



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Olga FERLIN

**FIZIOLOŠKI ODZIV POLJŠČIN NA SPREMENJENE
KLIMATSKE RAZMERE**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Olga FERLIN

**FIZIOLOŠKI ODZIV POLJŠČIN NA SPREMENJENE KLIMATSKE
RAZMERE**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF CROPS TO CLIMATE CHANGE

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2010

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Dominika Vodnika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marina Pintar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Dominik Vodnik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Darja Kocjan Ačko
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 10. september 2010

Diplomski projekt je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Olga Ferlin

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK UDK 633.1: 581.1: 551.583 (043.2)
- KG fiziologija rastlin/ kmetijstvo/ povečana koncentracija CO₂/ rastline/ fotosinteza/
pšenica/ koruza/ pridelek
- AV FERLIN, Olga
- SA VODNIK, Dominik (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- LI 2010
- IN FIZIOLOŠKI ODZIV POLJŠČIN NA SPREMENJENE KLIMATSKE RAZMERE
- TD Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
- OP VI, 16 str., 3 pregl., 7 sl., 34 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Klimatske spremembe, katerih vzrok v zadnjih desetletjih je človek s svojo dejavnostjo, bodo v prihodnosti odločilno vplivale na velikost in kakovost pridelkov. V diplomskem seminarju sem se osredotočila predvsem na vplive povečane koncentracije CO₂ in povečane temperature na presnovne procese v rastlini in hkrati tudi na pridelke treh najpomembnejših poljščin: pšenice, riža in koruze. Povečane koncentracije CO₂ pri C₃ rastlinah (pšenica, riž) izboljšajo učinkovitost fotosinteze, na ta način, da v rastlini zmanjšajo proces fotorespiracije, povečajo fotosintezo in izboljšajo učinkovitost izrabe vode. Pri C₄ rastlinah (koruza) povečane koncentracije CO₂ na fotosintezo nimajo večjega vpliva, ker imajo C₄ rastline razvit mehanizem za koncentriranje CO₂, zaradi katerega pride hitro do nasičenja in nadaljnje povečevanje koncentracije CO₂ ne vpliva več na fotosintezo. Raziskave kažejo, da je vpliv povečane koncentracije CO₂ na fotosintezo in ostale presnovne procese v rastlini lahko zelo različen, prav tako variirajo tudi pridelki. Vzrok za variabilnost je, da je odgovor rastlin na povečano koncentracijo CO₂ odvisen od številnih drugih dejavnikov, na primer od preskrbljenosti s hranili, vodo in od temperature. Poskusi v katerih se učinki CO₂ preučujejo pa so opravljeni v različnih rastnih razmerah, z različnimi sortami, ob različnih klimatskih razmerah in različni agrotehnikah. Povečane koncentracije CO₂ naj bi pozitivno vplivale na rast in razvoj rastlin, vendar poskusi z upoštevanjem tudi drugih omejujočih dejavnikov poleg CO₂, kažejo zmanjšano fotosintezo in tudi pridelke. V prihodnosti bo torej potrebno spremeniti ustaljeno agrotehniško prakso, žlahtnitelji bodo morali vzgojiti nove odpornejše sorte in verjetno bo prišlo tudi do premikov kmetijske proizvodnje.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 633.1: 581.1: 551.583 (043.2)
- CX plant physiology/ agriculture/ elevated concentration CO₂/ plants/ photosynthesis/
wheat/ maize/ yield
- AU FERLIN, Olga
- AA VODNIK, Dominik (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
- PY 2010
- TY PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF CROPS TO CLIMATE CHANGE
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 16 p., 3 tab., 7 fig., 34 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB Climate changes which have been caused in last decades by human activities will be crucial for production and quality of crops in the future. In thesis we focused on the influence of increased atmospheric concentrations of CO₂ and increased temperature on metabolic processes in plants and their yields; focusing to three the most important crops: wheat, rice and maize. In C₃ plants (wheat, rice) elevated concentrations CO₂ improves efficiency of photosynthesis, by reducing photorespiration, enhancing photosynthetic rate and improving water use efficiency. Less pronounced stimulation of photosynthesis is reported for C₄ plants (maize) because C₄ plants have well-formed mechanism for concentrating CO₂. As a consequence photosynthesis is rapidly saturated by CO₂ and its further increase does not have any influence on photosynthesis any more. Research has shown that the impact of elevated CO₂ concentrations on photosynthesis, other metabolic processes in plants and on their yield can be very variable. This variability can be related to the fact that the plant response to elevated CO₂ is very much dependent on other factors, such as nutrient and water variability, temperature, etc. Experiments that deal with the issue of elevated CO₂ are performed under different growth conditions with different species, at different climate conditions and by using different agricultural technology. It is to presume that elevated CO₂ concentrations have positive influence on growth and development of plants, but experiments that consider other growth limiting factors besides CO₂ indicate reduction in photosynthesis and in production of crops. In the future it will be necessary to adopt present agricultural technology, breeders will have to bring up new more resistant species and probably it will come to the spatial shifts of agricultural production.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VI
1 UVOD	1
1.1 KLIMATSKE SPREMEMBE IN VZROKI ZANJE	1
1.2 VPLIVI KLIMATSKIH SPREMEMB NA KMETIJSTVO	2
2 FIZIOLOŠKE OSNOVE ODZIVA KMETIJSKIH RASTLIN NA SPREMENJENE KLIMATSKE RAZMERE	3
2.1 NAČINI PREUČEVANJA VPLIVOV KLIMATSKIH SPREMEMB NA RASTLINE	3
2.2 ODZIV PRESNOVNIH PROCESOV NA SPREMENJENE KLIMATSKE RAZMERE	4
3 KAKO SE OMENJENI FIZIOLOŠKI ODZIVI KAŽEJO V PRIDELKU?	10
4 ZAKLJUČEK	12
5 VIRI	13
ZAHVALA	

