

MODELOVANIE VPLYVU ZVÝŠENEJ KONCENTRÁCIE CO₂ NA ÚRODY KUKURICE SIATEJ (*ZEA MAYS L.*) V PODMIENKACH PODUNAJSKEJ NÍŽINY

MODELING OF INCREASED CO₂ IMPACT ON MAIZE (*ZEA MAYS L.*) YIELDS IN CONDITIONS OF DANUBIAN LOWLAND

P. Samuhel, B. Šiška

Katedra Biometeorológie a hydrológie, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,
Hospodárska 7, 949 01 Nitra

Email: sinuhed@centrum.sk, bernard.siska@uniag.sk

Abstract

Modeling of changing CO₂ concentration impact on maize yield by dynamic crop model CERES – Maize together with stochastic weather generator WeatherMan were used for analysis to changed weather condition. The field trial located in Dolná Malanta (48°19'N, 18°07'E and altitude 171m) was used for the parametrization of the model. Meteo-data for condition of 1,5xCO₂ climate were generated according to general circulation model CCCM. Maize cultivar LG 23.06. (FAO 310) was used for parametrization. Modeling of maize crop yields was made to time period 2005 to 2050. We found that increasing of CO₂ concentration combined with the change of climatic conditions will cause lower yields of maize. Increase of air temperature will affect duration of vegetative period of maize and consequently income of solar radiation. The maize potential production of grain yield will decrease from contemporary 14500 kg.ha⁻¹ to 11500 kg.ha⁻¹ under increased CO₂ concentration and changed climatic conditions. Effect of sowing date shift derived from onset of mean air temperatures 10 and 12°C in condition of changing climate were analyzed as adaptive measure.

Key words: CO₂, CERES- Maize, CCCM, climate change

Úvod

Dnes viac ako kedykoľvek predtým zvýšená produkcia potravín závisí od rozumného využitia prírodných zdrojov. Deje ako klimatická zmena, klimatická variabilita, zadržiavanie uhlíka v pôde, dlhodobá potravinová bezpečnosť a udržateľnosť prostredia sa stávajú čoraz dôležitejšími. Viacero faktorov ako klíma a počasie, genetika a pestovanie majú odozvu napríklad vo využití závlahy alebo hnojenia rastlinami. Určenie primeranej plodinovej stratégie pri týchto nejasnostiach môže mať významné ekonomické a spoločenské využitie. Jednou z možností riešenia týchto otázok je využitie simulačných programov za stávajúcich a meniacich sa klimatických pomerov. Táto práca sa zaoberá posúdením vplyvu predpokladanej klimatickej zmeny, predovšetkým spojenou s rastúcou koncentráciou CO₂ na produkčný proces kukurice siatej (*Zea mays L.*) v podmienkach Podunajskej nížiny. Jednotlivé modelovania boli realizované programom DSSAT 4, ktorého súčasťou je podprogram CERES –Maize. Modelový systém vyžaduje k práci meteorologické údaje v dennom kroku, pedologické vstupy a údaje o odrodových vlastnostiach porastu v kontexte s uplatnenou agrotechnikou. Uvedené vstupné údaje z konkrétneho stanoviska predstavujú nevyhnutné vstupy, bez ktorých nie je možné model parametrizovať a uskutočniť simulácie úrod.

Cieľom príspevku bolo v prvom kroku vhodne parametrizovať model. Ako kritérium bolo zvolené okrem výšky hospodárskych úrod aj úrody biomasy a trvanie vegetačného obdobia.

V ďalšom kroku boli vykonané simulácie pomocou parametrizovaného modelu až do roku 2050. Simulácie boli vykonané vo variante so započítaním efektu zvýšenej koncentrácie CO₂ na fotosyntézu a vo variante s uplatnením tzv. aklimačného efektu (bez vplyvu zvýšenej koncentrácie CO₂ na fotosyntézu). Ako možné adaptačné opatrenie k zmierneniu dôsledkov klimatickej zmeny na úrody kukurice bol hodnotený vplyv termínu výsevu - podľa nástupu dní s priemernou dennou teplotou vzduchu 10 °C resp. 12 °C.

