

# Učinkovitejšje kmetijske rastline za prihodnost

Dominik Vodnik

Že danes vsak sedmi prebivalec Zemlje težko prihaja do hrane ali pa trpi njeno pomanjkanje. Do sredine stoletja, ko pričakujemo, da bo na svetu živelo že devet milijard ljudi, bi za preprečitev lakote potrebovali petdeset odstotkov več hrane. Pred kmetijstvom je velik izziv, kako pridelati dovolj in pri tem omejiti negativne učinke kmetijske proizvodnje na okolje. Pri reševanju tega izziva so potrebne kompleksne rešitve, del teh pa so lahko tudi kmetijske rastline, ki tudi v spremenjenem okolju, to je ob neugodnem delovanju dejavnikov okolja, dajejo dobre pridelke. Glavne tarčne lastnosti, na katerih temelji selekcija kmetijskih rastlin, so povezane z učinkovitostjo rastlin pri izkoriščanju virov za rast. V zadnjem času potekajo na nekaterih globalno pomembnih poljščinah intenzivne raziskave, s pomočjo katerih poskušajo s korenitejšimi posegi v presnovne poti izboljšati fotosintetsko učinkovitost, učinkovitost izrabe vode in učinkovitost izrabe dušika. Takšne so raziskave omejevanja svetlobnega dihanja ali pa poskusi vzpostavljanja  $C_4$ -tipa fotosinteze pri  $C_3$ -rastlinah, na primer pri pšenici in rižu.

**Okrajšave:** RuBP = ribuloze-1,5-bifosfat;  $Y_p$  = potencialni pridelek;  $\epsilon_i$  = učinkovitost prestrezanja svetlobnega sevanja;  $\epsilon_c$  = učinkovitost pretvorbe prestrežene svetlobe v biomaso;  $\eta$  = žetveni indeks, Rubisko = RuBP karboksilaza/oksigenaza, PEP = fosfoenol piruvat, PEPC = fosfoenol piruvat karboksilaza, MDH = malat dehidrogenaza, NADP-ME = NADP-malatni encim, PPK = ortofosfat dikinaza

## Uvod

Od sredine petdesetih let prejšnjega stoletja so se pridelki poljščin zaradi žlahtnjevanja, uporabe mineralnih gnojil in izboljšave kmetijskih tehnologij skokovito povečali. Potencialni pridelek neke poljščine ( $Y_p$ ) je pridelek na enoto površine, ki ga dosežemo v optimalnih ravnih razmerah brez prisotnosti plevelov, škodljivcev in boleznih. V fiziološkem smislu lahko  $Y_p$  opredelimo kot produkt razpoložljive energije svetlobe in genetsko določenih lastnosti poljščine: učinkovitosti prestrezanja svetlobnega sevanja ( $\epsilon_i$ ), učinkovitosti pretvorbe prestrežene svetlobe v biomaso ( $\epsilon_c$ ) ter deleža biomase, ki ga predstavlja pridelek, najpogosteje zrnje. Ta delež imenujemo žetveni indeks ( $\eta$ ).

Potencialni pridelek lahko izračunamo po enačbi:

$$Y_p = \eta \cdot P_n,$$

pri čemer je  $\eta$  žetveni indeks,  $P_n$  pa primarna proizvodnja:

$$P_n = (S_t \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_c) / k,$$

kjer je  $S_t$  letni integral vpadne svetlobe,  $k$  pa energetska vrednost rastlinske biomase.

Analize potencialnih pridelkov glavnih poljščin pa kažejo, da njihovega nadaljnega povečevanja ne bo mogoče doseči s povečanimi vnosi hranil in kemičnih sredstev oziroma s spremembami kmetijske prakse. Z žlahtnjenjem rastlin smo učinkovitost prestrezanja svetlobe in žetveni indeks privedli do njihovih teoretičnih maksimumov. Nadaljnje povečanje pridelka bi bilo možno na račun  $\epsilon_c$ ,

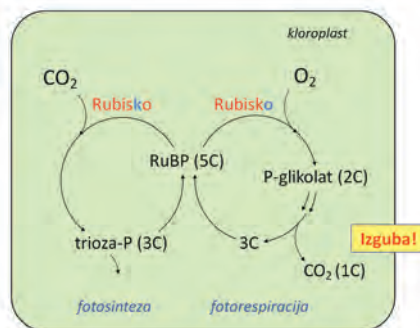
ki pa je odvisen od procesov fotosinteze in dihanja. Tako se zdi, da glavni potencial za povečanje pridelka pomeni povečanje fotosintezne učinkovitosti.

