerenja koncentracije fotosintetskih pigmenata uzorkovani tijekom vegetacijske sezone 2011. prikazani su na slikama 14 i 15.

Na početku klasanja koncentracija klorofila *a* (slika 14) najveća je kod sorta Jaran, a najmanja kod sorte Astor. Kod sorte Scarlett utvrđena koncentracija je manja od one u sorte Jaran a veća od one u sorte Astor. Na završetku klasanja kod sorte Astor koncentracija klorofila *a* je najveća dok je kod sorte Scarlett ona najmanja. Koncentracija klorofila *a* kod sorte Jaran je veća od one u sorte Scarlett, a manja od one u sorte Astor. Na početku nalijevanja zrna koncentracija klorofila *a* je najveća kod sorte Scarlett. Koncentracija klorofila *a* sorti Astor i Jaran statistički se značajno ne razlikuje te je manja od one u sorte Scarlett.

Kod koncentracije klorofila *a* sorte Astor na početku klasanja i na početku nalijevanja zrna nema statistički značajne razlike te su one značajno manje u odnosu na završetak klasanja kada je ona najveća.

Koncentracija klorofila *a* sorte Scarlett najveća je na početku klasanja. Na kraju klasanja i na početku nalijevanja zrna nema statistički značajne razlike u koncentraciji klorofila *a* ali su značajno niža nego na početku klasanja.

Kod sorte Jaran koncentracija klorofila *a* najveća je na početku klasanja. Daljnjim razvojem ona opada te je značajno najmanja na početku nalijevanja zrna.

Koncentracija klorofila *b* (slika 14) na početku klasanja najveća je kod sorte Jaran, dok se kod sorti Astor i Scarlett ona statistički značajno ne razlikuje te je manja od one u sorte Jaran. Kao i na početku klasanja, koncentracija klorofila *b* na kraju klasanja također je najveća kod sorte Jaran. Koncentracije klorofila *b* sorti Astor i Scarlett statistički se značajno ne razlikuju. Na početku nalijevanja zrna kod sorte Scarlett koncentracija klorofila *b* je najveća dok je kod sorte Jaran ona najmanja. Kod sorte Astor utvrđena koncentracija je manja od one u sorte Scarlett, a veća od one u sorte Jaran.

Kod sorte Astor koncentracija klorofila *b* na početku i na kraju klasanja statistički se značajno ne razlikuje. Na početku nalijevanja zrna koncentracija klorofila *b* je značajno manja nego tijekom klasanja.

Koncentracije klorofila *b* kod sorte Scarlett se statistički značajno ne razlikuju tijekom klasanja ječma. Njegova koncentracija je značajno veća na početku nalijevanja zrna u odnosu na razdoblje klasanja.

U koncentraciji klorofila *b* sorte Jaran nema promijene tijekom perioda klasanja. Na početku nalijevanja zrna koncentracija klorofila *b* značajno je manja u odnosu na razdoblje klasanja.

Na početku klasanja koncentracija ukupnog klorofila (slika 15) najveća je kod sorte Jaran. Koncentracije ukupnog klorofila sorti Astor i Scarlett statistički se značajno ne razlikuju te su manje od one u sorte Jaran. Kao i na početku klasanja, sorta Jaran na kraju klasanja ima najveću koncentraciju ukupnog klorofila. Između utvrđenih koncentracija sorti Astor i Scarlett nema statistički značajne razlike, ali su one manje u odnosu na onu u sorte Jaran. Na početku nalijevanja zrna sorta Scarlett ima najveću koncentraciju ukupnog klorofila. Koncentracije ukupnog klorofila sorti Astor i Jaran statistički se značajno ne razlikuju, te su značajno manje u odnosu na sortu Scarlett.

Kod sorte Astor nema statistički značajne razlike u koncentraciji ukupnog klorofila tijekom perioda klasanja i na početku nalijevanja zrna.

Koncentracije ukupnog klorofila sorte Scarlett tijekom klasanja se statistički značajno ne razlikuju. Na početku nalijevanja zrna koncentracija ukupnog klorofila značajno je viša u odnosu na period klasanja.

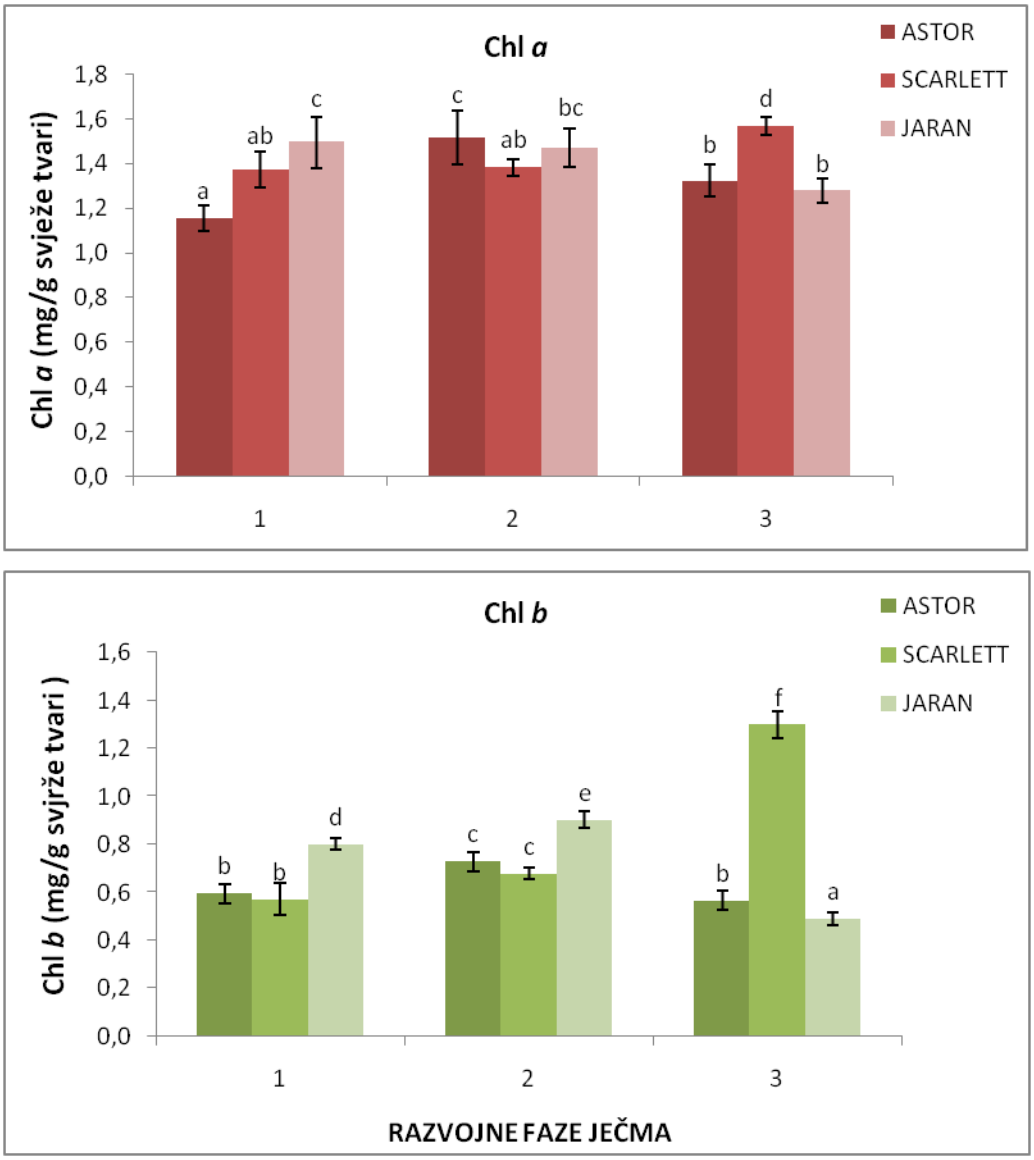
Kod sorte Jaran nema statistički značajne razlike u koncentraciji ukupnog klorofila tijekom perioda klasanja, dok je na početku nalijevanja zrna njihova koncentracija značajno manja.

Koncentracija karotenoida (slika 15) na početku klasanja kod sorti Scarlett i Jaran statistički se značajno ne razlikuje. Sorta Astor ima najmanju koncentraciju karotenoida. Na kraju klasanja sorta Astor ima najveću koncentraciju karotenoida. Koncentracija karotenoida sorti Scarlett i Jaran međusobno se statistički ne razlikuje te je manja od one u sorte Astor. Na početku nalijevanja zrna kod sorte Jaran utvrđena je najveća koncentracija karotenoida dok je kod sorte Scarlett ona najmanja. Kod sorte Astor utvrđena koncentracija je manja od one u sorte Jaran, a veća od one u sorte Scarlett.

