

Fenotypová modifikovatelnost listu cukrové řepy během vegetace s odhadem listové plochy

PHENOTYPIC MODIFIABILITY OF SUGAR BEET LEAF DURING VEGETATIVE GROWTH WITH LEAF AREA PREDICTION

Ivana Varga¹, Andrijana Rebekić¹, Milan Pospíšil², Antonela Markulj Kulundžić³, Vladimír Žebec¹, Dario Ijkić¹, Manda Antunović¹

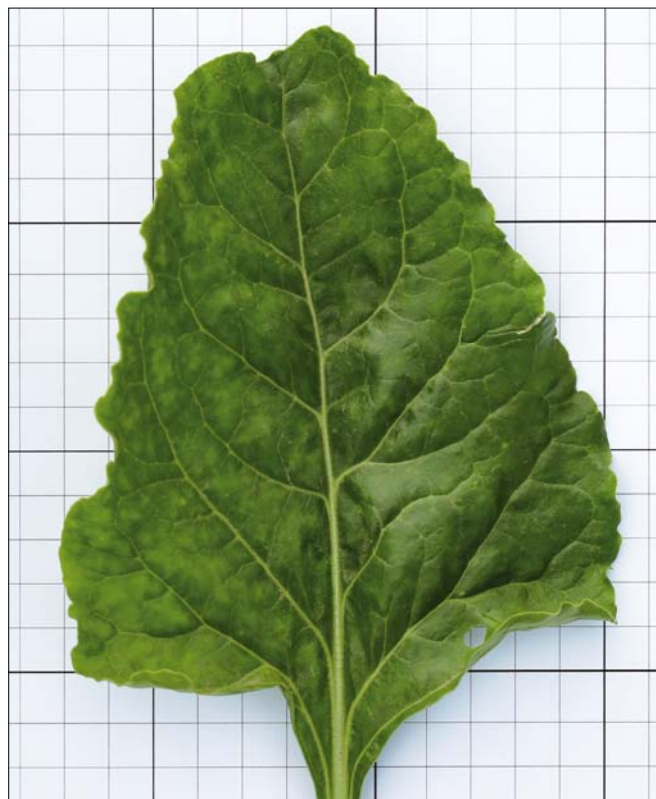
¹ University of Josip Juraj Strossmayer, Faculty of Agrobiotechnical Sciences, Osijek, Croatia

² University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Zagreb, Croatia

³ Department of Industrial Plants, Agricultural Institute Osijek, Croatia

Rozvoj listového aparátu během vegetace má velký význam pro produktivitu plodiny, zejména proto, že vývoj porostu je podstatný pro zachycení slunečního záření rostlinami a ovlivňuje intenzitu procesu fotosyntézy (1). Růst plochy listů je v přímém vztahu k produktivitě fotosyntézy, a tedy i tvorbě a akumulaci sacharosy v kořenech cukrové řepy (obr. 1.). V oblasti pěstování cukrové řepy v Chorvatsku probíhá nejintenzivnější růst listů od začátku června do poloviny července. Je-li vývoj cukrové řepy omezený, má menší potenciální asimilační listovou plochu, na straně druhé však je při příliš hustém porostu vzájemné zastínění listů vyšší, a proto v obou případech může dojít

Obr. 1. Rozvoj listové plochy ovlivňuje produktivitu fotosyntézy cukrové řepy a akumulaci sacharosy v kořeni



ke snížení tvorby cukru a jeho následného ukládání do kořene. PRITCHARD (2) uvádí, že množství listů a výnos cukru z jednotky plochy jsou v pozitivní korelaci; množství listů na řepu v době sklizně je však obtížné stanovit, neboť každý řepný list dokončuje svůj růst v průběhu čtyř až šesti týdnů a poté postupně zasychá, současně se vyvíjejí nové listy. S rozměry listu se zvyšují také velikost kořene a množství cukru v rostlině.

Existuje řada ekologických faktorů, jako je hnojení, srážky, výskyt chorob (*Cercospora beticola* Sacc.), hustota porostu atd., které mají velký vliv na tvorbu a fenotypovou modifikovatelnost listů (3–7). Podle studie MANDERSCHIEDA ET AL. (8) tvoří rostlina cukrové řepy v prvním vegetačním roce asi 40 listů s výrazným rozdílem velikosti plochy mezi jednotlivými listy. V počítačovém modelování predikce dynamiky růstu cukrové řepy a tvorby výnosu se nejčastěji používají ukazatelé produktivity fotosyntézy, jako jsou hmotnost sušiny rostlin, index listové plochy, specifická listová plocha, relativní rychlost růstu, vitalita listové plochy

Tab. 1. Průměrná teplota vzduchu a měsíční srážky v průběhu vegetace cukrové řepy (březen až říjen) v letech 2014 a 2015 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010

Měsíc	Průměrná teplota vzduchu ¹ (°C)			Suma srážek ¹ (mm)		
	2014	2015	LTM ²	2014	2015	LTM ²
Březen	10,6	7,8	7,1	39,0	45,9	48,4
Duben	13,3	12,7	12,1	87,8	24,3	54,7
Květen	16,8	18,2	17,2	165,0	98,7	61,7
Červen	20,8	21,1	20,1	46,2	25,8	85,1
Červenec	22,8	24,9	21,9	83,3	9,5	85,1
Srpen	21,6	24,0	21,4	94,2	48,7	58,1
Září	16,8	18,2	16,8	96,2	102,7	62,6
Říjen	13,8	11,5	11,8	65,1	89,9	59,3
Průměr / celkem	17,1	17,3	16,1	676,8	445,5	515,0

¹ Meteorologická stanice Gradište (chorvatský hydrometeorologický servis)

² LTM – dlouhodobý průměr 1981–2010

a asimilační efekt (9–12). Fyziologické parametry, jako je velikost listové plochy, hmotnost sušiny listů, obsah vody v listech, specifický povrch listů a index listové plochy, mohou sloužit k prognóze růstu řepy pomocí počítačových modelů (13–18).

Novější řepné genotypy mají postavení listů vzpřímené, což jim umožňuje růst na menší vegetační ploše (19). VUKADINVIĆ ET AL. (20) upozorňují, že odrůdy se vzpřímenějšími listy lépe snášejí přistínění, tedy že lze pěstovat ve větším počtu rostlin na hektar. Kromě uvedeného zdůrazňují MÜLLER-LINOW ET AL. (11) pro proces fotosyntézy význam vertikálního rozložení listů, tedy úhlu, pod kterým jsou listy umístěny v růžici rostliny (obr. 2).

