

ANALÝZA PRODUKČNÍHO PROCESU PŠENICE OZIMÉ V PODMÍNKÁCH MOŽNÉ ZMĚNY KLIMATU

Zdeněk Žalud¹, Martin Dubrovský²

Abstract

Žalud, Z.¹, Dubrovský, M.². (1Department of Bioclimatology, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, 2Institute of Atmospheric Physics, Hradec Kralové) Winter wheat production process analysis under the climate change conditions.

The long-term field experiment between 1975–1996 was used as a data source for parameterization and validation of dynamic crop growth model CERES–Wheat. The experimental site Žabčice (179 above sea level, longitude 49 °01 'N, latitude 16 °37 'E) is located in southern Moravia and belongs to the driest part of the Czech republic. The crop growth models are run using synthetic weather series obtained alternatively by (i) direct modification of observed weather series and (ii) stochastic weather generator. Climate change scenario is based on outputs of global circulation model ECHAM3/T42. The sensitivity analysis is made to reveal the role of projected changes of individual weather characteristics and direct effect of increased CO₂ on crop growth. The results suggest that the positive direct effect of increased CO₂ is greater than the negative effect related to changed climate conditions.

Keywords: wheat, crop model, weather generator, climate change

Úvod

Posouzení dopadů změny klimatu na růst a vývoj rostlin je možné jednak:

➤ Vytvořením řízené atmosféry a pěstováním plodiny ve změněných (očekávaných) podmínkách a na základě exaktních měření a analýz testovat chování kultury na změnu přirozeného atmosférického prostředí. Výhodou je experimentální charakter stanovení reakcí kultury, nevýhodou vysoká finanční náročnost takových experimentů.

➤ Využitím možností, kterou nám poskytuje výpočetní technika a posoudit dopady klimatické změny pomocí počítačových simulací. Za tímto účelem jsou využívány tzv. růstové modely schopné simulovat jak růst a vývoj rostliny tak i její reakci na změnu abiotických podmínek.

Článek hodnotí dopady klimatické změny na výnos pšenice ozimé pomocí kombinace experimentu a simulační technologie, tedy za optimálního propojení experimentální a simulační metody, což při relativně nízkých nákladech dává velmi korektní výsledky.

Metodika

Jako pokusná rostlina byla vybrána nejdůležitější zemědělská plodina pěstovaná u nás – pšenice ozimá. V rámci dlouhodobého experimentu, který byl veden za období 1975–1996 na polní pokusné stanici Žabčice (179 m n. m., 49°01'N, 16°37'E) školního

zemědělského podniku MZLU, byla provedena (i) parametrizace růstového simulačního modelu CERES–Wheat (Ritchie and Otter, 1994), jejíž součástí je vytvoření podrobné databáze vstupních údajů (pedologických, fyziologických, agrotechnických a meteorologických) a jejich zpracování do modelem požadované podoby a (ii) validace zvoleného simulačního modelu.

Výběr tohoto modelu byl ovlivněn jeho schopností simulovat reálný výnos, který je limitován teplotou, globální radiací a genomem dané plodiny, dostupnou vodou a dostupnými živinami a výnos potenciální, který je limitovaný pouze teplotou, radiací a genomem. Významným kritériem výběru bylo, že modely řady CERES patří mezi dynamické modely schopné zohlednit změnu koncentrace CO_2 , a patří tak i z pohledu fyziologického k účinným nástrojům studia produkčních procesů. Ve validovaných experimentech byly vstupní pozorované meteorologické údaje nahrazeny syntetickými řadami reprezentujícími $1,5\times\text{CO}_2$, $2\times\text{CO}_2$ klima. Tyto řady byly získány (i) přímou modifikací pozorovaných řad podle scénáře změny klimatu, (ii) pomocí stochastického generátoru Met&Roll, jehož parametry byly změněny v souladu se scénářem změny klimatu (Dubrovský 1996, Dubrovský et al., 1998). Takto byla pro každý scénář změny parametrů generátoru vygenerována 99ti letá řada denních meteorologických charakteristik. Takto vygenerovaná data byla vložena do vybraného reprezentativního ročníku. Scénář změny klimatu vychází ze simulací modelem typu GCM (global circulation model, ECHAM3/T42, Kalvová et al., 1998). Výnosové charakteristiky z víceletých experimentů se syntetickými meteorologickými řadami byly vyhodnoceny pomocí kvantilů.