Materiál a metódy

Zaujmová študijná plocha Dolná Malanta s nadmorskou výškou 171 m, zemepisnou šírkou 48°19' a zemepisnou dĺžkou 18°07' sa nachádza v severovýchodnej časti Podunajskej nížiny v časti Nitrianskej pahorkatiny. Je experimentálnou plochou pracovísk Slovenskej poľnohospodárskej univerzity V Nitre (ďalej SPU) a nachádza sa 4 km od Nitry. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok na danej lokalite je 538 mm (1961- 90), priemerná ročná teplota vzduchu je 9,8 °C, s priemerom pre mesiace hlavné vegetačné obdobie $T_{IV-IX} = 16,4$ °C (Šiška et. al., 2002).

Model CERES- Maize je časťou modelu DSSAT (DSSAT, Tsuji et.al.,1994). Bol vytvorený v spolupráci ako medzinárodný projekt: International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT) (Jones, 1989; IBSNAT, 1988, 1990a, b) a bol riadený Univerzitou v Georgii, USA. Model CERES-Maize je jedným z najlepších praktických programov v súčasnosti.

Modelový systém DSSAT (The Decision Support System for Agrotechnology Transfer) je používaný už viac ako 15 rokov vo viac ako 100 krajinách po celom svete. Ide o softvérový program kombinujúci dáta a programy týkajúce sa úrodu, pôdy, počasia a agrotechniky. Dovoľuje používateľovi simulovať vplyv meniacich sa podmienok, poskytuje kontrolu platnosti výstupov modelu úrodu, porovnáva simulované výstupy s pozorovanými výsledkami. (Tsuji et al. 1994).

Umožňuje zisťovať produkciu fytohmoty v závislosti od fyzikálnych vlastností krajiny na dvoch úrovniach:

1. Skutočnú produkciu, determinovanú genetickými koeficientmi (charakterizujú genotyp) a ich interakciou s teplotou, príkonom slnečného žiarenia, vodnou bilanciou pôdneho profilu a nutričnými vlastnosťami pôdy.
2. Potenciálnu produkciu, ktorá závisí len od genotypu danej plodiny a jeho interakciou s teplotou vzduchu a príkonom slnečného žiarenia.

System je zostavený z troch hlavných častí:

1. DBMS (Database Management System) vkladanie, archivácia a získavanie tzv. "minimum data set" potrebného k používaniu produkčného modelu,
2. Súbor overených produkčných modelov pre jednotlivé druhy poľných plodín potrebných na simulácie procesov,
3. Aplikčné programy na zobrazenie a analýzu výsledkov simulačných experimentov.

Vstupy potrebné pre riešenie úlohy boli namerané v rámci experimentov realizovaných na Stredisku biológie a ekológie rastlín SPU, Dolná Malanta. Odtiaľ pochádzajú aj meteorologické vstupy tak aj jednotlivé agrotechnické a pedologické pozorovania. Jednotlivé agrotechnické údaje boli získané z poľných pokusov Katedry rastlinnej výroby SPU a boli použité ako vstupy do simulácie – hnojenie (dátum, typ a dávka hnojiva), dátum zberu, počet jedincov na m² ako aj hodnoty výsledných hospodárskych úrod zrna kukurice siatej.

Pedologické vstupy

Na základe pedologického rozboru zo Strediska biológie a ekológie rastlín Dolná Malanta (Hanes et.al., 1993) boli modifikované vstupné pedologické dáta.

Merná hmotnosť hnedozeme pokusného stanovišťa sa pohybuje v rozpätí 2580 – 2660 kg.m⁻³. Objemová hmotnosť v humusovom horizonte je z hľadiska požiadaviek pestovaných plodín vyhovujúca a priaznivá. Na prechode od humusového k luvickému horizontu t.j. tesne pod ornou (0,30 – 0,40 m) hodnoty objemovej hmotnosti sú vyššie a presahujú kritickú hranicu pre ílovitohlinité horizonty (nad 1400 kg.m⁻³). Hodnoty sa prevažne pohybujú v rozpätí od 1470 – 1530 kg.m⁻³, čo svedčí o uľahnutosti tejto časti pôdneho profilu. S priaznivými, vyhovujúcimi i kritickými hodnotami objemovej hmotnosti úzko korešponujú aj hodnoty pórovitosti pôdy celkovej (Pc %) pod kritickou hranicou (<45 %) sú hlavne v hĺbke 0,30 – 0,40 m, pričom v tejto hĺbke sa prejavuje znížený obsah nekapilárnych pórov (Pn) a hodnoty minimálnej vzdušnej kapacity (V_A) sú pod kritickou hodnotou (<10 %) (Hanes et.al., 1993). Pedologické vstupy boli vkladané do programu SBuild, programovej podsúčasti programu DSSAT 4.