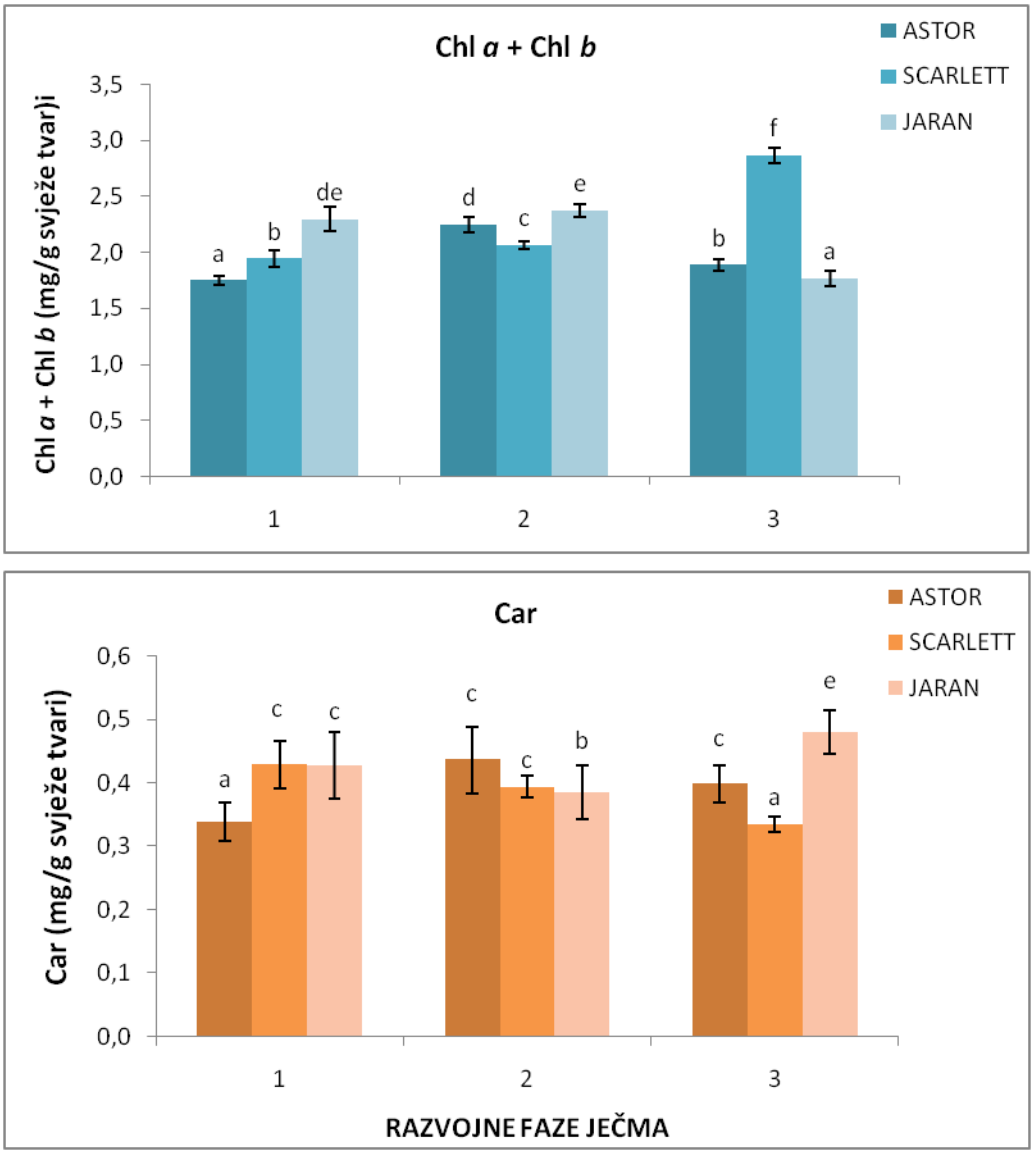
Sorta Astor ima najmanju koncentraciju karotenoida na početku klasanja. Na završetku klasanja i na početku nalijevanja zrna koncentracija karotenoida statistički se značajno ne razlikuje, ali su veće u odnosu na početak klasanja.

Koncentracija karotenoida kod sorte Scarlett najveća je na početku klasanja. Između koncentracija karotenoida na kraju klasanja i na početku nalijevanja zrna nema statistički značajne razlike ali su one manje u odnosu na početak klasanja.

Koncentracija karotenoida sorte Jaran značajno je niža na kraju klasanja nego na početku. Njihova najveća koncentracija izmjerena je na početku nalijevanja zrna.



Slika 14. Grafički prikaz koncentracije fotosintetskih pigmenata (klorofila *a* i klorofila *b*) izražene u mg/g svježe tvari za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2011. (1-početak klasanja, 2–završetak klasanja, 3–početak nalijevanja zrna).



Slika 15. Grafički prikaz koncentracije fotosintetskih pigmenata (ukupnog klorofila i karotenoida) izražene u mg/g svježe tvari za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2011. (1–početak klasanja, 2–završetak klasanja, 3–početak nalijevanja zrna).

3.2. PORAST FLUORESCENCIJE KLOROFILA *a*

ODREĐEN OJIP- testom

Rezultati mjerenja porasta fluorescencije klorofila *a* OJIP-testom uzorkovani u vegetacijskoj sezoni **2010**. prikazani su na slikama 16, 17, 18 i 19.

Indeks fotosintetske učinkovitosti (slika 16) na početku klasanja najveći je kod sorte Astor, dok je njegova najmanja vrijednost izmjerena kod sorte Fran. Sorta Jaran ima manji indeks fotosintetske učinkovitosti od onog u sorte Astor, a veći od onog u sorte Fran.

Na završetku klasanja indeks fotosintetske učinkovitosti najveći je također kod sorte Astor. Sorta Scarlett ima najmanji indeks fotosintetske učinkovitosti, dok je njegova vrijednost kod sorte Jaran veća od onog u sorte Scarlett, a manja od one u sorte Astor.

Kod sorte Jaran na početku nalijevanja zrna indeks fotosintetske učinkovitosti je najveći, dok je njegova najmanja vrijednost izmjerena kod sorte Scarlett. Indeks fotosintetske učinkovitosti sorte Fran veći je od onog u sorti Astor i Scarlett, a manji od onog u sorte Jaran. Kod sorte Astor utvrđeni indeks fotosintetske učinkovitosti je manji od onog u sorti Fran i Jaran, a veći od onog u sorte Scarlett.

Maksimalan kvantni prinos fotosustava II (slika 17) na početku klasanja najveći je kod sorte Astor, dok je kod sorte Fran utvrđena njegova najmanja vrijednost. Kod sorte Jaran maksimalan kvantni prinos fotosustava II veći je od onog u sorte Fran, a manji od onog u sorte Astor.

Na završetku klasanja maksimalan kvantni prinos fotosustava II najveći je kod sorte Astor. Kod sorte Scarlett utvrđena je njegova najmanja vrijednost. Sorta Jaran ima manji maksimalni kvantni prinos fotosustava II u odnosu na onaj u sorte Astor, a veći u odnosu na onaj u sorte Scarlett.

Na početku nalijevanja zrna maksimalan kvantni prinos fotosustava II najveći je kod sorte Jaran. Njegove izmjerene vrijednosti sorti Astor i Scarlett statistički se značajno ne razlikuju te su manje u odnosu vrijednosti utvrđene kod sorti Fran i Jaran. Kod sorte Fran maksimalan kvantni prinos fotosustava II veći je od onog u sorti Astor i Scarlett, a manji od onog u sorte Jaran.

Gustoća aktivnih reakcijskih središta (slika 18) na početku klasanja najveća je kod sorte Astor. Sorte Fran i Jaran imaju manju gustoću aktivnih reakcijskih središta od one u sorte Astor te među njima nema statistički značajne razlike.

Na kraju klasanja kod sorte Scarlett utvrđena je najveća gustoća aktivnih reakcijskih središta. Između utvrđenih vrijednosti gustoće aktivnih reakcijskih središta sorti Astor i Jaran nema statistički značajne razlike ali su te vrijednosti manje od one u sorte Scarlett.