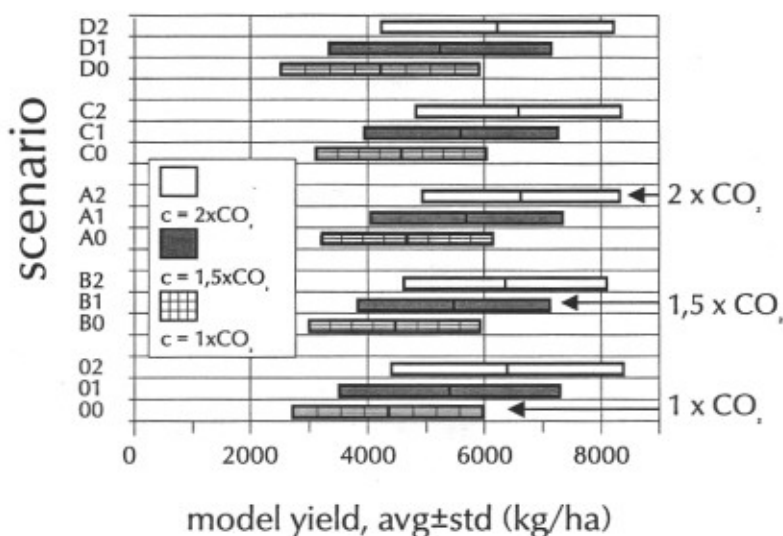
Byly posuzovány přímé dopady změny koncentrace CO_2 (vyvolané především změnou fotosyntetické aktivity a změnou otevíracího mechanismu stomat), nepřímé dopady (především změna teploty, srážek a radiace) a dopady kombinované.

Studie byla provedena pro reálný i potenciální výnos. Možnost pracovat ve dvou výnosových úrovních je značnou výhodou počítačových simulací. Diference mezi „potenciálem“ a „realitou“ může být významným ukazatelem pro posouzení produkčního potenciálu daného území a současně pro zdůvodnění dosaženého výnosu. Zavedení indexu produkčního potenciálu Z (%) jakožto podílu mezi reálným a potenciálním výnosem nám vyjádří míru výtěžnosti limitujících faktorů a jejich změny v rámci klimatické změny. Čím více se index blíží hodnotě jedna, tím vyšší je relativní efektivnost jednotlivých (i agrotechnických) faktorů.

Výsledky

Simulace růstovým modelem CERES–Wheat s meteorologickými řadami získanými přímou modifikací pozorovaných řad jsou znázorněny na obr 1.

Vliv změny klimatu bez přímého vlivu navýšení koncentrace CO_2 nevykazuje prakticky žádný vliv na výnosové rozpětí pšenice. Limitujícím faktorem v daném prostředí je pro její pěstování množství dostupné vody. Zvýšení potenciální evapotranspirace (první důsledek zvýšené teploty) bylo pravděpodobně kompenzováno rychlejším vývojem v důsledku dřívějšího dosažení teplotních sum (druhý důsledek zvýšené teploty). Vzhledem k tomu, že pšenice