- pôdny typ hnedozem (na prolúviálnych sedimentoch)
- druh pôdy ílovitá až ílovito-hlinitá
- stratigrafia pôdneho profilu:
 - humusový horizont (Al) 0,00-0,32 m
 - luvický horizont (Bt) 0,33-0,65 m
 - prechodný horizont (Bt/C) 0,66-0,85 m
 - pôdotvorný substrát 0,86-1,40 m
- obsah humusu v ornici 2,16 – 2,23 %
- pôdna reakcia (pH) 5,29 – 5,70

Tab.1 Použité pedologické vstupy spracované podľa vstupných údajov (Hanes et.al., 1993)

Hĺbka [cm]	Diagnostický horizont	Íl [%]	Prachové častice [%]	Kamene [%]	pH	C _{org} [%]
32	Al	37	8,7	1	5,4	2,16
65	Bt	52	3,8	5,1	5,3	0,79
85	Bt/C	60	1,81	25	6	0,39
140	C	58	0,12	72	6,7	0,08

Meteorologické údaje

Jednotlivé meteorologické údaje sú do modelu CERES- Maize resp. do jeho programovej podsúčasti „Weatherman“ vkladané ako denné hodnoty jednotlivých meteorologických prvkov a následne sú editované do požadovanej formy programu. Jedná sa o denné hodnoty týchto veličín:

- Denné úhrny atmosférických zrážok **RAIN** [mm.deň⁻¹]
- Maximálna denná teplota vzduchu **TMAX** [°C]
- Minimálna denná teplota vzduchu **TMIN** [°C]
- Slnečné žiarenie **SRAD** [MJ/deň]
- Dĺžka slnečného svitu **SUNH** [h]
- Priemerná denná rýchlosť vetra **WIND** [m.s⁻¹]
- Fotosynteticky aktívna radiácia **PAR** [MJ/ deň]
- Rosný bod **DEWP** [°C]

Prvé 4 veličiny zo zoznamu sú často označované ako „Minimum data set“ a predstavujú nevyhnutný vstup dát pre uskutočnenie simulácií (Tsuji et.al., 1994).

Tab.2 Priemerné ročné teploty vzduchu v [°C], priemerné ročné úhrny zrážok v mm v rokoch 2000-2004 a klimatický normál 1961-90 v Nitre.

Roky	Ročný úhrn zrážok [mm]	Priemerná ročná teplota vzduchu [°C]
2000	469	11,2
2001	435	10,8
2002	613	10,9
2003	318	10,9
2004	515	10,1
1961-1990	561	9,7

Simulácie zmeny klímy na území Slovenska boli uskutočnené pomocou generovaných meteorologických údajov podľa modelu všeobecnej cirkulácie CCCM 2000 (SRES B2). Vplyv dopadov klimatickej zmeny na ukazovatele ovplyvňujúce produkciu kukurice siatej (*Zea mays* L.)

bol zhodnotený k obdobiu rokov 2005-2050 na základe scenára zmeny teploty vzduchu, atmosferických zrážok a globálneho žiarenia podľa scenára klimatickej zmeny CCCM20 (Lapin et.al., 2000) a upravených výstupov získaných v rámci riešenia 2004 SP 20/06K 0A 03/ 000 00 10: Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti.