K temu sklepu navajajo tudi novejša analiza rezultatov raziskav učinkov povečanih koncentracij ogljikovega dioksida na rastline, v katerih lahko - ob tem drugi viri za rast rastlini niso bili omejeni - povečanje pridelka povežemo z večjo fotosintezo. Povečane koncentracije ogljikovega dioksida prispevajo k povečanju fotosinteze zaradi: 1) pospešene karboksilacije ribuloze-1,5-bisfosfata (vezave ogljikovega dioksida na RuBP s pomočjo encima Rubisko) in 2) zaradi zmanjšanja svetlobnega dihanja - fotorespiracije. S fotorespiracijo se iz fotosinteze izgublja znaten delež fotosintatov, zato bi z njenim zmanjšanjem lahko bistveno povečali  $\epsilon_c$  ter s tem pridelek.

### Rubisko in fotorespiracija

Vzrok za pojav fotorespiracije je nespecifičnost encima Rubisko, osrednjega fotosinteznega encima, ki lahko poleg reakcije karboksilacije RuBP katalizira tudi oksigenacijo istega substrata (slika 1). Pri tem iz RuBP nastaja ena molekula 3-fosfoglicerata, ki se lahko normalno vključi v redukcijo v Calvinovem ciklu, in ena molekula 2-fosfoglikolata, ki pa je za neposredno vključevanje v fotosintetsko asimilacijo ogljika neuporabna. Fosfoglikolat se presnavlja v reakcijah, ki jih imenujemo  $C_2$ -oksidativni fotosintezni ogljikov cikel, in potekajo v kloroplastu, peroksisomu in mitohondriju. Z njihovo pomočjo se v ogljikove reakcije fotosinteze vrača tri četrtine ogljika, ki bi bil sicer za fotosintezno asimilacijo izgubljen.

Razmerje med fotosintezo in fotorespiracijo je *in vivo* odvisno od treh dejavnikov:

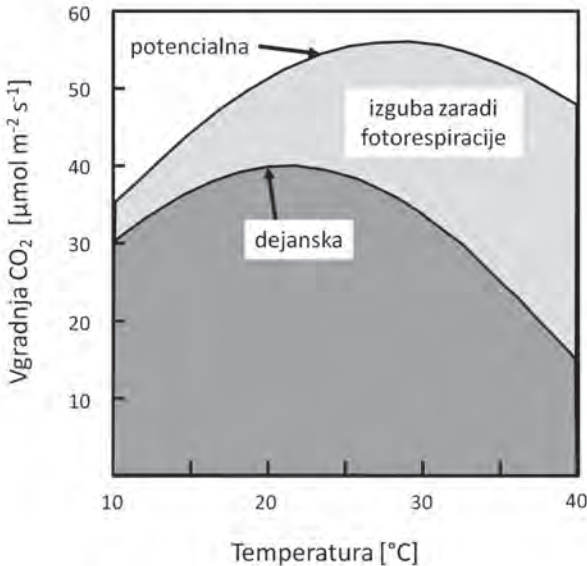


Slika 1: Fotorespiracija. Levi del presnovne sheme predstavlja Calvinov cikel, v katerem Rubisko deluje kot karboksilaza. Desni del presnovne sheme je fotorespiratorna pot, ki je posledica dejstva, da Rubisko katalizira oksigenacijo ribuloze-bisfosfata.

- 1) kinetičnih lastnosti encima Rubisko,
- 2) koncentracije ogljikovega dioksida in  $O_2$
- in od 3) temperature.

Ob višji temperaturi je kisik v primerjavi z ogljikovim dioksidom v vodnem mediju bolj topen in difuzibilen, spremenijo pa se tudi kinetične lastnosti encima Rubisko, in sicer v korist vezavi kisika (oksidaciji). Posledično predstavlja v toplejših razmerah svetlobno dihanje pomembnejši delež v asimilaciji ogljika (slika 2).