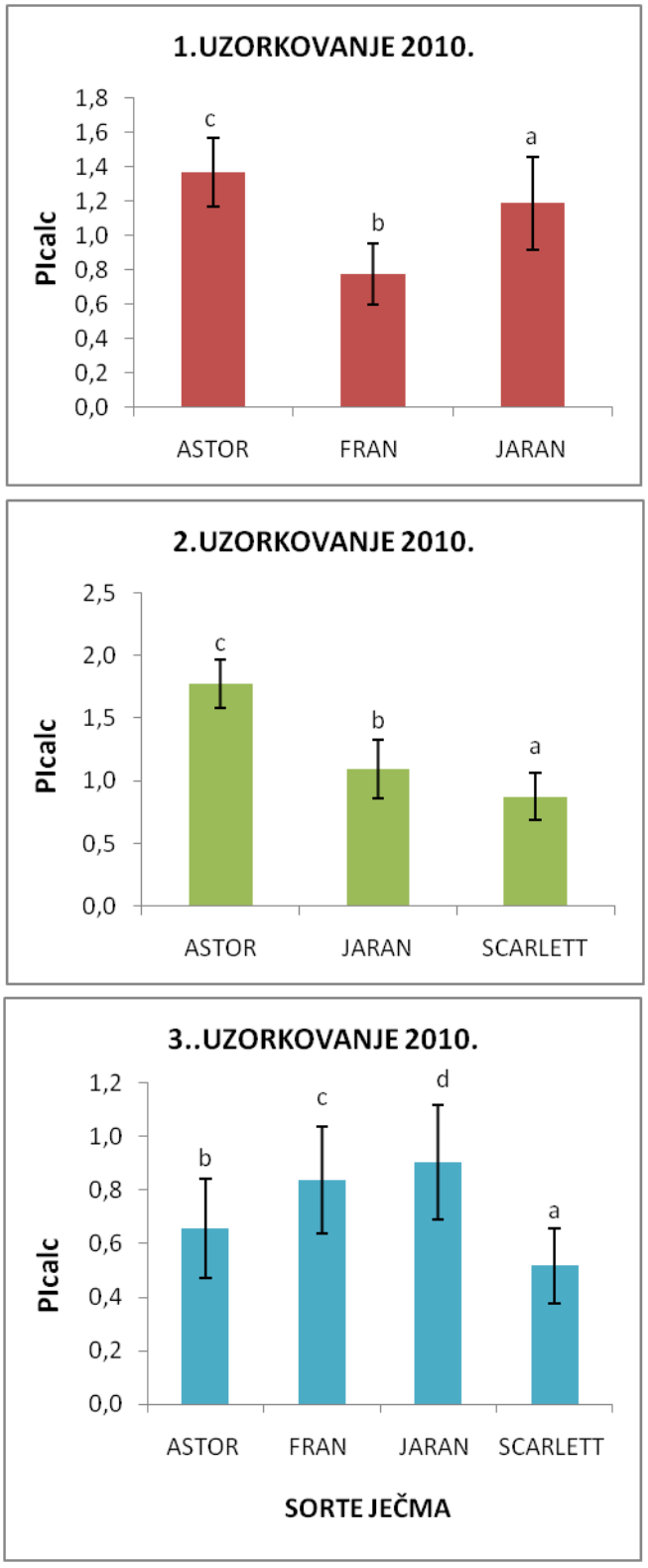
Na početku nalijevanja zrna najveća vrijednost gustoće aktivnih reakcijskih središta utvrđena je kod sorte Astor, dok je kod sorte Jaran njezina vrijednost bila najmanja. Kod sorti Fran i Scarlett na postoji statistički značajna razlika u vrijednosti gustoće aktivnih reakcijskih središta koje su manje od one u sorte Astor, a veće od one u sorte Jaran.

Distribucija energije po reakcijskom središtu prikazana je na slici 19. Na početku klasanja prosječna apsorpcija po aktivnom centru (ABS/RC) najveća je kod sorte Fran. Kod sorte Astor njezina vrijednost je najmanja, dok je kod sorte Jaran ona veća od utvrđene vrijednosti kod sorte Astor, a manja od one u sorte Fran. Količina odvojenog naboja (TR_O/RC) najveća je kod sorte Jaran. Kod sorte Astor utvrđena je njegova najmanja vrijednost. Količina odvojenog naboja sorte Fran veća je od one u sorte Astor, a manja od one u sorte Jaran. Elektronski transport (ET_O/RC) najveći je kod sorte Jaran. Sorta Astor ima najmanju vrijednost elektronskog transporta dok je kod sorte Fran ona manja od utvrđene vrijednosti kod sorte Jaran, a veća od one u sorte Astor. Količina neiskorištene energije (DI_O/RC) najveća je kod sorte Fran, a najmanja kod sorte Astor. Sorta Jaran ima manju količinu neiskorištene energije od sorte Fran, a veću od sorte Astor.

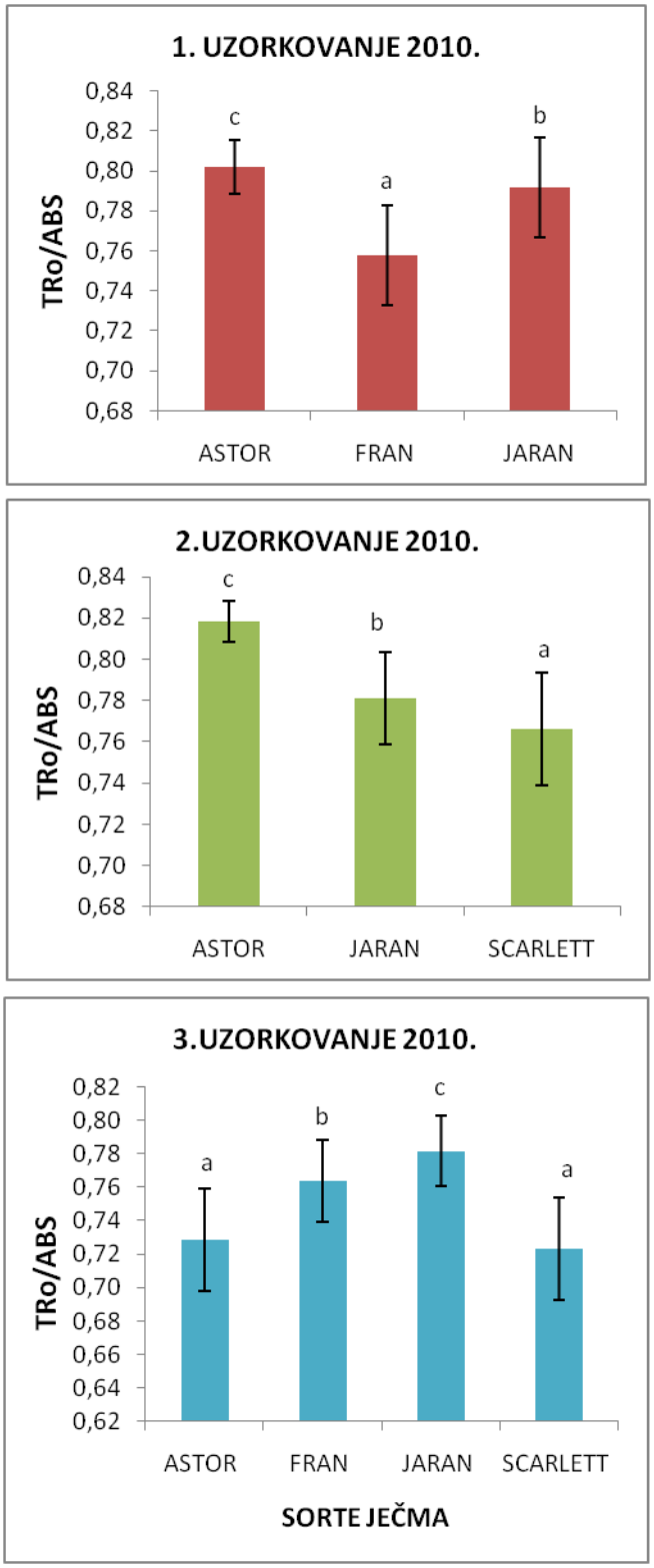
Na kraju klasanja prosječna apsorpcija po aktivnom centru (ABS/RC) najveća je kod sorte Jaran, a najmanja kod sorte Astor. Sorta Fran ima manju prosječnu apsorpciju po aktivnom centru od one u sorte Jaran, a veću od one u sorte Astor. Količina odvojenog naboja (TR_O/RC) najveća je kod sorte Jaran. Kod sorte Astor utvrđena je njezina najmanja vrijednost. Sorta Scarlett ima veću količinu odvojenog naboja od onog u sorte Astor, a manju od onog u sorte Jaran. Elektronski transport (ET_O/RC) najmanji je kod sorte Scarlett dok je kod sorte Jaran on najveći. Sorti Astor utvrđena je veća količina elektronskog transporta od onog u sorte Scarlett, a manja od one u sorte Jaran. Količina neiskorištene energije (DI_O/RC) najmanja je kod sorte Astor. Količina neiskorištene energija sorti Scarlett i Jaran statistički se značajno ne razlikuje ali su veće od one izmjerene kod sorte Astor.

Na početku nalijevanja zrna prosječna apsorpcija po aktivnom centru (ABS/RC) najveća je kod sorte Scarlett. Sorte Astor, Jaran i Fran statistički se značajno ne razlikuju po prosječnoj apsorpciji po aktivnom centru ali je njihova vrijednost manja u odnosu na onu u sorte Scarlett. Količina odvojenog naboja (TR_O/RC) najmanja je kod sorte Astor. Između izmjerenih vrijednosti količine odvojenog naboja sorti Fran i Jaran nema statistički značajne razlike te su one veće od onih u sorti Astor i Scarlett. Količina odvojenog naboja sorte Scarlett manja je od one u sorti Fran i Jaran , a veća od one u sorte Astor. Elektronski transport (ET_O/RC) najmanji je kod sorte Scarlett. Njegove izmjerene vrijednosti kod sorti Fran i Jaran statistički se značajno ne razlikuju ali su veće od onih u sorti Scarlett i Astor. Sorta Astor ima manji elektronski transport od onog u sorti Fran i Jaran, a veći od onog u sorte Scarlett. Količina neiskorištene energije (DI_O/RC) najveća je kod sorte Scarlett, dok je njezina najmanja vrijednost utvrđena kod sorte Jaran. Količina neiskorištene energije sorte Astor veća je od one u sorti Fran i Jaran, a manja od one u sorte Scarlett. Sorta Fran ima manju količinu neiskorištene energije od one u sorti Astor i Scarlett, a veću od one u sorte Jaran.