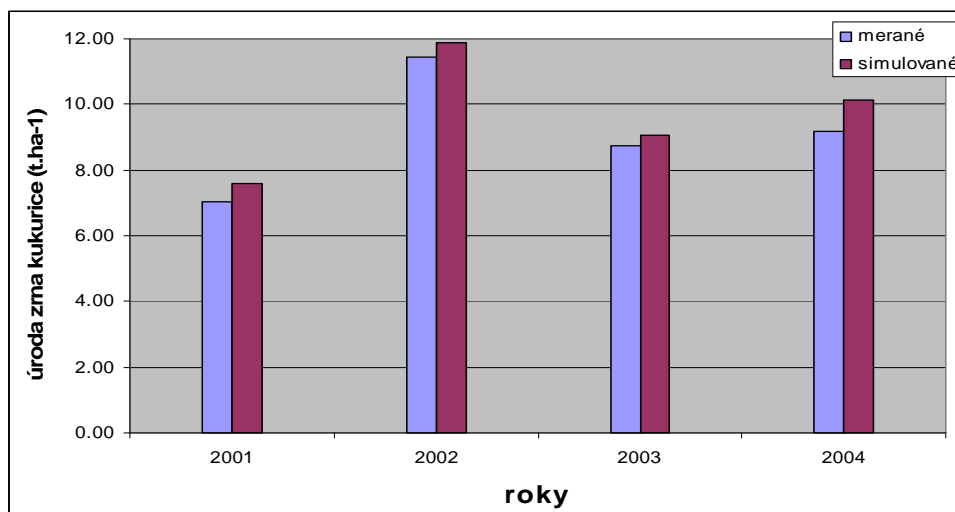
Agrotechnické údaje a parametrizácia modelu

Odrodová parametrizácia modelového systému DSSAT4 vychádzala z výsledkov pokusov na uvedených pracoviskách SPU v Nitre s odrodou kukurice siatej LG 23.06. v rokoch 2001-2004. Ide o stredne skorý zrnový hybrid s FAO asi 300. Suma efektívnych teplôt pre dosiahnutie požadovanej úrody sa pohybuje v rozmedzí 1650 -1740°C za vegetačné obdobie (Banič, 2004).

Využitie hybridu je v prechodnej a kukuričnej výrobnnej oblasti. Dosahuje veľmi dobré úrody zrna, v pokusnom období dosiahla priemer 12,22 t.ha⁻¹, čo je 104,4 % priemeru kontrolných odrôd. Použitá hustota výsevu bola 80 000 rastlín na hektár.

Výsledky a diskusia

Model CERES- Maize bol parametrizovaný pomocou podľa hospodárskych úrod a trvania vegetačného obdobia kukurice siatej na lokalite Nitra, Dolná Malanta v priebehu rokov 2001-2004. Simulované a reálne úrody dosiahli dobrú zhodu, keď najlepšie výsledky boli získané v roku 2003 - v tomto roku došlo k najmenšej relatívnej odchýlke medzi úrodami - 3,47% (obr.1). Aj v ostatných rokoch sa odchýlka pohybovala v uspokojivom rozpätí od 3,79% po 10,38% a preto možno považovať parametrizáciu za úspešnú. Možno teda predpokladať, že model bude správne reagovať aj na simulované vstupy meteorologických prvkov v podmienkach zmenenej klímy. Niektoré ďalšie detaily parametrizácie modelu už boli publikované (Samuhel, Šiška, 2006)

