

Hodnotenie vodného režimu repy cukrovej metódou infračervenej termografie

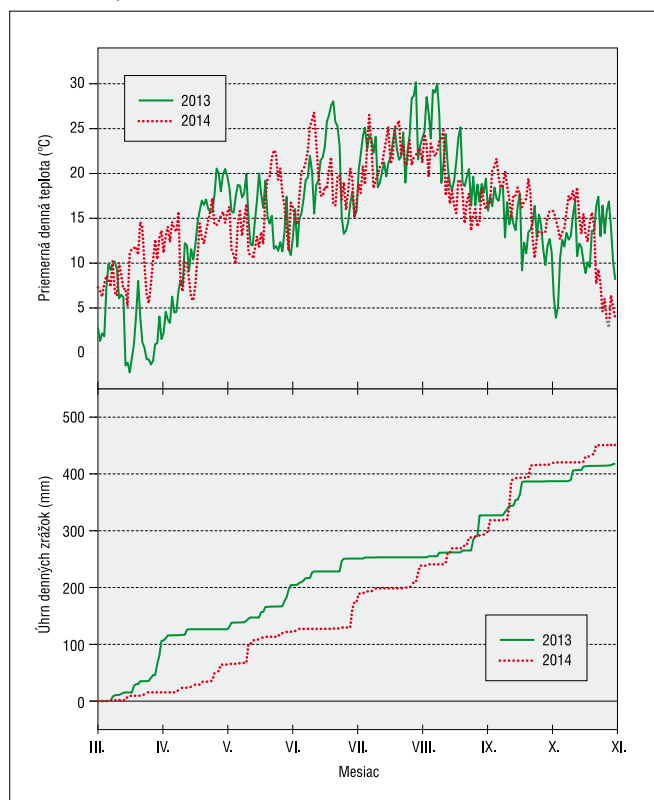
EVALUATION OF WATER REGIME IN SUGAR BEET PLANTS BY INFRARED THERMOGRAPHY

Marek Kovár, Ivan Černý
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Pestovanie repy cukrovej a výroba cukru má v agroekologických podmienkach Slovenska dlhodobú tradíciu. Po prepade pestovania a produkcie v zložitom transformačnom procese prebiehajúcom v 90. rokoch minulého storočia sa v súčasnom období repa cukrová stala pre poľnohospodárov opäť zaujímavou plodinou.

Naplnenie úrodového potenciálu odrôd repy cukrovej je primárne závislé na pôdnych a poveternostných podmienkach stanovišta (1, 2). Hodnotením ročníkovej variability úrody odrôd pestovaných v rôznych podmienkach Európy bolo zistené, že až 80 % celkovej variability je možné pripisovať environmentálnym faktorom (3). Tiež sa analyzovali efekty pôdneho typu a druhu na produkčné komponenty repy. V súčasnosti existuje veľké množstvo štúdií z prirodzených (poľných) alebo kontrolovaných podmienok, ktoré detailne dokumentujú vplyv poveternostných faktorov prostredia na rast a produktivitu repy cukrovej (1, 2).

Obr. 1. Priemerná denná teplota a úhrn denných zrážok počas experimentálneho obdobia



Sucho je jedným z faktorov s najväčším negatívnym dopadom na rast a produktivitu plodín. Pre repu cukrovú je fenomén potenciálne škodlivých efektov sucha ešte zvýraznený dlhým vegetačným obdobím, pričom hlavný kvantitatívny rast biomasy plodiny je sústredený do letných mesiacov. V súčasnosti je už dokumentované, že v dôsledku prebiehajúcej klimatickej zmeny bude frekvencia a dĺžka období nedostatočnej vlhovej zásobenosti pôdy v podmienkach centrálnej Európy narastať (4). Voda je kľúčovým faktorom, ktorý podmieňuje klíčenie semien a vzhádzanie, ako aj udržanie turgidity pletív. Z fyziologického hľadiska repa cukrová predstavuje vysoko plastickú plodinu, ktorá zabezpečí uspokojivú úrodu aj bez doplnkovej závlahy, ale v prostredí s dostatočnou vlhovou zabezpečenosťou, inak nastávajú redukcie úrod. Požiadavka repy cukrovej na vodu je závislá na poveternostných podmienkach, manažmente zavlažovania, rastovej fázy, hustote rastlín, genotypu a zásobenosti dusíkom. Repa predstavuje jednu z najnáročnejších plodín na vodu počas letnej periódy rastu, s ročnou spotrebou vody v rôznych regiónoch sveta na úrovni 350 až 1 150 mm, s celovegetačným plodinovým koeficientom na úrovni 0,65. Analýzy využívajúce scenáre klimatickej zmeny pre oblasti Slovenska ukazujú, že nepriaznivá vlhová bilancia povedie v budúcnosti k poklesu úrod repy cukrovej a preto závlaha umožní stabilizáciu úrod (5).

