

Využití standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu SPEI pro hodnocení vláhových poměrů při pěstování cukrové řepy ve středních Čechách

USE OF STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX FOR ASSESSMENT OF WATER DEFICIT AND/OR SURPLUS WHEN GROWING SUGAR BEET IN CENTRAL BOHEMIA

Vera Potop, Luboš Türkott – Česká zemědělská univerzita v Praze

PIDGEON ET AL. (1) hodnotil vliv variability klimatu na výnosy cukrovky (*Beta vulgaris* var. *altissima*) v Evropě. Výnos byl odhadován pomocí růstového modelu cukrovky (2) na základě měsíčních klimatologických dat (průměrná teplota vzduchu, úhrn srážek, počet dní se srážkami, oblačnost, tlak vodní páry a vypočtená potenciální evapotranspirace) pro oblasti Evropy s přirozeným dostatkem srážek pro pěstování cukrovky. Model byl sestaven pro potenciální výnos (bez vodního stresu) a výnos pod přirozenou závlahou, rozdíl mezi nimi byl odhad ztrát způsobených suchem. Potenciální výnos roste od severu k jihu a od západu k východu v důsledku zvyšující se sumy globálního záření. Reálný výnos byl nejvyšší v severní a střední Ukrajině, východním Polsku a jižním Německu (vyšší o 12 t.ha⁻¹), průměrný v severní Francii, Belgii a západním Polsku a nejnižší v severozápadní Evropě. Z výzkumu vyplynulo doporučení hlavního směru ve šlechtění cukrovky v Evropě, a to odolnost proti suchu.

Podle Mezivládního panelu pro změny klimatu – IPCC (3) vykazují regiony severní Evropy nárůsty výnosů. Zvýšení teploty stimuluje tvorbu listové plochy, a tím se zachytí více slunečního záření, nerovnováha mezi potenciální evapotranspirací (PET) a množstvím srážek (tedy stres suchem) nebude tak silná, aby tento nárůst narušila. Mírný pokles průměrných výnosů vykazují oblasti v severní Francii, v Belgii a v jižním Polsku. Zde je pozitivní vliv teplejšího jara a časného léta kompenzován negativním účinkem častějšího výskytu a větší síly vodního stresu. Ostatní oblasti, např. východní Anglie, Lincolnshirské hrabství v Anglii a většina území Německa, vykazují malé změny v průměrných výnosech.

Materiál a metody

Hlavním cílem tohoto příspěvku je aplikace nového indexu sucha – standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu (SPEI) – a jeho využití při hodnocení výnosových parametrů cukrovky ve vztahu k vláhovým poměrům v České republice. Kvantifikace indexu SPEI (4, 5) je založena na následujících krocích:

- nepřímé stanovení potenciální evapotranspirace (PET);
- hodnocení vláhové bilance krajiny na základě vypočteného rozdílu mezi vypočtenou potenciální evapotranspirací a měřenými srážkami v různých časových intervalech (P-PET);
- standardizace vláhové bilance pomocí statistického rozdělení pravděpodobnosti k získání indexu sucha SPEI.

Prvořadým krokem pro určení hodnoty SPEI je výpočet potenciální evapotranspirace (PET). Podrobnou analýzu metod jejího odhadu a výpočtu pomocí různých meteorologických parametrů uvádí KOHOUT (6). V naší práci byla PET vypočtena metodou HARGREAVESE (7). Jeho model udává jednoduchou metodu s využitím denních maximálních a minimálních teplot vzduchu a denního úhrnu globální radiace vztahné k zeměpisné šířce lokality, resp. klimatologické stanice. Jako vstupní parametr do modelu:

$$PET = 0,0023 \cdot Q \cdot TD^{0,5} \cdot (T_m + 17,8) \quad (1)$$

kde Q – denní úhrn globální radiace (MJ.m⁻².d⁻¹),

TD – rozdíl mezi maximální teplotou vzduchu a minimální teplotou vzduchu ($t_{max} - t_{min}$),

T_m – průměrná teplota vzduchu ($(t_{max} + t_{min})/2$),

0,0023 a 17,8 – empirické konstanty.