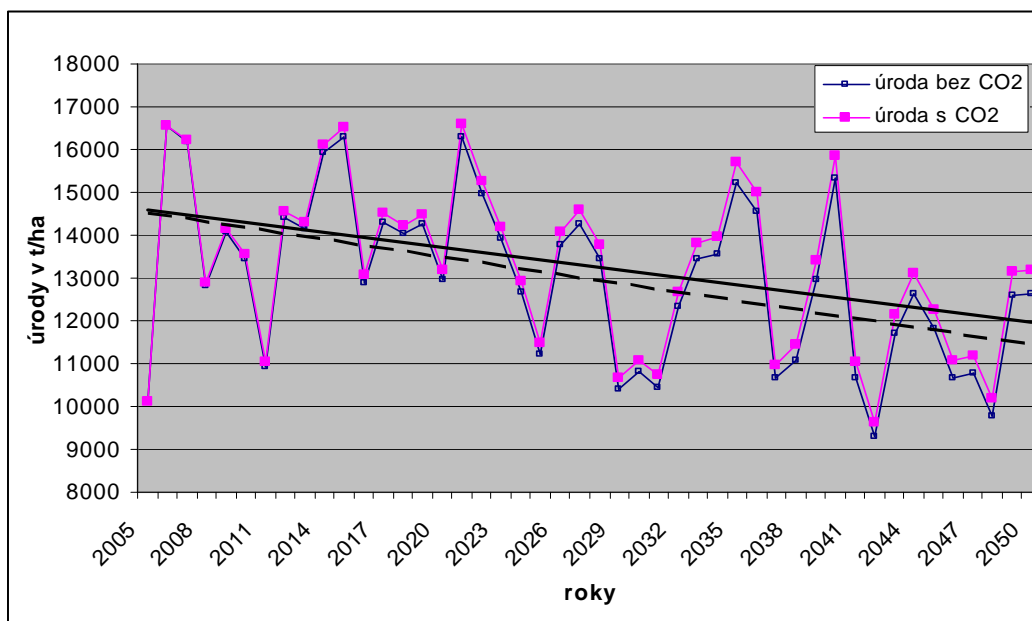


Obr. 1 Merané a simulované úrody zrna kukurice [t.ha⁻¹] pre roky 2001-2004 v Nitre –Dolná Malanta

Z obr. 2 vyplýva, že možno očakávať zníženie hospodárskych úrod zrna kukurice v oblasti Nitry a pravdepodobne aj v oblasti Podunajskej nížiny. Hlavnou príčinou bude predovšetkým predpokladaná zmena klimatických podmienok podmieňujúca fenologické prejavy kukurice. Nárast počtu dní s vysokou teplotou vzduchu hlavne v období dozrievania skracuje dĺžku vegetačného obdobia. Tento pokles úrod pravdepodobne nezvráti ani pozitívny efekt rastu koncentrácie CO₂ v atmosfére na účinnosť fotosyntézy (priamy vplyv CO₂ na rýchlosť fotosyntézy). Kukurica, ako rastlina s typom fotosyntézy C₄, podľa viacerých autorov reaguje nárastom rýchlosti fotosyntézy v podmienkach klímy 2xCO₂ len o 4% (Cure & Ackok, 1986).

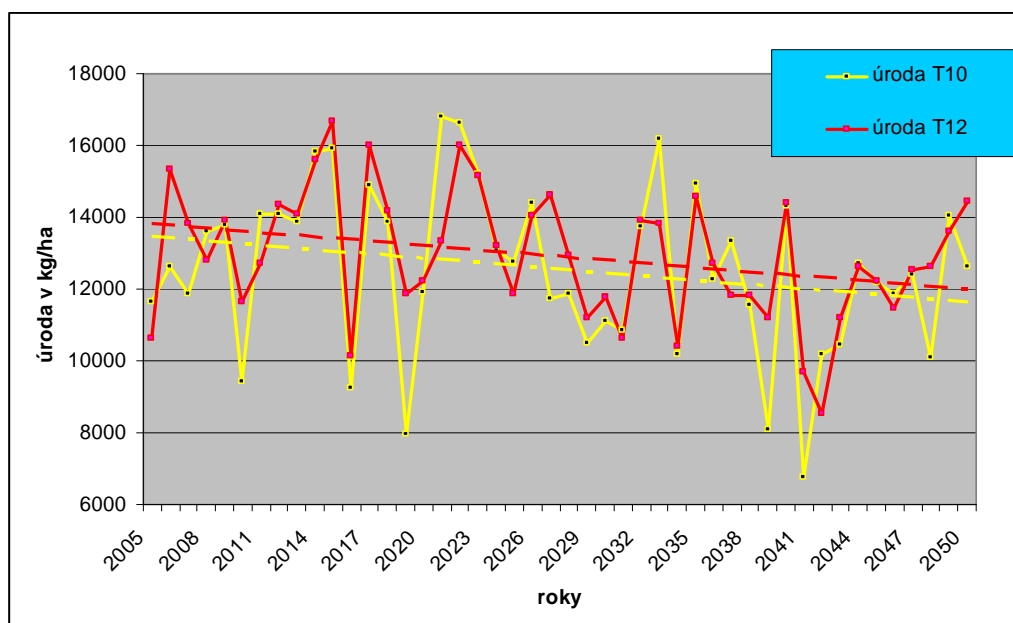
V prípade priameho vplyvu CO₂ na tvorbu fytomasy by bol pokles hospodárskych úrod menej prudký a úrody by pravdepodobne klesli zo 14519 kg.ha⁻¹ (pre podmienky 1xCO₂) na 11960 kg.ha⁻¹ (17.62 %). Ak by nastal aklimatický efekt (priamy vplyv CO₂ na fotosyntézu sa neuplatní), dá sa predpokladať, že by pokles dosiahol hodnotu 11440 kg.ha⁻¹ (21.19 %). V simuláciách sa uvažovalo maximálne s 1,5 násobným zvýšením koncentrácie CO₂ do roku 2050 (500 ppm). Priamy

