

VERTIKÁLNÍ ROZLOŽENÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ V POROSTU KUKUŘICE

VERTICAL DISTRIBUTION OF SOLAR RADIATION IN A STAND OF MAIZE

Rožnovský, J.¹, Valentová, B.¹, Hurtalová, T.², Matejka, F.²

Abstract

Plant growth and development depends on irreplaceable light and temperature. The primary source of both these factors is solar radiation which provides on the one hand the necessary input of energy for the process of photosynthesis and, on the other hand, after transformation into heat, the thermal conditions of the environment. However, this well known reality is usually studied only from some particular aspects. Solar radiation fluxes in the stand of maize were measured in the field station at Žabčice from May to August 1999. The measurements involved the global, reflected and transmitted solar radiation. Further characteristics of the radiation balance, such as radiation absorbed by the stand and the stand albedo were calculated. The results obtained demonstrate the influence of the stand on the course of individual components of the solar radiation balance.

Úvod

Obecně definovaný nezastupitelný nárok rostlin na světlo a teplo je vyjádřením závislosti růstu a vývoje rostlin na dostupné energii (Larcher 1980, Matejka, Huzulák 1987). Jejím základním zdrojem je sluneční záření, které v meteorologii měříme na vodorovnou plochu a označujeme jako globální (Arya 1988, Rožnovský, Brotan 1999). Toto záření na jedné straně energeticky zajišťuje proces fotosyntézy a na straně druhé se transformuje na teplo, které podmiňuje teplotní podmínky prostředí. Tato známá skutečnost je však studována jen v dílčích pohledech, např. růst a vývoj rostlin v závislosti na různých formách vyjádření teploty vzduchu apod. (Ross 1976, Petr et al. 1987).

Poznatky z dosavadních studií energetické bilance porostů dokládají významnost vlivu distribuce energie na hodnoty meteorologických prvků v porostním klimatu. Významný je přitom vliv samotného porostu, který tak modifikuje obecně uváděné poznatky (Matejka, Hurtalová 1981, Grant et al. 1996, Kostrej et al. 1998).

V biometeorologii věnujeme velkou pozornost bilanci krátkovlnné radiace porostu (dále jen BR_k), protože tento je zvláštní formou aktivního povrchu. Porostní povrchy jsou velmi členité, několika vrstevnaté, a proto je častěji označujeme jako vrstvy, typické vícenásobným odrazem záření, ale také schopností propouštět část globálního záření (Klabzuba, Kožnarová 1991). V klimatologii se bilance krátkovlnné radiace BR_k vyjadřuje jako množství energie, které po dopadu slunečního záření může aktivní povrch využít. Znamená to, že BR_k je rozdíl mezi globálním zářením (GR) dopadajícím na aktivní povrch a zářením odraženým (dále jen GR_r), tedy $BR_k = GR - GR_r$. U porostu však musíme do výpočtu zahrnout i část procházejícího slunečního záření (dále jen GR_t), jak uvádějí (Grace 1987, Mašková, Rožnovský 1999).

Metodika

Měření mikroklimatu zemědělských plodin je prováděno v porostech na pokusných plochách Školního zemědělského podniku v Žabčicích. Součástí pokusného areálu je agroklimatologická observatoř, kde probíhají základní agroklimatologická měření. Obojí měření jsou zajišťována měřicím a záznamovým systémem firmy Campbell Scientific Limited typ CR 10 (resp. CR10X). Vlastní měření jsou prováděna v 10 vteřinovém kroku a ústředna zaznamenává čtvrt hodinové průměry, sumy, případně též extrémní hodnoty meteorologických prvků.

Pro naše hodnocení bylo využito měření globálního záření (dále jen GR) pomocí snímače firmy KIPP&ZONEN, typ CM 6B, který má rozsah 305 až 2800 nm s citlivostí 9 až $15\mu\text{V}/1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Přístroj je umístěn ve výšce 12 m nad zemí. Odražené globální záření porostem kukuřice bylo měřeno pyranometry LI 200 SZ, umístěnými 1 m nad porostem. V pravidelných týdenní intervalech byl pyranometr zvedán v závislosti na výšce porostu. Globální záření prostupující porostem kukuřice bylo měřeno ve 20 cm nad povrchem půdy taktéž pyranometrem LI 200 SZ.