Dalším krokem je výpočet vláhové bilance (D_i) jako rozdílu úhrnu srážek (P_i) a evapotranspirace (PET_i) podle vztahu:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

Vypočtené hodnoty D_i jsou agregovány do různých časových intervalů, stejným postupem jako u standardizovaného srážkového indexu SPI. Odchylka $D_{i,j}^k$ v daném měsíci j a roce i je závislá na zvoleném časovém měřítku k (kumulativní hodnota za 1, 3, 6, 12 a 24 měsíců). Pro vyjádření SPEI je třeba využít tříparametrové rozdělení, neboť ve dvouparametrovém rozdělení má náhodná veličina (x) zápornou hodnotu ($0 > x < \infty$), přičemž ve tříparametrovém rozdělení může x nabývat hodnot v rozsahu ($\gamma > x < \infty$, kde γ je parametr původního rozdělení). V důsledku toho může mít x záporné hodnoty, které se běžně vyskytují v souborech hodnot D (5). Pro standardizaci hodnot D_i v různých časových intervalech se používají funkce hustoty pravděpodobnosti Log-logistického rozdělení:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (3)$$

kde α , β a γ jsou parametry rozdělení, resp. pro hodnotu D v intervalu ($\gamma > x < \infty$).

Log-logistické rozdělení použité pro standardizaci souboru hodnot D ve všech časových intervalech je dáno vztahem:

$$F(x) = \left(1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right)^{-1} \quad (4)$$

Hodnota $F(x)$ je následně převedena na normální proměnnou:

$$\text{SPEI} = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1 + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (5)$$

kde $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$ jsou obdobné konstanty jako pro SPI a W je pravděpodobnostně vážený moment. Detailní algoritmus pro výpočet indexu SPEI je uveden v práci (5). Průměrná hodnota SPEI je 0 a směrodatná odchylka je 1. SPEI je standardizovaná proměnná, a proto může být porovnávána s ostatními hodnotami SPEI v čase i prostoru. Pro každou časovou řadu, každé suché období (období kde je hodnota SPEI stále záporná a $\text{SPEI} \leq -1$) je definována délka trvání (čas od počátku do konce) a intenzita sucha (úroveň SPEI pro každý měsíc dle klasifikace). Stupeň závažnosti sucha udává tab. I.

Pro hodnocení vláhových poměrů v průběhu vegetačního období cukrovky (duben–říjen) byl zpracován datový soubor klimatologické stanice Čáslav (251 m n. m., 49° 54' s. š., 15° 23' v. d.) za období 1901–2010. Stanice byla vybrána s ohledem na kvalitu a délku časové řady a jedinečnou vhodnost pro agronomické účely. Vláhová bilance (D) a index SPEI byly vypočteny pro různé časové intervaly 1, 3 a 7 měsíců. Intervaly byly vybrány s ohledem na vegetační cyklus cukrovky a na nerovnoměrnou distribuci srážek a kolísání teplot v kratším intervalu než 7 měsíců. Tyto intervaly dobře korespondují s různou mírou negativního vlivu meteorologického (SPEI za 1 měsíc) a agronomického sucha (SPEI za 3 a 7 měsíců).

Jako vstupní údaje do modelů byly použity informace o produkčních parametrech (průměrné výnosy ve středních Čechách) za období 1918–2011. Hodnoty detrendovaných výnosů jsou důležité, neboť historická data výnosů jsou ovlivněna nejen průběhem počasí, ale i úrovní managementu a technologií výroby (8). Kladná odchylka znamená lepší podmínky pro dosažení vysoké produkce ve srovnání s průměrným výnosem očekávaným pro tento rok, neboť skutečný výnos je vyšší než trend. Naopak záporná odchylka ukazuje nižší výnosový potenciál konkrétního roku. Aby bylo možné určit vliv vláhových poměrů na výnosové parametry cukrovky, bylo nutné standardizovat výnosové řady dle rovnice 5. Výnosové parametry (např. $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) časových řad byly převedeny do bezrozměrných hodnot odpovídajících vyjádření rozsahu SPEI ± 1 –3. Vytvořené standardizované výnosové řady (SVI) byly statisticky vyhodnoceny korelační analýzou. Účinek vláhových podmínek v jednotlivých časových intervalech a průkaznost zvolených intervalů byly stanoveny porovnáním indexu SVI s indexem SPEI (obr. 1.).

