

Využití modelu CROPGRO-Tomato pro simulaci růstových parametrů rajčete jedlého v polních podmínkách Polabí

CROPGRO-Tomato Model for Simulated Growth Parameters of Field-grown
Tomato in the Elbe Lowland Conditions

Vera Potopová, Luboš Tůrkott, Dita Hiřmanová

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, KAB

Abstrakt

V práci byl využit model CROPGRO-Tomato pro simulaci časového vývoje růstových a výnosových charakteristik rajčete jedlého odrůdy Thomas F1 a Palava F1 v podmínkách středního Polabí a Prahy. Dle literatury byly stanoveny kardinální teploty a plodinové koeficienty, které byly využity při simulaci BBCH, LAI a výnosu. V obdobích s teplotními a srážkovými anomáliemi byla chyba modelu v hodnotě LAI na obou lokalitách největší. Převážně na lokalitě Praha - Suchdol model výrazně nadhodnotil nárůst LAI. Obdobně tomu bylo i v pokusném roce 2015, kdy model nadhodnocoval vývoj LAI v extrémně teplém ($\Delta T +5,0$ °C) a srážkově normálním měsíci srpnu. Na lokalitě Mochov odpovídaly simulované výnosy datům pokusným. Oproti tomu na lokalitě Praha - Suchdol model nadhodnocoval výnos. Nicméně, po kalibraci byla schopnost modelu simulovat LAI a výnos rajčat uspokojivá.

Klíčová slova: růstový model, LAI, BBCH, *Solanum lycopersicum* L.

Abstract

This study used the CROPGRO-Tomato model to simulate the growth parameters of Thomas F1 and Palava F1 tomatoes bush cultivars grown under open field conditions in two different sol-climate locations in the middle of Elbe lowland and Prague. We applied the newly calibrated values of genetic crop, ecotype file and cultivar coefficients for BBCH, LAI and yield. The greatest model error in the LAI values simulation at both locations was recorded in seasons with higher temperature and precipitation anomalies. In 2015, the LAI was overestimated by the model in extremely hot ($\Delta T +5.0$ °C) and normal precipitation conditions. The yield obtained in crop canopy at the farm field corresponded well with simulated values. Conversely, the model overestimated the yield in Prague - Suchdol. After the calibration, however, the ability of the model to simulate LAI and yield for testing cultivars was relatively satisfactory.

Keywords: crop growth model, LAI, BBCH, *Solanum lycopersicum* L.

Úvod

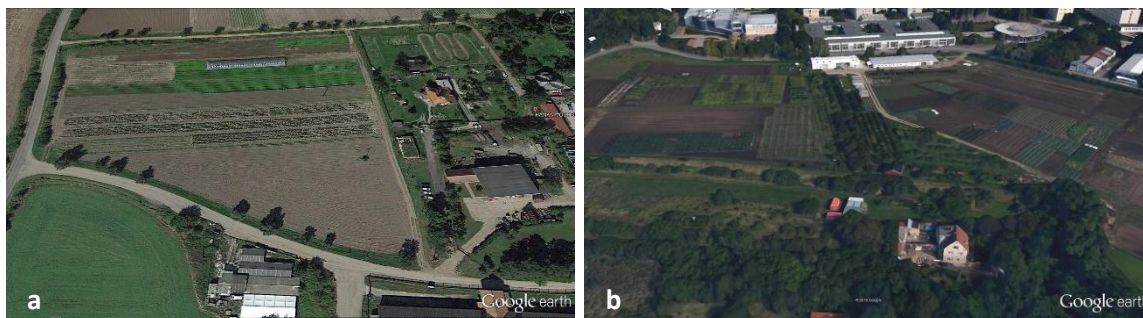
Probíhající a očekávaná změna klimatu s sebou přináší otázky, jak tento fenomén ovlivní zemědělskou produkci na světové, regionální i místní úrovni. S ohledem na přímou i nepřímou závislost zemědělství na průběhu počasí byla vyvinuta celá řada růstových modelů, pracujících s jednotlivými klimatickými scénáři. Jedním z nejrozšířenějších programů umožňujících modelaci vývoje, růstu a výnosu zemědělských plodin v závislosti na dynamice systému půda-rostlina-atmosféra je program Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Program byl navržen tak, aby bylo možné pomocí modulů tento systém rozšiřovat pro široké spektrum zemědělských plodin a aplikací (Jones *et al.*, 2003). Existuje celá řada růstových modelů pro rajčata např. TOMGRO (Jones *et al.*, 1991), TOMSIM (Heuvelink a Bertin, 1994), TOMPOUSSE (Gary *et al.*, 1997), CROPGRO-Tomato (Scholberg *et al.*, 1997), HORTISIM (Gijzen *et al.*, 1998), SIMULTOM (Sauviller *et al.*, 2002), z nichž některé jsou konstruovány pro skleníkovou produkci a jiné zase pro polní pěstování. Model CROPGRO-Tomato byl Scholbergem *et al.* (1997) použit pro simulaci při polním pěstování rajčat. Boote *et al.* (2012) vytvořil modul pro odhad hmotnosti a velikosti plodů rajčat, který byl začleněn do systému programu DSSAT. Pro zpřesnění simulace růstových a výnosových charakteristik a jejich závislosti na teplotě musela být v modelu upravena kardinální teplota (tj. jak teplota ovlivňuje vegetativní i generativní fázi růstu rajčete, fotosyntézu, násadu plodů a tempo růstu a vývoje jednotlivých plodů). Kardinální teploty (T_b – hraniční teplota, T_{opt1} a T_{opt2} – minimální a maximální teplota, při které je rychlost fyziologického procesu nejvyšší, T_{max} – maximální teplota fyziologického procesu) a letální teploty (T_{lmin} a T_{lmax} – letální minimum a letální maximum) popisují zásadní teplotní požadavky rostlinné produkce. Ideální podmínky pro růst a vývoj plodiny jsou v intervalu T_{opt1} a T_{opt2} . Roberts a Summerfield (1987) a Wheeler *et al.* (2000) zjistili, že rychlost mnoha fyziologických procesů je pozitivní lineární funkcí teploty mezi T_b a T_{opt} a negativní lineární funkcí teploty mezi T_{opt2} a T_{max} . Dle Luo (2011) by se měly růstové modely více zaměřit na zachycení dopadů extrémních teplot oproti teplotám průměrným. Precizní kalibrace modelů na regionální úrovni pak umožní lépe porozumět souvislostem týkajících se extrémních teplot a mechanismu jejich účinku, a také pomůže objasnit interakce mezi prahovými teplotami a koncentrací CO_2 a prahovými teplotami a vláhovými poměry (sucho, vlhko). Znalost prahových teplot v jednotlivých fázích vývoje zemědělských plodin, zvláště pak teplomilných zelenin, je klíčová pro hodnocení dopadu klimatické změny na zemědělskou produkci a volbu strategií předcházení rizikům s ní spojenými. Dle Adams *et al.* (2001) má růst listů, květenství a kvetení $T_b = 7,0$ °C, $T_{opt} = 22,0$ °C; vývoj plodů a zrání $T_b = 5,7$ °C, $T_{opt} = 26,0$ °C.