Zavlažovanie porastov repy cukrovej ako agrotechnické opatrenie stabilizujúce, alebo zvyšujúce produkčnú výkonnosť je nielen na Slovensku, ale aj vo svete málo využívané, najmä z dôvodov nedostatočnej infraštruktúry, alebo finančnej náročnosti. Preto sa aktuálne pozornosť agrobiológov venuje zlepšeniu suchovzdornosti repy prostredníctvom cieľených šľachtiteľských programov. Nevyhnutnou súčasťou šľachtenia je identifikácia a výber odrôd so zvýšenou suchovzdornosťou, čo umožňuje vhodný a cieľený skríning. Skríningové kritériá musia spĺňať požiadavky na expeditivnosť, presnosť, rýchlosť a časovú nenáročnosť a nedeštrukčnosť (6).

Jedným z prístupov, ktorý našiel uplatnenie ako v riadení závlahového režimu, tak aj skríningu biologického materiálu, je meranie teploty listu/porastu (7). V týchto prístupoch sa používajú teploměry kontaktované s povrchom listu, alebo (najmä v súčasnosti) bodové ako aj zobrazovacie infračervené kamery. Teplota listu rastliny je výsledkom energetickej bilancie a v daných pôdnych a atmosférických podmienkach sa mení s rýchlosťou transpirácie, ktorá je regulovaná difúziou vodnej pary cez prieduchy a teda prieduchovou vodivosťou (g_s). Základná idea spočíva v tom, že zatváranie prieduchového aparátu (pokles g_s), ktoré nastáva počas vodného stresu rastlín, vedie k zníženiu disipácie tepelnej energie a tak nárastu teploty listu.

Metóda infračervenej (IR) termografie listu/porastu je vhodným nástrojom hodnotenia správania sa prieduchového aparátu, ako aj detekcie vodného stresu rastliny, efektívnosti využitia vody, riadenia závlah a pod. (7, 8). Tiež je v praxi rozšírená kalkulácia stresových indexov, ktoré vychádzajú z merania teploty listu/porastu. Medzi najrozšírenejšie indexy patria: index SDD, teplotná diferencia (ΔT ; rozdiel medzi teplotou listu a okolitého vzduchu), index vodného stresu plodiny (CWSI), index deficitu vody (WDI) a index prieduchovej vodivosti (I_g) (7, 9).

V regulácii rastovo-produkčného procesu mnohých poľných plodín, včítane repy cukrovej, sa v praxi často využívajú foliárne aplikované biostimulačné prípravky, ktoré zvyšujú rezistenciu rastliny k environmentálnym stresovým situáciám (2).

Cieľom práce bolo, prostredníctvom modernej nedeštruktívnej metódy infračervenej termografie, charakterizovať zmeny v zásobenosti vlhky rastlín repy cukrovej. Práca poskytuje základný prehľad v oblasti využitia infračervenej termografie a jej signifikancie k fyziologickému stavu rastliny v poraste.

Materiál a metódy

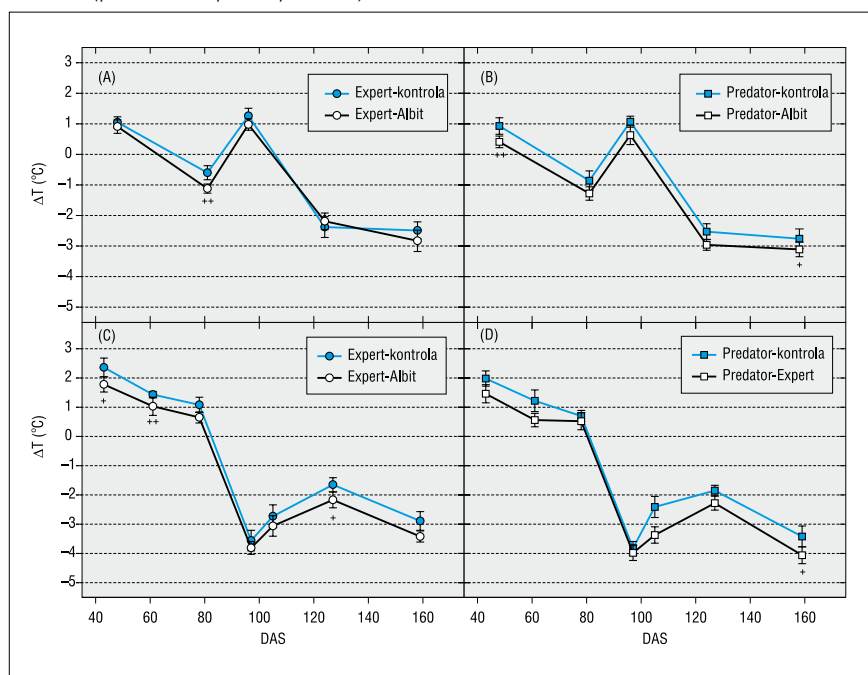
Poľné polyfaktorové experimenty s rastlinami repy cukrovej (*Beta vulgaris provar. altissima Doell*) odrôd Expert a Predator boli realizované vo vegetačných rokoch 2013 a 2014 na experimentálnej báze Strediska biológie a ekológie rastlín FAPZ SPU v Nitre – Dolná Malanta. Báza je kategorizovaná do kukuričnej výrobnnej oblasti (teplá klimatická oblasť, suchá klimatická podoblasť), s pôdnym typom hnedozem. Predplodinou bola pšenica letná forma ozimná (*Triticum aestivum* L.).