vplyv CO₂ na úrody v cieľovom roku 2050 v porovnaní s aklimačným efektom zvyšoval potenciálnej úrody zrna o 4.54 %. Termíny výsevu však v cieľovom roku nebudú z hľadiska predpokladaného vývoja teplotno-vlahových pomerov skúmaného územia vhodné, čo je možnou príčinou výrazného prepadu úrod zrna kukurice.



Obr. 2 Úrody zrna kukurice siatej (*Zea mays* L.) v kg.ha⁻¹ do roku 2050 v Nitre

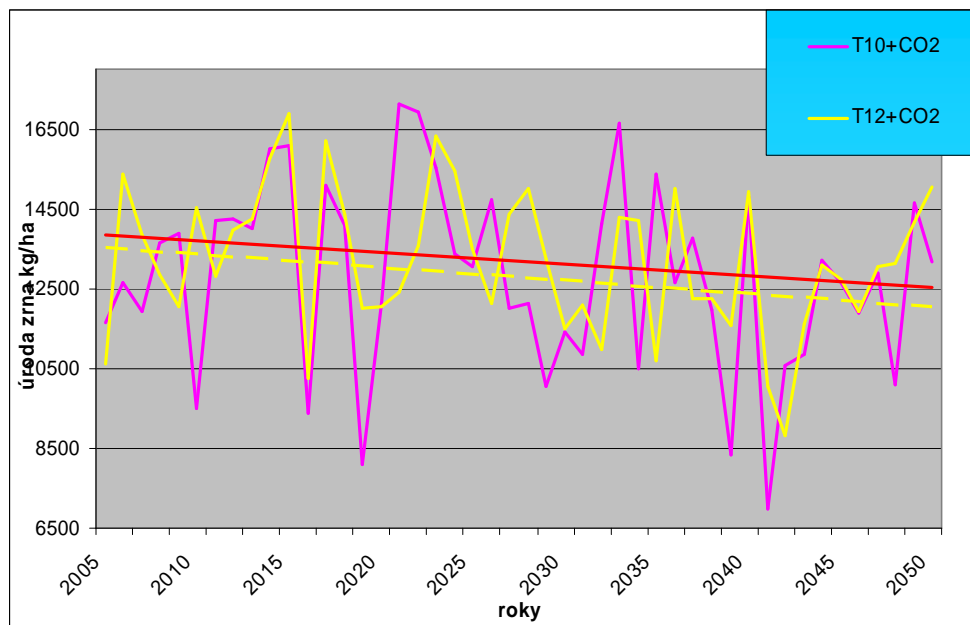
Preto ako adaptačné opatrenie k zmierneniu negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny sa v tejto práci testovala možnosť úpravy termínu sejby podľa nástupu dní s priemernou dennou teplotou prevyšujúcou 10 °C resp. 12 °C pri nezmenených odrodových vlastnostiach hybridu LG 23.06. Z výsledkov vyplýva, že do roku 2050 možno očakávať pokles úrod na úroveň 11650 kg.ha⁻¹ pri termíne sejby určeného podľa nástupu priemernej dennej teploty vzduchu 10°C, resp. na 12000 kg.ha⁻¹ pri teplote 12°C. Obe série simulácií brali do úvahy len vplyv zmenených podmienok atmosférického prostredia bez vplyvu CO₂ na rýchlosť fotosyntézy.