Fotosyntéza u rostlin rajčete má $T_b = 6,0 - 8,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Duchowski a Brazaityte, 2001) a $T_{opt} = 30,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Bunce, 2000).

U rajčat byla Wentem (1945) popsána pozitivní termoperiodicita, což je citlivost rostlin na teplotu v různých fázích jejich růstu a vývoje nebo během dne a noci. V souvislosti s tím Hurd a Graves (1984) a de Koning (1990) popisují schopnost rostlin rajčete integrovat teploty, což znamená obdobné fyziologické reakce při teplotním režimu 20/24 $^\circ\text{C}$ (den/noc) jako při konstantní teplotě 22,0 $^\circ\text{C}$. Klimatické scénáře předpokládají vyšší variabilitu počasí a s tím souvisí i častější výskyt chladných a horkých vln. Vysoké teploty u rajčat způsobují poruchy tvorby květů, opadávání pupat, zhoršují opylení. Dle Peet (1998) dochází při teplotách nad 29,0 $^\circ\text{C}$ k redukci násady plodů až na 10 % v porovnání s růstem rostlin při teplotě 25,0 $^\circ\text{C}$. Cílem tohoto příspěvku je analyzovat schopnost modelu CROPGRO-Tomato simulovat časový vývoj růstových a výnosových charakteristik (LAI, BBCH, výnos, aj.) rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.) od výsadby po technickou zralost v podmínkách České republiky (Polabská nížina).

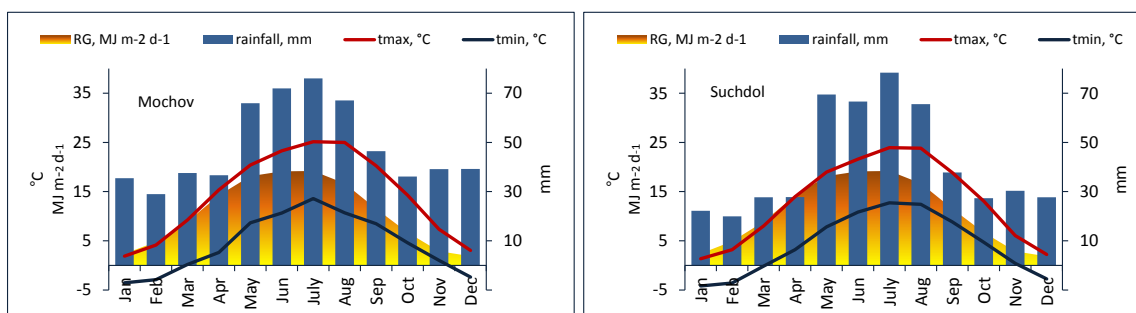
Materiál a metody

Ve spolupráci se zelinářskou farmou probíhá od roku 2014 polní pokus na dvou pokusných lokalitách v centrální části Čech, kde jsou získávána vstupní data do modelu (Potop a Türkott, 2014, Potopová *et al.*, 2016 a-b). První lokalitou byl pozemek v Mochově v zelinářské oblasti středního Polabí v nadmořské výšce 189 m (obr. 1a). Tato oblast se vyznačuje záhřevnými písčitými půdami s intenzivní zelinářskou výrobou. Agroklimatické podmínky lokality jsou z teplotního hlediska vhodné pro pěstování teplomilných zelenin, avšak limitujícím faktorem pro dosažení rentabilního výnosu se často stává sucho. Druhá lokalita byla na okraji Prahy na pokusných pozemcích České zemědělské univerzity v Praze v nadmořské výšce 287 m (obr. 1b). Chráněná poloha lokality a úrodné sprašové půdy umožňují pěstování teplomilných zelenin i v této oblasti.



Obr. 1 a,b Snímky pokusných lokalit Mochov a Praha - Suchdol

Polní pěstování rajčat je možné pouze v oblastech s dostatečně dlouhým bezmrazovým obdobím. Termín výsadby rajčat při jejich polním pěstování je limitován nejen počátkem bezmrazového období, ale i průměrnou denní teplotou $T_d \geq 15,0$ °C (délka období větší než 110 dnů). V rámci dvou referenčních období 1961 - 2014 (1989 - 2014) byl oteplovací trend v rámci vegetačního období rajčat 0,32 °C (0,37 °C) za dekádu a pro denní teplotní extrémy byla tendence nárůstu denní maximální a minimální teploty vzduchu 0,35 °C (0,33 °C) a 0,28 °C (0,41 °C). Rostoucí trend úhrnu srážek byl 4,3 mm (41,5 mm) (Potopová *et al.*, 2016c).