Technológia pestovania bola konvenčná, výsev repy cukrovej bol na konečnú vzdialenosť $0,18 \times 0,45$ m. Hnojenie plodín bolo uskutočnené na základe agrochemického rozboru pôdy. Priebeh poveternostných podmienok (priemerná denná teplota a suma zrážok) v rokoch 2013 a 2014 ukazuje obr. 1.

Výsev odrôd repy cukrovej bol uskutočnený 5. apríla 2013 a 10. apríla 2014. V troch postemergentných termínoch (BBCH 4, 14 a 30) bola realizovaná regulácia zaburinenosti porastu. V rastových fázach 4, 14 a 30 (BBCH) bol na porast aplikovaný rastový stimulant Albit v dávke $0,4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ v tank-mixe s aplikáciou herbicídnych prípravkov. Albit je biostimulant obsahujúci účinnú látku kyselinu poly- β -hydroxymaslovú, s prídavkom makro- a mikro-biogénnych prvkov a terpénovej kyseliny z ihličnatého extraktu. Kontrolné rastliny boli ošetrené len herbicídmi prípravkami.

V piatich (rok 2013; BBCH 14, 25, 38, 42 a 46) resp. siedmych (rok 2014; BBCH 14, 22, 25, 38, 39, 42, 46) termínoch počas vegetačného obdobia boli uskutočnené merania teploty listu rastlín infračervenou termokamerou EasIR-4 (Bibus AG, Fehrltorf, Švajčiarsko) (protokol merania podľa 10). Použitá termokamera využíva nechladený FPA mikrobolometer s detektorom

Obr. 2. Priebeh teplotnej diferencie počas vegetačného obdobia rokov 2013 (A a B) a 2014 (C a D) v odrode Expert (A a C) a Predator (B a D); x-os označuje počet dní po sejbe (DAS); plné symboly označujú rastliny foliárne neošetrené, prázdne symboly označujú rastliny foliárne ošetrené prípravkom Albit; symboly + a ++ označujú signifikanciu rozdielov medzi kontrolou a aplikáciou prípravku Albit ($p < 0,05$ resp. $p < 0,01$)



v rozlíšení 160×120 pixelov, sníma obraz v spektrálnom rozsahu $8\text{--}14 \mu\text{m}$, s tepelnou citlivosťou $\leq 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Merania sa uskutočnili v čase medzi 11.00 až 13.00 h (CEST). Termosnímky porastu boli snímané diagonálne na spon rastlín zo vzdialenosti cca 2,0 m, z výšky cca 1,5 m, v zornom poli $20,6^\circ \times 15,5^\circ$, s režimom automatického zaostrovania. Pri všetkých meraniach bola nastavená emisivita na úrovni 0,95. Z nameraných teplôt listu (T_l) a atmosféry (T_a) bola počítaná teplotná diferencia (ΔT v $^\circ\text{C}$) podľa rovnice:

$$\Delta T = T_l - T_a$$

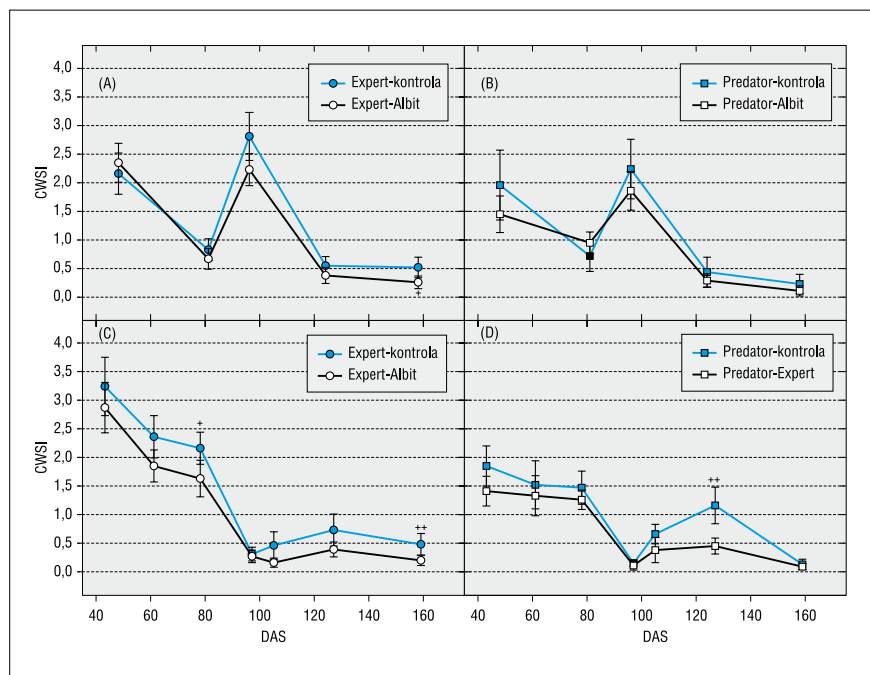
Medzi snímkaním porastu boli uskutočnené aj snímky vlhkého a mokrého umelého povrchu zelenej farby, z ktorých sa následne analyzovala minimálna teplota (T_{wet}) a maximálna teplota (T_{dry}) príslušného povrchu (9). Z týchto parametrov sa následne kalkulovali indexy CWSI (index vodného stresu porastu) a I_g (index prieduchovej vodivosti) podľa rovníc:

$$CWSI = \frac{T_l - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}}$$

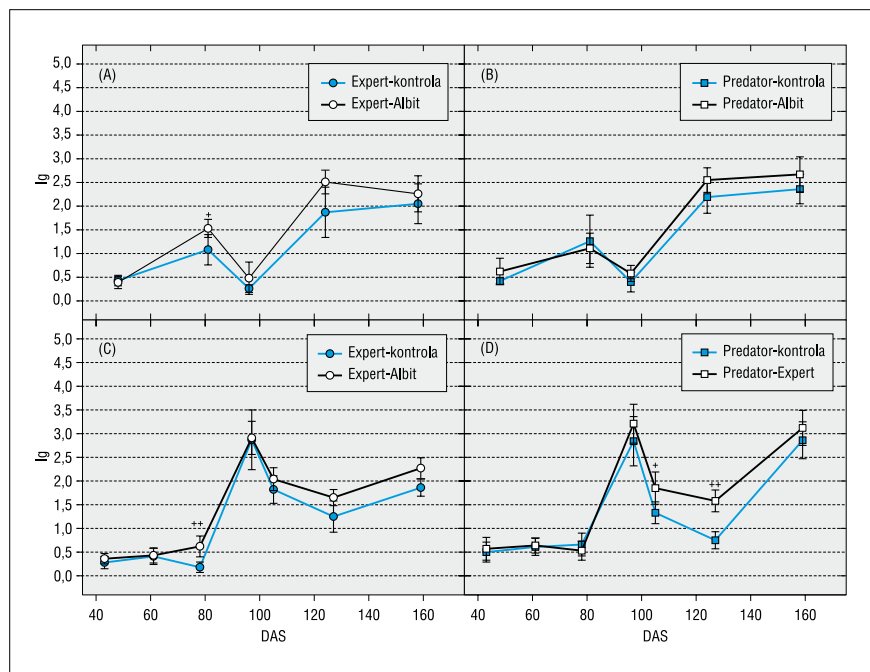
$$I_g = \frac{T_{dry} - T_l}{T_l - T_{wet}}$$

Experimenty v oboch rokoch boli založené blokovoú metódou s náhodným usporiadaním pokusných členov. Počas vegetačného obdobia bol v každom opakovaní hodnotený fyziologicky dospelý list (3. list počítaný od apexu rastliny) 10 rôznych rastlín repy. Hodnotenie T_l a T_a bolo uskutočnené

Obr. 3. Priebeh indexu vodného stresu porastu (CWSI) počas vegetačného obdobia rokov 2013 (A a B) a 2014 (C a D) v odrode Expert (A a C) a Predator (B a D); x-os označuje počet dní po sejbe (DAS); plné symboly označujú rastliny foliárne neošetrené, prázdne symboly označujú rastliny foliárne ošetrené prípravkom Albit; symboly + a ++ označujú signifikanciu rozdielov medzi kontrolou a aplikáciou prípravku Albit ($p < 0,05$ resp. $++ p < 0,01$)



Obr. 4. Priebeh indexu vodivosti prieduchov (I_g) počas vegetačného obdobia rokov 2013 (A a B) a 2014 (C a D) v odrode Expert (A a C) a Predator (B a D)



spracovaním termosnímkov programom Guide IR Analyser na 10 rôznych rastlinách všetkých opakovaní a na 10 rôznych miestach povrchu listu, resp. atmosféry.