Obr. 3 Úrody zrna kukurice siatej (*Zea mays* L.) [kg.ha⁻¹] do roku 2050 v Nitre s použitím adaptačného opatrenia - prispôbenie termínu sejby kukurice podľa nástupu dní s priemernou dennou teplotou 10 °C (T10) resp. 12 °C (T12) bez vplyvu CO₂ na rýchlosť fotosyntézy

Vplyv CO₂ na rýchlosť fotosyntézy môže pozitívne ovplyvniť výšku úrod kukurice. Vo variantoch, kde bol tento efekt započítaný, bol do roku 2050 zistený miernejší pokles úrod a to na 12065 kg.ha⁻¹ pri termíne sejby s nástupom dní s priemernou dennou teplotou vzduchu prevyšujúcou 10°C, resp. na 12540 kg.ha⁻¹ pri termíne sejby s nástupom dní s priemernou dennou teplotou vzduchu 12°C.

Ako vhodnejší sa pre časový horizont roku 2050 ukázal v oboch sériách simulácií neskorší termín výsevu (pri nástupe priemernej dennej teploty vzduchu 12 °C). Vyššie hospodárske úrody kukurice budú pravdepodobne dosahované preto, lebo vegetačné obdobie kukurice po nástupe priemernej dennej teploty vzduchu 12°C je menej ovplyvňované výskytom chladných teplôt vzduchu a pôdy najmä v počiatočných fázach ontogenézy a porast tak môže efektívnejšie absorbovať fotosynteticky aktívne žiarenie. Dá sa predpokladať aj eliminácia možného výskytu neskorých jarných mrazov v poslednej dekáde marca resp. v prvých aprílových týždňoch.



Obr. 4 Úrody zrna kukurice siatej (*Zea mays* L.) [kg.ha⁻¹] do roku 2050 v Nitre s použitím adaptačného opatrenia - s priamym vplyvom zvýšenej koncentrácie CO₂ na rýchlosť fotosyntézy a prispôbením termínu sejby kukurice podľa nástupu dní s priemernou dennou teplotou vzduchu 10 °C (T10+CO₂) resp. 12 °C (T12+CO₂)

Záver

Vplyv predpokladanej zmeny meniacich sa klimatických podmienok spôsobených rastúcou koncentráciou CO₂ na produktivitu kukurice siatej bol hodnotený kombinovanou metódou uplatnenia výsledkov regionálnej interpretácie modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM (SRES B2) a rastového modelu DSSAT4 (podprogram CERES-Maize) v podmienkach Nitry, ležiacej na severnom okraji Podunajskej nížiny. Výsledky simulácií naznačujú postupný pokles úrod zrna kukurice v hodnotenej oblasti Slovenska a to ako vo variantoch s uplatneným efektom zvýšenej koncentrácie CO₂ na fotosyntézu tak aj vo variantoch bez započítania tohto účinku v porastoch kukurice. V druhom prípade by bolo možné očakávať výrazný pokles produkcie v tejto, pre SR najvýznamnejšej pestovateľskej oblasti.

V prípade priameho vplyvu CO₂ na tvorbu fytomasy bude pokles hospodárskych úrod pravdepodobne menej prudký a úrody klesnú zo súčasných 14520 kg.ha⁻¹ na 11960 kg.ha⁻¹ (-17.62 %) v časovom horizonte roku 2050. Ak by nastal aklimačný efekt, dá sa predpokladať, že by pokles dosiahol hodnotu 11440 kg.ha⁻¹ (-21.19 %).

V rámci testovaných adaptačných opatrení k zmierneniu negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny sa ako relatívne najúčinnějšíe ukázalo posun termínu výsevu podľa nástupu priemernej dennej teploty vzduchu 12°C. Aj napriek tejto adaptácii však do roku 2050 možno očakávať pokles úrod na

úroveň 12000 kg.ha⁻¹. Dá sa však predpokladať aj vyššia stabilita úrod, keď odchýlky od priemerných hodnôt úrod zrna kukurice kolísali v rozpätí \pm 14%, zatiaľ čo vo variantoch výsevu kukurice pri nástupe priemernej dennej teploty vzduchu 10 °C tieto dosahovali rozpätie \pm 18,5%.