Obr. 2 Dlouhodobý průměr (1981 - 2010) globálního záření, úhrnu srážek a denních extrémů teploty vzduchu na pokusných lokalitách Mochov a Praha - Suchdol.

Růstové modely vyžadují velké množství vstupních dat pro jejich kalibraci a výpočty. Model CROPGRO-Tomato pracuje se čtyřmi základními datovými soubory. První zahrnuje charakteristiku druhu plodiny a jejich kultivarů. Druhý obsahuje informace o denních hodnotách základních meteorologických prvků, jako jsou: úhrn srážek (mm), globální záření ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), maximální a minimální teplota vzduchu. Ve třetím souboru jsou informace o půdě a čtvrtý soubor obsahuje popis technologie pěstování (termíny výsadby, termín a dávka závlahy, hnojení, sklizeň) (tab. 1-6). Data polního pokusu byla vyhodnocena modelem CROPGRO-Tomato, který je součástí programu DSSAT v4.5 (Hoogenboom *et al.*, 2010). Použity byly nově kalibrované hodnoty vývojových parametrů plodiny a plodinové koeficienty pro verzi 4.5 modelu CROPGRO-Tomato (Boote *et al.*, 2012).

Tab. 1 Modifikovaná verze parametrů modelu.

Parametr	Kalibrované hodnoty
Čas mezi výsevem a vzejitím PL-EM (Td)	6
Čas mezi vzejitím a prvním pravým listem EM-V1 (Td)	22
Čas potřebný pro růst konkrétního plodu LNGSH (Td)	39
Doba mezi vytvořením prvního květu a posledního listu na hlavním stonku FL-VS (Td)	45
PMO6, je-li PMO6 = 0,0 nejedná se o fázi pomalého růstu; je-li PMO6 > 0,0 jedná se o fázi pomalého růstu	0,55
Míra tvorby listů na hlavním stonku, TRIFL	0,45

Td - tepelné dny (thermal days)

Tab. 2 Plodinové koeficienty pro model CROPGRO-Tomato

Parametr	Definice	Kalibrované hodnoty
EM-FL	Čas mezi vzejitím rostlin a objevením prvního květu (Td)	24,4
FL-SH	Čas mezi objevením prvního květu a prvního plodu (Td)	3
FL-SD	Čas mezi prvním květem a prvním semenem (Td)	19
SD-PM	Čas mezi prvním semenem a fyziologickou zralostí (Td)	45
FL-LF	Čas mezi prvním květem a koncem tvorby listů (Td)	52
LFMAX	Max. rychlost fotosyntézy při 30 °C, 350 ppm CO ₂ a vysoké osvětlenosti (mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	1,36
SLAVR	Specifická listová plocha odrůdy za standardních růstových podmínek (cm ² g ⁻¹)	300
SIZLF	Maximální listová plocha celého listu (všechny lístky) (cm ²)	300
XFRUIT	Maximální podíl denního přírůstku, který se dělí na semeno + obaly	0,73
SFDUR	Doba plnění semen za standardních růstových podmínek (Td)	26
PODUR	Čas potřebný k dosažení konečné formy plodenství za optimální podmínek (Td)	58

Td – tepelné dny (thermal days)

V práci jsou využita denní meteorologická data Českého hydrometeorologického ústavu z klimatologických stanic Poděbrady a Praha Ruzyně za období 1961 - 2015 a experimentální data z agrometeorologických pozorování v porostech rajčat na pokusných parcelách (Mochov - Hanka Mochov s.r.o. 189 m n. m., Praha Suchdol - ČZU 287 m n. m.) z let 2014 a 2015.

Modelovými rostlinami byly dvě odrůdy rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.) Thomas F1 a Palava F1. Jde o tyčkové hybridní odrůdy typu LSL (Long Self Life) s geneticky blokovanou tvorbou etylenu, a tím zpomaleným zráním. Všeobecné informace vztahující se k založení pokusu, podmínkách růstu, fenologii a výnosu jsou uvedeny v tab. 2 a 5.

Tab. 3 Hlavní principy modelace růstu a vývoje rostlin modelem CROPGRO-Tomato (DSSAT).

Proces	CROPGRO-Tomato model
1. Fenologie	Funkcí teploty a fotoperiody
2. Rozvoj listové plochy a absorpce záření	Vývoj listové plochy je řízen teplotou a dostupností asimilátů
3. Využití záření	Efektivita využití záření. Konstantní hodnota efektivity využití záření se využívá pro převod absorbovaného záření na sušinu.
4. Tvorba sušiny	Řízená teplotou, jakožto faktorem fenologie, limitovaná dostupností asimilátů, přebytky asimilátů ukládány do kořenů
5. Tvorba kořenového systému	Exponenciální
6. Metoda výpočtu evapotranspirace	Priestley–Taylor
7. Dynamika vody	Kapacitní metoda, pohyb vody v půdě
8. Typ modelu	Plodinově selektivní, dynamický
9. Časový krok simulace	Denní

Kardinální teploty byly upraveny dle de Konig (1994), Adams *et al.* (2001) a Boote *et al.* (2012).