MALNOU ET AL. (21) upozorňují, že je žádoucí, aby cukrová řepa co nejdříve dosáhla 85 % pokrytí zápoje porostu, aby se maximalizovalo využití slunečního záření, zatímco JARADAT A RINKE (22) upozorňují, že novější odrůdy mohou dosáhnout až 90% pokrytí půdy. Podle dvouleté studie v německém Göttingenu (23) absorbuje cukrová řepa 24 % z dopadajícího slunečního záření v květnu a až 83 % v červnu, zatímco z celkové podzimní sluneční radiace je absorbováno 88 %.

Měření listové plochy (LA) v polních podmínkách je často destruktivní a vyžaduje mnoho času a úsilí. V poslední době také není tolik studií, kde by se měřily parametry listů v polních podmínkách během celého vegetativního růstu, neboť to vyžaduje hodně času a ruční práce. Kromě toho pro hodnocení fotosyntetické produktivity rostlin jsou důležité i studie, které analyzují tvar listů cukrové řepy během vegetativního růstu.

Cílem naší studie bylo zjistit morfologické změny listů cukrové řepy během vegetativního růstu měřením délky a přírůstku listů (čepule a řapíku) i délky řapíku v průběhu vegetace a prozkoumat vztah tvaru listu a listové plochy.

Materiál a metody

Polní studie s cukrovou řepou byla provedena ve východním Chorvatsku v letech 2014 a 2015 formou randomizovaného pokusného bloku. Její předplodinou byla v obou sledovaných letech pšenice ozimá. Hybridní odrůda Serenade (KWS) byla zasetá 18. března 2014 a 25. března 2015 na meziřádkovou vzdálenost 50 cm. Půda byla mírně kyselá až neutrální (pH < 7) s nízkým obsahem organické hmoty (< 2 %). Podzimní hnojení bylo v dávkách 115–145 kg·ha⁻¹ P a 150–195 kg·ha⁻¹ K a jarní hnojení N proběhlo jako předseťové a s přihnojením v dávce 99–154,5 kg·ha⁻¹. Nedošlo k žádnému napadení škodlivým hmyzem a veškerá ochrana proti patogenu *Cercospora beticola* Sacc. a plevelům proběhla tak, jak bylo třeba.

Průměrná teplota vzduchu a úhrn srážek v průběhu vegetace cukrové řepy jsou uvedeny v tab. I. V roce 2014 byla teplota vzduchu blízká dlouhodobému průměru (LTM), ale srážky byly o 161,8 mm vyšší (LTM = 515,0 mm). V roce 2015 bylo s vysokou letní teplotou vzduchu spojeno sucho, zejména v červenci, kdy úhrn měsíčních srážek činil pouze 9,5 mm, což bylo o 88,8 % méně oproti dlouhodobé hodnotě (85,1 mm).

Obr. 2. Fotosyntézu ovlivňuje i vertikální rozložení listů řepy

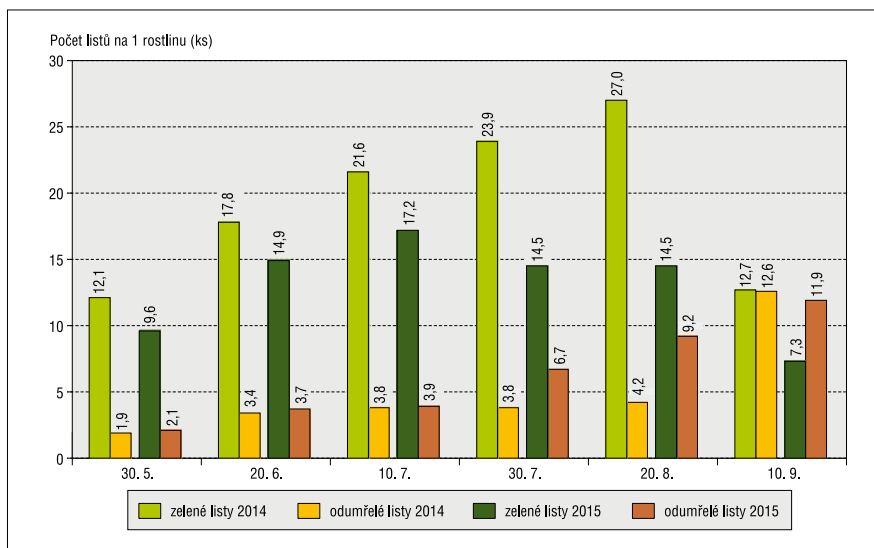


Z rostlin cukrové řepy pěstovaných na sledovaném pozemku byly odebrány vzorky listů, a to v různých vývojových stádiích porostu. Postupně bylo ve 20denních intervalech provedeno 6 odběrů, a to od konce května do září, v každém termínu odběru bylo z každé pokusné parcely odebráno 5 reprezentativních rostlin pro následnou analýzu morfologie listů. V obou letech studie tak byly během vegetačního období analyzovány listy z celkem 720 rostlin.

Listy byly od bulvy řepy odděleny a u každého byla změřena jeho délka (L) a šířka listové čepule v nejširší části (W), také byla změřena délka řapíku (P). Plocha listu (LA) pak byla vypočtena pomocí korekčního faktoru 0,75 (24) takto: LA = délka listové čepule (cm) × šířka listové čepule (cm) × 0,75.

Pro analýzu regresního modelu byl použit statistický software SAS Enterprise Guide 7.1 (25).

Obr. 3. Počet zelených a odumřelých listů (počet listů na rostlinu) listové růžice cukrové řepy v průběhu vegetace v letech 2014 a 2015



Obr. 4. Histogramy délky listů (čepel a řapík) cukrové řepy – průměr let 2014 a 2015



Výsledky

Počet listů na rostlinu

Z jednotlivých měření byl v období od 30. května do 10. září zjištěn počet zelených listů na rostlinu cukrové řepy; v roce 2014 byl v průměru 19,2, v roce 2015 pak byl 13,0 (obr. 3.).

Průměrný počet odumřelých suchých listů na rostlinu byl v obou letech studie dost podobný. V roce 2015 se počet suchých listů na rostlinu zvýšil nejvíce na konci července, kdy byl o 2,9 vyšší než v roce 2014. Tento rozdíl se výrazněji projevil na konci vegetace 20. září, kdy v roce 2015 bylo o 4,9 suchých listů na rostlinu více ve srovnání s rokem 2014. Zajímavé bylo i zjištění, že v první dekádě září 2015 byl počet suchých listů téměř stejný jako počet zelených listů na rostlinu.