Vplyv CO₂ na rýchlosť fotosyntézy rastlín C4 nie je taký výrazný ako pre rastliny s typom fotosyntézy C3. Aj preto úrody kukurice vplyvom zvýšenej koncentrácie CO₂ na úroveň 500 ppm v kombinácii s úpravou výsevného termínu podľa nástupu priemernej dennej teploty môžu narásť v porovnaní s variantmi bez priameho vplyvu CO₂ na fotosyntézu len o 1,9 % pri teplote 10 °C, resp. 2,2 % pri teplote 12 °C. V časovom horizonte roku 2050 bola zistená priemerná úroda 12065 kg.ha⁻¹ pri termíne sejby s nástupom dní s priemernou dennou teplotou vzduchu prevyšujúcou 10°C, resp. 12540 kg.ha⁻¹ pri termíne sejby s nástupom dní s priemernou dennou teplotou vzduchu 12°C.

Na základe získaných výsledkov sa ako reálna adaptácia ukazuje skôr možnosť využitia nových odrôd kukurice siatej (s vyšším FAO číslom najmä v regiónoch, kde sa kukurica už pestuje), nakoľko termické podmienky determinujúce trvanie hlavného vegetačného obdobia umožnia pestovanie tejto plodiny. Potenciál kukurice siatej prekonávať obdobia s nedostatkom vlhky počas vegetačného obdobia ako aj široké možnosti jej zaradenie do osevných postupov je predpokladom pre rastúci význam v rastlinnej výrobe v podmienkach klimatickej zmeny na Slovensku.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol za podpory grantového projektu VEGA 1/1313/04 a aAV/1109/2004: Klimatická zmena a sucho v SR ako aj z výsledkov riešenia projektu 2004 SP 20/06K 0A 03/ 000 00 10: Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti.

LITERATÚRA:

- [1] BANIČ, V. 2004. Odporúčania pre výber hybridov kukurice. In Naše pole 1/2004 s.24
- [2] CURE J. D., ACKOK. B., (1986): Crop responses to carbon dioxide doubling. A literature survey. Agriculture and Forestry Meteorology, 38: 127-145
- [3] HANES, J., MUCHA, V., SISÁK, P., SLOVÍK, R. (1993). Charakteristika hnedozemnej pôdy na výskumno-experimentálnej báze AF VŠP Nitra Dolná Malanta. Nitra, VES VŠP, 1993, ISBN 80-7137-097-5
- [4] HOOGENBOOM, G., J.W. WHITE, J.W. JONES, AND K.J. BOOTE. 1994. BEANGRO, a process-oriented dry bean model with a versatile user interface. Agron. J. 86: 182 – 190.
- [5] JONES, C.A., KINIRY, J.R. (Editors). CERES- Maize. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University press, College station, TX, 1986, 194pp.
- [6] LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., MELO, M. (2000): Modifikované GCMs scenáre časových radov teploty vzduchu a zrážok pre Slovensko. In: Atmosféra 21.storočia, organizmy a ekosystémy, BPD 2000, Zvolen, 207-214
- [7] SAMUHEL, P. SISKÁ, B.: Parametrization of Crop Simulation Model “CERES-MAIZE” in Nitra-Dolná Malanta. 9th Conference of Young Scientist (Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania.), 2006, 5p.
- [8] ŠIŠKA B. (1999): Vplyv zvýšenej koncentrácie CO₂ na produktivitu vybraných obilnín v podmienkach predpokladanej klimatickej zmeny v oblasti Podunajskej nížiny In: Atmosféra 21.storočia, organizmy a ekosystémy, BPD 1999, Zvolen, 123-136
- [9] ŠIŠKA, B. et. al., 2002. Praktická biometeorológia: Nitra SPU, 104 s.
- [10] TRNKA, M., ŽALUD, Z. Vplyv zmeny klímy na produkčný potenciál jarného jačmeňa In: Atmosféra 21.storočia, organizmy a ekosystémy, BPD 1999, Zvolen, 127-129.
- [11] TSUJI, G. I., UEHARA, G., BALAS, S.: DSSAT V. 3. University of Hawaii, Honolulu, 1994, vol 1.-3.
- [12] ŽALUD, Z. 2002. Možnosti využitia rústových modelů, MZLU Brno, Habilitačná práca, s. 149