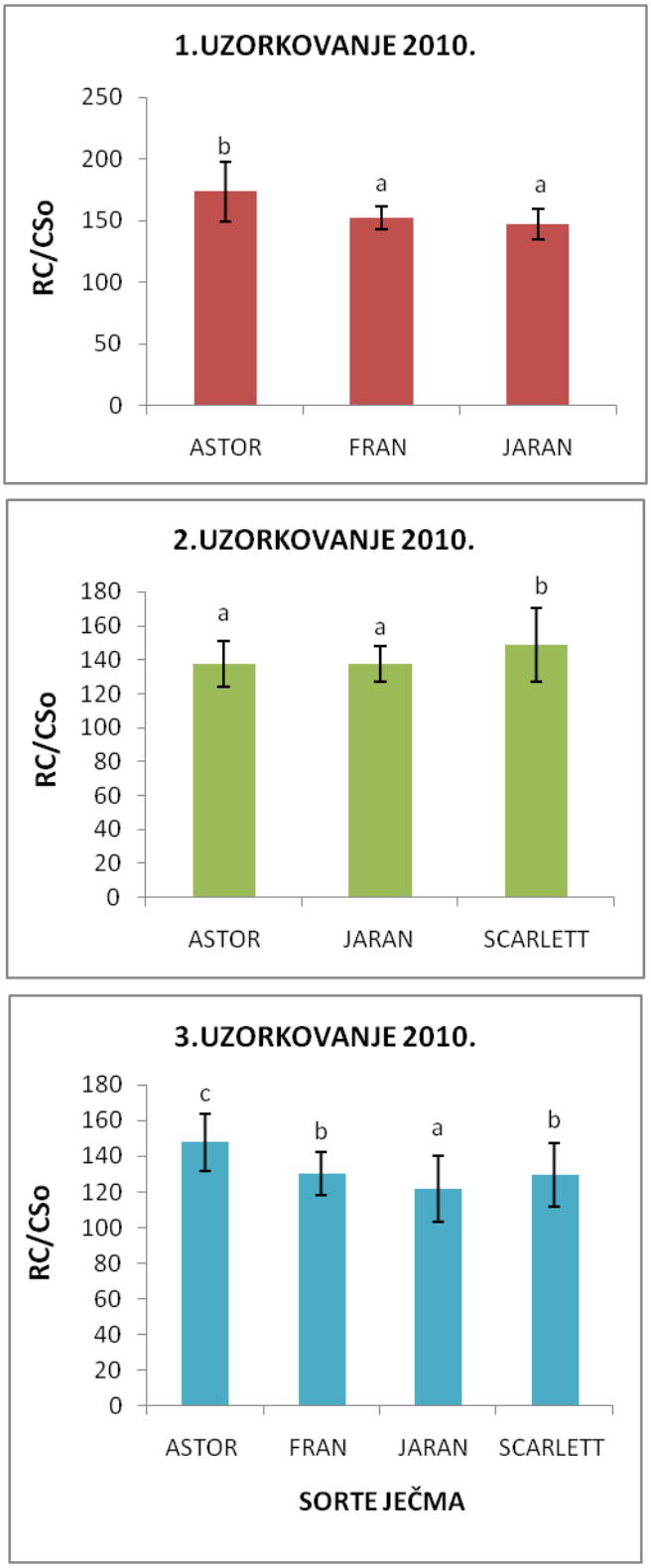
.



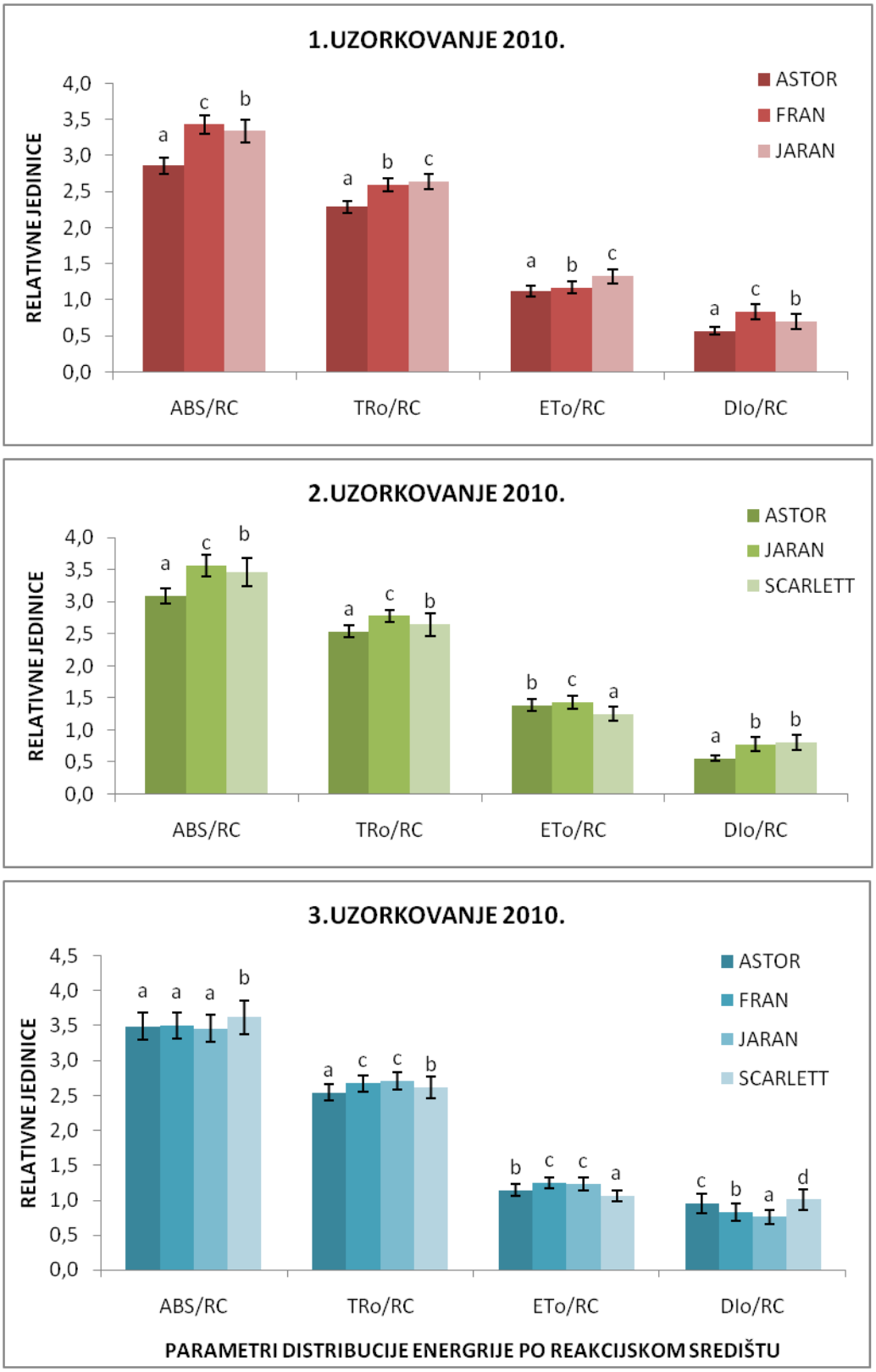
Slika 16. Grafički prikaz indeksa fotosintetske učinkovitosti izraženog u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2010. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).



Slika 17. Grafički prikaz maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II izraženog u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2010. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).



Slika 18. Grafički prikaz gustoće aktivnih reakcijskih središta (RC/CS_O) izraženog u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2010. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).



Slika 19. Grafički prikaz parametara koji pokazuju distribuciju energije po reakcijskom središtu (ABS/RC, TR_O/RC, ET_O/RC, DI_O/RC) izraženih u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2010. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).

Rezultati mjerenja porasta fluorescencije klorofila a OJIP-testom uzorkovani tijekom vegetacijske sezone **2011**. prikazani su na slikama 20, 21, 22 i 23.

Indeks fotosintetske učinkovitosti (slika 20) na početku klasanja najveći je kod sorte Astor. Kod sorte Jaran utvrđena je njegova najmanja vrijednost. Sorta Scarlett ima indeks fotosintetske učinkovitosti manji od onog u sorte Astor i veći od onog u sorte Jaran.