KAZALO SLIK

Slika 1:	Globalna razporeditev pridelovalnih površin preoblikovana z HadCM3 globalnim klimatskim modelom Zemeljske površinske mreže, glede na površine označene kot kmetijske površine (Ridgwell in sod., 2009)	2
Slika 2:	FACE zaplinjevalni sistem; na levi sliki (Carbon dioxide and crop yield in China, 2010) postavljen na polju posejanim z pšenico, na desni sliki (Johann Heinrich von Thunen-Institut, 2008) nekoliko večji sistem na polju koruze.	3
Slika 3:	OTC sistem postavljen na polju, premera 2 m in višine približno 1,5 m (Scientists ..., 2010).	4
Slika 4:	Neto fotosinteza na enoto površine lista v odvisnosti od atmosferske koncentracije CO ₂ pri C ₃ in C ₄ rastlinah (Wolfe in Erickson, 1993, cit. po Wolf 1994).	6
Slika 5:	Odvisnost neto fotosinteze (P _n) od koncentracije CO ₂ v listu (C _i) pri pšenici. EC krivulja predstavlja okoljsko CO ₂ koncentracijo, AC pa predstavlja dvakratno povečano koncentracijo CO ₂ (Pandurangam in sod., 2006).	6
Slika 6:	Shematičen prikaz povečanja fotosinteze v odvisnosti od sončnega sevanja, temperatur in dveh vrednosti CO ₂ (Goudriaan in Zadoks, 1995).	7
Slika 7:	Graf prikazuje biomaso poganjkov pri različnih tretiranjih (Wenlong in sod., 2006).	11

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Pregled vplivov povečanih koncentracij CO ₂ in sodelujočih vplivov drugih dejavnikov na presnovne procese pri koruzi, pšenici in rižu.	9
Preglednica 2:	Glavni učinki povečane koncentracije CO ₂ na določene karakteristike pri žitu v letih 1991 in 1992 (Rudorff in sod., 1996).	10
Preglednica 3:	Prikaz pridelkov žita pri različnih rastnih pogojih (Wenlong in sod., 2006).	11

1 UVOD

Podnebje je že od nekdaj odločilno vplivalo na bivanje ljudi in njihov življenjski slog. Posebej izrazit je njegov vpliv na pridelavo hrane, s katero se ljudje preživljajo. V dvajsetem stoletju je tehnološki razvoj zagotovil obilico energije, omogočil lahek dostop do fosilnih goriv, v kmetijstvu se je povečal nabor gojenih rastlin, pridelki so postali kakovostnejši in večji. Hiter tehnološki razvoj je s svojimi prednostmi in slabostmi povzročil, da se podnebje v zadnjih desetletjih spreminja hitreje, kot se je kdaj koli v preteklosti.

1.1 KLIMATSKE SPREMEMBE IN VZROKI ZANJE

Podnebne spremembe zajemajo celoten sklop sprememb podnebja in ne zgolj ogrevanja ozračja. Višja temperatura sproža spremembe številnih lastnosti vremena in podnebja, kot so vetrovni vzorci, količina in razporeditev padavin, pogostost in tip ekstremnih vremenskih pojavov (ARSO, 2010).

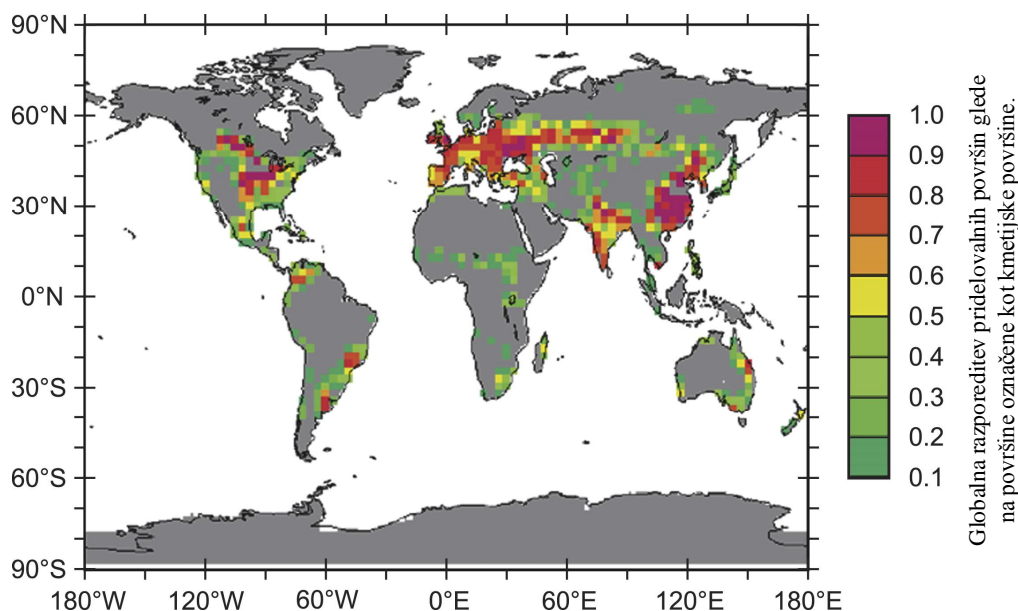
V zadnjem, četrtem poročilu Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC) so dodatno izpostavili dokaze o nedvoumni spremembi podnebja (Solomon in sod., 2007). Ugotovili so, da se je temperatura kopnega in oceanov od leta 1906 do 2007 dvignila za skoraj 0,8 stopinje Celzija. Skoraj vzporedno z dviganjem temperature se dviga morska gladina. Svetovno povprečje morske gladine se je od leta 1961 dvignilo za 1,8 mm na leto in od leta 1993 za 3,1 mm na leto. Prav tako v atmosferi stalno narašča vsebnost toplogrednih plinov in sicer od leta 1970 do 2004 so se izpusti toplogrednih plinov povečali za 70 %. Izpusti ogljikovega dioksida, količinsko najpomembnejšega toplogrednega plina, so se v obdobju od leta 1990 do 2004 povečali za 28 %. Koncentracija ogljikovega dioksida je v letu 2005 znašala 379 ppm in ta koncentracija presega naravno vrednost v zadnjih 650.000 letih. Strokovnjaki pa napovedujejo, da naj bi se ta koncentracija do leta 2100 skoraj podvojila (Solomon in sod., 2007).

Med antropogenimi vplivi na spremenljivost podnebja igrajo glavno vlogo emisije toplogrednih plinov (TGP: CO₂, CH₄, N_xO, O₃, ...) in aerosolov, mikroskopskih lebdečih delcev ali kapljic (najpomembnejši so sulfatni), ki spreminjajo sestavo ozračja. Glavni vir omenjenih tri in več-atomnih plinov in aerosolov je uporaba fosilnih goriv, ki narašča vse od začetka industrijske dobe. K emisijam toplogrednih plinov prispeva tudi kmetijstvo, predvsem kar se tiče CH₄ (pridelava riža, živinoreja, gnojenje) in NO₂ (obdelovanje zemlje, gnojenje) (Freibauer, 2003). Neposredno se učinki toplogrednih plinov, pri spremembah podnebja, kažejo v segrevanju ozračja. Toplogredni plini delujejo kot odeja, ki zadržuje toploto v atmosferi. Višje kot so koncentracije toplogrednih plinov v ozračju, večje je zadrževanje toplote v atmosferi.