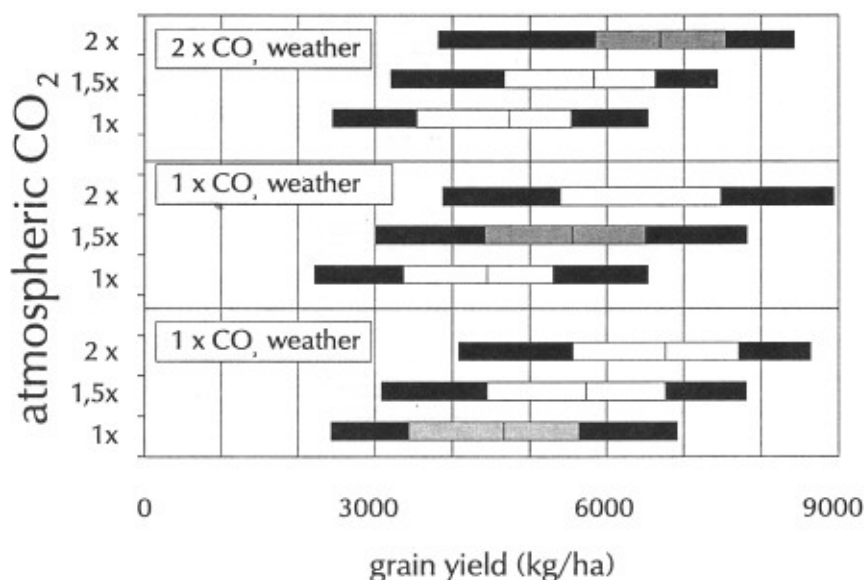
Obr. 1: Modelové výnosy pšenice, 1975–1996, průměr a směrodatná odchylka; meteorologická data ze stanice byla přímo modifikována podle scénářů A, B, C a D, identifikátor scénáře (osa y) je ve tvaru XY kde X=0 je současné klima, A je klima pro 2^oCO₂, B je klima pro 1,5^oCO₂, C = jako A, ale nejsou změněny srážky, D = jako A, ale jsou změněny pouze srážky; Y=0, 1 a 2 značí koncentraci CO₂ v atmosféře (0 = současný stav, 1 = 50% zvýšení, 2 = 100% zvýšení).

je plodina ozimá a má podstatně delší vegetační dobu lze předpokládat, že toto zkrácení nebude tak výnosově depresivní jako např. u kukuřice. Naopak přímý vliv nárůstu koncentrace CO₂ vyvolal u této C₃ rostliny výrazné zvýšení výnosů a to pro B1 (1,5^oCO₂) o 19% a A2 (2,0^oCO₂) o 32%. V souladu s literaturou jsou C₃ rostliny podstatně více stimulovány vyššími koncentracemi CO₂ než rostliny C₄. Kostrej et al. (1998) uvádí vliv dvojnásobného zvýšení CO₂ (na 662 ppm) na rychlost fotosyntézy pro C₃ rostliny o 28% zatímco u C₄ jen o 9%.

K obdobným číselným závěrům dojdeme v případě analýzy výsledku po využití syntetických datových souborů vytvořených stochastickým generátorem meteorologických dat (obr. 2). Procentické rozdíly výnosů z odchylek činí 19% pro 1,5xCO₂ resp. 31% pro 2xCO₂ klima.

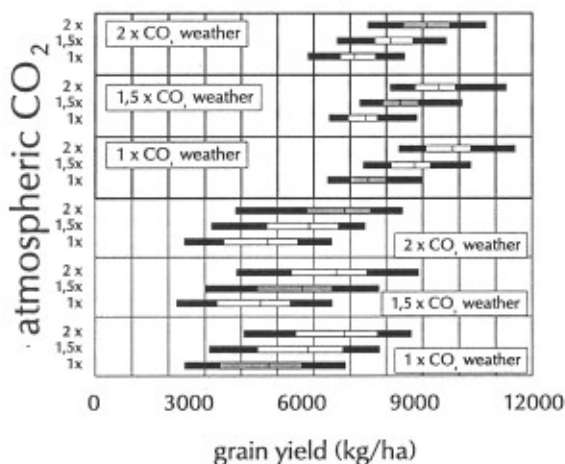
Kombinací přímého i nepřímého vlivu zvýšené koncentrace CO₂ se budou podle simulovaných výstupů výnosy pšenice zvyšovat. Vzhledem k tomu, že medián je vždy posunut k vyšší hodnotě výnosu jak pro 1,5^oCO₂ klima tak i pro 2^oCO₂ klima, lze předpokládat výskyt vyššího počtu let s extrémně nízkým výnosem pravděpodobně k četnějšímu výskytu extrémních jevů (bezesrážkové periody, nízké či vysoké teploty).