Dynamika délky listu v průběhu vegetace

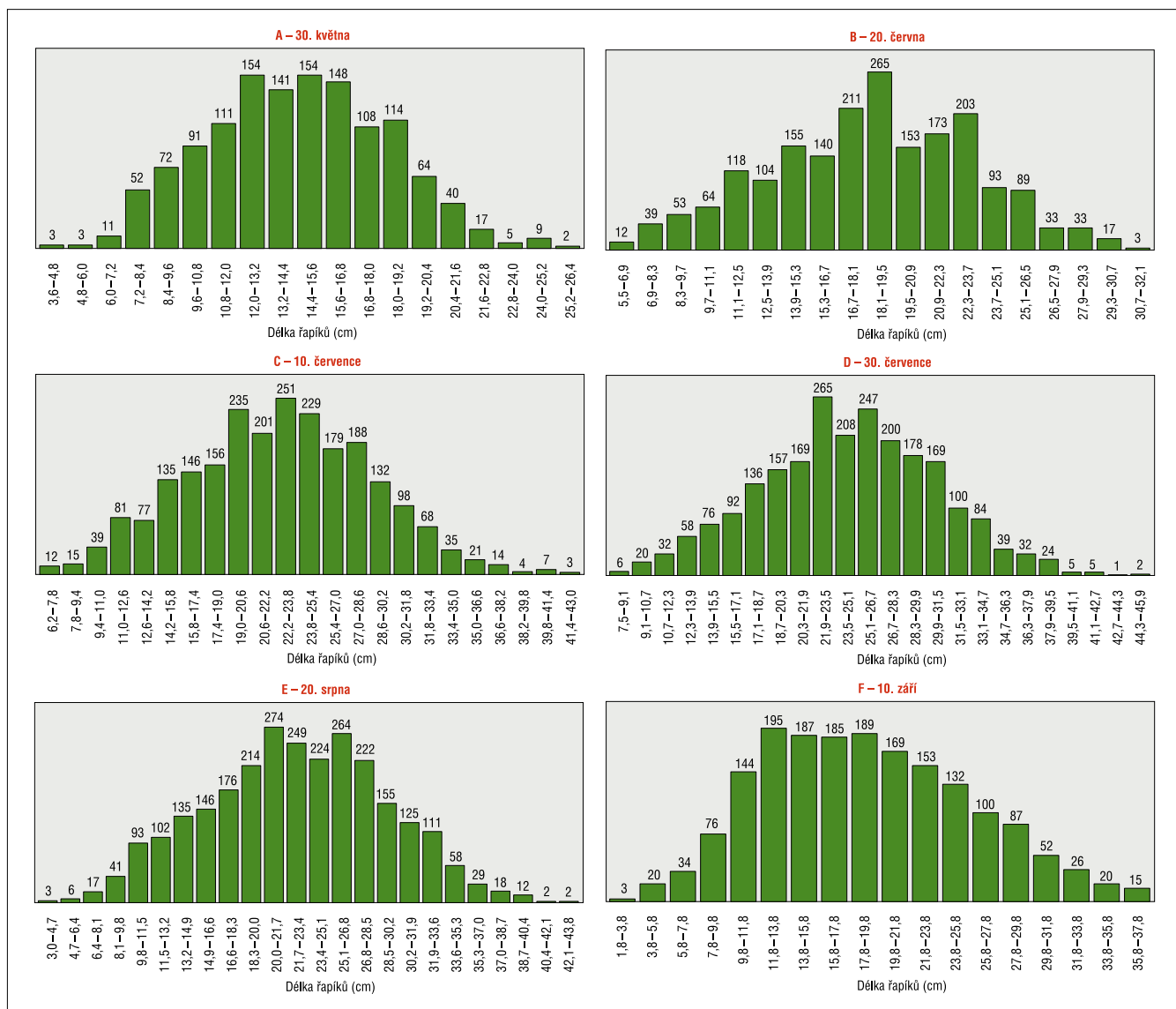
Studii bylo zjištěno, že na konci května byla nejčastější délka listu (délka čepel a řapíku) řepy 33,9–36,4 cm (obr. 4.a).

Ve fázi intenzivního růstu listů od konce června a v červenci byla nejpočetnější délka listů 40–50 cm (obr. 4.b,c). Nejvyšší hodnota délky listů cukrové řepy byla dosažena v červenci, kdy byla o málo větší než 70 cm. Po srpnu až do období zralosti pak rostliny tvořily již listy menších rozměrů. Ve druhé dekádě srpna (obr. 4.e) se tak nejběžnější délka listu (změřeno 309 listů) pohybovala mezi 48,7 a 51,3 cm. V září mělo 342 listů cukrové řepy průměrnou délku v intervalu od 41,8 do 47,2 cm (obr. 4.f).

Dynamika délky řapíku listu v průběhu vegetace

Délka řapíku a čepel byly měřeny odděleně. Podle měření se 30. května délka řapíku pohybovala od 3,6 cm do 26,4 cm, avšak nejběžnější délka řapíku naměřená na 154 jednotlivých listech byla v rozmezí 12,0–13,2 cm a 14,4–15,6 cm (obr. 5.a). Ve druhé dekádě června byly řapíky delší, nejčastější délku řapíku od 10. července do 20. srpna byla 18–24 cm (obr. 5.c,d,e). Od konce května do července tvořily listy delší řapíky, zatímco ke konci vegetace vytvářela řepa listy s řapíky menšími (obr. 5.f).

Obr. 5. Histogramy délky řapíku listů cukrové řepy – průměr let 2014 a 2015



Dynamika šířky čepele listu v průběhu vegetace

Šířka čepele listů cukrové řepy se také ve fázi intenzivního růstu postupně zvyšovala a maxima dosáhla koncem července (obr. 6.). Nejčastěji měřenou šířkou listové čepele 30. května byla hodnota 8,5–9,4 cm (200 listů). Později, ve druhé dekádě června, byla většina šířky čepelí listu (445 listů) v rozmezí 11,3–12,9 cm (obr. 6.b). 10. července pak měla většina listů šířku čepele kolem 11 cm (obr. 6.c) a 30. července ve fázi intenzivního růstu byla nejpočetnější šířka čepele ca 12–13 cm (obr. 6.d). Po konci července se šířka listu zmenšila a nejběžnější šířkou listové čepele bylo 9,3–10 cm (u 274 listů) v srpnu a 7,4–8,4 cm v první dekádě září (obr. 6.f).