1.2 VPLIVI KLIMATSKIH SPREMENB NA KMETIJSTVO

Spremembe okoljskih dejavnikov (temperatura, talna vlaga, koncentracija atmosferskega CO₂ in troposferskega ozona (O₃)) lahko z neposrednim delovanjem na ravni rastline, ali posrednim delovanjem na ravni ekosistema vplivajo na rastlinsko pridelavo. Odražajo se na primer v spremembah v kroženju hranil in v spremembah medvrstnih odnosov, na primer interakcije poljščina-pleveli, pojavnost škodljivcev in bolezni na rastlinah. Rezultate številnih poskusov, ki proučujejo te vplive, pa težko posplošimo, ker so opravljeni pri različnih rastnih razmerah (Fuhrer, 2003).

Pričakovati je, da bo kmetijstvo največ škode utrpelo ob pojavu ekstremnega vremena, kot so suše, poplave, neurja s točo, nizke temperature s pozebami in vročinski valovi. Zaradi ogrevanja se bo podaljšala potencialna rastna doba za kmetijske rastline. Ta učinek se lahko izkoristi za zgodnejšo setev in pa za večkratno setev iste poljščine v istem letu ali za strniščne posevke, seveda ob upoštevanju kolobarja. Višje temperature bodo vplivale tudi na prostorske premike kmetijske proizvodnje, kar v Sloveniji pomeni premik pridelovalnih zemljišč v višje lege. Nižje lege pa bo mogoče izrabiti za gojenje toplotno zahtevnih rastlin. Pričakujemo lahko pojav novih škodljivcev in bolezni ter spremembe v razširjenosti, pogostnosti in intenziteti že znanih. Potrebno bo vzgojiti sorte, ki bodo na takšne razmere čimbolj prilagojene, obenem pa tudi spremeniti ustaljeno agrotehniško prakso (Kajfež-Bogataj, 2005). V prihodnosti bo torej največji problem oziroma izziv, ob nadaljnjih podnebnih spremembah, večanju števila prebivalcev in omejenih pridelovalnih površinah (Slika 1), pridelava zadostne količine hrane.



Slika 1: Globalna razporeditev pridelovalnih površin preoblikovana z HadCM3 globalnim klimatskim modelom Zemeljske površinske mreže, glede na površine označene kot kmetijske površine (Ridgwell in sod., 2009).

2 FIZIOLOŠKE OSNOVE ODZIVA KMETIJSKIH RASTLIN NA SPREMENJENE KLIMATSKE RAZMERE

2.1 NAČINI PREUČEVANJA VPLIVOV KLIMATSKIH SPREMENB NA RASTLINE

Povečane koncentracije ogljikovega dioksida, povzročajo poleg spremembe klime, tudi neposredne spremembe pri fotosintezi in izrabi vode rastlin ter na ta način na celotno vegetacijo oziroma na cel ekosistem. Ključ v preučevanju vplivov klimatskih sprememb na rastline, je torej v analizi odzivov vegetacije in ekosistemov na povečane koncentracije CO₂ v atmosferi v povezavi z drugimi omejujočimi dejavniki, kot so temperatura zraka in tal, dostopnost hranil, dostopnost vode.

Pri analizah vplivov okoljskih dejavnikov (predvsem CO₂) na rastline, strokovnjaki uporabljajo različne zaplinjevalne sisteme, kot na primer FACE (Free Air CO₂ Enrichment), OTC (Open Top Chamber), SACC (Screen Aided CO₂ Control). Ti sistemi jim omogočajo ustvarjati razmere, kot na primer dvakrat povečana koncentracija ogljikovega dioksida, ob katerih lahko preučujejo odziv rastlin. Pri teh poskusih spremljajo tudi druge dejavnike, ki lahko v povezavi s povečano koncentracijo CO₂ vplivajo na določen odziv rastline.

FACE zaplinjevanje se izvaja na prostem (Slika 2). Tipična FACE parcela je približno okrogle oblike in obkrožena s pipami, ki spuščajo CO₂ ali zrak obogaten s CO₂ v vertikalnih intervalih od spodaj (tik nad tlemi) navzgor do vrha rastlin. V sredini vsake parcele so senzorji, ki merijo smer in hitrost vetra ter CO₂. Ti podatki služijo kontrolnemu sistemu, ki uravnava CO₂ na želeno koncentracijo. S sistemom FACE lahko zaplinjujemo tudi parcele, ki imajo premer 30 m in višino vegetacije 25 m (Macháčová, 2010).



Slika 2: FACE zaplinjevalni sistem; na levi sliki (Carbon Dioxide and Crop Yield in China, 2010) postavljen na polju posejanim s pšenico, na desni sliki (Johann Heinrich von Thunen-Institut, 2008) nekoliko večji sistem na polju koroze.

OTC (Open Top Chamber) (Slika 3) je sestavljena iz kovinske konstrukcije s prozornimi stenami v obliki stožca. Odprtina na sredini stožca služi za izmenjavo zraka in zmanjševanje učinkov povečane temperature in vlažnosti v komori. Obogaten zrak s CO₂ se v komoro dovaja po cevi na koncu katere je ventilator, ki zagotovi enakomerno porazdelitev CO₂ v komori. Prav tako kot pri FACE sistemu ima OTC sistem merilnik koncentracije CO₂, ki služi uravnavanju zelene koncentracije. Postavitev OTC sistemov in vzdrževanje je relativno poceni, vendar pa niso primerni za velike vegetacije, kot je na primer gozd (Macháčová, 2010).



Slika 3: OTC sistem postavljen na polju, premera 2 m in višine približno 1,5 m (Scientists ...,2010).

2.2 ODZIV PRESNOVNIH PROCESOV NA SPREMENJENE KLIMATSKE RAZMERE

Pričakovati je, da lahko različni dejavniki klimatskih sprememb, na primer povečana koncentracija CO₂ v ozračju, povečana temperatura, precej neposredno vplivajo na različne presnovne procese v rastlini. Povečanje temperature pospeši metabolne procese v rastlini. Ob povišanju temperature za 10 °C se določen metabolni proces dvakratno poveča, kar lahko zapišemo kot $Q_{10} = 2$. V primeru ogljikovega dioksida lahko pričakujemo precej neposredne vplive na dihanje in fotosintezo, kjer se ta plin pojavlja kot produkt oziroma substrat.