To dejstvo moramo upoštevati, ko razmišljamo, kako bodo rastline delovale v prihodnjih okoljskih razmerah. Če se izdvojimo proces svetlobnega dihanja, imajo nanj globalne podnebne razmere večplasten vpliv. S povečevanjem koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju prihaja do zmanjševanja deleža oksigenacije RuBP, vendar fotorespiracijo po drugi strani spodbuja segrevanje ozračja. Upoštevati pa je treba, da bodo v bodočih razmerah rastline slabše preskrbljene z vodo in izpostavljene večjim koncentracijam.



Slika 2: Fotorespiracija zmanjšuje učinkovitost fotosinteze

(prirejeno po Long in sod. 2006).

cijam ozona, kar lahko pomembno vpliva na njihovo ogljikovo bilanco.

### Kako povečati učinkovitost fotosinteze?

Nespecifičnost in slabe katalitične lastnosti Rubiska so razlog, da vsebujejo rastline v zelenih tkivih precejšnje koncentracije tega encima, s čimer dosežejo primerno fotosintetsko kapaciteto. V listih lahko tako Rubisko predstavlja od 15 do 30 odstotkov skupnega dušika in je količinsko najbolj zastopana beljakovina na Zemlji. Pokazalo pa se je, da z dodatnim povečanjem njegove koncentracije ne moremo izboljšati fotosinteze in povečati pridelka. Rešitev zadreg s fotorespiracijo in povečanje učinkovitosti fotosinteze bi bilo mogoče doseči z izboljšanjem delovanja encima Rubisko, to je z izboljšanjem njegovih kinetičnih lastnosti - katalitična hitrost Rubiska v primerjavi z nekaterimi drugimi encimi ni prav dobra - in s povečanjem njegove specifičnosti za ogljikov dioksid. Primerjava oblik Rubiska iz različnih rastlinskih vrst pa je pokazala, da imajo oblike z večjo specifičnostjo za ogljikov dioksid slabše kinetične lastnosti. To je verjetno tudi vzrok, da dosedanje

raziskave na tem področju niso pripeljale do zelenega cilja, bistvenega povečanja fotosinteze. Ugodnejši rezultat je bil dosežen s transgenimi C<sub>3</sub>-rastlinami, v katerih so povečali vsebnost nekaterih drugih encimov Calvinovega cikla (na primer sedoheptuloze-1:7-bifosfataza) ali proteinov, ki so udeleženi pri prenosu elektrona v tilakoidni membrani (citokorom c6). Te spremembe pospešujejo regeneracijo RuBP, ki sicer tudi omejuje hitrost asimilacije ogljikovega dioksida. V nadaljnjih raziskavah bo treba oceniti, v kolikšni meri se lahko opaženi učinki preslikajo v povečanje pridelka.

V sedanjih razmerah so fotorespiracijske izgube ogljika uspešno omejene pri rastlinah s C<sub>4</sub>-tipom fotosintetske presnove. V gosto ožiljenih listih C<sub>4</sub>-rastlin lahko ločimo dva tipa celic asimilacijskega parenhima: celice mezofila in celice žilnega ovoja (Kranz anatomija). Ogljikov dioksid, ki vstopa v mezofilne celice, veže na organsko molekulo (fosfoenol piruvat, PEP) encim fosfoenol piruvat karboksilaza (PEPC). Gre za encim, ki ima do ogljikovega dioksida afiniteto, ki je večja od tiste, ki jo poznamo za Rubi-

sko. Nastane kislina s štirimi ogljikovimi atomi (malat ali aspartat), ki prek plazmodezem, ki povezujejo oba tipa celic, prehaja iz mezofila v celice žilnega ovoja. Tu se dekarboksilira, sproščeni ogljikov dioksid pa vstopa v običajni Calvinov cikel. Preostanek, piruvat, se vrača v celico mezofila, kjer se ob porabi ATP regenerira v PEP (slika 3). Mezofilna celica predstavlja v primeru C<sub>4</sub>-rastlin mesto, kamor je umeščena »črpalka« za kopičenje ogljikovega dioksida. Njeno učinkovitost lahko izrazimo z dejstvom, da je v celici žilnega ovoja dosežena koncentracija, ki je lahko desetkrat večja od koncentracije ogljikovega dioksida, ki jo imamo na mestu, kjer deluje Rubisko pri C<sub>3</sub>-rastlinah. Posledica tega kopičenja je velika fotosintezna aktivnost pri majhnih koncentracijah ogljikovega dioksida v ozračju, ki jo lahko delno pripišemo tudi odsotnosti svetlobnega dihanja. Fotorespiracija oziroma oksigenacij-