Dynamika listové plochy v průběhu vegetace

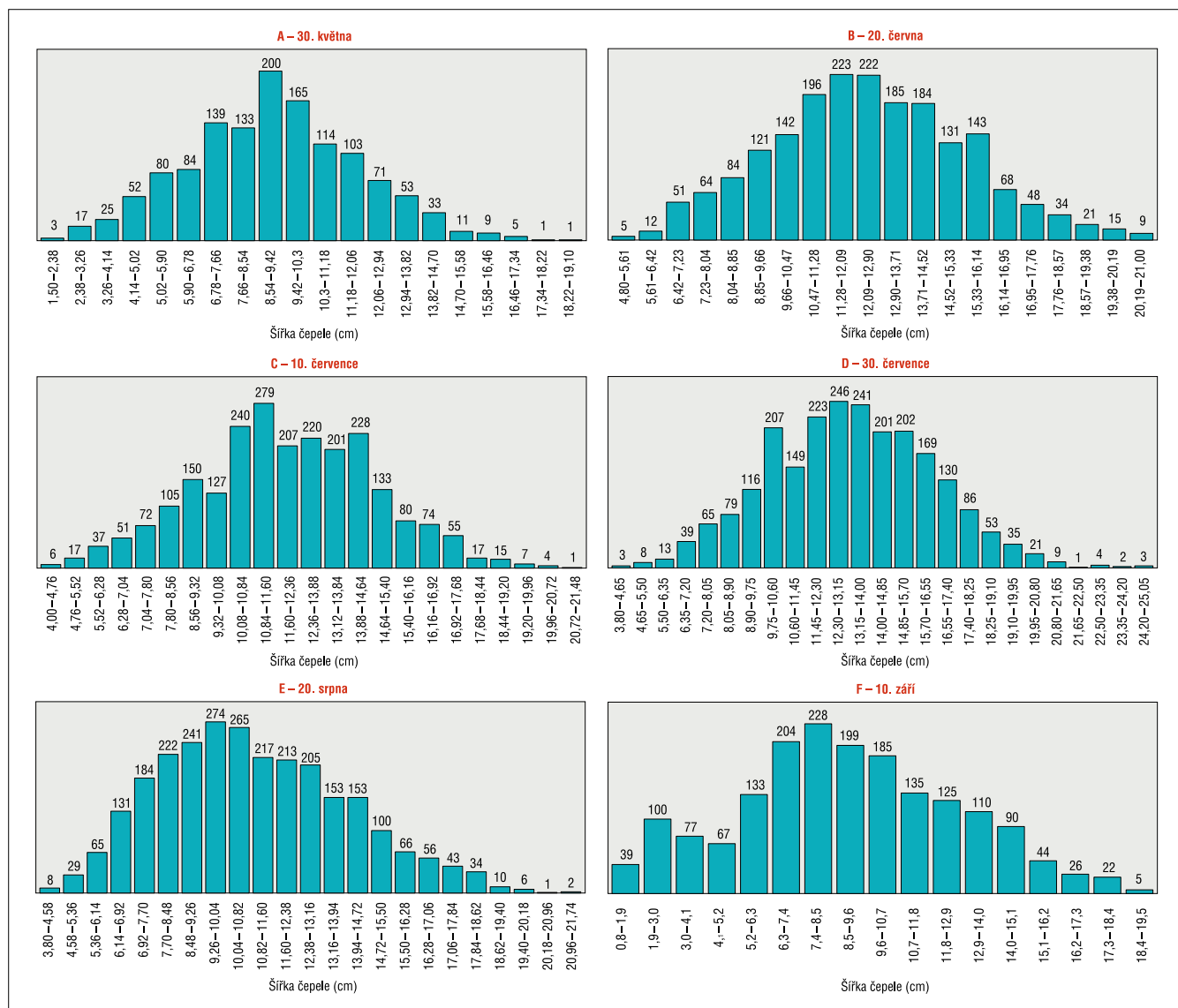
V průběhu vegetace byly měřeny také změny plochy jednotlivých listů (obr. 7.). Plocha jednoho listu 30. května kolísala v rozmezí 81–119 cm² (obr. 7.a). Ještě větší plocha listů byla zjištěna 20. června, kdy většina měřených listů měla 182–205 cm²

(obr. 7.b). Plocha jednoho listu v červenci dosahovala většinou 200–300 cm² (obr. 7.c a 7.d). Obecně největší listová plocha jednotlivých listů byla změřena 20. srpna, kdy mělo nejvíce (278) listů plochu 117–139 cm² (obr. 7.e). Listy měly 10. září již menší plochu, která se pohybovala v rozmezí od 40–64 cm² (220 listů) k 64–88 cm² (253 listů). Větší plochu, 88–112 cm², pak mělo již pouze 221 listů a početnost s velikostí listů klesala (obr. 7.f).

Regresní model parametrů tvaru listu

Pro vyhodnocení vztahu mezi délkou a šířkou listové čepele a délkou řapíku a plochou listu cukrové řepy byla vypočtena lineární regrese. U všech sledovaných parametrů byl nalezen pozitivní a extrémně významný vztah. V případě délky listové čepele $y = 6,1241x - 74,291$ se ukázalo, že s každým centimetrem délky listové čepele se plocha listu zvětší asi o 6 cm² (obr. 8.a). U šířky listové čepele bylo zjištěno, že s každým centimetrem přírůstkem šířky čepele se plocha jednoho listu zvětší asi o 25 cm² ($y = 24,708x - 98,049$) (obr. 8.b). Lineární regrese také ukázala, že s každým centimetrovým přírůstkem

Obr. 6. Histogramy šířky čepele listů cukrové řepy – průměr let 2014 a 2015



délky řapíku jednoho listu cukrové řepy se jeho plocha zvětší o přibližně 5 cm^2 ($y = 5,4665x + 69,455$) (obr. 8c).