Na završetku klasanja indeks fotosintetske učinkovitosti sorti Astor i Scarlett statistički se značajno na razlikuje. Najmanja vrijednost indeksa fotosintetske učinkovitosti utvrđena je kod sorte Jaran.

Kao i za vrijeme klasanja, između izmjerenih vrijednosti indeksa fotosintetske učinkovitosti na početku nalijevanja zrna sorti Astor i Scarlett ne postoji statistički značajna razlika. Sorta Jaran, kao i u vrijeme klasanja ima najmanji indeks fotosintetske učinkovitosti.

Maksimalan kvantni prinos fotosustava II (slika 21) na početku klasanja najveći je kod sorte Astor. Sorta Jaran ima najmanju vrijednost maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II, dok je kod sorte Scarlett on veći u odnosu na sortu Jaran i manji u odnosu na sortu Astor.

Na završetku klasanja sorta Scarlett ima najveći maksimalni kvantni prinos fotosustava II. Kod sorte Jaran utvrđena je njegova najmanja vrijednost. Sorta Astor ima veći maksimalni kvantni prinos u odnosu na onaj u sorte Jaran i manji u odnosu na onaj u sorte Scarlett.

Tijekom nalijevanja zrna ne postoji statistički značajna razlika u vrijednosti maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II između sorti Astor i Scarlett. Kod sorte Jaran utvrđena je njegova najmanja vrijednost.

Gustoća aktivnih reakcijskih središta (slika 22) na početku klasanja najveća je kod sorte Astor. Kod sorte Jaran utvrđena je njezina najmanja vrijednost. Sorta Scarlett ima veću gustoću aktivnih reakcijskih središta od one u sorte Jaran i manju od one u sorte Astor.

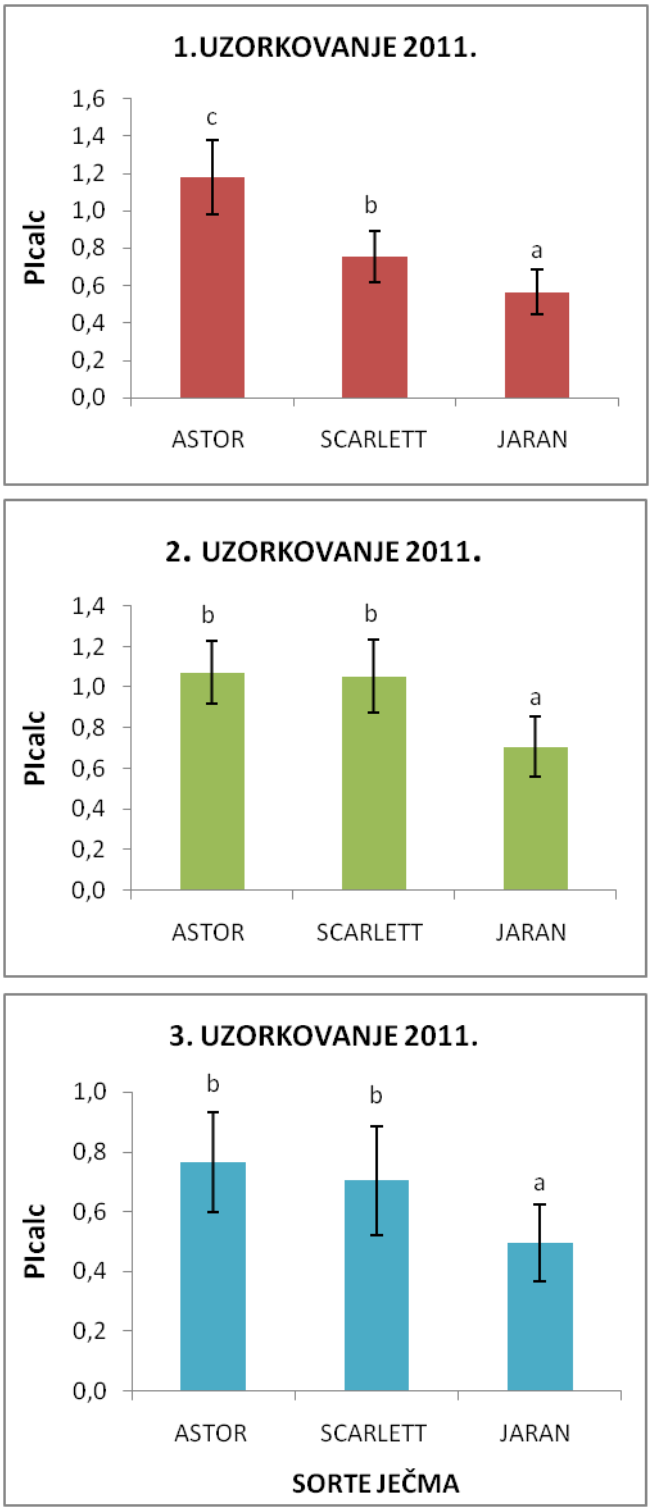
Na završetku klasanja između sorti Astor i Scarlett ne postoji statistički značajna razlika u gustoći aktivnih reakcijskih središta. Najmanju gustoću aktivnih reakcijskih središta ima sorta Jaran.

Najveću gustoću aktivnih reakcijskih središta tijekom nalijevanja zrna ima sorta Scarlett. Sorta Jaran ima najmanju gustoću aktivnih reakcijskih središta dok je kod sorte Astor njezina gustoća manja u odnosu na onu kod sorte Scarlett i veća od one u sorte Jaran.

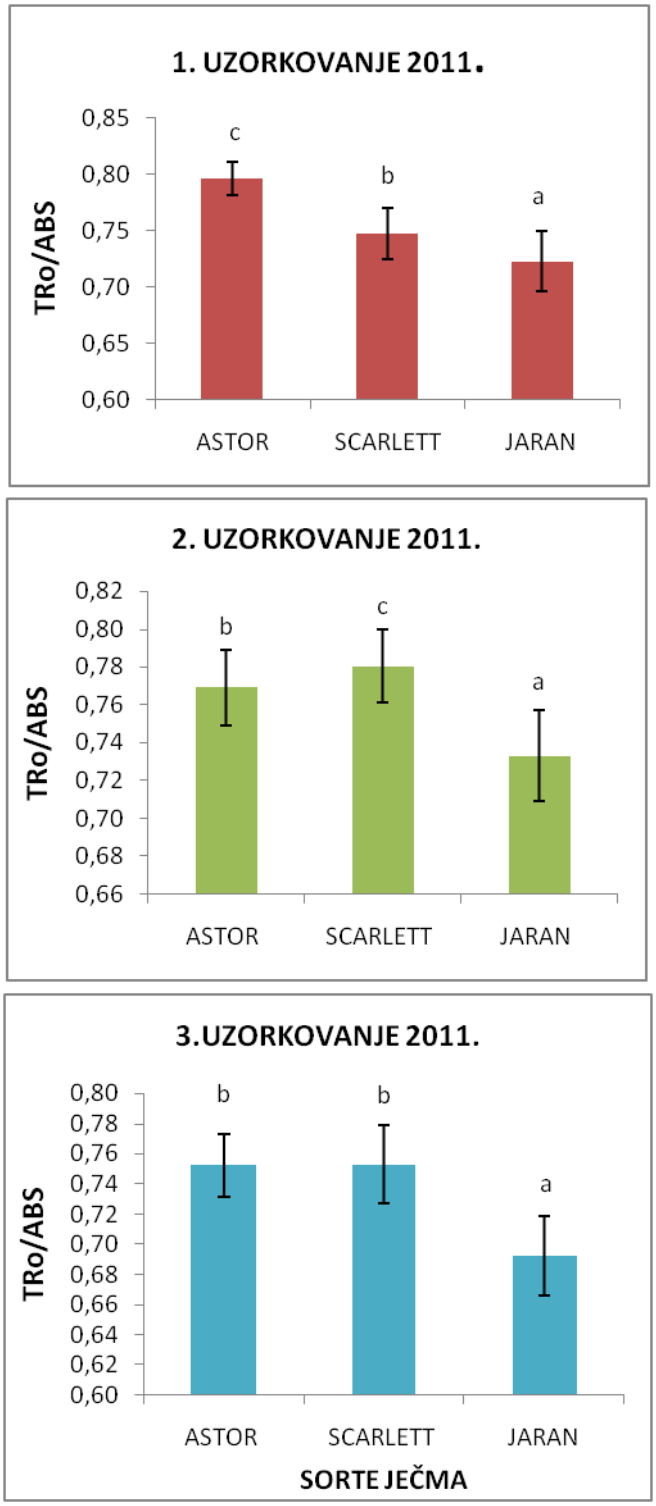
Distribucija energije po reakcijskom središtu prikazana je na slici 23. Na početku klasanja prosječna apsorpcija pa aktivnom centru (ABS/RC) najveća je kod sorte Jaran. Sorta Astor ima najmanju vrijednost prosječne apsorpcije po aktivnom centru dok je kod sorte Scarlett ona manja u odnosu na onu u sorte Jaran i veća od one u sorte Astor. Količina odvojenog naboja (TR_O/RC) kod sorti Scarlett i Jaran statistički se značajno ne razlikuje dok je kod sorte Astor utvrđena manja količina odvojenog naboja. Elektronski transport(ET_O/RC) najveći je kod sorte Scarlett dok je kod sorte Astor najmanji. Kod sorte Jaran elektronski transport je veći od onog u sorte Astor i manji od onog u sorte Scarlett. Količina neiskorištene energije (DI_O/RC) najveća je kod sorte Jaran. Najmanja količina neiskorištene energije utvrđena je kod sorte Astor, kod sorte Scarlett ona je veća od one u sorte Astor i manja od one u sorte Jaran.