Tab. 4 Kardinální teploty vývojových fází rajčete jedlého

Fyziologický proces / fáze BBCH	Teplotní nároky (kardinální teploty) [°C]			
	T _b	T _{opt1}	T _{opt2}	T _{max}
Rychlost růstu listové plochy / 10-29	7,0	22,0	28,0	48,0
Rychlost tvorby květních orgánů / 51-69	7,0	22,0	28,0	48,0
Rychlost tvorby plodů a zrání / 71-89	5,2	26,0	28,0	48,0
Relativní vliv teploty na opylení a násadu plodů	6,0	21,0	26,0	33,0
Relativní vliv teploty na rychlost růstu plodů	6,0	22,0	25,0	32,0
Rychlost saturace listů FAR	6,0	28,0	34,0	48,0

T_b – hraniční teplota, při které ustává fyziologický proces; T_{opt1} – teplotní minimum, při kterém je rychlost fyziologického procesu nejvyšší; T_{opt2} – teplotní maximum, při kterém je rychlost fyziologického procesu nejvyšší; T_{max} – maximální teplota fyziologického procesu

I přes fyziologické a morfologické rozdíly použitých odrůd nejsou jejich nároky na prostředí příliš odlišné. Základní informace uvádí tab. 4 a 5.

Tab. 5 Základní informace o pokusných lokalitách a použitých odrůdách.

Základní informace Thomas F1/Pálava F1	Pokusné lokality	
	Mochov	Praha - Suchdol
Nadmořská výška (m)	189	287
Úhrn srážek (mm)	345	318
Vláhová potřeba (mm)	450	450
Požadavek závlahy	vysoký	vysoký
Průměrná teplota vzduchu (°C)	16,5	16,1
Maximální teplota vzduchu (°C)	22,9	21,4
Minimální teplota vzduchu (°C)	11,3	10,5
Globální záření (MJ m ⁻² d ⁻¹)	2553,7	2439,2
Počet dnů od výsadby do kvetení (dny)	27/17	25/24
Počet dnů od výsadby do počátku zrání (první sklizně) (dny)	44/51	50/58
Počet dnů od výsadby do poslední sklizně (dny)	120/121	138/154
Výška rostlin (cm)	2000	2000
Meziřádková vzdálenost (cm)	90	100
Vzdálenost rostlin v řádku (cm)	50	50
Hustota porostu (rostlin/m ²)	2,2	2,0
Doporučená dávka hnojení (N/DAP kg/ha)	96,2	96,2
Potenciální výnos (t/ha)	15,9	18,2

Střední Polabí je typické svými písčitymi půdami a naplaveninami. Na lokalitě Mochov se jedná o písčitohlinitou kambizem, což jsou půdy záhřevné, úrodné s tendencí k vysychání. Půdní reakce je spíše kyselá a půda má vysokou půdní vodní kapacitu. Lokalita Praha - Suchdol je oblastí s hlubokými černozeměmi na spraších s vysokým obsahem organické hmoty. Jedná se o úrodné půdy s neutrální reakcí, vyšším zastoupením jílových částic, vyšší kationtovou výměnou kapacitou a nízkou půdní vodní kapacitou (tab. 6).

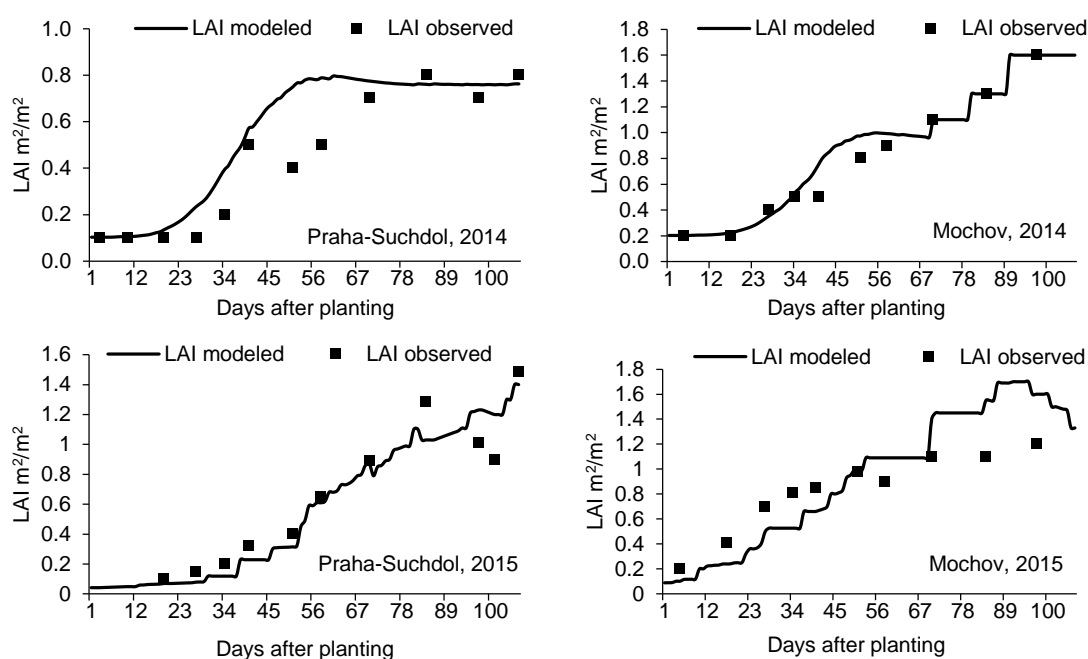
Tab. 6 Půdní parametry pokusných lokalit

	Hloubka (cm)	Jíl (%)	Prach (%)	Písek (%)	C _{org} (%)	pH	KVK	Celkový dusík (%)	BV	PVK	Obj. hmotnost (g/cm ³)
ČMm	0-30	34,6	50,4	15,0	2,27	7,7	23,6	0,12	0,052	0,18	1,61
	30-60	35,7	49,1	15,2	2,41	7,6	23,4	0,13	0,073	0,19	1,61
	>60	35,7	49,1	15,2	2,41	7,6	23,4	0,13	0,16	0,35	1,51
KMmph	0-30	23,3	58,8	18,2	1,59	5,1	20,3	0,11	0,30	0,45	1,31
	30-60	24,1	59,5	16,4	1,96	5,8	19,9	0,10	0,25	0,36	1,37
	>60	22,4	60,0	17,6	1,45	6,4	12,8	0,13	0,28	0,41	1,41