Fotosinteza je proces vgradnje ogljika v organske molekule, ki poteka v zelenih tkivih s pomočjo svetlobe in je sestavljen iz dveh skupin reakcij. V prvem sklopu se s pomočjo svetlobe tvorijo energetske bogate molekule in reducenti, ki jih potrebujejo reakcije druge skupine, to so ogljikove reakcije. Svetlobne reakcije potekajo v kloroplastih na tilakoidnih membranah, na katerih se nahajajo proteinski kompleksi, s pomočjo katerih poteka po absorpciji fotonov transport elektronov, tvorita se ATP in NADPH. Ogljikove reakcije se odvijajo v stromi kloroplastov, poznane so pod imenom Calvinov cikel. V prvi fazi cikla se

CO₂ veže na ribulozo in nastane spojina s tremi ogljikovimi atomi (3-fosfoglicerat), zato se ta pot fotosinteze imenuje C₃ fotosinteza. To reakcijo katalizira encim ribuloza bifosfat karboksilaza / oksigenaza (Rubisco). Slabost tega encima je, da ni stoodstotno specifičen, kar pomeni, da lahko katalizira poleg karboksilacije ribuloze, tudi njeno oksigenacijo, reakcijo s kisikom, ki vodi v proces svetlobnega dihanja (fotorespiracija). Do reakcije Rubisca s kisikom lahko pride zaradi previsoke temperature ali visoke vsebnosti kisika v zraku in učinkovitost fotosinteze se posledično zmanjša (DaMatta in sod., 2009).

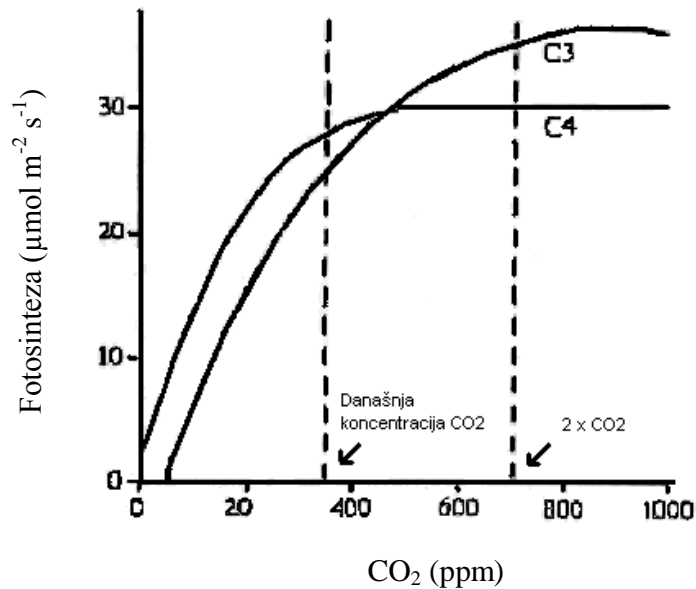
Nekatere rastline z dodatnimi presnovnimi potmi poskrbijo za povečane koncentracije CO₂ v delih zelenih tkiv, kjer poteka Calvinov cikel. S takšnim načinom fotosinteze, C₄ pot fotosinteze, se izognejo možnim nepotrebnim izgubam v procesu fotosinteze. Razlika med C₄ in C₃ fotosintezo je ta, da pri C₄ fotosintezi prvo reakcijo vgradnje CO₂ v organske molekule katalizira encim fosfoenolpiruvat karboksilaza (PEP karboksilaza), ki ima veliko večjo afiniteto za ogljikov dioksid, kot pa Rubisco. Ogljikov dioksid se v celicah mezofila s pomočjo encima PEP-karboksilaza združi z molekulo fosfoenolpiruvata in nastane oksalacetat, molekula z štirimi ogljikovimi atomi, po čemer je C₄ fotosinteza tudi dobila ime. Iz oksalacetata nastane malat, ki se prenese v celice žilnega ovoja, kjer se razgradi na ogljikov dioksid in piruvat. Ogljikov dioksid se nato vključi v Calvinov cikel, piruvat pa se vrne v celice mezofila, kjer se pretvori v fosfoenolpiruvat in cikel C₄ fotosinteze je tako sklenjen.

Pri današnjih koncentracijah ogljikovega dioksida v atmosferi, so C₄ rastline produktivnejše kot C₃, zaradi kopičenja ogljikovega dioksida v celicah, odsotnosti fotorespiracije in zaradi večje učinkovitosti izrabe vode.

Raziskave iz zaplinjevalnih poskusov kažejo, da naj bi bilo v prihodnosti zaradi povečane koncentracije ogljikovega dioksida pri C₃ rastlinah manj fotorespiracije, kar pomeni, da bodo rastline produktivnejše, ob predpostavki, da so vsi ostali dejavniki (voda, hranila, temperatura,..) v optimumu. Pri rastlinah s C₄ fotosintezo so mnoge raziskave potrdile, da ob povečani koncentraciji ogljikovega dioksida, ne bodo dajale večjih pridelkov, ker njihov metabolizem temelji na kopičenju ogljikovega dioksida in zato ne potrebuje visokih koncentracij za optimalne pridelke.

V splošnem lahko odvisnost fotosinteze od zračne koncentracije CO₂ opišemo s saturacijsko krivuljo, ki jo izmerimo tako, da list oziroma rastlino ob meritvah fotosinteze izpostavimo različnim koncentracijam CO₂. Pri zelo majhnih koncentracijah CO₂, je razmerje med v fotosintezi vezanim CO₂ in pri dihanju sproščenim CO₂ v prid slednjemu. Govorimo o negativni neto fotosintezi. Koncentracijo CO₂, kjer sta oba procesa uravnatežena, označujemo kot CO₂ kompenzacijsko točko (neto izmenjava CO₂ med listom in atmosfero = 0). Pri C₃ rastlinah se z nadaljnjim povečevanjem koncentracije CO₂, fotosinteza povečuje v širokem koncentracijskem območju, preden pride do zasičenja. Pri manjših do zmernih koncentracijah CO₂ je fotosinteza omejena s karboksilacijsko kapaciteto encima Rubisco. Pri večjih koncentracijah CO₂ je glavni omejujoči dejavnik encimska regeneracija ribuloze 1,5-bifosfata v Calvinovem ciklu. V listih se koncentracija CO₂ (C_i) uravnava na vrednost, ki je med obema omenjenima omejitvama (Vodnik, 2001). Pri današnjih koncentracijah CO₂ v zraku, katere

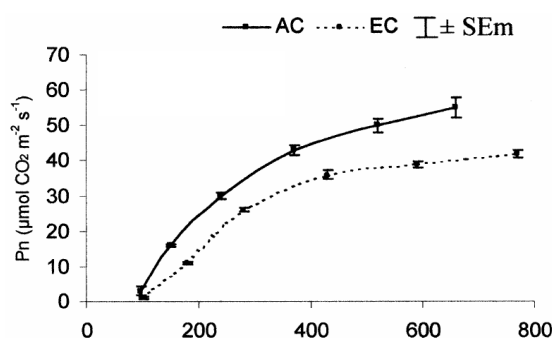
znašajo 379 ppm (Solomon in sod., 2007) ne zadoščajo optimalnemu poteku fotosinteze, zato se pričakuje ob približnem dvakratnem povišanju koncentracije CO₂ v prihodnosti, optimalno fotosintezo in s tem tudi večje pridelke (Slika 4).