Na kraju klasanja prosječna apsorpcija po aktivnom centru (ABS/RC) najveća je kod sorte Jaran. Kod sorte Scarlett utvrđena je njezina najmanja vrijednost. Sorta Astor ima manju prosječnu apsorpciju po aktivnom centru od one u sorte Jaran i veću od one u sorte Scarlett. Količina osvojenog naboja (TR_O/RC) najveća je kod sorte Jaran. Sorte Astor i Scarlett imaju manju količinu odvojenog naboja od sorte Jaran te se međusobno statistički značajno ne razlikuju. Elektronski transport (ET_O/RC) najmanji je kod sorte Scarlett. Sorte Astor i Jaran imaju veću vrijednost elektronskog transporta no statistički se međusobno ne razlikuju. Kod sorte Jaran utvrđena je najveća količina neiskorištene energije (DI_O/RC) dok je kod sorte Scarlett ona najmanja. Sorta Astor ima manju količinu neiskorištene energije od sorte Jaran i veću od one u sorte Scarlett.

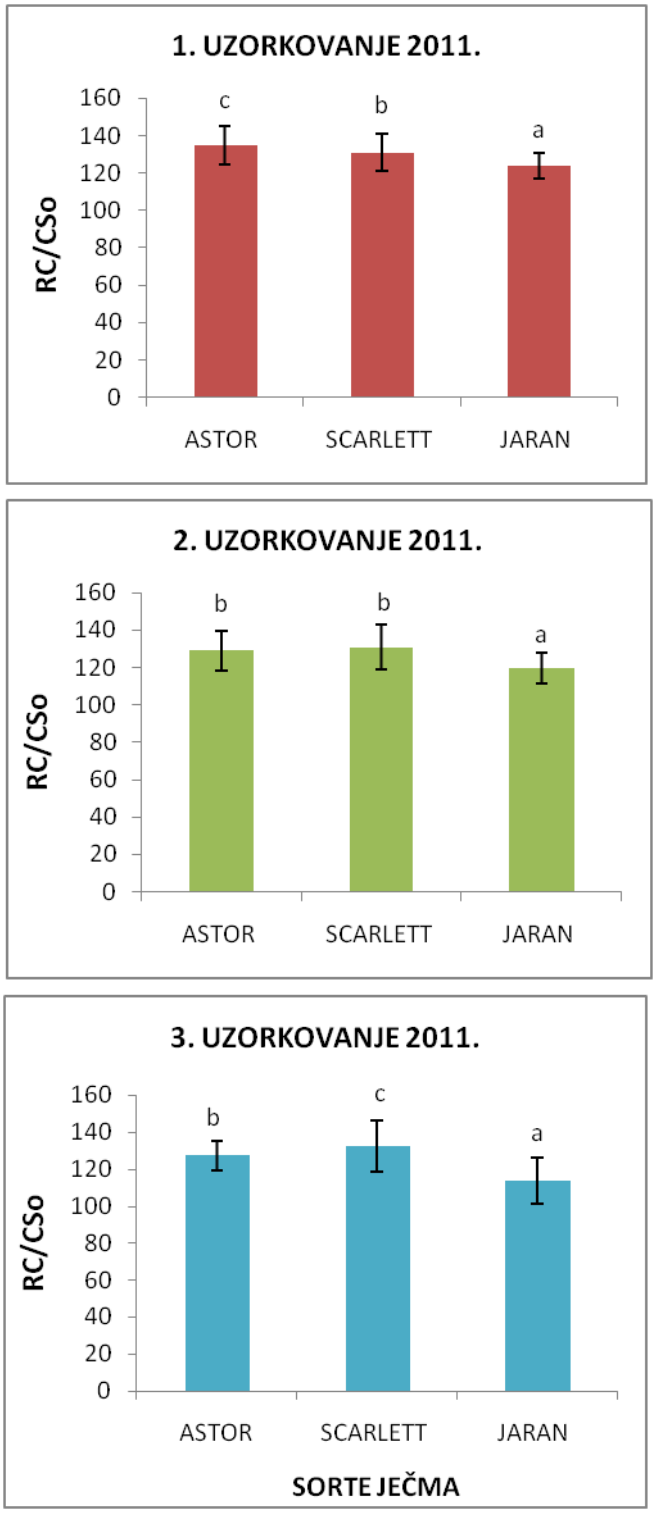
Kao i za vrijeme klasanja prosječna apsorpcija po aktivnom centru (ABS/RC) najveća je kod sorte Jaran. Izmjerene vrijednosti količine prosječne apsorpcije sorti Astor i Scarlett statistički se značajno ne razlikuju te su manje od one u sorte Jaran. Količina odvojenog naboja (TR_O/RC) najveća je kod sorte Jaran. Kod sorti Astor i Scarlett ne postoji statistički značajna razlika u količini odvojenog naboja, a manje su od one u sorte Jaran. Elektronski transport (ET_O/RC) najveći je kod sorte Jaran dok je kod sorte Scarlett on najmanji. Elektronski transport sorte Astor manji je od onog u sorte Jaran i veći od onog u sorte Scarlett. Količina neiskorištene energije (DI_O/RC) najveća je kod sorte Jaran. Između sorti Astor i Scarlett ne postoji statistički značajna razlika u vrijednosti količine neiskorištene energije, te su manje od one u sorte Jaran.



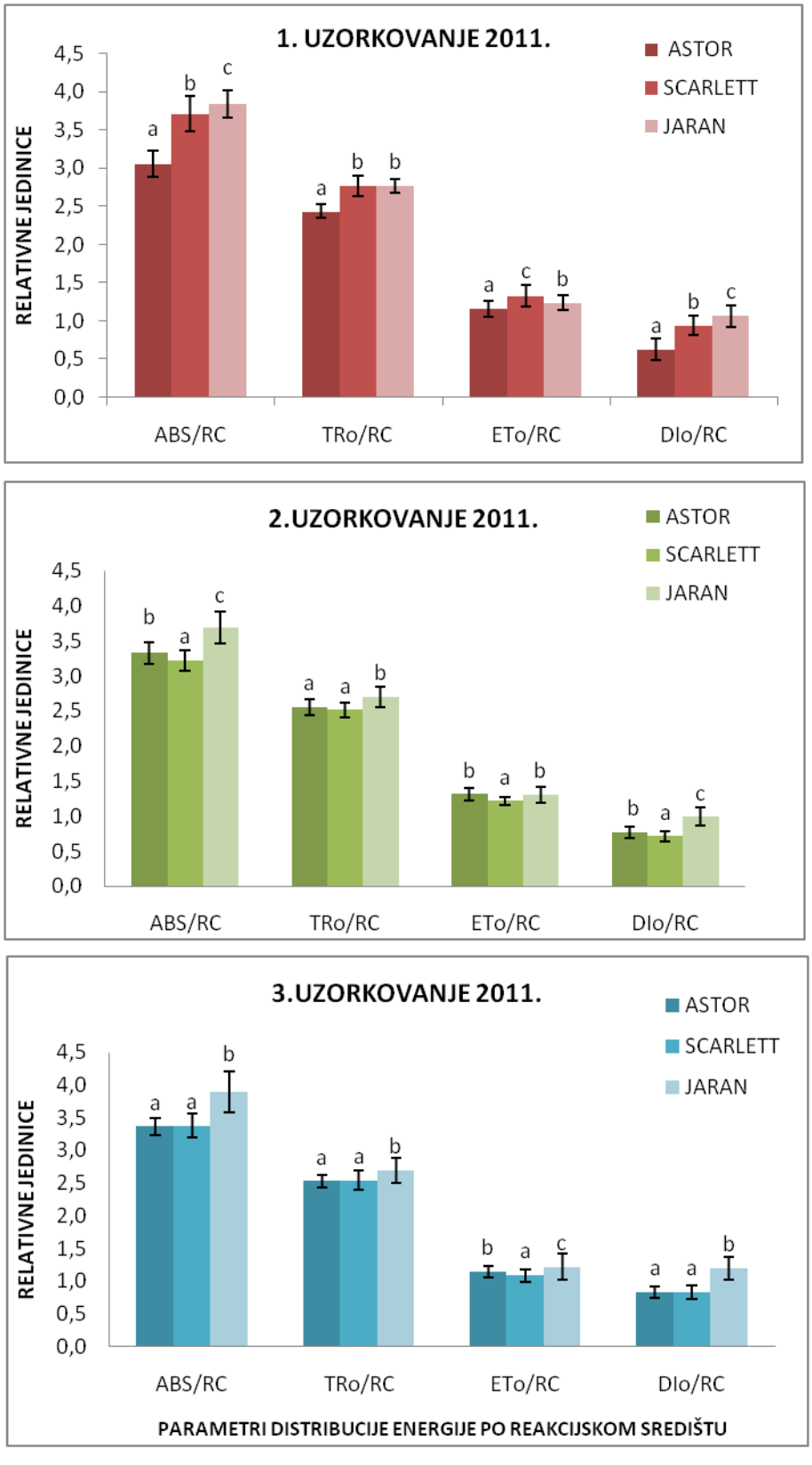
Slika 20. Grafički prikaz indeksa fotosintetske učinkovitosti izraženog u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2011. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).