Výsledky

Vývoj průměrných teplot vzduchu (t) a srážkových úhrnů (r) ve vegetačním období cukrovky (jaro, léto a podzim) za období 1901–2010 ve středních Čechách

Jaro (březen–duben–květen), t = 8,8 °C, r = 138 mm: Podle odchylky průměrných teplot byla nejteplejším obdobím

Tab. I. Sedmistupňová škála hodnocení vláhových poměrů dle standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu (SPEI)

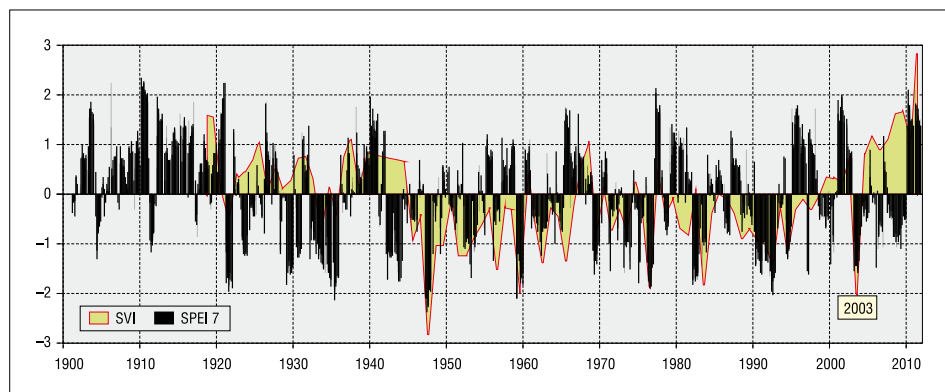
| Stupeň | SPEI | Hodnocení | Pravděpodobnost |
|--------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 | $\geq 2,0$ | extrémně vlhký | 0,05 |
| 2 | 1,50 až 1,99 | silně vlhký | 0,10 |
| 3 | 1,49 až 1,00 | mírně vlhký | 0,20 |
| 4 | 0,99 až -0,99 | normální | 0,60 |
| 5 | -1,00 až -1,49 | mírně suchý | 0,20 |
| 6 | -1,50 až -1,99 | silně suchý | 0,10 |
| 7 | $\leq -2,00$ | extrémně suchý | 0,05 |

Tab. II. Roky s nejnižší a nejvyšší hodnotou vláhové bilance za období duben–říjen (1901–2010)

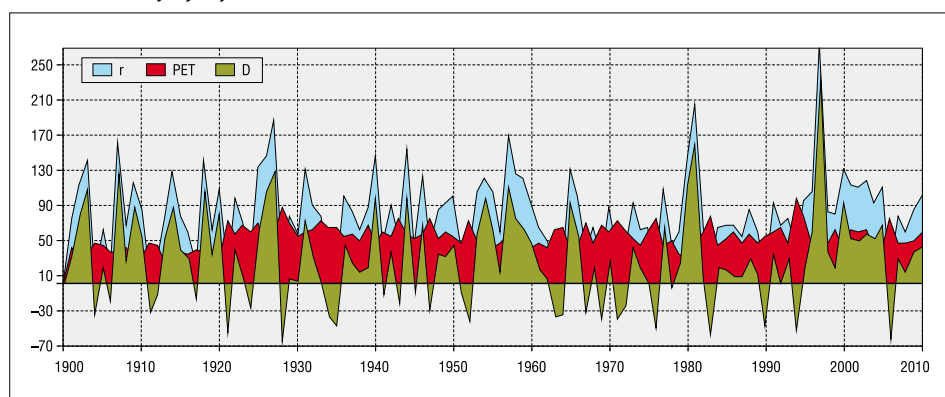
| Vláhová bilance – deficit D = P – PET | | | Vláhová bilance – nadbytek D = P – PET | | |
|--|----------|-----|---|----------|------|
| rok | měsíc | mm | rok | měsíc | mm |
| 1921 | červenec | -55 | 1903 | červenec | +109 |
| 1926 | duben | -63 | 1906 | září | +105 |
| 1928 | červenec | -66 | 1907 | červenec | +128 |
| 1929 | září | -59 | 1910 | září | +113 |
| 1930 | červen | -54 | 1912 | červen | +101 |
| 1934 | září | -50 | 1912 | srpen | +141 |
| 1935 | červenec | -49 | 1915 | říjen | +115 |
| 1935 | srpen | -57 | 1916 | červen | +124 |
| 1942 | srpen | -49 | 1926 | červen | +123 |
| 1944 | srpen | -62 | 1926 | červenec | +107 |
| 1947 | září | -66 | 1927 | duben | +100 |
| 1959 | září | -69 | 1927 | červenec | +130 |
| 1975 | září | -58 | 1930 | říjen | +110 |
| 1976 | červenec | -50 | 1935 | říjen | +112 |
| 1982 | červenec | -59 | 1938 | srpen | +123 |
| 1983 | červenec | -57 | 1957 | červenec | +113 |
| 1990 | srpen | -50 | 1964 | srpen | +101 |
| 1991 | září | -52 | 1977 | srpen | +155 |
| 1994 | červenec | -54 | 1979 | červen | +134 |
| 1997 | září | -49 | 1980 | červenec | +115 |
| 2000 | srpen | -58 | 1981 | červenec | +161 |
| 2003 | červenec | -55 | 1997 | červenec | +236 |
| 2006 | červenec | -63 | 2010 | srpen | +121 |