Získané experimentálne údaje boli graficky vyhodnotené ako priemer meraní pre každý experimentálny variant s príslušnou

smerodajnou odchýlkou. Štatistická ANOVA analýza bola uskutočnená programom Statistica verzia 10 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Normalita získaných výsledkov bola testovaná Kolmogorov-Smirnovovým testom. Na testovanie homogenity výsledkov bol použitý Laveneov test. Štatistické rozdiely medzi jednotlivými variantmi (rok, odroda, foliárna aplikácia prípravku) boli analyzované t-testom a homogénne skupiny boli identifikované Duncanovým testom na úrovni významnosti $p \leq 0,05$. Korelačná analýza medzi parametrami bola vyjadrená Pearsonovým (r_p) a Spearmanovým korelačným koeficientom (r_s).

Výsledky a diskusia

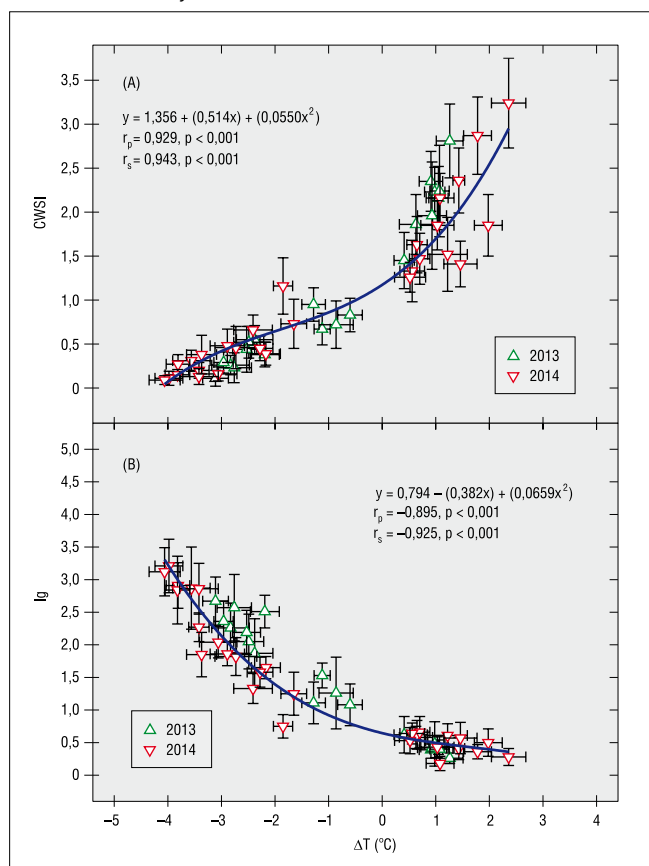
Je vhodne dokumentované, že dynamika rastovo-produkčného procesu repy cukrovej počas celého vegetačného obdobia je daná geneticky a odráža poveternostné podmienky stanovišťa (1, 2). Tento fakt je veľmi dôležitý najmä v letných mesiacoch, kedy repa cukrová na jednej strane tvorí najvýraznejšie prírastky biomasy, ale práve v tomto období nastávajú kritické situácie v zásobenosti rastlín vodou v dôsledku suchých a horúcich období. Z hľadiska poveternostných podmienok experimentálneho stanovišťa boli oba roky (2013 a 2014) charakterizované približne rovnakým celovegetačným úhrnom zrážok, ale s rozdielmi v rovnomernosti ich prerozdelenia (obr. 1.), najmä v jarnom a období roku 2013. Na druhej strane, letná perióda vegetačného obdobia (júl–august) roku 2013 bola charakteristická dlhým bezzrážkovým obdobím a nárastom sucha. Z tohto dôvodu bol vegetačný rok 2014 poveternostne priaznivejší. Priebehom priemernej dennej teploty boli oba porovnávané roky veľmi podobné, s veľmi malými odchýlkami (suma denných teplôt za vegetačný rok 2013 bola $3221,2^\circ\text{C}$ a $3065,3^\circ\text{C}$ za rok 2014) medzi jednotlivými rokmi (obr. 1.). Nedostatok vody v priebehu prvej polovice vegetačného obdobia je hlavnou príčinou redukcie úrody buliev repy cukrovej. Ak obdobie sucha nastáva ku koncu obdobia rastu, redukcie úrody buliev a cukornatosti sú menšie (10).