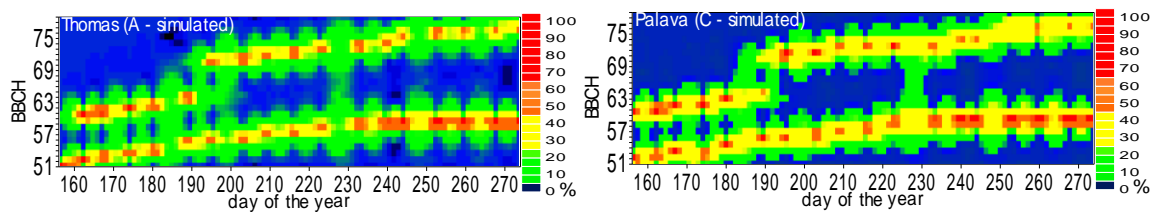
KVK – kationtová výměnná kapacita, BV – bod vadnutí, PVK – půdní vodní kapacita, ČMm – černozem, KMmph – písčitohlinitá kambizem

Výsledky

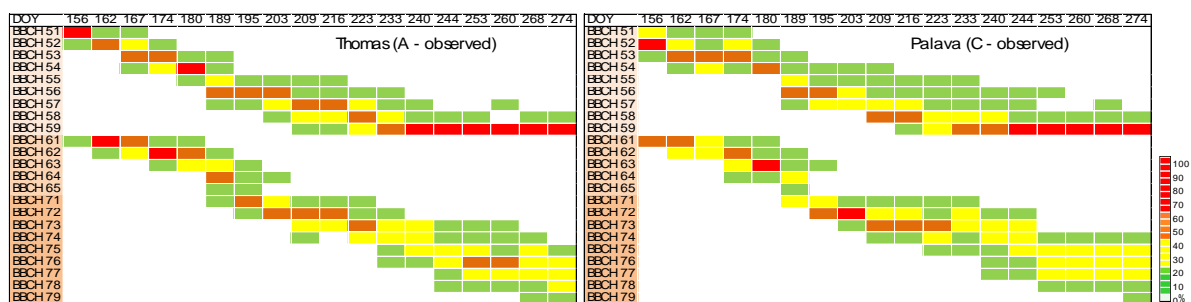
V pokusných letech 2014 a 2015 se vyskytly výrazné teplotní i srážkové anomálie. Při hodnocení jednotlivých měsíců byl v roce 2014 velmi teplý červenec s odchylkou teploty +2,3 °C. Těmto vysokým teplotám předcházela extrémně suchý měsíc červen s 36 % normálu úhrnu srážek. Srážkově byl červenec 2014 hodnocen jako vlhký se 131 % normálu úhrnu srážek (tab. 8). V tomto období na obou lokalitách byla chyba modelu (odchylka modelových dat od naměřených) v hodnotě LAI největší. Jak ukazuje obr. 3, tak převážně na lokalitě Praha - Suchdol model výrazně nadhodnotil nárůst LAI. Obdobně tomu bylo i v pokusném roce 2015, kdy model nadhodnocoval vývoj LAI v extrémně teplém ($\Delta t +5,0$ °C) a srážkově normálním měsíci srpnu.



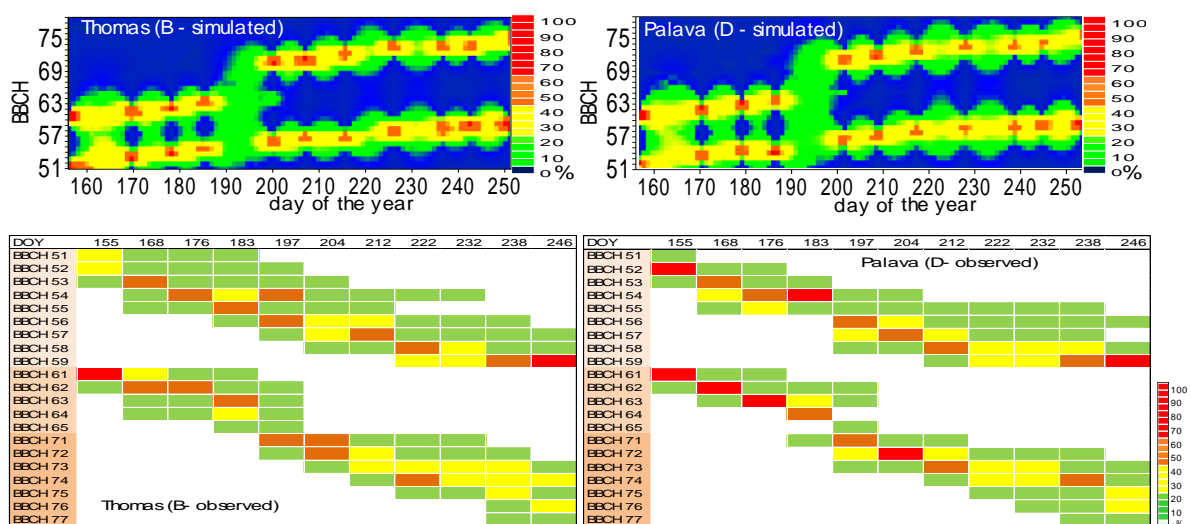
Obr. 3 Srovnání simulované hodnoty LAI s naměřenými hodnotami na pokusných lokalitách Mochov a Praha - Suchdol v letech 2014 a 2015.