Slika 21. Grafički prikaz maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II izraženog u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2011. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).



Slika 22. Grafički prikaz gustoće aktivnih reakcijskih središta (RC/CS_O) izraženog u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2011. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).



Slika 23. Grafički prikaz parametara koji pokazuju distribuciju energije po reakcijskom središtu (ABS/RC, TR_O/RC, ET_O/RC, DI_O/RC) izraženih u relativnim jedinicama za svaku sortu ječma uzorkovanog tijekom vegetacijske sezone 2011. (1.uzorkovanje–početak klasanja, 2.uzorkovanje–završetak klasanja, 3.uzorkovanje–početak nalijevanja zrna).

3.3. PRINOS SORTI JEČMA

Podatke o prinosu sorti ječma za 2010. i 2011. godinu dobila sam od dr.sc. Alojzija Lalića s Poljoprivrednog instituta Osijek (neobjavljeni podaci).

U vegetacijskoj sezoni 2010. (tablica 2) najveći prinos ostvarila je sorta Astor dok je kod sorte Fran prinos bio najmanji. Sorta Scarlett ostvarila je veći prinos od onog u sorte Fran a manji od onog u sorti Astor i Jaran. Kod sorte Jaran utvrđen je veći prinos od onog u sorti Scarlett i Fran a manji od onog u sorte Astor.

U vegetacijskoj sezoni 2011. (tablica 2) kod sorte Jaran je utvrđen najveći prinos dok je kod sorte Astor on najmanji. Sorta Scarlett imala je veći prinos od sorte Astor a manji od sorte Jaran.

Uspoređujući međusobno ove dvije vegetacijske sezone sve sorte ječma su ostvarile značajno veći prinos u vegetacijskoj sezoni 2011.

Tablica 2. Podaci o urodu sorti ječma za 2010. i 2011. godinu

SORTA JEČMA	**VRIJEME UZORKOVANJA**	**UROD ZRNA t/ha**
ASTOR	2010.	4.167
	2011.	6.954
SCARLETT	2010.	3.204
	2011.	6.990
JARAN	2010.	3.949
	2011.	7.099
FRAN	2010.	2.963

4. RASPRAVA

Proces fotosinteze započinje apsorpcijom fotona svijetlosti uz pomoć fotosintetskih pigmenata. U listu svjetlosna energija apsorbirana molekulama klorofila može biti iskorištena na tri načina: dio energije ulazi u proces fotosinteze, dio disipira u obliku topline, a dio disipira u obliku fotona crvene svijetlosti što rezultira fluorescencijom klorofila *a*. Ta tri procesa su kompetitivna, što znači da povećanje prinosa jednog procesa rezultira smanjenjem prinosa druga dva procesa (Maxwell i Johanson, 2000), stoga mjerenje fluorescencije klorofila *a* daje informaciju o učinkovitosti fotokemijskih reakcija te disipaciji energije. Od ukupne apsorbirane svijetlosti samo se mali dio energije (manje od 5 %) emitira u obliku fluorescencije (Taiz i Zeigler, 1998).

Mjerenjem fluorescencije klorofila *a* u ovom istraživanju praćena je učinkovitost fotosustava II četiri sorte jarog ječma: Astor, Jaran, Scarlett i Fran, kako bi se utvrdila njegova učinkovitost tijekom klasanja ječma te utvrdilo koji je njegov utjecaj na prinos sorti ječma. Primjenom OJIP-testa (Strasser i sur., 2004) moguće je izračunati niz parametara (tablica 1) koji detaljno opisuju funkcioniranje fotosustava II.

U ovom istraživanju maksimalan kvantni prinos fotosustava II (TR_O/ABS) kod sorti Astor, Scarlett i Jaran raste tijekom klasanja ječma da bi na kraju klasanja dosegao svoju najvišu vrijednost. Daljnjim razvojem njegova vrijednost počinje opadati (slike 17 i 21). Kod sorte Astor, uzorkovana 2010. godine, te kod sorte Jaran, uzorkovan 2011. godine, izmjerena vrijednost TR_O/ABS na početku nalijevanja zrna je manja od 0,75, vrijednost koja se smatra granicom ispod koje fotosintetski sustav nije funkcionalan (Lepeduš i sur., 2009).

Ovi rezultati su u suglasju s istraživanjem Humbeck i sur. (1996) koje su proveli na listovima zastavičarima ječma (*Hordeum vulgare* L.) tijekom senescencije gdje su također najveće vrijednosti TR_O/ABS bile izmjerene tijekom perioda klasanja kada list dostiže svoju maksimalnu fotosintetsku učinkovitost.

Smanjenje maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II na početku nalijevanja zrna posljedica je inaktivacije određenog broja reakcijskih središta što potvrđuje smanjenje gustoće reakcijskih središta (RC/CS_O). Tijekom istraživanja 2010. i 2011. godine uočeno je smanjivanje gustoće reakcijskih središta istraživanih sorti ječma (slike 18 i 22). Na početku klasanja utvrđena je najveća vrijednost RC/CS_O koja je tijekom daljnjeg razvoja opadala da bi na početku nalijevanja zrna njezina vrijednost bila najmanja.

Jedan od izrazito značajnih parametara koji se može dobiti primjenom OJIP-testa je indeks fotosintetske učinkovitosti (PI) kojeg često nazivamo i indeksom vitalnosti (Christen i sur., 2007) jer nam govori o funkcionalnosti oba fotosustava i kvantificira njegovu trenutnu učinkovitost u određenom trenutku razvoja ječma. Indeks fotosintetske učinkovitosti sorti Astor, Scarlett i Jaran raste tijekom klasanja ječma. Na kraju klasanja izmjerene su njegove najveće vrijednosti da bi daljnjim razvojem njegova vrijednost počela polako opadati (slike 16 i 20).

Indeks fotosintetske učinkovitosti obuhvaća tri ključna događaja u reakcijskom središtu fotosustava II o kojima ovisi fotosintetska aktivnost: apsorpciju energije (ABS/RC), „trapping“ ekscitona (TR_O/RC) i pretvorbu eksitacijske energije uslijed odvajanja naboja što pokreće elektronski transport (ET_O/RC) (Strasser i sur., 2004).

U ovom istraživanju elektronski transport (ET_O/RC) kod sve tri istraživane sorte ječma raste tijekom klasanja ječma da bi na početku nalijevanja zrna počeo opadati zbog smanjene sposobnosti redukcije iza primarnog akceptora elektrona (QA) (slike 19 i 23). To utječe na ukupnu fotosintetsku sposobnost listova što je i vidljivo u smanjivanju indeksa fotosintetske učinkovitosti na početku nalijevanja zrna. Ovi rezultati su u suglasju s istraživanjem Lu i Zhang (1998) koji su pokazali da bi smanjenje fotosintetske učinkovitosti listova moglo biti rezultat povećanja udjela reakcijskih središta koja ne mogu reducirati plastokinon QB.

Prosječna apsorpcija po aktivnom centru (ABS/RC) kod istraživanih sorti opada tijekom klasanja ječma da bi se tijekom daljnjeg razvoja, na početku nalijevanja zrna ABS/RC povećala. Povećanje apsorpcije po aktivnom centru rezultat je smanjenja RC/CS_O koje se događa zbog inaktivacije određenog broja reakcijskih središta.

Parametar ABS/RC predstavlja funkcionalnu veličinu antena kompleksa odnosno daje podatak o prosječnoj količini apsorbirajućih molekula klorofila, stoga povećanje ovog parametra govori o smanjenju broja aktivnih reakcijskih središta što za posljedicu ima smanjenje fotosintetske učinkovitosti listova. Uslijed visokog protonskog gradijenta kroz tilakoidne membrane, dio aktivnih reakcijskih središta dobiva disipacijsku ulogu („utišana reakcijska središta“) pretvarajući violaksantin u zeaksantin i pri tome emitiraju energiju u obliku topline (Lepeduš i sur., 2009) zbog čega raste i disipacija po reakcijskom središtu (DI_O/RC) ispitivanih sorti ječma.