Nárast produktivity porastu repy cukrovej pestovanej v podmienkach s opakujúcim sa výskytom období sucha by mohol byť docielený zvýšenou rezistenciou odrôd k tomuto nepriaznivému činiteľu. Keďže suchovzdornosť je geneticky determinovaná polygénne (6), tak šľachtenie repy so zvýšenou toleranciou k suchu je časovo náročné a finančne nákladné. Mnohé šľachtiteľské pokusy zlepšenia tolerancie repy cukrovej

na sucho pomocou konvenčných metód ukázali svoju obmedzenosť v dôsledku komplexnosti geneticky podmienených fyziologických odpovedí v stresovej reakcii. Z tohto dôvodu sa v súčasnosti do popredia dostávajú morfológické a fyziologické vlastnosti repy cukrovej, ktoré prispievajú k tolerancii k suchu. Bolo navrhnutých množstvo skríningových kritérií, ktoré môžu byť využité v procese výberu tolerantného biologického materiálu (6).

Nástup stresovej situácie (nedostatok vody, zasolenie, vysoká teplota resp. chlad) veľmi dobre reflektuje aktivita prieduchového aparátu. Vodivosť prieduchového aparátu pre vodu a CO₂ je tiež ovplyvňovaná vlhkosťou atmosféry, rýchlosťou prúdenia vzduchu a intenzitou ožiarenia listu (8). Proces transpirácie svojím efektom evaporáčného ochladzovania výrazne mení povrchovú teplotu listu/porastu. Zníženie rýchlosti transpirácie, vyvolané inhibíciou otvárania prieduchového aparátu, spôsobuje zvýšenie teploty povrchu listu, potenciálne nad teplotu okolitej atmosféry. Na druhej strane, intenzívne transpirujúci povrch je charakteristický nižšou povrchovou teplotou, ako okolité prostredie. V agrobiologickom výskume, ako aj v praxi, najrozšírenejším vyjadrením týchto rozdielov je kalkulácia teplotnej diferencie ($\Delta T = T_l - T_a$). Pretože ΔT je priamo ovplyvnená mnohými fyziologickými procesmi rastliny, je dobrým indikátorom biologickej zdatnosti genotypu v danom prostredí. Experimentálne bolo zistené, že parameter ΔT ukázal na vysokú genetickú koreláciu s úrodou, a preto je tento parameter možné využiť tiež ako nepriame selekčné kritérium (8, 9). V našich dvojročných experimentoch bolo na hodnotenie fyziologickej kondície rastlín dvoch odrôd repy cukrovej ovplyvnenej biostimulátorom Albit použili IR termografiu. Počas vegetačného obdobia sme identifikovali výraznú dynamiku zmien ΔT (obr. 2.). V oboch rokoch pri podobnej teplotnej a vlhkosťnej zabezpečenosti rastlín sme zistili kladné hodnoty ΔT (0,46 až 1,19 °C v roku 2013 a 1,53 až 2,86 °C v roku 2014), teda teplota listu rastlín bola vyššia ako teplota vzduchu. Následne s postupom vegetačného obdobia parameter ΔT (záporné hodnoty) poukazuje na výrazný ochladzovací efekt transpirácie, čo súvisí s otvorenosťou prieduchov a vysokým obsahom vody v rastline (7). Podobná vegetačná dynamika zmien ΔT bola zaznamenaná pri rastlinách slnečnice ročnej (11). Zároveň sme v našich experimentoch pozorovali, že foliárna aplikácia prípravku Albit štatisticky preukazne neovplyvnila dynamiku a absolútne

Obr. 5. Závislosť parametrov CWSI (A) a lg (B) na teplotnej diferencii (ΔT) meraných na rastlinách repy v rokoch 2013 a 2014; r_p a r_s reprezentujú Pearsonov a Spearmanov korelačný koeficient



hodnoty parametra ΔT (obr. 2.). Štatistická analýza ďalej ukázala, že ontogenetický stav, resp. poveternostné podmienky mali na parameter ΔT vysoko preukazný vplyv (tab. I.).

Index vodného stresu plodín (CWSI) predstavuje relatívny parameter, ktorý normalizuje aktuálnu teplotu povrchu listu (T_l) plodiny k teplote povrchu netranspirujúceho (T_{dry} ; prieduchy

Tab. I. Štatistická analýza parametrov prostredníctvom ANOVA testovania; hodnoty predstavujú p koeficienty analýzy

Zdroj variability	Rok	ΔT	CWSI	lg
Ročník	2013–2014	0,041*	0,027*	0,018*
Fáza merania	2013	0,003**	<0,001***	<0,001***
	2014	0,008**	<0,001***	0,002**
Odroda	2013	0,061 nd	0,046*	0,037*
	2014	0,053 nd	0,039*	0,034*
Albit	2013	0,225 nd	0,169 nd	0,084 nd
	2014	0,108 nd	0,072 nd	0,048*