Pro analýzu byly zvoleny jasné dny (s výskytem oblačnosti do 2 desetin) v průběhu vegetačního období kukuřice roku 1999. U jednotlivých forem slunečního záření byly z naměřených čtvrt hodinových hodnot vypočteny základní statistické charakteristiky, a to průměr (\bar{x}), maximum (max), minimum (min), amplituda (a), směrodatná odchylka (s) a variační koeficient (Cv). V rámci vyhodnocení radiační bilance slunečního záření porostu kukuřice byly vypočteny další charakteristiky jako záření pohlčené porostem, jeho albedo

a další. Výpočet porostem absorbovaného globální slunečního záření (dále jen GRa) byl proveden podle vztahu $G_{ra} = GR - GR_r - GR_t$.

Výsledky a diskuse

Porosty mají zákonitě největší příkon globálního záření během vegetačního období v jasných dnech. V oblasti Žabčic dosahují maximální denní sumy GR za jasných dnů přes 2800 J.cm⁻² v měsících květen až červenec, pod 2700 J.cm⁻² v měsíci srpnu. Ve vybraných dnech se hodnoty denních sum GR pohybovaly od 2150 J.cm⁻² (1.8.1999) do 2506 J.cm⁻² dne 3.7.1999. Základní přehled o jednotlivých formách slunečního záření pro vybrané dny uvádí Tab. 1.

Tab. 1: Základní statistické charakteristiky forem slunečního záření v porostu kukuřice ve vybraných dnech

	GR	GR _t	GR _t /GR (%)	GR _r	albedo (%)
24.5.1999					
x	614,7	586,4	94,8	87,4	14,2
max	899	879,8	100	129,4	15,6
min	197,9	108,4	45	25,5	12,2
a	701,1	771,3	55	103,9	3,5
s	213,3	215,8	6,1	30,7	0,7
Cv	34,7	36,8	0,1	35,1	4,8
3.7.1999					
x	640,3	164,4	25,3	193,0	31,1
max	922,0	405,3	60,4	263,2	38,7
min	212,0	37,2	17,6	82,1	25,2
a	710,0	368,0	42,9	181,1	13,6
s	213,8	82,7	10,5	51,4	3,3
Cv	33,4	50,3	41,5	26,6	10,5
1.8.1999					
x	572,8	57,9	9,8	159,0	28,8
max	865,0	104,4	15,4	224,5	35,8
min	155,0	12,2	7,9	55,5	23,7
a	710,0	92,2	7,6	169,1	12,1
s	216,8	25,7	1,4	49,5	3,2
Cv	37,8	44,4	13,9	31,2	11,3

O velké podobnosti chodu GR v těchto dnech svědčí vypočtené statistické charakteristiky. Hodnota denní amplitudy GR je uváděna s ohledem na vymezený úsek hodnocení, jinak je logicky minimum rovno nule, a tím je amplituda GR dána maximem. U odrazu globálního záření zjišťujeme podstatný rozdíl mezi 24.5. a dny se vzrostlým porostem kukuřice. Odraz GR 24.5. dosáhl maximální hodnoty 129,4 W.m⁻² ve 12.15 h shodně s maximem GR. Minimum odrazu bylo 25,5 W.m⁻². Denní chod GR_r má obdobný tvar jako chod GR. Hodnota s pro tento den činila 30,7 W.m⁻² a Cv byl 35,1 %. Vypočtené hodnoty albeda vykazují během 24.5. velmi malou dynamiku. Maximum 15,6 % se

vyskytovalo v 18.00 h s tím, že minimum s hodnotou 12,2 % připadá na 6.00 h. Tento zdánlivý nesoulad je dán okamžitými podmínkami daného dne. Důležité je, že amplituda 15 minutových hodnot albeda má během dne amplitudu jen 3,5 % bez denního chodu. Na nízkou variabilitu poukazují i hodnoty s , která činí 0,7 % a C_v s hodnotou 4,8 %. Rozdíl albeda dne 24.5. vynikne ze srovnání s dalšími vybranými dny.