Diskuse

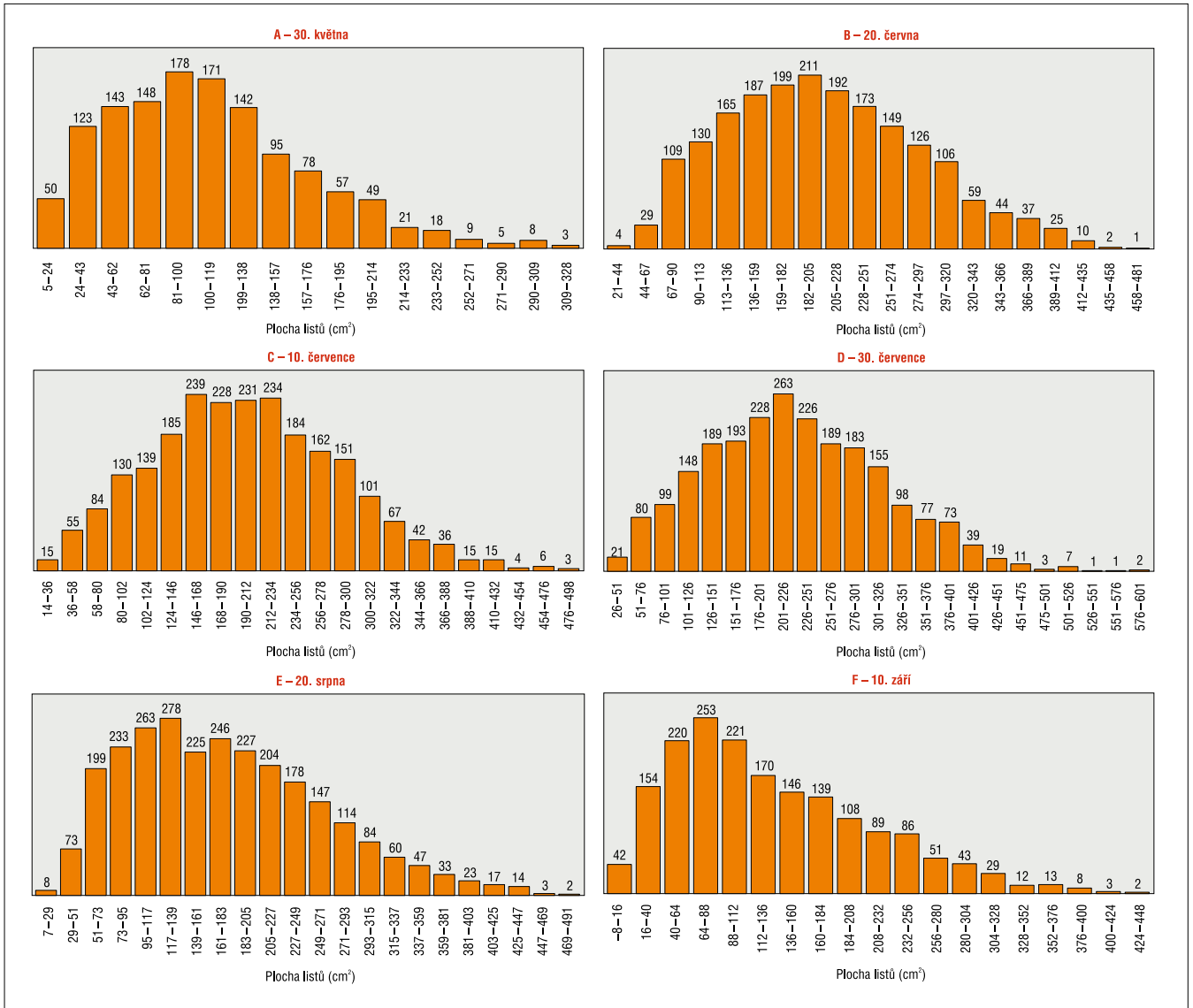
Bylo zjištěno, že v roce 2014 se v průměru vyvinulo více zelených listů na rostlinu (obr. 3.) než o rok později. Za vegetaci spadlo více srážek, takže rostliny měly i větší listy. Nejvyšší počet zelených listů (27,0 listů na rostlinu) byl zjištěn 20. srpna 2014, zatímco v roce 2015 se po 10. červenci již počet zelených listů na rostlinu nezvýšil. Kromě toho se od července do září v roce 2015 kvůli nedostatku srážek vyskytoval i vyšší počet odumřelých listů na rostlinu (obr. 3.).

V roce 2015 se počet zelených listů zvyšoval až do 10. července (průměr 17,2) a později v červenci se nové listy v důsledku vysokých teplot vzduchu (přes $24 \text{ }^\circ\text{C}$) a výrazného nedostatku srážek (pouze 9,5 mm) netvořily. Nejvyšší počet zelených listů na rostlině byl zjištěn na konci srpna 2015, v průměru 17,8. V termínu 10. září 2015 měly rostliny více suchých (průměrně 11,9) než zelených listů (průměrně 7,3).

PETR ET AL. (26) na základě šestiletých pokusů uvádí, že na konci srpna kolísá počet zelených listů cukrové řepy od 13,93 (1971) do 29,75 (1968), zatímco se počet suchých listů na rostlinu se pohyboval mezi 10 a 14. RINALDI (27) na základě výsledků analýzy listů během tříletého výzkumu (1999–2000) uvádí obdobné výsledky u počtu zelených listů za vegetaci, který se pohyboval od 10 do 35. Autor upozorňuje, že rozdíly v počtu zelených listů během vegetace však nebyly statisticky průkazné. V našem výzkumu byl nejvyšší průměrný počet suchých listů zjištěn v obou letech v září (obr. 3.).

KRISTEK A HALTER (28) zjistili, že na větších vegetačních plochách docházelo k většímu odumírání listů, což připisovali vodní bilanci půdy. Protože má cukrová řepa obvykle větší počet listů poukazuje LUNDEGÄRDH (29) na to, že ztráta 2–4 listů významně růst nebo tvorbu cukru neovlivní, protože v takovém případě přebírají funkci ostatní listy. Na základě šestiletých výsledků uvádí PETR ET AL. (26), že průměrná životnost 5. až 10. listu byla 63,3 dne, 11. až 20. listu 80 dnů, 21. až 30. listu 69,8 dne a 31. až 40. listu pak 43,6 dne. Podle WENTA (30) dochází u mladých rostlin řepy k extrémním rozdílům ve velikosti dlouho předtím, než si začnou vzájemně stínit nebo konkurovat o živiny či vodu.