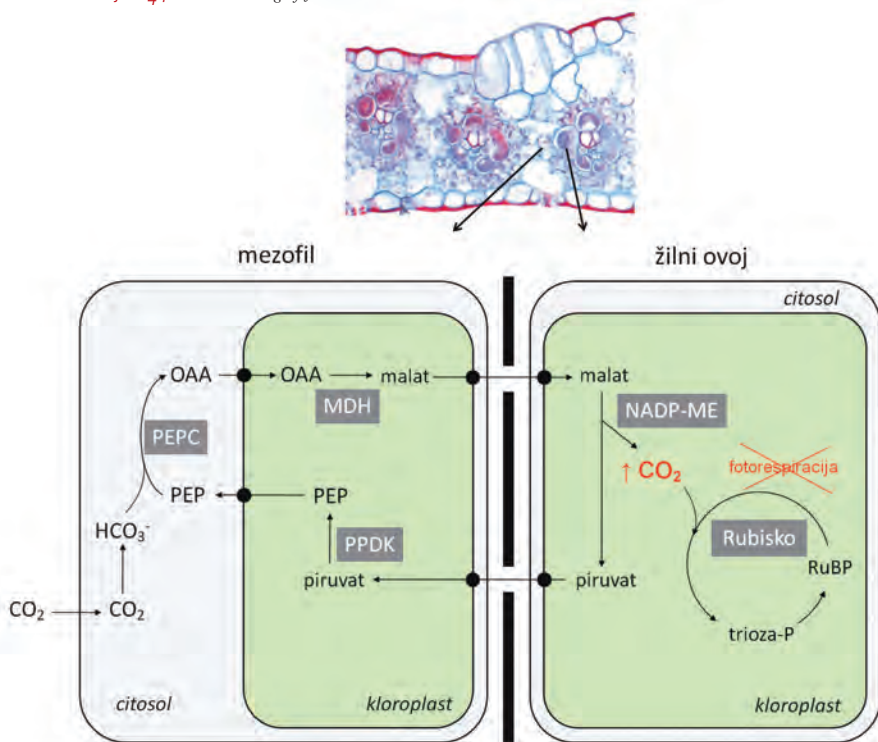
ska aktivnost encima Rubisko je namreč pri C<sub>4</sub>-rastlinah zaradi velikega delnega tlaka ogljikovega dioksida odsotna.

Zaradi opisane presnove imajo C<sub>4</sub>-rastline v primerjavi s C<sub>3</sub>-rastlinami hitrejšo rast, večjo učinkovitost izrabe vode in večjo učinkovitost izrabe dušika, posebej če rastejo v vročih in sušnih razmerah (preglednica 1).

Zaradi opisanih lastnosti se je že zgodaj po odkritju C<sub>4</sub>-fotosinteze začelo razmišljati o vzpostavitvi podobnih presnovnih poti v C<sub>3</sub>-rastlinah, predvsem pri globalno pomembnih poljščinah rižu in pšenici. Možnosti za to so se povečale z razvojem molekularskih tehnik.

Najbolj neposreden pristop pri vzpostavljanju C<sub>4</sub>-presnove je vnos genov za glavne encime C<sub>4</sub>-presnove v C<sub>3</sub>-rastline. To so PEPC, dva encima, ki sodelujeta pri nas-

Slika 3: Osnovne reakcije C<sub>4</sub>-presnove. Fotografija v sliki: Aleš Kladnik.



Lastnost	Riž (C <sub>3</sub> )	Koruza (C <sub>4</sub> )	C <sub>4</sub> : C <sub>3</sub>
Učinkovitost izrabe vode - WUE (g DW kg <sup>-1</sup> vode)	76	144	1,9
Fotosintetska učinkovitost izrabe dušika - PNUE (μmol CO <sub>2</sub> s <sup>-1</sup> mmol <sup>-1</sup> N)	0,26	0,74	2,8
Učinkovitost izrabe svetlobnega sevanja - RUE (g DW MJ <sup>-1</sup> prestrežene svetlobe)	2,2	3,3	1,5

Preglednica 1: Primerjava izrabe nekaterih virov za C<sub>3</sub>- (riž) in C<sub>4</sub>-rastline (koruza). DW = masa suhe snovi. Prirejeno po Mitchell in Sheehy, 2006.

tanku malata in njegovi dekarboskilaciji - malat dehidrogenaza (MDH) in NADP-malatni encim (NADP-ME), ter encim, ki sodeluje pri regeneraciji PEP (ortofosfat dikinaza, PPK) (slika 3).