dekáda 2000–2010. Nejvyšší kladnou sezónní odchylku teploty vzduchu (teplota vzduchu vyšší než normál) ve všech stanicích měly roky 2000, 2007 a 2009 ($\sigma = +2,3$ až $+2,9$ °C). Analýza datové řady stanice Čáslav ukazuje dvě teplá období. První bylo na počátku 20. století s velkými výkyvy kladné sezónní odchylky teploty vzduchu ($\sigma = +2,8$ °C, 1918) a druhé na konci 20. století ($\sigma = +2,8$ °C; 2000). Nejchladnější dekádou byla 30. léta

Obr. 1. Časový vývoj standardizované výnosové řady (SVI, 1918–2011) a SPEI (1901–2011) v kumulativním intervalu 7 měsíců (duben–říjen).



Obr. 2. Časový vývoj *r*, PET a D v červenci za období 1901–2010 ve středních Čechách



dvacátého století s nejnižší zápornou odchylkou v roce 1929 (–2,4 °C) v Čáslavi. Srážkově nejchudší jara byla ve 40. a 90. letech dvacátého století. V jarních obdobích byly teplotní odchylky prostorově variabilní (9).

Tab. III. Hodnocení teplotních a srážkových poměrů v roce 2011 ve středních Čechách

| Období | Teploty | Odchylka Δt (°C) | Srážky | Úhrnu N (%) |
|----------|-----------------|--------------------------|----------------|-------------|
| leden | normální | 1,2 | normální | 80,7 |
| únor | normální | –1,0 | silně suchý | 22,6 |
| březen | normální | 1,0 | mírně suchý | 33,3 |
| duben | mimořádně teplý | 3,7 | silně suchý | 27,4 |
| květen | normální | 1,3 | normální | 77,0 |
| červen | teplý | 1,6 | mírně vlhký | 168,5 |
| červenec | normální | –0,2 | mírně vlhký | 132,1 |
| srpen | silně teplý | 1,6 | normální | 77,9 |
| září | silně teplé | 2,4 | normální | 75,8 |
| říjen | normální | 0,6 | normální | 94,6 |
| listopad | normální | 0,1 | extrémně suchý | 0,5 |
| prosinec | silně teplý | 3,2 | normální | 80,3 |
| rok | silně teplý | 1,3 | mírně suchý | 83,8 |

dle klimatologické stanice Čáslav

Léto (červen–červenec–srpen), $t = 17,7$ °C, $r = 222$ mm:

Podle letních odchylek teploty vzduchu od normálu a pódílu úhrnu srážek na normálu byly v České republice nejchladnější a srážkově nejchudší první dvě dekády 20. století s úhrny srážek od 46,0 % do 26,8 % normálu. To však neplatí pro stanici Čáslav, kdy nejsušším a nejchladnějším obdobím byla 70. léta s nejchladnějším létem v roce 1978 ($\sigma = -1,7$ °C). Nejvyšší kladné odchylky teploty vzduchu (více než +3,0 °C) měly dvě dekády (1990–2000 a 2000–2010). Nejteplejší léto bylo v roce 2003 s teplotou 3,2 °C nad normálem. V důsledku toho je patrné – za sledovaných 110 let podle letního průměru průměrné denní teploty vzduchu za desetiletí – ochlazení v období 1901–1920 a výrazný nárůst teplot od poloviny 80. let po současnost (+0,6 °C za dekádu) (9, 10, 11).

V prvních dvou dekáдах dvacátého století se vyskytovaly nejnižší záporné odchylky teploty vzduchu a nízké úhrny srážek v letním období (chladno a sucho), naopak od konce 20. století převažovaly teploty vzduchu kladné (teplý a sucho).