„Trapping“ elektrona po aktivnom reakcijskom središtu ispitanih sorti opada tijekom klasanja ispitivanih sorti ječma da bi na početku nalijevanja zrna njegova vrijednost porasla što je u suglasju s povećanjem prosječne apsorpcije po aktivnom reakcijskom centru na početku nalijevanja zrna.

Kako bi se upotpunila slika o funkcioniranju fotosustava II tijekom razvoja ječma određena je i koncentracija fotosintetskih pigmenata. Fotosintetski pigmenti, klorofil *a* i *b*, imaju značajnu ulogu u procesu fotosinteze jer su zaslužni za apsorpciju svjetlosne energije te prijenos eksitacijske energije da molekula klorofila reakcijskih središta (Voet i Voet, 2004).

U ovom istraživanju koncentracije klorofila *a* , klorofila *b* te ukupnog klorofila (slike 11, 12, 13, 14 i 15) gotovo kod svih istraživanih sorti ječma rasle su tijekom klasanja da bi na početku nalijevanja zrna, stadij u kojem započinje prirodna senescencija listova, njihova koncentracija počela opadati. Smanjenje koncentracije klorofila *a* i *b* te ukupnog klorofila potvrđuje i smanjenje gustoće aktivnih reakcijskih središta (RC/CS_O), maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II (TR_O/ABS) te indeksa fotosintetske učinkovitosti. Slična dinamika pokazana je tijekom senescencije listova nekih drugih biljnih vrsta, npr. kod listova javora (Lepeduš i sur., 2008) i kukuruza (Lu i Zhang, 1998).

Temeljem podataka o prinosu sorti ječma za 2010. i 2011. godinu (Lalić, neobjavljeni podaci) napravljena je usporedba prinosa i indeksa fotosintetske učinkovitosti. Uspoređujući međusobno indeks fotosintetske učinkovitosti i prinos sorti ječma istraživanog 2010. godine moguće je zaključiti da je najveća vrijednost PI izmjerena kod sorte Astor koji je te godine ostvario i najveći prinos, iza njega slijede sorte Jaran i Scarlett kod kojih je izmjerena vrijednost PI bila manja u odnosu na Astor kao i prinos ostvaren te godine. Iako je u 2011. godini najveća vrijednost PI izmjerena kod sorte Astor najveći prinos te godine ostvarila je sorta Jaran kod koje je izmjerena vrijednost PI bila najmanja. Prema vremenskim prilikama u vrijeme istraživanja godine 2010. i 2011. razlikovale su se prvenstveno u količini padalina. Godinu 2010. karakterizirale su velike količine kiše, dok je godina 2011. po količini oborina bila siromašnija. Smatra se da je znatno manji prinos u 2010. godini uzrokovan upravo neprimjerenim vremenskim uvjetima u vrijeme klasanja i zriobe. Na početku nalijevanja zrna listovi ječma ostvarili su maksimalnu fotosintetsku aktivnost što je vidljivo iz vrijednosti parametara PI i TRO/ABS čije su izmjerene vrijednosti kod svih sorti tada bile najveće. U tom razdoblju proces fotosinteze najviše je utjecao na prinos sorti ječma.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata istraživanja učinkovitosti fotosustava II tijekom klasanja ječma mjerenjem fluorescencije klorofila *a* i koncentracije fotosintetskih pigmenata može se zaključiti slijedeće:

1. Tijekom početka procesa senescence u listovima dolazi do smanjenja stope fotosinteze što je povezano s padom fotokemijske aktivnosti fotosustava II.

2. Najveća učinkovitost fotosustava II zabilježena je na kraju klasanja ječma kada su izmjerene vrijednosti parametara PI i TR_O/ABS bile najveće.

3. Sniženje koncentracije fotosintetskih pigmenata na početku nalijevanja zrna u skladu je sa smanjenjem učinkovitosti fotosustava II koja je dokazana parametrima OJIP-testa.

6. LITERATURA

Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. 2002. Molecular Biology of Cell. Gerland Publishing, Inc., New York, 793-807.

Barber J, Nield J, Morris EP, Zheleva D, Hankamer B. 1997. The structure, function and dynamics of photosystem two. *Physiologia Plantarum* 100:817-827.

Boekema EJ, van Roon H, van Breemen JFL, Dekker JP. 1999. Supramolecular organization of photosystem II and its light-harvesting antenna in partially solubilized photosystem II membranes. *Eur J Biochem* 266:444-452.

Christen D, Schönmann S, Jermini M, Strasser RJ, Defago G. 2007. Characterisation and early detection of grapevine (Vitis vinifera) stress responses te esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. *Environ Exp Bot* 60: 504-514.

Cooper GM, Hausman RE. 2004. Stanica-molekularni pristup. Medicinska naknada, Zagreb, 415-426 pp.

Gagro, M. 1997. Ratarstvo obiteljskog gospodarstva: žitarice i zrnate mahunarke. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb, 32-44 pp; 97-107 pp.

Hankamer B, Barber J, Boekema EJ. 1997. Structure and membrane organization of photosystem II in green plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Bio* 48:641-471.

Humbeck K, Quast S, Krupinska K. 1996. Functional and molecular change sin the photosynthetic apparatus during secescence of flag leaves from field-grown barley plants. *Plant, Cell and Environment* 19:337-344.

Jevtić S, Šuput M, Gotlin J, Pucarić A, Miletić N, Klimov S, Đorđevski J, Španring J, Vasilevski G. 1986. Posebno ratarstvo. Ječam,Naučna knjiga, Beograd, 161-175 pp.

Katalog PPK, Nova Gradiška, dostupno na: *http://www.ppkompleks.hr/Scarlett.pdf*.

Lalić A, Kovačević J, Šimić G, Novoselić D. 2007. Analiza uroda zrna i pivarske kakvoće ječma u Republici Hrvatskoj. *Sjemenarstvo* 24:3-4.

Lalić A, Kovačević J, Šimić G, Novoselić D, Abičić I, Duvnjak V, Lenart L, Guberac V. 2009. Sadržaj bjelančevina i urod zrna genotipova jarog ječma u različitim proizvodnim uvjetima. *Sjemenarstvo* 26:1-2.

Lepeduš H, Štolfa I, Radić S, Perica MĆ, Pevalek-Kozlina B, Cesar V. 2008. Photosynthetic Electron Transport and Superoxide Dismutase Activity during Natural Scenescence OF Maple Leaves. *Croatica Chemica Acta* 81:97-103.

Lepeduš H, Tomašić A, Jurić S, Katanić Z, Cesar V, Fulgosi H. 2009. Photochemistry of PSII in CYP38 *Arabidopsis thaliana* deletion mutation. *Food Technol Biotechnol* 47(3): 275-280.

Lepeduš H, Cesar V. 2010. Osnove biljne histologije i anatomije vegetativnih organa. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, Osijek, 12 pp, 88 pp.

Lu C, Zhang J. 1998. Modifications in photosystem II photochemistry in scenescent leaves of maize mlants. *Journal of Experimental Botany* 49:1671-1679.

Maxwell K, Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51:659-668.

Mihalić V, Bašić F. 1997. Temelji bilinogojstva. Školska knjiga, Zagreb, 21-24 pp, 37-41pp.

Pevalek-Kozlina B. 2003. Fiziologija bilja. Profil, Zagreb, 156-219 pp.

Poljoprivredni Institut Osijek 2010. Sorte pšenice i ječma. Katalog 2010, http://www.poljinos.hr/pdf/katalog_psenica_jecam_2010.pdf, pristup: 15.5.2011.

Ronzio R. 2003. Encyclopedia of Nutrition and Good Health. Second Edition, Facts on File, Inc, New York, 64 pp.

Strasser RJ, Srivastava A, Govindjee. 1995. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. *Photochem and Photobiol* 61:32-42.

Strasser RJ, Srivastava A, Tsimilli M. 2004. Analysis of chlorophill a luorescence transient. U: GC Papageorgiou, Govindjee (ur) Chlorophyll a fluorescencea signature of photosynthesis: Advances in photosynthesis and respiration. *Kluwer Academic Publishers*, 19:321-362

Stryer L, Berg JM, Tymoczko JL. 2006. Biochemistry. Sixth edition, W.H. Freeman and Company, New York, 541-588pp.

Taiz L, Zeigler E. 1998. Plant physiology. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, 155-193 pp.

Todorović J, Lazić B, Komljenović I. 2003. Ratarsko – Povrtlarski priručnik. Grafomark, Laktaši, 13 pp, 32 – 40 pp.

Voet D, Voet JG. 2004. Biochemistry. John Wiley & Sons, Inc., New York, 871-908 pp.

Internet stranice:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Thylakoid_membrane.png, 16.07.2011.

http://www.plantstress.com/articles/Oxidative%20Stress_files/IMG00029.gif, 20.07.2011.

http://luirig.altervista.org/cpm/albums/thome/thome00239-hordeum-vulgare.jpg, 28.07.2011.

ftp://hlt-platform.hu/ Language/Croatian/Crawl /Larbin 2004 /content/d00177/_derived/home, 14.02.2012.