Slika 4: Neto fotosinteza na enoto površine lista v odvisnosti od atmosfere koncentracije CO₂ pri C₃ in C₄ rastlinah (Wolfe in Erickson, 1993, cit. po Wolfe 1994).

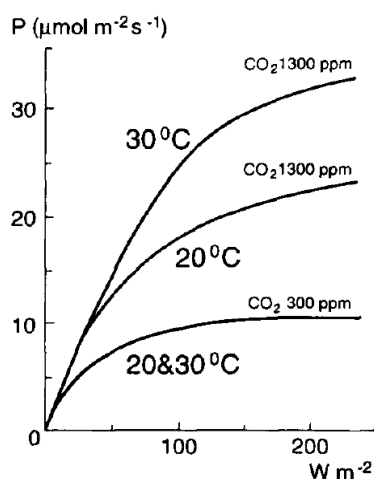
Za razliko od C₃ rastlin imajo C₄ rastline razvit mehanizem za koncentriranje CO₂. To se odraža tudi na krivulji CO₂ odvisnosti fotosinteze (Slika 4). Manjše povečevanje atmosferekega CO₂, oziroma CO₂ v listu vodi v močno povečanje fotosintetske aktivnosti, hitro pa pride do nasičenja, ko nadaljnje povečevanje koncentracije CO₂ ne vpliva več na fotosintezo. Majhna stopnja svetlobnega dihanja (fotorespiracije) C₄ rastlin se odraža v zelo nizki kompenzacijski točki, blizu nič (Vodnik, 2001).

Odvisnost fotosinteze od CO₂ se ponavadi spremeni po predhodnem daljšem zaplinjevanju rastlin s povečano koncentracijo CO₂. Primer prikazuje Slika 5.



Slika 5: Odvisnost neto fotosinteze (Pn) od koncentracije CO₂ v listu (C_i) pri pšenici. EC krivulja predstavlja okoljsko CO₂ koncentracijo, AC pa predstavlja dvakratno povečano koncentracijo CO₂ (Pandurangam in sod., 2006).

V realnih razmerah povečane koncentracije zračnega CO₂ na rastline delujejo hkrati z drugimi dejavniki, ki lahko vplivajo na odziv rastline. Temperatura in svetloba sta pomembna faktorja, ki vplivata na odzivnost rastlin ob povečani koncentraciji CO₂ (Slika 1). Odzivnost rastlin se izraža v povečani fotosintezi. Svetloba je gonilna sila fotosinteze, s katero rastlina proizvaja energijo. Višje temperature pa pospešijo reakcije, katere potekajo v rastlini. Vendar pa povišana temperatura v kombinaciji s povečano koncentracijo CO₂ ne daje vedno pozitivnih rezultatov. Poskusi z rižem in pšenico so pokazali zmanjšane pridelke. V raziskavi Kim in sod. (2007) so preučevali rast, razvoj in fotosintezo pri koruzi ob povečanih koncentracijah CO₂ in različnih temperaturah. Rezultati so pokazali, da povečana koncentracija ogljikovega dioksida ne vpliva na rast, razvoj in fotosintezo koruze, da pa ima velik vpliv temperatura. Vzrok za takšne razlike, pri odzivu med pšenico in koruzo, je v njihovem metabolizmu. Pšenica ima C₃ metabolizem, koruza pa C₄. Koruza je bolj odporna na višje temperature zaradi sposobnosti kopičenja CO₂ v ugodnih razmerah, ko pa je sušno in vroče ima listne reže priprte in CO₂ porablja iz nakopičene zaloge. Na tak način koruza porabi manj vode, oziroma jo koristneje porabi za procese fotosinteze.



Slika 6: Shematičen prikaz povečanja fotosinteze v odvisnosti od sončnega sevanja, temperature in dveh vrednosti CO₂ (Goudriaan in Zadoks, 1995).

Najpomembnejši dejavnik, ki lahko omejuje fotosintezo ob povečani koncentraciji CO₂ je pomanjkanje hranil, predvsem dušika. Skoraj polovica dušika v listu je sestavina pomembnega encima ribuloze bifosfat karboksilaza / oksigenaza ali Rubisca, ki sodeluje pri karboksilaciji. Povečana fotosinteza je ob povečani koncentraciji ogljikovega dioksida pozitivno povezana z relativno spremembo N v listu. Rastline, ki imajo zmanjšano koncentracijo N v listih, imajo posledično manjšo asimilacijsko vrednost za ogljikov dioksid, rastlinam, ki jim ne primanjkuje dušika ali pa ga vsebujejo tudi nekoliko več, pa imajo povečano asimilacijsko vrednost za CO₂. Tudi rezultati FACE poskusov na različnih rastlinah kažejo, da lahko pričakujemo stimulativen vpliv povečanega CO₂ na fotosintezo in produkcijo le ob zadostni preskrbljenosti z dušikom (Nowak in sod., 2004).

V zvezi z zgoraj omenjenimi procesi so bile tudi na mnogih poljščinah opravljene, ali pa so v teku, intenzivne raziskave. Ker je trenutno pšenica najpomembnejša poljščina na svetovni ravni v smislu pridelane količine zrnja za človeško in živalsko prehrano, kateri sledita še riž in koruza (Reddy in Hodges, 2000), v nadaljevanju prikazujemo odzive le teh na povečane koncentracije CO₂ in temperature, pri čemer so vključeni še nekateri drugi okoljski dejavniki, ki vplivajo na odgovor rastline.

Preglednica 1: Pregled vplivov povečanih koncentracij CO₂ in sodelujočih vplivov drugih dejavnikov na presnovne procese pri koruzi, pšenici in rižu.