Podzim (září–říjen–listopad), $t = 9,0$ °C, $r = 120$ mm:

Dle podzimních průměrů průměrné denní teploty vzduchu bylo nejteplejší období 2000–2010 s nejvyššími odchylkami teploty vzduchu od +2,1 °C do +3,0 °C, naproti tomu nejchladnější podzimní období byla 10. a 20. léta dvacátého století. Většina podzimů s množstvím srážek pod 40 % normálu byla teplotně normální nebo podnormální, s výjimkou roku 2006. Z toho vyplývá, že podzimní sucha jsou způsobena převážně nedostatkem srážek, nikoliv vysokými teplotami. Nejnižší procento normálu srážek v podzimním období měla 40., 50. a 90. léta 20. století a první dekáda 21. století. Statisticky významný stoupající trend teploty se projevil v letech 1991–2010 s hodnotami přes 0,7 °C za dekádu.

Tab. IV. Závislost proměnlivosti výnosů cukrovky (SVI) na kumulativním vláhovém deficitu (SPEI) v průběhu vegetačního období cukrovky za časový interval 1 měsíc, 3 a 7 měsíců pomocí Spearmanova korelačního koeficientu (*r*)

| Časový interval | Měsíc | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|-------|------|-------|-------|------|------|
| | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. |
| | Spearmanův korelační koeficient | | | | | | |
| SPEI 1 měsíc | 0,27 | –0,37 | 0,28 | –0,39 | –0,47 | 0,27 | 0,27 |
| SPEI 3 měsíce | 0,29 | –0,41 | 0,31 | –0,44 | –0,51 | 0,38 | 0,31 |
| SPEI 7 měsíců | 0,35 | –0,46 | 0,35 | –0,49 | –0,55 | 0,42 | 0,36 |

Klasifikace korelace (*r*): slabá střední

Vývoj standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu (SPEI) a vláhové bilance (D) ve vegetačním období cukrovky (jaro, léto a podzim) za období 1901–2010 ve středních Čechách

Při hodnocení klimatu lokality a vlivu na růst a vývoj rostlin nepostačují pro toto hodnocení pouze informace o úhrnech srážek popř. vlhkosti půdy, ale je nutné sledovat vláhovou bilanci. Vývoj časových řad vláhové bilance (D), srážek (r) a potenciální evapotranspirace (PET) dlouhodobě nejteplejšího měsíce července v průběhu 100 let je uveden na obr. 2. Srážkově nejbohatší a nejvlhčí červenec ve středních Čechách za období 1901–2010 byl v letech 1927, 1981 a 1997, což odpovídá prostorové distribuci vláhové bilance České republiky dle Atlasu podnebí (12). V oblastech s vysokými průměrnými úhrny srážek (horské a podhorské oblasti) je vláhová bilance po celý rok pozitivní, a to i v letech s nízkými úhrny srážek. V zemědělských oblastech je vláhová bilance i v letech s vysokými srážkami vyrovnaná nebo záporná (srážky jsou nižší než výpar). Roky s nejnižší a nejvyšší hodnotou vodní bilance během vegetačního období cukrovky od dubna do října (1901–2010) zobrazuje tab. II. Nejnižší hodnoty vodního deficitu byly v září let 1959 (–69 mm), 1928 a 1947 (–66 mm) a 1926 a 2003 (–63 mm), zatímco nejvyšší vláhový přebytek měly červenec 1997 (+236 mm), červenec 1981 (+161 mm) a srpen 1977 (+155 mm). Skutečný problém s nedostatkem vláhy se projeví v případech, kdy úroveň indexu SPEI ukazuje extrémní sucho ($SPEI \leq -2$) a vláhová bilance hodnotu pod –150 mm. Ve středních Čechách je výnos cukrovky ohrožen při vláhové bilanci s D menší než –200 mm a s hodnotami D pod –300 mm je ekonomika pěstování výrazně narušena.