$p \leq 0,001$ veľmi vysoko preukazný rozdiel (***) ; $p \leq 0,01$ vysoko preukazný rozdiel (**); $p = 0,01-0,05$ preukazný rozdiel (*); $p > 0,05$ nepreukazný rozdiel (nd).





kompletne uzatvorené) a teplotu povrchu maximálne transpirujúceho (T_{wet} ; povrch zmáčaný vodou). V praxi je jedným z prístupov kvantifikácie referenčných teplôt T_{dry} a T_{wet} použitie suchého a vlhkého umelého povrchu s tepelnými vlastnosťami ako v liste rastlín (11, 12), čo sme pri našich experimentoch využili aj my. Dynamiku zmien CWSI počas vegetačného obdobia ukazuje obr. 3. Kvalitatívne pozorujeme rovnaký vegetačný trend ako v prípade ΔT (obr. 2.), ale kvantitatívne CWSI zahŕňa aj deficit vodnej pary v atmosfére (VPD medzi listom a atmosférou). V období bez zrážok (júl 2013, máj–jún 2014), parameter bol vysoký, čo pri hodnotách nad 1,0 pri danom type kalkulácie poukazuje na silný vodný stres. Veľmi silná polynomická závislosť medzi CWSI a ΔT (obr. 5A.; $r_s = 0,949$, $p < 0,001$) potvrdzuje potenciálne využitie tohto parametra v manažmente vodného režimu rastlín, resp. závlah. CWSI bolo pri mnohých plodinách, vrátane cukrovej repy, dobre korelované s prieduchovou vodivosťou (g_s), efektívnosťou využitia vody (WUE) aj úrodou (8). Štatistická analýza potvrdila, že vplyv termínu merania bol na CWSI veľmi vysoko preukazný, vplyv odrody a ročníka bol preukazný. Prípravok Albit sa na úrovni CWSI preukazne neprejavil (tab. 1).

Predchádzajúce práce (8) ukázali, že najtesnejší vzťah k prieduchovej vodivosti má parameter I_g . Koncept tohto parametra predpokladá, že s nárastom g_s sa list viac transpiračne ochladzuje a I_g narastá, pričom korelácia je najtesnejšia práve pri vysokých g_s (8, 9). Vegetačnú dynamiku I_g v našich experimentoch ukazuje obr. 4. Je zrejme, že trend I_g je komplementárny k ΔT a CWSI. Potvrdili sme veľmi silnú negatívnu polynomicnú závislosť medzi I_g a ΔT (obr. 5B.; $r_s = -0,925$, $p < 0,001$). Podobne ako pri CWSI, aj I_g ukázalo veľmi vysoko preukazný vplyv poveternostných podmienok počas vegetačného obdobia, preukazný vplyv ročníka a odrody a prípravok Albit sa preukazne na zvýšení I_g a teda potenciálne prieduchovej vodivosti prejavil v roku 2014 (tab. 1).

Môžeme konštatovať, že meranie teploty listu/porastu poľných plodín IR termometrami predstavuje spoľahlivý a nedeštruktívny nástroj charakterizácie fyziologického stavu rastliny, ale závisí na predpokladoch homogénneho obsahu vody v pôde a vyrovnanosti porastu. V tomto smere IR termografia poskytuje výhodu snímania obrazu z veľkej plochy, čím sa pokryje veľký počet individuálnych listov a rastlín pri vysokom priestorovom rozlíšení. Keďže však IR termometre a termografy majú konštrukčne konečný uhol snímania obrazu, tak získaný tepelný signál obsahuje informácie o tepelnom žiarení emitovanom z listu, ale aj z pozadia (napr. pôdy a oblohy). Tento šum v tepelnom signáli je však možné korigovať analýzou obrazu a interpretáciami.

Záver

Pokrok vo vývoji a komerčnej dostupnosti prenosných IR termokamier, ako aj užívateľsky prístupného softvéru pre analýzu získaného obrazu, umožnil rozmach tejto techniky vo vyspelej poľnohospodárskej praxi a šľachtiteľských skríningových programoch. Technika merania ΔT resp. odvodených indexov (CWSI, I_g a iných) charakterizuje fyziologickú kondíciu rastliny, najmä jej vodný režim. Dostupnosť a rozšírenie prístrojov pre digitálnu IR termografiu poskytuje jedinečnú príležitosť k vývoju stresových indexov, ktoré je možné využiť v precíznom poľnohospodárstve. Kombinácia reálnych a tepelných snímok môže byť úspešne použitá pre identifikáciu heterogenity biologického materiálu a poľných podmienok vo vodnej zásobenosti a tak stresovej situácie rastlín na veľkej priestorovej škále, čo umožňuje uskutočniť rýchle, ciele a efektívne opatrenia v manažmente agrotechnických činností.