Poljščina	CO ₂ (μmol mol ⁻¹)	Fotosinteza (%)	Transpiracija	Respiracija	Encim	Rastne razmere	Reference
Pšenica	360-700	↓20	↓50 %			N: 70 kg/ha	
	360-700	↓50	↓30 %			N: /	(Pozo in sod., 2007)
	370-570	↑18				N: 35 g/m ²	(Wall in sod., 2000)
	360-650	↑10			↓20 % Rubisco		(Pandurangam in sod., 2006)
	370-700	↓6				T: 15°C	
	370-700	↓3				T: 25°C	
	370-700	↓5				T: 35°C	(Alonso in sod., 2009)
Koruza	354-549	↑10					(Leakey in sod., 2004)
	360-720	↓3	↓60 %			NH ₄ ⁺ 400 μmol fot./m ² s	
	360-720	↓4	↓50 %			NH ₄ ⁺ 900 μmol fot./m ² s	
	360-720	↓5	↓45 %			NO ₃ ⁻ 400 μmol fot./m ² s	
	360-720	↓7	↓40 %			NO ₃ ⁻ 900 μmol fot./m ² s	(Cousins in Bloom, 2003)
	376-550	↓5			↓5 % PEP		(Leakey in sod., 2006)
	350-1000	↓7					(Imai in Murata, 1978)
Riž	370-750	Nespremenjena	↓27 %				(Kim in sod., 2007)
	370-570	↑35					(De Costa in sod., 2003)
	360-660	↑10				UV-B 8,8 kJ/m ²	
	360-660	↑7				UV-B 13,8 kJ/m ²	(Ziska in Teramura, 1992)
	360-550	↑9				N: 8-9 g/m ²	
	360-550	↑18				N: 15 g/m ²	(Kim in sod., 2003)

(↑)-povečanje, (↓)-zmanjšanje

Vpliv povečane koncentracije ogljikovega dioksida na fotosintezo in ostale presnovne procese v rastlini je lahko zelo različen, kar prikazujejo podatki v Preglednici 1. Vzrok variabilnosti rezultatov je, da so bili poskusi opravljeni pod različnimi ravnimi razmerami, kot so različna preskrbljenost s hranili, vodo in različne temperature, z različnimi sortami, ob različnih klimatskih razmerah in različni agrotehniki. Kljub vsemu pa lahko vidimo, da se fotosinteza pri veliki večini poskusov, ob povečani koncentraciji ogljikovega dioksida, zmanjša. V tem primeru na zmanjšanje fotosinteze vplivajo omejujoči dejavniki, kot na primer: slaba preskrbljenost rastline z vodo, hranili, svetlobo. Posebej ob nezadostni preskrbi z N povečanje fotosinteze omejuje dejstvo, da je v listih premalo encima Rubisco. Pri optimalnih ravnih razmerah, ob dvakratni povečani koncentraciji ogljikovega dioksida, naj bi se fotosinteza povečala za 30 do 40 % (Reddy in Hodges, 2000). Vendar pa do takega povečanja pride zelo redko, zaradi glavnega omejujočega dejavnika, in sicer: encimske regeneracije ribuloze-1,5-bifosfata v Calvinovem ciklu.

3 KAKO SE OMENJENI FIZIOLOŠKI ODZIVI KAŽEJO V PRIDELKU?

Pri preučevanju vpliva povečane koncentracije CO₂ na C₃ rastline (pšenica, riž, krompir,...) so v številnih poskusih prišli do zaključkov, da ima povečan CO₂ lahko mnogo pozitivnih vplivov, kot so povečani pridelki, učinkovitejša izraba hranil, uspešnejša kompeticija s C₄ pleveli, zmanjšana O₃ toksičnost in v nekaterih primerih boljša odpornost rastlin na škodljivce in bolezni.

Kot primer zgodnjih raziskav te vrste lahko navedemo poskus Rudorffa in sod. (1996) na pšenici. Preglednica 1 prikazuje odziv posameznih žetvenih dejavnikov na povečano koncentracijo atmosferskega CO₂.

Preglednica 2: Glavni vplivi povečane koncentracije CO₂ na nekatere lastnosti pri pšenici v letih 1991 in 1992 (Rudorff in sod., 1996).

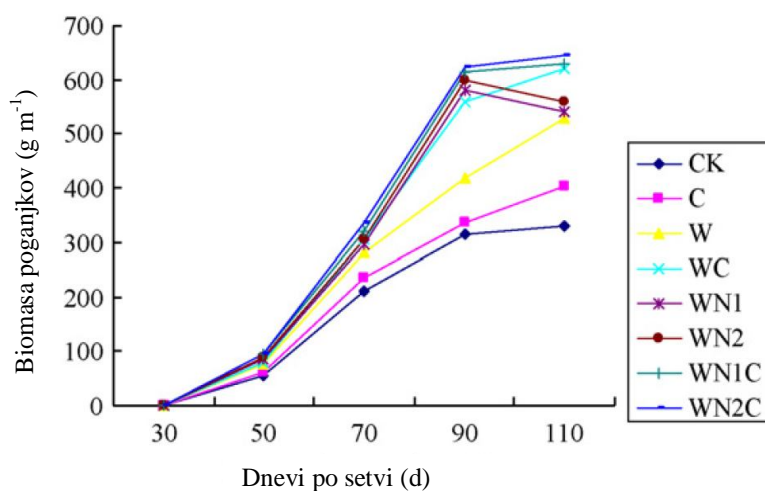
	1991			1992		
	CO ₂ v okolju	CO ₂ +150 μl l ⁻¹	RC (%)	CO ₂ v okolju	CO ₂ +150 μl l ⁻¹	RC (%)
Pridelek zrnja (g m ⁻²)	476	600	26	477	547	15
Suha snov (g m ⁻²)	1392	1606	15	1406	1533	9
Slama (g m ⁻²)	916	1006	10	929	986	6
Žetveni indeks (%)	34,2	37,3	9	33,9	35,7	5
Masa 1000 semen (g)	30,4	33,2	9	31,5	34,2	9

V agronomiji se velikokrat zgodi, da raziskovalci upoštevajo idejo Liebigovega zakona, ki pravi, da na omejujočo rast rastline vpliva en sam omejujoč dejavnik. Ta ideja je tako zasidrana, da je skoraj izpodrinila idejo, ki zagovarja, da na omejujočo rast rastline lahko vpliva več omejujočih dejavnikov hkrati (Mitscherlich-ov zakon). Tudi raziskava Rudorffa in sod. (1996) je tak primer. Slabost tovrstnih raziskav je, da ločeno od ostalih obravnavajo le

vpliv enega okoljskega dejavnika, ostale, med pomembnejšimi so dostopnost mineralnih hranil (dušika), temperatura in dostopnost vode, pa zanemarijo. Poznejši poskusi so jasno pokazali, da je pozitiven vpliv povečane koncentracije ogljikovega dioksida na rastline povezan in odvisen predvsem od ostalih dejavnikov: optimalne preskrbe z vodo, s hranili in optimalno temperaturo. Tak poskus so izvedli Wenlong in sodelavci (2007), kjer so preučevali vpliv povečane koncentracije ogljikovega dioksida, namakanja in gnojenja na rast in pridelok pšenice.