Teplotní i srážkové extrémů obou ročníků se projevily i na nástupech a vývoji fenologických fází rostlin rajčete. Na obr. 4 a 5 jsou graficky znázorněny simulace a data polního pokusu nástupu a vývoje jednotlivých fází BBCH u rajčete jedlého odrůdy Thomas F1 a Palava F1 na lokalitách Praha - Suchdol a Mochov v pokusném roce 2015. Obrázky ukazují procentuální zastoupení rostlin v konkrétní vývojové fázi. Na lokalitě Praha - Suchdol byl porost, s ohledem na vývojové fáze BBCH, méně homogenní. Nástup vývojových fází u jednotlivých rostlin byl rozložen do delšího časového období, což způsobuje problémy v agrotechnických opatřeních při ošetřování porostu a při probírkové sklizni.



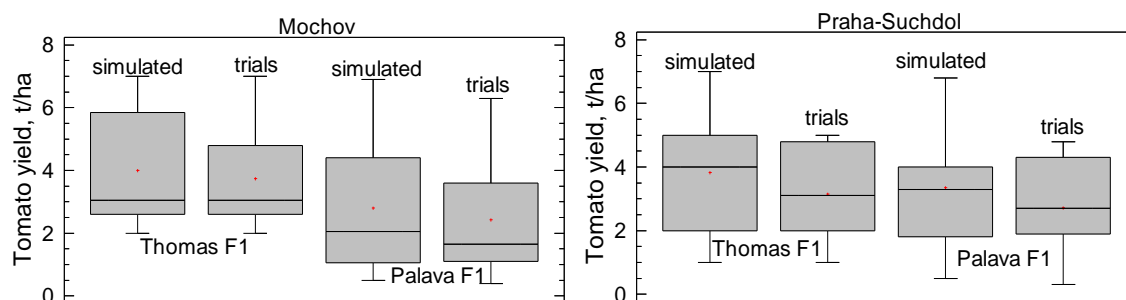
Obr. 4 Simulovaný a pozorovaný vývoj fenologických fází BBCH na lokalitě Praha-Suchdol.



Obr. 5 Simulovaný a pozorovaný vývoj fenologických fází BBCH na lokalitě Mochov.

Hlavním cílem růstových modelů hospodářských plodin je simulace výnosu. Dlouhodobá stabilita výnosů je hlavním předpokladem rentabilního pěstování a hospodářského zisku.

Výnos teplomilných zelenin, kam řadíme i rajčata, je v podmínkách klimatu České republiky velmi nejistý.



Obr. 6 Simulace výnosu probírkové sklizně rajčat odrůdy Thomas F1 a Palava F1 v roce 2015

Z modelové simulace prezentované na obr. 6 je patrné, že na pokusné lokalitě Mochov, tedy v oblasti typické pro zelinářství, medián simulovaných výnosů při probírkové sklizni odpovídá mediánu dat pokusných. Tento výsledek je patrný u obou použitých odrůd. Oproti tomu na lokalitě Praha - Suchdol model nadhodnocoval výnos u obou odrůd. Celkový výnos rajčat byl v prvním pokusném roce na obou lokalitách vyrovnaný s mírným navýšením u lokality Mochov. V druhém pokusném roce byla lokalita Mochov výnosově výrazně slabší v porovnání s lokalitou Praha - Suchdol (tab. 7).

Tab. 7 Termín výsadby a výnosové parametry rajčat v roce 2014 a 2015.

Lokalita	Rok	Odrůda	Datum výsadby	Dny od výsadby po začátek zrání	Výnos (t/ha)
Mochov	2014	Thomas F1	21. květen	33	25,2
	2015	Thomas F1/ Pálava F1	12. květen/12. květen	55/51	13,2/13,7
Praha-Suchdol	2014	Thomas F1	21. květen	37	22,2
	2015	Thomas F1/ Pálava F1	11. květen/11. květen	63/58	24,5/30,0

Včasná výsadba rostlin rajčat a následně ideální povětrnostní podmínky jsou zárukou časně sklizně a kvalitní produkce. Termín výsadby rajčat je limitován počátkem bezmrazového období, které na lokalitě Praha - Suchdol v letech 2014 a 2015 začalo posledním mrazovým dnem 4. května (-0,8 °C) resp. 6. dubna (-0,9 °C). Výrazným rizikem jsou však i mrazy přízemní, které se zde vyskytly 5. května (-3,1 °C) resp. 30. května (-0,9 °C). V druhém případě tak nastalo již po vysazení rostlin, což mělo za následek poškození listových pletiv a zpomalení růstu. Na lokalitě Mochov bylo ukončeno mrazové období posledním mrazovým dnem v roce 2014, a to 17. dubna s $t_{\min} = -0,3$ °C a v roce 2015 dne 7. dubna s $t_{\min} = -0,6$ °C. Datum výsadby tak již spadalo do bezmrazového období (tab. 7).

Tab. 8 Teplotní a srážkové poměry ve vegetačním období rajčat v pokusných letech 2014 a 2015.