Omenjeni encimi so sicer v listnih celicah C<sub>3</sub>-rastlin navzoči, vendar po organelih niso enako razporejeni kot v celicah C<sub>4</sub>-rastlin oziroma ne opravljajo funkcije koncentriranja ogljikovega dioksida. V poskusih transformacije tobaka, krompirja, riža, pšenice in navadnega repnjakovca (*Arabidopsis thaliana*) so poskušali z vnosom genov C<sub>4</sub>-presnove za različno število encimov. Za zgodnje obdobje teh raziskav so značilni predvsem poskusi z vnosom enega gena, kasneje so se raziskave nadaljevale s hkratnim vnosom dveh ali več genov. Namen teh raziskav je bil v eni celici vzpostaviti zaključeni krog reakcij C<sub>4</sub>-presnove. Podlaga za ta pristop so bili iz narave znani primeri, ko mehanizem, ki koncentrirajo ogljikov dioksid, deluje v isti celici kot Calvinov cikel. Poleg tega so pri fakultativni C<sub>4</sub>-rastlini *Hydrilla verticillata* ugotovili, da pride ob preklopu s C<sub>3</sub>- na C<sub>4</sub>-presnovo – tega lahko sprožimo z zmanjšanjem koncentracije ogljikovega dioksida v zraku – do koncentriranja ogljiko-

vega dioksida, ne da bi bile za to potrebne strukturne prilagoditve. Kljub uspešno povečani vsebnosti encimov pa fotosinteza transformiranih rastlin največkrat ni bistveno večja, pogosti so celo negativni učinki na rast. Očitno vzpostavitev C<sub>4</sub>-mehanizma v C<sub>3</sub>-rastlinah zahteva kompleksnejšo modifikacijo presnove, ki vključuje uravnano in usklajeno delovanje ključnih encimov ter delovanje transportnih mehanizmov, ki so udeleženi pri premeščanju intermediatov C<sub>4</sub>-zanke. Poleg tega pa so najverjetneje potrebne tudi anatomsko-morfološke spremembe, ki so podlaga za delovanje mehanizma na ravni celice (prilagoditev zgradbe kloroplastov) oziroma lista (diferenciacija celic žilnega ovoja, celične povezave med celicami mezofila in celicami žilnega ovoja, povečanje gostote ožiljenosti).

Če je genetski nadzor C<sub>4</sub>-presnovne poti razmeroma dobro poznan, pa tega ne moremo trditi za nadzor razvoja tipične C<sub>4</sub>-anatomske zgradbe. Do danes geni, ki nadzirajo gosto ožiljenost in ultrastrukturo dveh različnih tipov celic, ki sodelujeta v C<sub>4</sub>-metabolizmu, niso bili razkriti. Pomen anatomsko-morfoloških značilnosti za razvoj C<sub>4</sub>-fotosinteze skušajo pojasniti

s preučevanjem rastlin, ki so intermediati  $C_3$ - $C_4$ . Takšen je rod *Flaveria*, v katerem se poleg  $C_3$ - in  $C_4$ -vrst pojavljajo tudi vrste, v katerih se mešajo lastnosti obeh tipov. Ugotovili so, da je do pojava gostejše ožiljenosti v evoluciji prišlo pred razvojem  $C_4$ -presnovnih poti. Na  $C_3$ - kmetijskih rastlinah poskušajo z metodo aktivacijskega označevanja in presejanjem velika števila (nekaj deset tisoč) mutantov izločiti tiste z gostejšo ožiljenostjo in z drugimi lastnostmi, ki so bližje  $C_4$ -rastlinam. Predvidevajo, da bo v takšnih rastlinah lažje vzpostaviti tudi funkcionalno  $C_4$ -presnovo ter da bodo hkrati uspeli identificirati gene, ki uravnava  $C_4$ -razvoj.