Obr. 7. Histogramy plochy listů cukrové řepy – průměr let 2014 a 2015



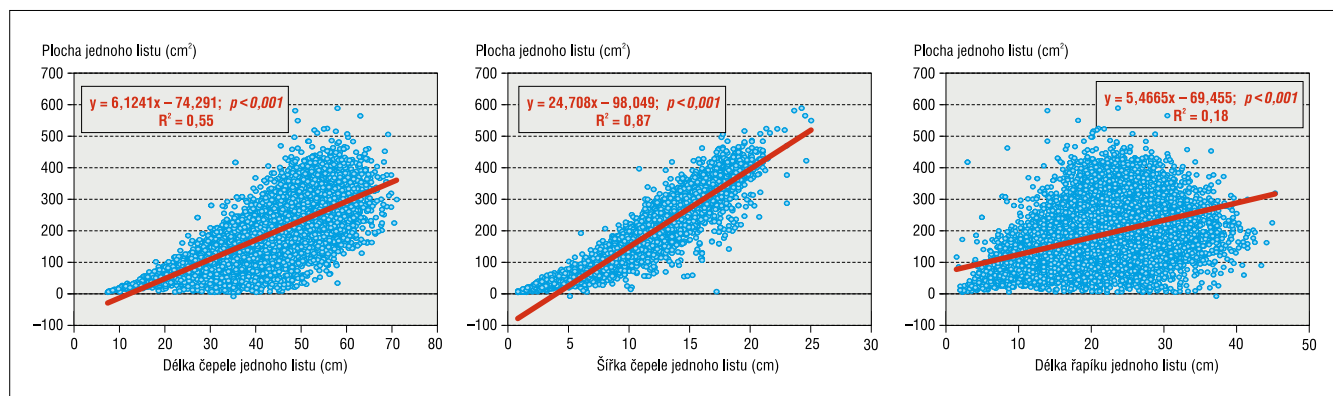
Listy jsou spirálovitě uspořádány u hlavy bulvy pod úhlem 135°. Životnost listů cukrové řepy je 20–65 dnů a jelikož listy během vegetace odumírají, vyskytují se na rostlině mladé, aktivní i odumřelé listy zároveň. Nové listy vyrůstají ze středu hlavy a staré listy vytlačují. POORTER A REMKES (31) uvádějí, že list může zůstat na rostlině po celý život pouze tehdy, jsou-li vyloučeny nepříznivé faktory (choroby, sucho, vysoké teploty, nedostatek živin atd.), což je v polních podmínkách velmi obtížné dosažitelné.

Největší plochu čepele mají listy od 13. do 26. listu. POSPIŠIL (32) uvádí, že jejich listová plocha je obvykle 150–350 cm². TSIALTAS A MASLARIS (33) analyzovali vývoj listů na začátku července a uvádějí příklad, kdy plocha tří plně vyvinutých listů v průměru činila 293,2 cm². V našem sledování jsme naměřili, že největší listy se vyvinuly na rostlinách v letních měsících od poloviny července do poloviny srpna, což je pro vegetační období cukrové řepy typické. S postupem vegetace měly listy tendenci se zmenšovat a nově vytvářené listy tak měly menší rozměry. V naší produkční oblasti probíhá nejintenzivnější tvorba listů od začátku června, kdy listy řepy uzavírají řádky a vydrží až do poloviny července (28). Poté rostliny tvoří listy menších rozměrů a listy do

konce vegetace postupně odumírají. Růst kořenů cukrové řepy má během vegetace lineární trend a k jejich největšímu růstu dochází od poloviny července do poloviny srpna.

Plocha listů cukrové řepy po jarním výsevu dosahuje maxima koncem července a začátkem srpna, přičemž ke konci vegetace postupně klesá (33–35). Podle KRISTEK A LIOVIĆ (36) a JELIĆ ET AL. (6) dochází v agroekologických podmínkách Chorvatska k největšímu dennímu nárůstu listů cukrové řepy od poloviny června do poloviny července. STANAČEV (37) také dochází k závěru, že odumírání listů cukrové řepy je intenzivnější po červenci. KENTER ET AL. (38) na základě sledování cukrové řepy na 27 místech Německa poukazují na to, že teplota vzduchu a sluneční svit mají velmi významný vliv ($p < 0,001$) na růst listů cukrovky v prvních 65 dnech po zasetí (začátek června). RYCHCIK A ZAWIŚLAK (39) zdůrazňují kromě povětrnostních podmínek význam střídání plodin. Výnos chrástu při správném osevním postupu byl podle nich v průměru 36,4 t·ha⁻¹, s hmotností kořene 685 g na rostlinu, zatímco v monokultuře (26–31 let) výnos chrástu poklesl o 50 % a průměrná hmotnost kořenů na rostlinu o 40 %. MANDERSCHIED ET AL. (8) zdůrazňují význam dusíkatého hnojení s tím, že v závislosti na hnojení dusíkem byl v srpnu a září zjištěn

Obr. 8. Lineární regrese délky a šířky listové čepele a délky řapíků s plochou listů (průměr let 2014 a 2015; n = 12 356)



různý počet suchých listů cukrovky. Dále uvádějí, že řepa měla koncem června a začátkem července průměrně 1,58 suchých listů, v srpnu 5,58 a ve druhé polovině září 9,55 suchých listů.

Index listové plochy (LAI) je definován jako listová plocha rostliny dělená plochou půdy, kterou tato rostlina pokrývá. Optimální hodnota LAI je taková, při které mohou listy umístěné níže na rostlině přijímat dostatek světla. Index listové plochy je jedním z nejpoužívanějších parametrů pro odhad asimilační plochy. Kdy cukrovka dosáhne maximálního indexu listové plochy závisí především na termínu setí, počtu rostlin na jednotku plochy, době od výsevu do vyklíčení a růstu mladých rostlin v prvních měsících. KENTER A HOFFMAN (40) uvádějí, že v prvních 90 dnech vegetace, tj. do konce června, nárůst LAI lineárně sčítá teploty, zatímco ve druhé polovině vegetace nemá na vývoj povrchu listů teplota významný vliv.

Tab. II. Regresní model jako postupný výběr v predikci listové plochy cukrové řepy (průměr za oba roky)

Datum	R ²	p	Rovnice
Délka listu			
20. 6.	0,82	<0,000	y = 15,26x - 136,03
10. 7.	0,82	<0,000	y = 14,35x - 126,29
30. 7.	0,82	<0,000	y = 15,85x - 141,32
20. 8.	0,83	<0,000	y = 13,87x - 123,37
10. 9.	0,73	<0,000	y = 13,05x - 117,50
Délka řapíku			
30. 5.	0,61	<0,000	y = 12,23x - 25,47
Šířka listu			
30. 5.	0,90	<0,000	y = 20,08x - 74,09
20. 6.	0,86	<0,000	y = 26,20x - 121,90
10. 7.	0,86	<0,000	y = 27,03x - 120,84
30. 7.	0,84	<0,000	y = 26,63x - 126,05
20. 8.	0,87	<0,000	y = 26,35x - 110,28
10. 9.	0,87	<0,000	y = 20,387x - 51,839

Aby bylo možné určit rovnice pro predikci listové plochy v průběhu vegetace, byly v tabulce uvedeny pouze rovnice, které měly významné R².