Odraz GR dne 3.7. dosáhl maxima hodnotou $263,2 \text{ W.m}^{-2}$ opět shodně s maximem GR ve 12.00 h. Jeho minimum bylo $82,1 \text{ W.m}^{-2}$ v 6.00 h. opět shodně s minimem GR. Denní chod GRr je taktéž jako 24.5. obdobný chodu GR. Hodnota s je $51,4 \text{ W.m}^{-2}$ a C_v se rovná 26,6 %. Ve srovnání s 24.5. je nápadná změna hodnot albeda. Jeho maximální hodnota je 38,7 % s výskytem v 6.00 h, a minimální 25,2 % ve 12.30 h. Uvedené extrémní hodnoty však nejsou nahodilé, ale jen vyjadřují denní chod albeda, který je zrcadlovým opakem chodu GRr. Zde tedy nacházíme podstatný rozdíl od průběhu albeda dne 24.5., kdy byla pro albedo určujícím aktivním povrchem půdy a několik centimetrů vysoké rostliny neměly významnější vliv.

Tento poznatek nám potvrzuje i stav odrazu GR dne 1.8. 99. Maximální hodnota GRr byla $224,5 \text{ W.m}^{-2}$, a to opět ve shodě s maximem GR. Obdobně bylo minimum $55,5 \text{ W.m}^{-2}$ v 6.00 h. Hodnota s dosáhla $49,5 \text{ W.m}^{-2}$ a C_v činil 31,2 %. Denní chod albeda má shodně s 3.7. nejvyšší hodnoty v ranních a večerních hodinách (maximum 35,8 % v 6.00 h) a nejnižší (s určitou proměnlivostí v poledních hodinách). V době od 9.30 h do 13.45 h se albedo pohybuje s rozpětím 1 % kolem hodnoty 26 %, což je na hranici citlivosti použitých přístrojů. Vlastní minimum (23,7 %) se vyskytlo v 10.45 h.

Záření procházející porostem se pro 24.5. shoduje s dopadajícím slunečním zářením. Dne 3.7. dosahovalo maximum GRt $405,3 \text{ W.m}^{-2}$ v 15.15 h., nejnižší hodnoty GRt se zákonitě vyskytovaly v ranních a pozdně odpoledních hodinách, kdy celkové minimum bylo $37,2 \text{ W.m}^{-2}$. Právě doba výskytu maxima dokládá závislost mezi zapojením porostu a rozložením listů a postavením Slunce. Denní chod GRt nekopíruje doslova chod GR, ale rozkolísanost hodnot GRt můžeme vysvětlit průnikem GR až ke spodním listům, tedy vlivem tzv. slunečních skvrn. Tímto je též vysvětleno, že mimořádně v určitých úsecích dne dosahuje GRt až 60 % GR. Celodenní průměr podílu GRt na GR činí 25,3 %.

Vliv zapojení porostu potom plně vynikne z analýzy GRt pro 1.8.99. Dokladem je srovnání amplitudy GRt, která činí $92,2 \text{ W.m}^{-2}$, když pro tento den pro GR činí $710,0 \text{ W.m}^{-2}$. Pro den 3.7. však amplituda GRt činila $368,0 \text{ W.m}^{-2}$, při shodné hodnotě $710,0 \text{ W.m}^{-2}$ pro GR. Výrazný rozdíl také vynikne srovnáním denních chodů. Dynamika chodu GRt je malá,

ale ve srovnání s 3.7. podstatně menší. Podíl GRt na Gr v hodnocených 15 minutových intervalech jen ojediněle přesahuje 15 % a celodenní průměr činí 9,8 %.

Rozhodující množství energie slunečního záření využitelné rostlinou je záření pohlcené porostem, jde tedy o rozdíl mezi GR a GRr + GRt. Zde opět musíme uvést, že porosty v prvních dnech po vzejití absorbují malé procento záření a jeho měření je těžko proveditelné. Dne 3.7. byla maximální intenzita pohlceného záření v 15 minutovém intervalu $443,5 \text{ W.m}^{-2}$, což činilo 54,1 % z dopadajícího GR. Denní průměrná intenzita GRa byla $282,8 \text{ W.m}^{-2}$ a představovala 43,6 % dopadajícího slunečního záření. Minimální hodnoty pohlcení jsou zákonitě zaznamenávány v době vysoké transmise záření porostem. Proto je vyšší hodnota s, a to $125,1 \text{ W.m}^{-2}$ a hodnota Cv byla 44,2 %. Intenzita GRa má výrazný denní chod. Naopak podíl pohlceného slunečního záření porostem nemá výrazný denní chod. U nezapojených porostů jsou v určitých časových úsecích dosahovány minimální hodnoty při vysoké transmisi GR. Jinak ale porost nevykazuje výrazně nižší či vyšší procento pohlcení v průběhu hodnocené části dne. Maximální hodnota GRa (54,1 %) byla sice zjištěna ve 12.30 h, ale podíl přes 50 % se vyskytl již v 8.45h.