	2014				2015			
	teplota		srážky		teplota		srážky	
	Δt , °C	hodnocení	r, %	hodnocení	Δt , °C	hodnocení	r, %	hodnocení
květen	-0,4	normální	173	vlhký	+0,2	normální	59	suchý
červen	+0,4	normální	36	mimořádně suchý	+0,3	normální	80	normální
červenec	+2,3	silně teplý	131	vlhký	+3,1	mimořádně teplý	40	suchý
srpen	-0,6	normální	88	normální	+5,0	mimořádně teplý	94	normální
září	+1,1	teplý	185	vlhký	+0,1	normální	45	suchý

Diskuze

Růstové modely jsou dnes hojně využívány v kombinaci s klimatickými scénáři pro modelaci budoucího vývoje výnosů převážně hlavních zemědělských plodin. Z jejich výsledků vyplývá, že změna klimatu přinese vyšší produktivitu rostlin a tím v důsledku nadbytku potravin opouštění zemědělské půdy v Evropě (Ewert *et al.*, 2005). Úloha růstových modelů aplikovaných na produkci zelenin v ČR má však trochu jinou úlohu. Jde zde především o odhad stability výnosů a možnost rozšíření, v našem případě teplomilných zelenin, do nových areálů jejich rentabilního pěstování. Model CROPGRO-Tomato byl adaptován Scholbergem (1997) z původního využití pro podzemnici olejnou *Arachis hypogea* L. na rajče jedlé *Solanum lycopersicum* L. Jak ukazují metody a výsledky publikované v práci Boote (2012), zůstávají v adaptovaném modelu i parametry (plodinové koeficienty) složitě aplikovatelné na fyziologické a morfologické znaky rajčete. Obdobně pak v práci Übelhör *et al.* (2015) při modifikaci modelu pro simulaci růstu zelí *Brassica oleracea* convar. *Capitata* var. *Alba*. Příkladem mohou být FL-SD, SD-PM, SFDUR, XFRUIT (tab. 2), kdy model řeší parametry týkající se semene a jeho obalů. Výběr vhodného modelu a především jeho parametrizace je pak klíčovou podmínkou pro realistický výsledek. Boote (2012) parametrizoval model CROPGRO-Tomato modifikací plodinových koeficientů a kardinálních teplot. Dosáhl tím snížení průměrné střední kvadratické chyby (RMSE) modelu, v porovnání s původními parametry, o 44 % u LAI, 71 % pro počet plodů a 36 % pro nadzemní biomasu a sušinu plodů.

Při aplikaci modelu v podmínkách ČR použitý model CROPGRO-Tomato při simulaci LAI nadhodnocoval její hodnotu v porovnání s naměřenými daty na pokusných parcelách, a to především v obdobích s teplotními anomáliemi. K opačným závěrům dospěl Rinaldi *et al.* (2007), kdy simulovaná hodnota LAI narůstala v první třetině vegetačního období a následně mírně klesala oproti LAI naměřenému u pokusných rostlin, kde k poklesu LAI způsobeného stárnutím listů došlo až ve třetí třetině vegetace. Tento rozdíl v simulaci modelem CROPGRO-Tomato a pokusnými rostlinami vysvětluje tím, že model nebere v úvahu

kompetiční vztahy rostlin při výsadbě do dvojitých řádků. Teplotní a srážkové poměry výrazně ovlivňují nástup a délku jednotlivých vývojových fází rostlin rajčete. Na pokusné lokalitě Mochov nastala, v obou pokusných ročnících, sklizňová zralost plodů rajčat dříve. V roce 2014 o 4 dny a v roce 2015 u odrůdy Thomas F1 a Palava F1 o 8 resp. 7 dnů dříve. To je způsobeno vyšší průměrnou teplotou vzduchu, vyššími průměry teplotních extrémů a vyššími úhrny srážek na lokalitě Mochov. Jak uvádí Ventrella *et al.* (2012), předpovídají scénáře budoucího podnebí nárůst koncentrace CO₂, což se projeví vyšší plodností rajčat. Tento pozitivní efekt převyší negativní působení zvýšené teploty vzduchu a snížení srážek. Opačný názor mají Tshiala a Olwoch (2010), kteří uvádějí, že vysoká teplota vzduchu snižuje výnos, kdy každý 1 °C nad 25 °C sníží výnos rajčat o 10 %. Vlny veder v červenci 2014 a v srpnu 2015 způsobily zpomalení růstu rajčat, poškození plodů sníženým příjmem vápníku a vysokou teplotu. Extrémně teplý a suchý červenec a extrémně teplý srpen roku 2015 byly důvodem snížení výnosu rajčat na lokalitě Mochov v porovnání s lokalitou Praha - Suchdol. I přes využití závlahy byl stres rostlin na propustných, záhřevných písčitých půdách v zelinářské oblasti Mochova vyšší v porovnání s černozeměmi lokality Praha - Suchdol.

Závěr

Modelace výnosu zemědělských plodin je důležitou součástí při volbě strategií vedoucích ke snížení dopadů klimatické změny, pro politická rozhodování, plánování managementu zemědělské výroby, zásobování a lidských zdrojů. Pozitivním, fyziologicky podmíněným jevem u rostlin vegetujících v podmínkách vyšší koncentrace CO₂, je zvýšení využitelnosti vody rostlinou, což však ostře kontrastuje s její sníženou dostupností. Základem správné funkce modelu je jeho parametrizace pro konkrétní druh, resp. odrůdu, jeho kalibrace a určení chyby modelu. K tomu je zapotřebí se dokonale seznámit s fyziologií dané plodiny, jejími nároky na prostředí, výživu a agrotechniku. Nedílnou součástí je pak založení polních pokusů a detailní monitorování podmínek prostředí, růstových, vývojových a výnosových parametrů plodiny. Při modelaci růstu, vývoje a výnosu rajčat modelem CROPGRO-Tomato jsou zásadními vstupními parametry modifikované plodinové koeficienty, kardinální teploty, půdní parametry a agrotechnické zásahy. Při porovnávání výsledků simulace s daty z polního pokusu byly největší rozdíly zaznamenány v obdobích s kombinovaným stresem (teplo a sucho). V takových situacích model nadhodnocoval výsledek v porovnání s polním pokusem. Hlavní úlohou růstových modelů zelenin je a bude odhad stability výnosů jak v tradičních, tak i v nových areálech jejich pěstování při probíhající změně klimatu, tedy při měnících se podmínkách prostředí. Nedílnou součástí je také propojení modelů s klimatickými scénáři.