### Vzpostavitev $C_4$ -presnove v rižu

Riž pomeni za večino svetovnega prebivalstva glavno hrano. Da bi se izognili podhranjenosti, pa bi bilo glede na demografske trende treba njegov pridelek na področju Azije do leta 2050 povečati za šestdeset odstotkov. Vsak hektar riževih polj, ki sedaj daje hrano 27 ljudem, bi moral prehraniti 43 prebivalcev. Zaradi tega ni presenetljivo, da se raziskave, kako povečati pridelek z modifikacijami fotosinteze, že nekaj časa osredotočajo prav na to poljščino. V ta namen je bil 2008 oblikovan tudi mednarodni raziskovalni konzorcij za  $C_4$ -riž, ki ga vodi International Rice Research Institute (Mednarodni inštitut za raziskave riža) (IRRI, <http://irri.org/>), v njem pa sodeluje 24 raziskovalnih skupin. Z različnimi pristopi, opisanimi v prejšnjem poglavju, so bile pridobljene dragocene izkušnje, ki jih konzorcij sedaj izkorišča pri vzpostavljenju dvoceličnega  $C_4$ -mehanizma. Pri tem so ključna naslednja znanja: 1) poznavanje promotorjev ključnih genov  $C_4$ -rastlin v rižu, ki omogoča njihovo nadzorovano izražanje v določenem tipu celic, 2) uravnavanje aktivnosti  $C_4$ -encimov, 3) poznavanje transportnih beljakovin, ki so udeležene pri premeščanju intermediatov  $C_4$ -presnove

med organeli in celicami, 4) poznavanje fotosintezne presnove v  $C_4$ -rastlinah, ki se pojavljajo kot pleveli na riževih poljih (*Echinochloa* sp.), 5) pridobivanje linij riža, ki so po morfološko-anatomskih lastnostih blizu  $C_4$ -rastlinam.

### Sklepi

Kljub temu, da gre za izredno zahtevno nalogo, se zdi vzpostavitev  $C_4$ -fotosinteze v  $C_3$ -rastlinah najbolj obetaven način za izboljšanje fotosintezne učinkovitosti in pridelka poljščin. Razvoj primerjalnega raziskovanja na ravni izražanja genov, prepisov DNA v RNA in prisotnih beljakovin; razvoj drugih molekularnih tehnik ter metod za učinkovito preučevanje vzpostavljenih lastnosti (fenotipizacija), daje upanje, da je zastavljeni cilj z orodji sistemske biologije realno dosegljiv že v krajšem času. Na ta način bomo dobili rastline, ki bodo učinkoviteje izkoriščale vire za rast, kar bo korenito vplivalo na rastlinsko proizvodnjo. Ali bo človeštvo sposobno narediti tudi korake k bolj trajnostni uporabi virov ter učinkovitejšemu izkoriščanju in porazdeljevanju hrane, pa je drugo vprašanje.

#### Literatura:

- Foley, J. A., in sod., 2011: *Solutions for a cultivated planet. Nature*, 478: 337-342.
- Kajala, K., Covshoff, S., Karki, S., Woodfield, H., Tolley, B. J., Dionora, M. J. D., Mogul, R. T., Mabilangan, A. E., Danila, F. R., Hibberd, J. M., Quick, W. P., 2011: *Strategies for engineering a two-celled  $C_4$  photosynthetic pathway into rice. Journal of Experimental Botany*, 62: 3001-3010.
- Long, S. P., Zhu, X. G., Naidu, S. L., Ort, D. R., 2006: *Can improvement in photosynthesis increase crop yields? Plant, Cell and Environment*, 29: 315-330.
- Mitchell, P. L., Sheehy, J. E., 2006: *Supercharging rice photosynthesis to increase yield. New Phytologist*, 171: 688-693.
- Miyao, M., Masumoto, C., Miyazawa, S. I., Fukuyama, H., 2011: *Lessons from engineering a single-cell  $C_4$  photosynthetic pathway into rice. Journal of Experimental Botany*, 62: 3021-3029.
- Parry, M. A. J., Madgwick, P. J., Carvalho, J. F. C.,

Andralojc, P. J., 2007: *Prospects for increasing photosynthesis by overcoming the limitations of Rubisco. The Journal of Agricultural Science*, 145: 31-43.