Nepřímé dopady změny klimatu na stresovaný výnos působí mírně negativně, kombinovaný (přímý a nepřímý) vliv však zaručuje vyšší výnos vzhledem k současnému stavu. Obdobný trend lze vyzorovat pro potenciální hladinu. Ve srovnání s rostlinami C₄ je reakce pšenice na zvýšení koncentrace CO₂ prudší, svědčí to o tom, že C₃ rostlina využije vyšší koncentrace CO₂ efektivněji díky méně dokonalému biochemickému cyklu fotosyntetické asimilace.



Obr. 2: Vyhodnocení modelových výnosů z 99 let se syntetickými meteorologickými řadami; ostatní vstupní data odpovídají roku 1989, který byl vybrán jako reprezentativní rok. Vodorovné pásy vyznačují 5., 25. (dolní kvartil) 50. (medián) 75. (horní kvartil) a 95. hodnotu z 99 simulovaných výnosů

Velikost indexu produkčního potenciálu vzrůstá, jeho hodnota se mění z 59% pro 1 \times CO₂ klima na 64 % pro 1.5 \times CO₂ klima a na 69 % pro 2 \times CO₂ klima. Z toho se dá usoudit (za konstatování faktu zvyšování stresového i potenciálního výnosu), že příznivé dopady změny klimatu a abiotických faktorů způsobí částečnou substituci nákladů, které by musel vynaložit farmář. Z obr. č.3 vyplývá, že potenciální výnos bude podle výstupů z modelu ECHAM 3/T42 ovlivněn podstatně méně než výnos stresovaný.



Obr. 3: Přímý, nepřímý a kombinovaný vliv změny klimatu na reálné (stresované) a potenciální výnosy pšenice ozimé

Při hodnocení potenciální úrovně má pozitivní vliv (bez uvažování přímého vlivu CO₂) pouze změna (zvýšení) globální radiace. Naopak přímý vliv zvýšeného CO₂ vždy zvyšuje výnos. Negativní vlivy změny klimatických podmínek jsou pravděpodobně kompenzovány zvýšením rychlosti fotosyntézy a zvýšením WUE (WUE = spotřeba vody/ produkce sušiny).

Závěr

Přímý vliv zvýšené koncentrace CO_2 (tedy jeho „fyzická přítomnost“ v atmosféře) je výraznější než vliv změněného režimu počasí, přičemž změny denních klimatických charakteristik výnos snižují. Naopak zvýšená koncentrace CO_2 výrazně zvyšuje výnosy pšenice. Součtem obou efektů (přímý a nepřímý vliv CO_2) je, vzhledem k dominantnímu přímému vlivu, očekávané zvýšení výnosů v podmínkách $2 \text{ } ^\circ\text{CO}_2$ klimatu. Např. Dhakwa et al. (1997), stanovil pro kukuřici (C4 rostlina) aplikací scénářů odvozených z modelů GCM pokles o -24 až -36% . V případě přímého efektu CO_2 (fyzického zvýšení koncentrace CO_2 v troposféře) je simulován několikaprocentní nárůst výnosů. Kimball (1983), Porter (1992) udávají nárůst o 34% pro C3 rostliny a 14% pro C4 rostliny. Příčinou je zvýšení asimilační aktivity vzhledem k tomu, že CO_2 je plyn vstupující do fotosyntézy a jeho současná koncentrace není dostatečná pro maximální rychlost tohoto procesu je zvýšení produkce biomasy a tedy i výnosu přímým důsledkem jeho vyšší koncentrace. Druhým významným faktem je současně vyšší uzavření stomat, což vyvolá snížení transpirace a tím docílí vyššího využití dostupné vláhy tzv. water use efficiency neboť koncentrace CO_2 v intercelulárách může být hlavním řídicím signálem (hlavně za nižších intenzit záření) otvírání průduchů (Procházka et al., 1998)

Větší koncentrace CO_2 způsobí zavření průduchů což má za důsledek pronikavé omezení transpirace a zvýšení využitelnosti vody. Voda tak může přestat být limitující faktor v ročních cích s mírně podnormálním výskytem srážek (a tedy s nižšími výnosy).