Další význam modelace je pak i v možnosti predikce infekčního tlaku chorob a škůdců, změny agrotechnických zásahů a tím dosažení snížení nákladů na produkci polních zelenin.

Literatura

- Adams S.R., Cockshull K.E., Cave C.R.J. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann. Bot.* 88: 869-877.
- Boote K.J., Rybak M.R., Scholberg J.M., Jones J.W. 2012. Improving the CROPGRO-tomato model for predicting growth and yield response to temperature. *Hort. Science.* 47 (8): 1038-1049.
- Bunce J.A. 2000. Acclimation of photosynthesis to temperature in eight cool and warm climate herbaceous C3 species: temperature dependence of parameters of a biochemical photosynthesis model. *Photosynth. Res.* 63: 59-67.
- De Koning A.N.M. 1990. Long term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Scientia Horticulturae.* 45: 117-127.
- De Koning A.N.M. 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Wageningen Agric. Univ. Wageningen. 240 pp.
- Duchowski P., Brazaityte A. 2001. Tomato photosynthesis monitoring in investigations on tolerance to low temperatures. *Acta Hort.* 562: 335-339.
- Ewert F., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Metzger M.J., Leemans R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107 (2): 101-116.
- Gary C., Baille A., Navarrete M., Epanet R. 1997. TOMPOUSSE, un modele simplifie de prevision du rendement et du caliber de la tomate. In: Baille A, ed, Actes du seminaire de l'AIP intersectorielle "Serres", INRA, Avignon. 100-109.
- Gijzen H., Heuvelink E., Challa H., Marcelis L.F.M., Dayan E., Cohen S., Fuchs M. 1998. Hortsim: A model for greenhouse crops and greenhouse climate. *Acta Horticulturae.* 456: 441-450.
- Heuvelink E., Bertin N. 1994. Dry Matter partitioning in a tomato crop: comparison of two simulation models. *Journal of Horticultural Science.* 69: 885-903.
- Hoogenboom G., Jones J.W., et al. 2010. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Hurd R.G., Graves C.J. 1984. The influence of different temperature patterns having the same integral in the earliness and yield of tomato. *Acta Horticulturae.* 148: 547-554.

- Jones J.W., Dayan E., Allen L.H., Van Keulen H., Challa H. 1991. A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Transactions of American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*. 34: 663-672.
- Jones J.W., Hoogenboom G., Porter C.H., Boote K.J., Batchelor W.D., Hunt L.A., Wilkens P.W., Singh U., Gijsman A.J., Ritchie J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 18: 235-265.
- Luo Q. 2011. Temperature thresholds and crop production: a review. *Climatic Change*. 109 (3): 583-598.
- Peet M.M., Sato S., Gardner R.G. 1998. Comparing heat stress effects on male- fertile and male- sterile tomatoes. *Plant, cell & environment*. 21 (2): 225-231.
- Potopová, V., Türkott, L., Hiřmanová, D. 2016a. CROPGRO-tomato model for simulated growth parametres of field-grown tomato in the Elbe lowland conditions. In: *Crop modelling for Agriculture and Food Security under Global change*. 15-17 March 2016, Berlin. 360-361.
- Potop(ová) V., Mateescu E., Türkott L., Zahradníček P., Boroneant C., Constantinescu F., Iamandei M. 2016b. Application of DSSAT model to simulated thermophilic crops in central and southern Europe. In: *Mendel and Bioclimatology 03.09.2014*, Brno. Brno: Mendel University in Brno. 273-285.
- Potopová V., Zahradníček P., Štěpánek P., Türkott L., Farda A., Soukup J. 2016c. The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. *Int. J. Climatol*. doi:10.1002/joc.4807.
- Potop(ová) V., Türkott L. 2014. Agronomická evidence vstupních dat pro růstový model zelenin CROPGRO. *Úroda*, 62 (12): 405-408.
- Rinaldi M., Ventrella D., Gagliano C. 2007. Comparison of nitrogen and irrigation strategies in tomato using CROPGRO model. A case study from Southern Italy. *Agricultural water management*. 87 (1): 91-105.
- Roberts E.H., Summerfield R.J. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. In: Atherton J.G. (ed) *Manipulation of flowering*. Butterworths. London. 17-50.
- Sauviller C., Baets W., Pien H., Lemeur R. 2002. Simultom: a diagnostic tool for greenhouse tomato production. *Acta Horticulturae*. 593: 219-226.
- Scholberg J.M.S., Boote K.J., Jones J.W., McNeal B.L. 1997. Adaptation of the CROPGRO model to simulate the growth of field-grown tomato. In: *Applications of Systems Approaches at the Field Level*. Springer Netherlands. 135-151.

- Tshiala M.F., Olwoch J.M. 2010. Impact of climate variability on tomato production in Limpopo Province, South Africa. *Afr. J. Agric. Res.* 5(21): 2945-2951.
- Übelhör A., Munz S., Graeff-Hönninger S., Claupein W. 2015. Evaluation of the CROPGRO model for white cabbage production under temperate European climate conditions. *Scientia Horticulturae*. 182: 110-118.
- Ventrella D., Charfeddine M., Moriondo M., Rinaldi M., Bindi M. 2012. Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. *Regional Environmental Change*. 12(3): 407-419.
- Wheeler T.R., Craufurd P.Q., Ellis R.H., Porter J.R., Vara Prasad P.V. (2000). Temperature variability and the yield of annual crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82:159-167.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci programu Institucionální podpora dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace pod záštitou MŠMT ČR.

Kontakt:

Dr. Mgr. Vera Potopová
Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ, KAB
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbátka
potop@af.czu.cz