Podle PRITCHARDA (2) korelovala velikost řapíků s velikostí kořene, tedy i s vyšším množstvím sacharosy v kořeni, ale při nízké cukernatosti. Podobné vztahy získal ve své studii TSIALTAS A MASLARIS (41) mezi listovou plochou a parametry tvaru listu (délka listu a šířka listu). Nejvyšší regresní koeficient autoři zjistili ve vztahu mezi délkou listu a jeho průměrnou plochou (R² = 1,00***) a dále mezi šířkou listu a listovou plochou (R² = 0,97***) . V naší studii byl nejvyšší regresní koeficient (R² = 0,87***) stanoven ve vztahu mezi šířkou listu a plochou listu (obr. 8.b). K odhadu listové plochy by tedy mohla být šířka listu úspěšně použita jako prediktor růstu v případě potřeby vody nebo tolerance k suchu.

Závěr

Ve studii byly sledovány změny v rozměru listu (délka a šířka čepele listu, délka řapíku a plocha listu) během vegetace. Nejběžnější délka listu (řapík + čepele) byla zjištěna 20. srpna, a to v rozmezí 48,7–51,3 cm. Nejběžnější šířka listové čepele byla (10. července) v rozmezí 10,1–10,8 cm. Pro odhad listové plochy je nejlepším parametrem šířka listové čepele, neboť má nejvyšší lineární regresní koeficient (R² = 0,87***) .

Souhrn

V letech 2014 a 2015 byly během vegetace sledovány morfologické změny listů cukrové řepy. Vzorčky listů byly v každém roce odebrány v 6 termínech od konce května do září ve 20denních intervalech, celkem bylo hodnoceno více než 12 000 listů. Délka listů byla 20. srpna nejčastěji (309 listů) rozmezí 48,7–51,3 cm, délka řapíku 20,0–21,7 cm (274 listů) a plocha jednoho listu (278 listů) 117–139 cm² (278 listů). Nejčastější (279 listů) šířka listové čepele 10. července se pohybovala v rozmezí 10,1–10,8 cm. Lineární regrese ukázala velmi významný vztah pro délku a plochu listu (R² = 0,55, p < 0,001), šířku čepele listu a plochu listu (R² = 0,87, p < 0,001) a délku řapíku listu a plochu listu (R² = 0,18, p < 0,001). Šířka listové čepele byla tedy nejlepším parametrem pro predikci plochy listu.

Klíčová slova: porost cukrové řepy, délka listu, délka řapíku, šířka listové čepele, listová plocha, regresní modely.

Literatura

- RADOČAJ, D. ET AL.: Odnoš okolišnih čimbenika i razine pogodnosti poljorivrednoga zemljišta za uzgoj soje određene strojnim učenjem. *Poljoprivreda*, 28, 2022 (1), s. 53–59.

2. PRITCHARD, F. J.: Correlations Between Morphological Characters and the Saccharine Content of Sugar Beets. *American Journal of Botany*, 3, 1916, s. 361–376.
3. ANTUNOVIĆ, M. ET AL.: Analýza chorvatského cukrovarnického sektoru a produkce cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 137, 2021 (11), s. 383–386.
4. PACANOSKI, Z.; MEHMETI, A.: Weed Control in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) with Soil-applied Herbicides Affected by a Prolonged and Limited rainfall. *Poljoprivreda*, 27, 2021 (2), s. 3–14, <https://doi.org/10.18047/poljo.27.2.1>.
5. KRISTEK, A. ET AL.: Results of sugar beet production depending on the hybrid selection and the number of fungicide application. *Poljoprivreda*, 21, 2015 (2), s. 15–22.
6. JELIĆ, S. ET AL.: Vliv hustoty porostu na růst, výnos a kvalitu cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 135, 2019 (3), s. 107–111.
7. ZEBEC, V. ET AL.: Influence of physical and chemical properties of different soil types on optimal soil moisture for tillage. *Poljoprivreda*, 23, 2017 (2), s. 10–18, <http://dx.doi.org/10.18047/poljo.23.2.2>.
8. MANDERSCHIED, R. ET AL.: Effect of free air carbon dioxide enrichment combined with two nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: Evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO₂. *J. Agronomy and Crop Sci.*, 23, 2010 (3), s. 228–239.
9. QI, A. ET AL.: The Broom's Barn sugar beet growth model and its adaptation to soils with varied available water content. *European Journal of Agronomy*, 23, 2005 (2), s. 108–122.
10. BAËY, C. ET AL.: Parametrization of five classical plant growth models applied to sugar beet and comparison of their predictive capacity on root yield and total biomass. *Ecological modelling*, 2014, 290, s. 11–20.
11. MÜLLER-LINOW, M. ET AL.: The leaf angle distribution of natural plant populations: assessing the canopy with a novel software tool. *Plant methods*, 11, 2015 (1), s. 1–16.
12. VARGA, I.; KRISTEK, A.; ANTUNOVIĆ, M.: Growth analysis of sugar beet in different sowing density during vegetation. *Poljoprivreda*, 21, 2015 (2), s. 28–34, <http://dx.doi.org/10.18047/poljo.21.1.5>.
13. JURJIĆ, M. ET AL.: Comparison of Precise Fertilization Prescription Rates to a Conventional Approach Based on the Open Source GIS Software. *Poljoprivreda*, 27, 2021 (1), s. 52–59, <https://doi.org/10.18047/poljo.27.1.7>
14. TSIALTAS, J. T.; MASLARIS, N.: Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivar. *Photosynthetica*, 46, 2008 (3), s. 351–355.
15. KROPPF, M. J. ET AL.: A two-parameter model for prediction of crop loss by weed competition from early observations of relative leaf area of the weeds. *Annals of Applied Biology*, 126, 1995 (2), s. 329–346.
16. UZUN, S.; ÇELIK, H.: Leaf area prediction models (Uzcelik-I) for different horticultural plants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 1999 (6), s. 645–650.
17. HOFFMANN, C. M.; BLOMBERG, M.: Estimation of leaf area index of *Beta vulgaris* L. based on optical remote sensing data. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 2004 (3), s. 197–204.
18. VAN DEN DRIESSE, H. J.; VAN ITTERSUM, M. K.: Crop models and decision support systems for yield forecasting and management of the sugar beet crop. *European Journal of Agronomy*, 4, 1995 (3), s. 269–279.
19. VARGA, I. ET AL.: Sugar Beet Root Yield and Quality with Leaf Seasonal Dynamics in Relation to Planting Densities and Nitrogen Fertilization. *Agriculture*, 11, 2021, s. 407, <https://doi.org/10.3390/agriculture11050407>.
20. VUKADINOVIĆ, V.; JUG, I.; ĐURDEVIĆ, B.: *Ekofiziologija bilja*. Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera. Zebra, Vinkovci, 2014.
21. JARADAT, A. A.; RINKE, J.: Modeling sugar content of farmer-managed sugar beets (*Beta vulgaris* L.). *Communications in biometry and crop science*, 7, 2012 (1), s. 23–34, 42.