Rao, S. K., Fukayama, H., Reiskind, J., Miyao, M., Bowes, G., 2006: *Identification of C<sub>4</sub> responsive genes in the facultative C<sub>4</sub> plant Hydrilla verticillata. Photosynthesis Research*, 88: 173-183.

Ruan, C. J., Shao, H. B., da Silva, Teixeira, J. A., 2012: *A critical review on the improvement of photosynthetic carbon assimilation in C-3 plants using genetic engineering. Critical Reviews in Biotechnology*, 32: 1-21.

<http://irri.org/> (26. 03. 2013)

Slovarček:

**C<sub>4</sub>-fotosinteza.** Tip fotosintezne presnove, pri katerem se ogljikov dioksid, preden se vgrajuje v sladkorje, v listu kopiči v večji koncentraciji, s čimer se poveča učinkovitost fotosinteze. Kopičenje omogočajo aktivnih presnovni mehanizmi, ti vključujejo organske molekule s štirimi ogljikovimi atomi (C<sub>4</sub>).

**C<sub>3</sub>-rastline.** Rastline z običajno fotosintezno presnovo, pri kateri se ogljikov dioksid v Calvinovem ciklu vgradi v sladkorje. Proizvod Calvinovega cikla s sladkorji s tremi ogljikovimi atomi (C<sub>3</sub>).

**C<sub>4</sub>-rastline.** Rastline s C<sub>4</sub>-presnovo.

**Fotorespiracija (svetlobno dihanje).** Presnovna pot, ki je posledica nespecifičnega delovanja encima Rubisko. Ta

encim poleg reakcije karboksilacije ribuloze-1,5-bisfosfata (1. faza Calvinovega cikla) katalizira tudi oksigenacijo istega substrata, kar zmanjša fotosintetsko učinkovitost. Ob fotorespiraciji se del ogljika, ki bi bil zaradi te nespecifičnosti izgubljen, vrača v Calvinov cikel (¾), ostanek pa se odda v obliki ogljikovega dioksida (¼).

**Calvinov cikel (tudi reduktivni cikel pentoze fosfata).** Presnovni cikel, v katerem se asimilira ogljikov dioksid. V prvih dveh fazah, karboksilaciji in redukciji, na ta način nastajajo sladkorji trioze. Velik del teh se porabi v tretji fazi cikla, ki omogoča nadaljevanje cikla (regeneracija ribuloze-1,5-bisfosfata). Encim, ki katalizira karboksilacijo, je Rubisko.

**Mezofil.** Listna sredica, osrednje tkivo lista.

**Rubisko.** Encim ribuloze-1,5-bisfosfat karboksilaza/oksigenaza.

**Žilni ovoj.** Plast celic, ki omejuje žilni snopič, žilo od mezofila.



**Dr. Dominik Vodnik**, univ. dipl. biol., je redni profesor za področje fiziologije rastlin na Biotehniški fakulteti na Univerzi v Ljubljani. Njegovo raziskovalno delo se osredotoča na kroženje ogljika v kopenskih ekosistemih ter stresno delovanje abiotičnih dejavnikov okolja na rastline.

Paleontologija • Srednjemiocenski ptič iz hrvaškega Radoboja

## Srednjemiocenski ptič iz hrvaškega Radoboja

Matija Križnar

V Prirodoslovnem muzeju Slovenije hranimo zanimivo zbirko srednjemiocenskih fosilov iz okolice Radoboja na Hrvaškem. Med fosili so najrazličnejše žuželke (muhe, kobilice, kačji pastir), ribe kostnice, ostanke morskih in kopenskih rastlin ter izjemno zanimiv in redek ostanek ptiča (Križnar, 2011, 2012). Že med pregledovanjem zbirke smo ostanek takoj izločili in ga dodatno

pregledali in fotografirali. Seveda bi ostalo pri tem, a smo kasneje v enem od Proteusovih člankov o fosilnih ptičih naleteli na zapis, da naj bi bil primerek izgubljen (Cimerman, 1974). Zato smo se odločili, da ta fosil ptiča podrobneje predstavimo, saj si zavoljo redkosti to tudi zasluži, čeprav ne izvira s slovenskega ozemlja.