S postupným zapojováním porostu intenzita GRa stoupá, jak dokládají výsledky pro den 1.8.99. Maximální intenzita GRa tohoto dne dosáhla $550,6 \text{ W.m}^{-2}$ při intenzitě GR $865,0 \text{ W.m}^{-2}$, což je 63,7 %. Výskyt obou těchto hodnot je shodně ve 12.15 h, obě jsou maxima dané složky. Hodnota s má hodnotu $143,4 \text{ W.m}^{-2}$ a Cv dosáhl 40,3 %. Denní chod GRa je obdobný chodu GR, ovšem s menšími výchylkami. Významné je zjištění, že intenzita GRa 1.8. je vyšší než 3.7., přitom dopadající intenzita GR byla 3.8. naopak nižší.

Pokud budeme hodnotit podíl GRa na GR, dojdeme k obdobným závěrům jako pro den 3.7. Maximální podíl GRa na GR (67,2 %) nebyl zjištěn při maximech obou složek, ale vyskytl se v 15.15 h. Díky zapojení porostu se nevyskytují výraznější poklesy GRa vzhledem k GR. Minimální podíl dosáhl 55,1 %, amplituda během dne činila 12,2 %. Denní chod GRa v % je logicky podle uvedených statistických charakteristik málo výrazný. Ovšem je nutné zdůraznit, že je asi o 17 % vyšší, takže porost jako celek má k dispozici při nižší intenzitě slunečního záření více energie pro fotosyntézu, ale také pro další procesy.

Naše výsledky však neznamenají, že hustší porosty budou dávat automaticky vyšší produkci zemědělských plodin. Měly by být základními podklady agronomům pro volbu vhodných agrotechnických opatření. V oblasti teoretické jsou jednoznačně dokladem, že výpočty účinnosti fotosyntézy z hodnot GR jsou méně přesné. Navíc jsme si vědomi, že pro tyto studie jsou vhodnější měření fotosynteticky aktivního záření a jeho distribuce. Relativně

vysoké hodnoty albeda jsou dány optickými vlastnostmi listů, a budou tedy individuální vlastností jednotlivých druhů plodin a organizací jejich porostů.

Závěr

Z hodnocení BRk porostu kukuřice za jasných dnů vyplývá, že nejen globální záření, ale také porostem procházející a odražené mají denní chod daný výškou Slunce nad obzorem. Získané výsledky dokládají rozhodující vliv porostu, tzn. jeho architektury, vývoji v průběhu vegetace, velikosti LAI na dynamiku složek BRk. Tuto skutečnost dokumentují chody GRt, jehož hodnoty v období po vzejití jsou takřka shodné s GR. S růstem porostu hodnoty intenzity GRt i jeho podíl z GR klesají. Po zapojení porostu se snižuje i dynamika intenzit GRt a křivka jeho denního chodu má malou amplitudu. Hodnoty albeda zapojeného porostu kukuřice jsou však nejvyšší při nízkých hodnotách úhlu dopadu slunečních paprsků, kdy se pohybují nad 35 %, průměr je kolem 30 %. Nejnižší hodnoty se vyskytují v době kulminace Slunce, a to mezi 23 až 26 %. Je nutné zdůraznit, že albedo zapojeného porostu kukuřice je dvojnásobné od albeda porostu těsně po vzejití, kdy ho vlastně vytváří povrch půdy.