22. MALNOU, C. S.; JAGGARD, K. W.; SPARKES, D. L.: A canopy approach to nitrogen fertilizer recommendations for the sugar beet crop. *European Journal of Agronomy*, 25, 2006 (3), s. 254–263.
23. HOFFMAN, C. M.; KLUGE-SEVERIN, S.: Light absorption and radiation due efficiency of autumn and spring sown beets. *Field Crops Research*, 11, 2010 (2–3), s. 238–244.
24. MILFORD, G. F. J. ET AL.: An analysis of leaf growth in sugar beet. III. Leaf expansion in field crops. *Annals. of Applied Biology*, 106, 1985 (1), s. 187–203.
25. *SAS Enterprise Guide 7.1*. SAS Institute Inc., USA.
26. PETR, J.; ČERNÝ, V.; HRUŠKA, L.: *Yield Formation in the Main Field Crops*. Prague: Elsevier Sci. Publishing, 1988, ISBN: 9780444599506.
27. RINALDI, M.: Variation of Specific Leaf Area for Sugar Beet Depending on Sowing Date and Irrigation. *Ital. J. Agron.*, 7, 2003 (1), s. 23–32.
28. KRISTEK, A.; HALTER, J.: Djelovanje vegetacijskog prostora na porast lišća šećerne repe i prinos korijena. *Agronomski glasnik*, 1988 (2/3), s. 79–94.
29. LUNDEGARDH, H.: *Plant physiology*. Oliver and Boyd. Edinburgh and London. T. & A. Constable Ltd., Edinburgh. 1966.
30. WENT, F. W.: The physiology of the growth of sugar-beets. *Proc. Am. Soc. Sugar Beet Technol.*, 8, 1954, s. 319–324.
31. POORTER, H.; REMKES, C.: Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia*, 83, 1990 (4), s. 553–559.
32. POSPIŠIL M. ET AL.: Root yield and quality of investigated sugar beet hybrids in northwest Croatia in the period from 2010 to 2013. *Poljoprivreda*, 22, 2016 (2), s. 10–16, <http://dx.doi.org/10.18047/poljo.22.2.2>.
33. TSIALTAS J. T.; MASLARIS N.: Leaf physiological traits and its relation with sugar beet cultivar success in two contrasting environments. *International Journal of Plant Production*, 6, 2012 (1), s. 15–36.
34. STANAČEV, S.: *Šećerna repa – biološke i fitotehničke osnove proizvodnje*. Beograd: Nolit, 1979.
35. THEURER, J. C.: Growth patterns in sugarbeet production. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technol.*, 20, 1979 (4), s. 343–367.
36. KRISTEK, A.; LIOVIĆ, I.: Ritam rasta šećerne repe u uvjetima 1987. godine. *Poljoprivredne aktualnosti*, 30, 1988 (1–2), s. 173–185.
37. STANAČEV, S.: Uticaj vegetacionog prostora na neke osobine i dinamiku stvaranja asimilacione površine šećerne repe sorte NS poli 2. *Savremena poljoprivreda*, 4, 1968, s. 311–321.
38. KENTER, C.; HOFFMAN, C. M.; MÄRLÄNDER B.: Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 2006 (1), s. 62–69.
39. RYCHCIK, B.; ZAWISLAK, K.: Yields and root technological quality of sugar beet grown in crop rotation and long-term monoculture. *Rostlinná výroba*, 48, 2002 (10), s. 458–462.
40. KENTER, C.; HOFFMAN, C. M.: Ertrags- und Qualitätsentwicklung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Temperatur und Wasserversorgung. *Zuckerind.*, 127, 2002 (9), s. 690–698.
41. TSIALTAS, J.T.; MASLARIS, N.: Leaf area estimation in a sugar beet cultivar by linear models. *Photosynthetica*, 43, 2005 (3), s. 477–479.

Varga I., Rebekić A., Pospíšil M., Markulj Kulundžić A., Žebec V., Ijkić D., Antunović M.: Phenotypic Modifiability of Sugar Beet Leaf during Vegetative Growth with Leaf Area Prediction

Morphological changes of sugar beet leaves in vegetative growth were monitored in the 2014 and 2015 growing seasons. In both years leaf samples were collected on 6 dates from late May to September at 20-day intervals, therefore more than 12,000 leaves were measured. On 20 August, the most common leaf length (309 leaves) ranged from 48.7 to 51.3 cm, petiole length was between 20.0 and 21.7 cm (274 leaves) and single leaf area (278 leaves) was between 117 and 139 cm² (278 leaves). The most common leaf blade width was recorded on 10 July, and it ranged from 10.1 to 10.8 cm (279 leaves). Linear regression showed a highly significant relationship for leaf blade length and leaf area (R² = 0.55, p < 0.001), leaf blade width and leaf area (R² = 0.87, p < 0.001) and leaf petiole length and leaf area (R² = 0.18, p < 0.001). Thus, leaf blade width was the best parameter for predicting leaf area.

Key words: sugar beet canopy, leaf length, petiole length, leaf blade width, leaf area, regression models.

Kontaktaná adresa – Contact adress:

doc. dr. sc. Ivana Varga, Ph. D., University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences, Vladimira Preloga 1, 31 000 Osijek, Republic of Croatia, e-mail: ivana.varga@fazos.hr