Dle SPEI bylo extrémně vlhké vegetační období první dekády 21. století v roce 2010, s nejvyšším podílem srážek v letních měsících (červen a srpen) doprovázených zároveň podprůměrnými teplotami. V průběhu vegetačního období byly v porovnání s dlouhodobým průměrem zaznamenány normální teplotní podmínky na jaře, po kterém následoval mimořádně teplý červenec a velmi vlhký srpen. Abnormálně nízké teploty byly zaznamenány v září a říjnu. Dle průměrného úhrnu srážek v procentech dlouhodobého průměru byl rok 2010 vlhký se suchým měsícem říjnem a velmi vlhkým srpnem. Rok 2011 byl ve středních Čechách silně teplý a mírně suchý. Mimořádně teplý měsíc byl duben, a to převážně jeho první dekáda s odchylkou teploty vzduchu od dlouhodobého průměru +5,0 °C (tab. III.). Nejteplejším dnem byl 23. duben, kdy v Čáslavi dosáhla maximální teplota vzduchu hodnoty 24,9 °C a průměrná denní teplota byla 17,7 °C, což je 7,6 °C nad dlouhodobým průměrem. Tyto mimořádné teploty zasáhly prakticky celé území České republiky, kdy průměrná měsíční teplota byla 10,9 °C, tedy 3,2 °C nad dlouhodobým průměrem. Srážkově byl duben jako celek v ČR normální, avšak plošná distribuce srážek byla nerovnoměrná a nejvíce srážek spadlo na Moravě, méně pak v Čechách. Ve středních Čechách byl duben silně suchý. V tomto období má cukrovka nejnižší nároky na srážky, avšak srážkový deficit ze dvou předchozích měsíců způsobil nedostatečnou zásobu vody v půdě, potřebnou pro klíčení a vzcházení. Naopak mírně vlhké byly měsíce červen a červenec, kdy převážně v červenci má cukrovka největší nároky na dostatek srážek. Extrémně suchý byl měsíc listopad, a to na celém území ČR. Rok 2011, resp. jeho jarní období bylo netypické výskytem pozdně jarních mrazů. Na celém území České republiky se přizemní mrazy



 **Cruiser® Force**
SB

syngenta.

Tab. V. Roky s nejnižším výnosem cukrovky za období 1918–2011: meziroční odchylka detrendovaného výnosu; záporná hodnota = negativní odchylka výnosu, standardizované výnosové řady = SVI

| Pořadí | Roky | Výnos (t.ha ⁻¹) | Negativní odchylka (t.ha ⁻¹) | SVI |
|--------|------|-----------------------------|--|------|
| 1 | 1947 | 14,3 | -15,0 | -2,1 |
| 2 | 1959 | 18,3 | -14,1 | -2,0 |
| 3 | 1976 | 23,5 | -13,3 | -1,9 |
| 4 | 1956 | 20,8 | -10,8 | -1,5 |
| 5 | 1992 | 31,2 | -9,9 | -1,4 |
| 6 | 1962 | 23,5 | -9,7 | -1,3 |
| 7 | 1983 | 29,1 | -9,6 | -1,3 |
| 8 | 1965 | 24,6 | -9,4 | -1,3 |
| 9 | 1951 | 21,6 | -8,7 | -1,2 |
| 10 | 1952 | 22,0 | -8,6 | -1,2 |
| 11 | 1949 | 22,7 | -7,1 | -1,0 |
| 12 | 1991 | 33,7 | -7,1 | -1,0 |
| 13 | 1990 | 34,0 | -6,5 | -0,9 |
| 14 | 1945 | 22,3 | -6,4 | -0,9 |
| 15 | 1988 | 33,9 | -6,1 | -0,8 |
| 16 | 1953 | 24,8 | -6,0 | -0,8 |
| 17 | 1994 | 35,6 | -6,0 | -0,8 |

vyskytovaly v průběhu měsíce května. Nepříznivá synoptická situace způsobila velmi pozdní výskyt mrazů v nejteplejších oblastech Čech (střední Polabí, Mělnicko, Litoměřicko a Ústecko). Poslední přízemní mrazy se zde vyskytly 5. května a způsobily rozsáhlé škody v zemědělství.

Pomocí Spearmanova korelačního koeficientu (r) jsme získali závislost vlivu vláhových poměrů dle SPEI na proměnlivost výnosů cukrovky (SVI). Korelační koeficient udává těsnost vazby a kladné hodnoty korelačního koeficientu znamenají pozitivní vliv vláhových poměrů na tvorbu výnosů, zatímco záporné hodnoty r znamenají negativní vliv. V tab. IV. je dle barvy uvedena i klasifikace Spearmanova korelačního koeficientu: slabá korelace (0,1–0,3), střední (0,4–0,6), silná (0,7–0,8) a velmi silná korelace ($r > 0,9$). Negativní korelace byly zjištěny mezi standardizovanými výnosy a SPEI v měsících květnu, červenci a srpnu ($r = -0,37$ až $-0,55$), a to ve všech časových intervalech. Lze tedy říci, že negativní vliv deficitu, resp. nadbytku vláhy v květnu, červenci a srpnu má největší podíl na snížení výnosu cukrové řepy. Jak je patrné z tab. IV., kladná korelace byla nalezena v dubnu, červnu, září a říjnu ($r = 0,27$ až $0,42$). Nejvyšší závislost byla určena pro index SPEI v sedmiměsíčním intervalu v srpnu ($r = -0,55$). Korelační analýzou bylo potvrzeno, že negativní vliv na tvorbu výnosů cukrovky mají nejen měsíce s nedostatkem vláhy, ale i měsíce s nadbytkem.