Preglednica 3: Prikaz pridelkov pšenice pri različnih rastnih razmerah (Wenlong in sod., 2007).

Oznaka	Odmerek vode (mm)	Gnojilni odmerek (kg/ha)	Dodan CO ₂ (μmol/mol)	Pridelek zrnja (kg/ha)	Masa 1000 semen (g)	Žetveni indeks
W	90	/	/	1918	36,1	0,462
WC	90	/	40	2106	36,7	0,469
WN1	90	NH ₄ NO ₃ 250	/	2743	37,4	0,487
WN2	90	NH ₄ HCO ₃ 500	/	2915	37,5	0,483
WN1C	90	NH ₄ NO ₃ 250	40	3102	38,2	0,491
WN2C	90	NH ₄ HCO ₃ 500	40	3286	38,4	0,496
C	/	/	40	1152	36,2	0,465
CK	/	/	/	1106	36,3	0,465



Slika 7: Graf prikazuje biomaso pogankov pri različnih tretiranjih (Wenlong in sod., 2007).

Poskus so zastavili tako, da so naredili osem parcel, na katerih so na vsaki posebej ustvarili različne rastne razmere (Preglednica 3). Največje pridelke in največji prirast biomase so dobili na parcelah, kjer so dodajali vse tri dejavnike (vodo, hranila, CO₂). Iz Preglednice 3 in Slike 4 je razvidno, da je zelo velika razlika med parcelama C in WN2C. Primerjava teh dveh parcel je predvsem pomembna zato, ker lahko vidimo, da je koncentracija ogljikovega dioksida

povečana v obeh primerih, vendar pa se je pozitiven vpliv pokazal le na parceli WN2C, kjer je bilo namakano in gnojeno.

Torej, teoretično bi lahko rekli, da bodo povečane koncentracije ogljikovega dioksida, ob predpostavki, da rastlinam zagotovimo optimalno preskrbo z vodo in hranili, stimulatивно vplivale na rast in razvoj rastlin. Pridelki bodo veliki, problem pridelave bo rešen. Vendar tudi, če bi količinsko pridelali dovolj hrane, se je treba vprašati ali je ta kakovostna.

Erbs in sod. (2009) so v svoji raziskavi preučevali vpliv povečane koncentracije ogljikovega dioksida in zaloga dušika na kakovost zrnja pri pšenici. Rezultati so pokazali, da moka, ki je bila pridobljena iz pšenice, ki je rasla pri povečani koncentraciji ogljikovega dioksida in/ali pri majhnih gnojilnih odmerkih dušika, je imela manjšo hranilno vrednost, slabšo pecivnost in drugačno biokemično sestavo. V prihodnosti bo torej potrebno prilagoditi gnojilne odmerke in pa odbrati rastline, ki bodo na okoljske spremembe čim bolj prilagojene, zato da bomo lahko pridelali zadostne količine hrane.

V raziskavi Phillipsa in sod. (1996), kjer so preučevali vpliv povečane koncentracije ogljikovega dioksida na koruzo, so prišli do zaključkov, da se pridelki koruze zvišajo za 10 do 20 %. Tudi Guo in sod. (2010) so prišli do podobnih rezultatov. Ugotovili so, da se ob povečani koncentraciji CO₂ (600 ppm) pridelki koruze zvišajo za 12 % in izraba vode se izboljša za 25 %. Meza in sod., (2008) pa so v svoji raziskavi prišli do popolnoma drugačnih rezultatov, in sicer, da se lahko pridelki koruze v prihodnosti, zaradi prihajajočih klimatskih sprememb zmanjšajo za 10 do 30 %.

Pri rižu, ki je C₃ rastlina so Kim in sod. (2003) ugotovili, da ima povečana koncentracija ogljikovega dioksida, v povezavi s povečanimi koncentracijami dušika, pozitivne vplive na pridelek. Pri povečani koncentraciji ogljikovega dioksida (okoli 550 ppm) in srednje gnojenih površinah (8 do 9 g/m²) se je pridelek zvišal za 7 %, pri močno gnojenih površinah (15 g/m²) pa se je pridelek zvišal za 15 %. Torej pri povečanih koncentracijah ogljikovega dioksida lahko pričakujemo višje pridelke, ob predpostavki da bodo tla dobro založena z dušikom.

4 ZAKLJUČEK

Klimatske spremembe bodo v prihodnosti zagotovo prinesle tudi spremembe v pridelavi hrane. Rezultati raziskav nam kažejo različne odzive rastlin na povečane koncentracije ogljikovega dioksida, v povezavi z drugimi omejujočimi dejavniki. Povečane koncentracije CO₂ naj bi pozitivno vplivale na rast in razvoj rastlin, vendar pa rezultati novejših poskusov kažejo, da lahko ta vpliv zmanjšajo oziroma preprečijo drugi omejujoči okoljski dejavniki. Te raziskave in predvsem rezultati, ki jih strokovnjaki pridobivajo z najnovejšimi aparati so pomembni predvsem zato, da bomo na prihajajoče klimatske spremembe pripravljeni. Potrebno bo spremeniti ustaljeno agrotehniško prakso, žlahtnitelji bodo morali vzgojiti nove odpornejše sorte in verjetno bo prišlo tudi do premikov kmetijske proizvodnje.

5 VIRI

- Alonso A., Perez P., Martinez-Carrasco R. 2009. Growth in elevated CO₂ enhances temperature response of photosynthesis in wheat. *Physiologia Plantarum*, 135: 109-120
- ARSO: Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor. <http://www.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/O%20podnebnih%20spremembah.pdf> (6. jul. 2010)
- Carbon dioxide and crop yield in china. 2010. Scientific theories: positive impact of increased CO₂ on crop yield
<http://sites.google.com/site/climateandsocietyproject/Home/whats-being-done> (6. avg. 2010)
- De Costa W. A. J. M., Weerakoon W. M. W., Abeywardena R. M. I., Herath H. M. L. K. 2003. Response of photosynthesis and water relations of rice (*Oryza sativa*) to elevated atmospheric carbon dioxide in the subhumid zone of Sri Lanka. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189, 2: 71-82
- Cousins A. B., Bloom A. J. 2003. Influence of elevated CO₂ and nitrogen nutrition on photosynthesis and nitrate photo-assimilation in maize (*Zea mays* L.). *Plant, Cell and Environment*, 26: 1525-1530
- DaMatta F. M., Grandis A., Arenque B. C., Buckeridge M. S. 2009. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, In Press, Corrected Proof, Available online 13 November 2009
http://www.sciencedirect.com/nukweb.nuk.unilj.si/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1446348919&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000033658&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4776866&md5=11154083da4f4983c33d3e87eee1670e&searchtype=a
- Erbs M., Franzaring J., Högy P., Fangmeier A. 2009. Free-air CO₂ enrichment in a wheat-weed assembly – effects on water relations. *Basic and Applied Ecology*, 10, 4: 358-367
- Freibauer A. 2003. Regionalized inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture. *European Journal of Agriculture*, 19, 2: 135-160
- Fuhrer J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97: 1-20
- Goudriaan J., Zadoks J. C. 1995. Global climate change: Modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. *Environmental Pollution*, 87, 2: 215-224