Pro fyziologické procesy, hlavně fotosyntézu je nejdůležitější množství GR pohlceného porostem. Hodnoty Gra vykazují denní chod s maximem za jasných dnů v době kulminace Slunce a zvyšují se s rostoucím zapojením porostu. Vyjádříme-li podíl GRa na GR, zjišťujeme, že jeho amplituda v zapojených porostech se pohybuje málo nad 10 %. Znamená to, že i v ranních a pozdních odpoledních hodinách je porostem pohlcováno 55 až 60 % GR.

Vzhledem k tomu, že množství pohlceného slunečního záření je limitujícím faktorem pro fotosyntézu, je potřebné prohloubit studie radiační bilance porostů zemědělských plodin, a to také v rozsahu fotosynteticky aktivního záření.

Souhrn: Měření globálního záření pomocí automatické měřicí ústředny bylo prováděno během vegetačního období roku 1999 v porostu kukuřice na pokusných plochách Školního zemědělského podniku v Žabčicích. Předložené výsledky dokládají rozhodující vliv porostu, na dynamiku jednotlivých částí radiační bilance slunečního záření. Nejvýraznější je tento vliv po zapojení porostu, kdy se snižuje i dynamika intenzity procházejícího slunečního záření a křivka jeho denního chodu má malou amplitudu. U zapojeného porostu jsou hodnoty albeda kukuřice nejvyšší při nízkých hodnotách úhlu dopadu slunečních paprsků, kdy se pohybují nad 35 %, průměr je kolem 30 %. Nejnižší hodnoty se vyskytují v době kulminace Slunce, a

to mezi 23 až 26 %. Výrazný je rozdíl mezi albedem zapojeného porostu kukuřice a albedem porostu těsně po vzejití, kdy vlastně albedo vytváří povrch půdy. Analýza výsledků prokázala dominantní vliv LAI porostu na poměr G_{Ra} ke G_R , který se během vegetačního období snižuje.

Klíčová slova: globální záření, albedo, bilance slunečního záření, kukuřice

Poděkování: Předložené výsledky byly získány v rámci řešení projektu MSM 432100001.

Literatura

- Arya, S. P.: Introduction to micrometeorology, Academic Press, Inc. 1988, San Diego - New York - Boston - Sydney - Tokyo - Toronto, 307 s..
- Grace, J. C.: Modelling the Interception of Solar Radiant Energy and Net Photosynthesis In: Forest Growth: Process Modelling of Responses to Environmental Stresses Chapter 11, 1989, 142-157.
- Grant, R. H., Heysler, G. M., Gao, W.: Photosynthetically-active Radiation: sky radiance distribution under clear and overcast conditions, Agr. and Forest Meteor. 82, 1996, 267-292.
- Klabzuba, J., Kožnarová, V.: Zářivá energie jako faktor mikroklimatu porostu. Praha 1991, VŠZ, 118 s.
- Kostrej, A. et al.: Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín. SPU Nitra, 1998, 179 s.
- Larcher, W. (1980): Physiological Plant Ecology, Springer - Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 391 s.
- Mašková, M., Rožnovský, J.: Global and photosynthetically active radiation in the upper parts of the Beskids. Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorology, Vol. 19, 1999, 41-62.
- Matejka, F., Hurtalová, T.: Podiel globálneho žiarenia na celkovej variabilite radiačnej bilancie. In: Vzťahy medzi slunečným zářením a atmosférickými ději., Hradec Králové 1981, 185-194.
- Matějka, F., Huzulák, J.: Analýza mikroklimy porastu (Analysis of the plant cover microclimate). Veda, Bratislava, 1987, 232 s.
- Petr, J. et al. Počasí a výnosy. Praha, SZN1987, 368 s.

- Ross, J.K.: Radiative transfer in plant communities. In : Montheith, J.L. (ed) : Vegetation and the Atmosphere. Vol. 1. Academic Press, London- New York- San Francisco, 1976, 15-33.
- Rožnovský, J., Brotan, J.: Hodnocení globálního záření v roce 1998 v oblasti Žabčic. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.(Brno), 1999, XLV, No. 3, 7-16.
- Rožnovský, J., Mašková, M.: The Variability of Photosynthetically Active Radiation in Spruce Stands. In: Meteorological Processes in the Boundary Layer of the Atmosphere, Bratislava, 1996, 64-71.

Adresy autorů

¹ Ústav krajinné ekologie MZLU v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

² Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 842 28 Bratislava, Slovenská republika