Dle indexu SVI byly v období 1918–2011 nejnižší výnosy cukrové řepy v roce 1947 ($-15,0$ t.ha⁻¹), 1959 ($-14,1$ t.ha⁻¹), 1976 ($-13,3$ t.ha⁻¹), 1956 ($-10,8$ t.ha⁻¹), 1992 ($-9,9$ t.ha⁻¹), 1962 ($-9,7$ t.ha⁻¹), 1983 ($-9,6$ t.ha⁻¹) a 1965 ($-9,4$ t.ha⁻¹) (tab. V.). Největší podíl na snížení výnosů v těchto letech měla extrémně suchá vegetační období s výjimkou extrémně vlhkého vegetačního období v roce 1965 (SPEI $\leq -2,0$ a SVI $\leq -1,3$).

Závěr

Kombinace klimatologických indexů s výnosovými řadami cukrovky v rámci velmi dlouhých časových řad je dobrou metodou sledování a hodnocení vlivu extrémních meteorologických podmínek na stabilitu a vývoj zemědělské produkce. Prosté hodnocení dlouhých výnosových řad naznačuje rostoucí výnosový trend, což je způsobeno technologií výroby. Aby bylo možné odlišit vliv technologií a určit podíl meteorologických faktorů, je nutné detrendovat výnosové řady. V dlouhodobě příznivých a vhodných oblastech pro pěstování cukrovky se v rámci dlouhých časových řad mohou vyskytovat roky s extrémně negativním vlivem na růst a vývoj cukrovky. V takových případech je ekonomika pěstování závislá na technologii a managementu zkušených pěstitelů. Byl prokázán negativní vliv jak silně a extrémně suchých, tak i silně a extrémně vlhkých období na výnos cukrovky.

Ve středních Čechách byla určena dvě teplá období, první na počátku 20. století s vysoce kladnými odchylkami teploty a velkými srážkami (teplé a vlhké) a druhé období na konci 20. století s teplými a suchými podmínkami. Podle vláhového indexu SPEI byla určena za posledních 100 let nejsušší vegetační období v letech 1947, 1953, 1992 a 2003 a nejvlhčí období v letech 1965 a 2010. Extrémní jarní sucha byla zaznamenána v letech 1903, 1943, 1946, 1953, 1959, 1976, 1993, 1998, 2003 a 2007. Větší četnost letního sucha byla v období 1911–1920, 1941–1950, 1991–2000 a 2001–2010. Extrémní podzimní sucha byla v letech 1942, 1947, 1949, 1953, 1959, 1973, 1975, 1992, 1997, 2003 a 2006. Zároveň analýzy nejdelší standardizované výnosové řady ve středních Čechách prokazují, že nejnižší výnos byl v extrémně suchém vegetačním období v roce 1947 ($14,3$ t.ha⁻¹).

Příspěvek byl zpracován s podporou „S grant of MSM CR“ a výzkumného záměru MSM No. 6046070901 „Setrvalé zemědělství, kvalita zemědělské produkce, krajinné a přírodní zdroje“.

Souhrn

Tato studie podrobně hodnotí vláhový deficit, resp. nadbytek během vegetačního období cukrové řepy (*Beta vulgaris* var. *altissima*) v průběhu 20. století na území Středočeského kraje. Vzhledem k dostupnosti dlouhé a souvislé časové řady klimatických dat jsme zvolili pro výpočet standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu (SPEI) klimatologickou stanicí Čáslav. Pomocí Spearmanova korelačního koeficientu jsme určili závislost standardizovaných ročních výnosů cukrovky na měsíčních hodnotách indexu SPEI v různých časových intervalech 1–7 měsíců. Negativní korelace byly zjištěny mezi standardizovanými výnosy a SPEI v měsících květnu, červenci a srpnu ($r = -0,37$ až $-0,55$), a to ve všech časových intervalech. Pozitivní korelace byly určeny v měsících dubnu, červnu, září a říjnu ($r = 0,27$ až $0,42$). Nejvyšší závislost byla určena pro index SPEI v sedmiměsíčním intervalu v srpnu ($r = -0,55$).

Klíčová slova: cukrová řepa, výnos, standardizovaný srážkový a evapotranspirační index.

Literatura

- PIDGEON, J. D. ET AL.: Climatic Impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe, 1961–1995. *Agric. Forest Meteorol.*, 109, 2001, s. 27–37.
- RICHTER, G. M.; JAGGARD, K. W.; MITCHELL, R. A. C.: Modelling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climate stress. *Agric. Forest Meteorol.*, 109, 2001, s. 13–25.