*Práca bola finančne podporená projektom VEGA číslo 1/0093/13 Racionalizácia pestovateľského systému sľechnice ročnej (*Helianthus annuus*) a repy cukrovej (*Beta vulgaris* prov. *altissima*) v podmienkach globálnej zmeny klímy s dôrazom kladeným na klimatické zmeny, optimalizáciu produkčného procesu, množstva a kvality produkcie.*

Súhrn

V poľných polyfaktorových experimentoch uskutočnených vo vegetačných rokoch 2013 a 2014 sme hodnotili dynamiku zmien vodného režimu rastlín repy cukrovej nedeštruktívnym prístupom prostredníctvom infračervenej (IR) termografie. Výsledky ukázali zmeny parametrov teplotnej diferencie (ΔT), indexu vodného stresu plodiny (CWSI) a indexu prieduchovej vodivosti (I_g) v závislosti na poveternostných podmienkach stanovišťa počas vegetačnej doby a citlivosti odrôd cukrovej repy (Expert a Predator) k suchu. Účinok biologicky aktívnej látky Albit sa na parametroch vodného režimu prejavil štatisticky nepreukazne. Potvrdili sme, že meranie teploty listu repy cukrovej IR termografiou predstavuje spoľahlivý a nedeštruktívny nástroj pre popis fyziologickej kondície rastlín v poraste, s potenciálnym využitím ako skríningového kritéria tolerance k suchu v šľachtiteľských programoch, alebo aj v manažmente závlah.

Kľúčové slová: repa cukrová, infračervená termografia, CWSI, sucho.

Literatúra

- KENTER, C.; HOFFMANN, C.; MÄRLÄNDER, B.: Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L). *Eur. J. Agron.*, 24, 2006 (1), s. 62–69.
- ČERNÝ, I. ET AL.: Produkčné parametre repy cukrovej vplyvom cielenej aplikácie Atoniku a listového hnojiva Campofort. *Listy cukrov. řepař.*, 125, 2009 (4), s. 259–264.

3. HOFFMANN, C. M. ET AL.: Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. *Eur. J. Agron.*, 30, 2009 (1), s. 17–26.
4. JONES, P. D. ET AL.: Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change*, 58, 2003 (1–2), s. 93–108.
5. TAKÁČ, J.; ŠIŠKA, B.; NOVÁKOVÁ, M.: Možné dôsledky zmeny klímy na potenciál úrod poľných plodín na južnom Slovensku. In *Rostliny v podmínkách meničiho se klimatu*. Lednice, 2011, s. 612–622. ISSN 0139-6013.
6. OBER, E. S. ET AL.: Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Research*, 91, 2005 (2–3), s. 231–249.
7. JONES, H. G. ET AL.: Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in field. *Functional Plant Biology*, 36, 2009 (11), s. 978–989.
8. JONES, H. G.: Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and forest meteorology*, 95, 1999 (4), s. 139–149.
9. PADHI, J.; MISRA, R. K.; PAYERO, J. O.: Estimation of soil water deficit in an irrigated cotton field with infrared thermography. *Field Crop Res.*, 126, 2012, s. 45–55.
10. CARTER, G. N.; JENSEN, M. E.; TRAVELLER, D. J.: Effect of mid and late season water stress on sugar beet growth and yield. *Agron. J.*, 72, 1980 (9–10), s. 806–815.
11. KOVÁR, M.; VEVERKOVÁ, A.; ČERNÝ, I.: Využitie infračervenej termografie a indexov reflektancie listu v hodnotení účinku ošetrovania slnečnice ročnej (*Helianthus annuus* L.) biologicky aktívnymi látkami. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 15, 2012 (1), s. 23–28.

Kovár M., Černý I.: Evaluation of Water Regime in Sugar Beet Plants by Infrared Thermography

In the field polyfactorial experiments realized in years 2013 and 2014 the dynamics of changes in the water regime of sugar beet plants beet was evaluated by means of non-destructive approach using infrared (IR) thermography. Results showed changes in the parameters of temperature difference (ΔT), crop water stress index (CWSI) and index of stomatal conductance (I_g) during vegetation periods, depending on the weather conditions and sensitivity of two varieties of sugar beet (Expert and Predator), respectively. The effect of biologically active substance Albit showed statistically non-significant effect on the evaluated parameters. We confirmed that measuring the leaf temperature by IR thermography is a reliable and non-destructive tool to describe the physiological health of sugar beet plants, with potential use as a screening criterion for drought tolerance in breeding programs, or even in the irrigation management in precision agriculture.

Key words: sugar beet, infrared thermography, CWSI, drought.

Kontaktná adresa – Contact address:

Ing. Marek Kovár, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Katedra fyziológie rastlín, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: marek.kovar@uniag.sk