Současně je však nutné zdůraznit, že pokusy s dlouhodobou expozicí rostlin v atmosféře budoucnosti (koncentrace CO_2 kolem 700 ppm + změny teploty a srážek) naznačují, že za jistou dobu dojde k poklesu rychlosti fotosyntézy v důsledku aktivity enzymů a hromadění asimilátů v listech.

Souhrn

V rámci dlouhodobého experimentu, který byl veden za období 1975–1996 na polní pokusné stanici Žabčice (179 m n. m. , zeměpisná šířka $49^\circ 01' \text{ N}$, zeměpisná délka $16^\circ 37' \text{ E}$) školního zemědělského podniku MZLU, byla provedena (i) parametrizace růstového simulačního modelu CERES–Wheat, jejíž součástí je vytvoření podrobné databáze vstupních údajů (pedologických, fyziologických, agrotechnických a meteorologických) a jejich zpracování do modelem požadované podoby, (ii) validace zvoleného simulačního modelu. Ve validovaných experimentech byly vstupní pozorované meteorologické údaje nahrazeny syntetickými řadami reprezentujícími $1,5 \text{ } ^\circ\text{CO}_2$ a $2 \text{ } ^\circ\text{CO}_2$ klima. Tyto řady byly získány (i) přímou modifikací pozorovaných řad podle scénáře změny klimatu, (ii) pomocí stochastického generátoru Met&Roll, jehož parametry byly změněny v souladu se scénářem změny klimatu. Scénář změny klimatu vychází ze simulací modelem typu GCM (ECHAM3/T42). Výnosové charakteristiky z víceletých experimentů se syntetickými meteorologickými řadami byly vyhodnoceny pomocí kvantilů. Na základě výsledků a provedení citlivostní analýzy pro reálný a potenciální výnos lze konstatovat negativní vliv nepřímého působení změny koncentrace CO_2 a naopak pozitivní vliv přímého efektu zvyšování koncentrace. Kombinovaný vliv (očekávaný stav) bude mít stimulující účinky z pohledu výnosů ozimé pšenice v testované lokalitě.

Poděkování

První autor děkuje Grantové Agentuře ČR za udělení grantu na projekt evidovaný pod č.521/97/P089, v jehož rámci mohl být publikovaný výzkum proveden.

Literatura

Dhakhwa, G. B., Campbell, C.L., LeDue, S.K., Cooter, E.J. Maize growth: assessing the effects of global warming and CO₂ fertilization with crop models, *Agr. and For. Met.* 1997, 87: 253-272

Dubrovský M. Met&Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. *Meteorologické Zprávy*, 1996a, 49, 97-105.

Dubrovský M., Žalud Z., Šťastná M. Modelling Climate Change Impacts on Maize Yields In the Czech Republic. In: *Proceedings of 2nd European Conference on Applied Climatology*, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 1998, CD-ROM

Kalvová J., Nemešová I., and Dubrovský M.: Climate change projections based on GCM-simulated daily data. 1998 (submitted to *Studia Geophysica et Geodaetica*).

Kimball, B.A.; Idso, S.B. Increasing atmospheric CO₂ - effect on crop yield, water use and climate, *Agricultural Water management*: 1983, 7:55-72

Kostrej, A., Danko, J., Jureková, Z., Zima, M., Gáborčík, N., Vidovič, J. Ekofyziologie produkčního procesu porastu a plodín, SPU Nitra, 1998, 187 pp.

Porter, H. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration, *Vegetation* 1992, 104-105:77-97

Procházka, S., Šebánek, J., Gloser, J., Sladký, Z. *Botanika, morfologie a fyziologie rostlin*, MZLU Brno, 1998, 242 pp.

Ritchie, J. T., Otter, S. Description and performance of CERES-Wheat: A user-oriented wheat yield model, in *ARS Wheat Yield Project. ARS-38*, edited by W.O. Willis, U.S. Department of Agriculture-Agricultural research service: 1985, 159-175

Adresa autorů

Žalud Zdeněk, Oddělení bioklimatologie Ústavu krajinné ekologie, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: zalud@mendelu.cz

Dubrovský Martin, Ústav fyziky atmosféry AVČR Husova 456, 500 08 Hradec Králové, Česká republika, e-mail: dub@ufa.cas.cz