- Guo R., Lin Z., Mo X., Yang C. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97, 8: 1185-1194
- Imai K., Murata Y. 1978. Effect of carbon dioxide concentration on growth and dry matter production of crop plants. *Journal Crop Science*, 47, 4: 587-595
- Johann Heinrich von Thünen-Institut. 2008. Free Air Carbon dioxide Enrichment (FACE) http://www.vti.bund.de/de/institute/bd/forschung/versuchseinrichtungen_face.htm (6. avg. 2010)
- Kajfež-Bogataj L. 2005. Podnebne spremembe in ranljivost kmetijstva. *Acta agriculturae Slovenica*, 85: 25-40
- Kim H.-Y., Lieffering M., Kobayashi K., Okada M., Mitchell M. W., Gumpertz M. 2003. Effects of free-air CO₂ enrichment and nitrogen supply on the yield of temperate paddy rice crops. *Field Crops Research*, 83, 3: 261-270
- Kim S.-H., Gitz D. C., Sicher R. C., Baker J. T., Timlin D. J., Reddy V. R. 2007. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 3: 224-236
- Leakey A., Bernacchi C., Dohleman F., Ort D. 2004. Will photosynthesis of maize (*Zea mays*) in the U.S. corn belt increase in future [CO₂] rich atmospheres? An analysis of diurnal courses of CO₂ uptake under Free-Air Concentration Enrichment (Face). *Global Change Biology*, 10: 951-962
- Leakey A. D. B., Uribelarrea M., Ainsworth E. A., Naidu S. L., Rogers A., Ort D. R., Long S. P. 2006. Photosynthesis, productivity and yield of maize are not affected by Open-Air Elevation of CO₂ concentration in the absence of drought. *Plant Physiology*, 140: 779-790
- Macháčová K. 2010. Open top chamber and free air CO₂ enrichment - approaches to investigate tree responses to elevated CO₂. *iForest* 3: 102-105. <http://www.sisef.it/iforest/show.php?id=544> (4. avg. 2010)
- Meza F. J., Silva D., Vigil H. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*, 98, 1: 21-30
- Nowak R.S., Ellsworth D.S., Smith S.D. 2004. Functional responses of plants to elevated atmospheric CO₂ – Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? *New Phytologist*, 162: 253-280

- Pandurangam V., Sharma-Natu P., Sreekanth B., Ghildiyal M. C. 2006. Photosynthetic acclimation to elevated CO₂ in relation to Rubisco gene expression in three C₃ species. *Indian Journal of Experimental Biology*, 44: 408-415
- Phillips D. L., Lee J. J., Dodson R. F. 1996. Sensitivity of the US corn belt to climate change and elevated CO₂: I. Corn and soybean yields. *Agricultural Systems*, 52, 4: 481-502
- Pozo A. D., Pérez P., Gutiérrez D., Alonso A., Morcuende R., Carrasco R. M. 2007. Gas exchange acclimation to elevated CO₂ in upper-sunlit and lower-shaded canopy leaves in relation to nitrogen acquisition and partitioning in wheat grown in field chambers. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 3: 371-380
- Reddy K. R., Hodges H. F. 2000. Crop ecosystem responses to climatic change. V: Climate change and global crop productivity. Reddy K. R., Hodges H. F. (eds.). New York, CAB International: 57-74
- Ridgwell A., Singarayer J. S., Hetherington A. M., Valdes P. J. 2009. Tackling regional climate change by leaf albedo bio-geoengineering. *Current Biology*, 19, 2: 146-150
- Rudorff B. F. T., Mulchi C. L., Lee E. H., Rowland R., Pausch R. 1996. Effects of enhanced O₃ and CO₂ enrichment on plant characteristics in wheat and corn. *Environmental Pollution*, 94, 1: 53-60
- Scientists find excess nitrogen favors plants that respond poorly to rising CO₂. 2010. Smithsonian Institution.
<http://smithsonianscience.org/2010/06/scientists-find-nitrogen-pollution-alters-global-change-scenarios-from-the-ground-up/> (6. avg. 2010)
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. 2007. The Physical Science Basis. V: Climate Change, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom in New York, Cambridge University Press: 95-107
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf> (6. avg. 2010)
- Vodnik D. 2001. Fiziologija rastlin. Praktične vaje, univerzitetni študij kmetijstvo-agronomija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 56 str.
- Wall G. W., Adam N. R., Brooks T. J., Kimball B. A., Pinter P. J., LaMorte R. L., Adamsen F. J., Hunsaker D. J., Wechsung G., Wechsung F. 2000. Acclimation response of spring wheat in a free-air CO₂ enrichment (FACE) atmosphere with variable soil nitrogen regimes. 2. Net assimilation and stomatal conductance of leaves. *Photosynthesis Research*, 66, 1-2: 79-95

Wenlong L., Xiaozhuo H., Yanyu Z., Zizhen L. 2007. Effects of elevated CO₂ concentration, irrigation and nitrogenous fertilizer application on the growth and yield of spring wheat in semi-arid areas. *Agricultural Water Management*, 87, 1: 106-114

Wolfe D. W. 1994. Potential impact of climate change on agriculture and food supply. Cornell University.
<http://www.gcric.org/USGCRP/sustain/wolfe.html> (22. avg. 2010)

Ziska L. H., Teramura A. H. 1992. CO₂ enhancement of growth and photosynthesis in rice (*Oryza sativa*). *Plant Physiology*, 99: 473-481

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Dominiku Vodniku za vse strokovne nasvete in navodila, za potrpežljivost in za vso pomoč, ki sem je bila deležna v času nastajanja diplomskega projekta.

Zahvaljujem se recenzentki doc. dr. Darji Kocjan Ačko za vse strokovne nasvete in pripombe.

Hvala družini in Simonu za vso podporo v času študija.