3. IPCC, *Změna klimatu 2007: Dopady změny klimatu, adaptace a zranitelnost*. Příspěvek pracovní skupiny II ke Čtvrté hodnotící zprávě v Bruselu, v dubnu 2007, [online] www.veronica.cz/klima.
4. POTOP, V.; MOŽNÝ, M.: The application a new drought index - standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. In STŘEDOVÁ, H.; ROŽNOVSKÝ, J.; LITSCHMANN, T. (eds): *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí*. Skalní mlýn, 2.–4. 2. 2011, ISBN 978-80-86690-87-2 (CD).
5. VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I.: A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, 23, 2010 (7), s. 1696–1718.
6. KOHUT, M.: Vybrané metody výpočtu evaporace a evapotranspirace. In *Mikroklima porostů*, Brno, 26. 3. 2003, s. 172–186.
7. HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A.: Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1, 1985, s. 96–99.
8. POTOP, V.; TÜRKOTT, L.: Variabilita výnosů cukrovky ve vztahu k suchým a vlhkým obdobím. *Listy cukrov. řepař.*, 127, 2011 (11), s. 338–343.
9. POTOP, V.; MOŽNÝ, M.; SOUKUP, J.: Drought at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agric. Forest Meteorol.*, 156, 2012, s. 121–133.
10. BRAZDIL, R. ET AL.: Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theor. Appl. Climatol.*, 97, 2009, s. 297–315.
11. POTOP, V.; SOUKUP, J.; MOŽNÝ, M.: Drought at various timescales for secular lowland climatologically stations in the Czech Republic. *Meteorologické zprávy*, 64, 2011 (6), s. 177–188.
12. TOLASZ, R. (ed.): *Atlas podnebí Česka = Climate Atlas of Czechia*. Praha–Olomouc: ČHMÚ Praha, Univerzita Palackého, 2007, 254 s.
13. TÜRKOTT, L.; POTOP, V.: Jarní a podzimní mrazy ve vztahu k synoptickým situacím. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*, 1.–2. 2. 2012, Praha, s. 197–201.
14. POTOP, V.; TÜRKOTT, L.: Povětrnostní podmínky během vegetačního období raných jarních zelenin v Polabí. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*, 1.–2. 2. 2012, Praha, s. 181–185.

Potop V., Türkott L.: Use of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index for Assessment of Water Deficit and/or Surplus When Growing Sugar Beet in Central Bohemia

This study presents a detailed assessment of water deficit and/or surplus during sugar beet (*Beta vulgaris* var. *altissima*) growing season in Central Bohemia in the course of the 20th century. Due to the availability of relatively long continuous series of data, we chose the Čáslav climatological station for calculating the Standardized Precipitation Evapotranspiration (SPEI) on various time scales in the studied region. Using Spearman correlation coefficient, we determined the dependence of the standardized annual sugar beet yield on the monthly SPEI values in timescales from 1 to 7-months. Negative correlations were found between the standardized annual yield and the SPEI in May, July and August ($r = -0.37$ to -0.55) in all time scales. A positive correlation was found in April, June, September and October ($r = 0.27$ to 0.42). The greatest correlation was recorded for the SPEI at the 7-month lag in August ($r = -0.55$).

Key words: sugar beet, yield, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Luboš Türkott, Ph. D., Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: turkott@af.czu.cz

Skvělý výsledek

Interakce mořidla Cruiser s bílkovinným komplexem mladých vzházejících rostlin způsobuje jejich lepší odolnost vůči stresovým činitelům v počátečních stadiích růstu.

Zlepšení vitality rostlin a eliminace škůdců v konečném důsledku vede ke zvýšení výnosu.

Pro ochranu osiva cukrové řepy jsou určena mořidla Cruiser Force SB a Force Magna, která poskytují jistotu účinku proti listovým a půdním škůdcům, zejména všák vřci drátovcům (*Agriotes* spp.), maločlenci čárkovitému (*Atomaria linearis*), květilce řepné (*Pegomia betae*), dřepčíkům (*Cheaticocnema* spp.) a mšicím jako vektorům viróz.



Nepatrný
začátek

 **Cruiser® Force**
SB

syngenta.



Vynikající
insekticidní
ochrana



Lepší vitality
rostlin



Vyšší
výnos

**Širokospektrální insekticid
pro moření osiva nové generace
s dlouhodobou účinností.**