

KVANTIFIKÁCIA EKOFYZIOLOGICKÝCH ČINITEĽOV V ZÁVISLOSTI OD RASTOVÉHO A VÝVOJOVÉHO STAVU PORASTU

A. Kostrej

Vysoká škola poľnohospodárska, NITRA, Slovenská republika

ÚVOD

V matematických modeloch produkčného procesu porastu (MM PPP) sa predpokladá využívať aktuálne informácie o zmenách vonkajších faktorov prostredia, ktoré sú bezprostredne spojené so životnou činnosťou rastlín rastom a ich produktivitou (Bichele et al., 1982, Rabbinge, 1982). Medzi základné podmienky, ktoré sa využívajú pre tieto ciele, patria meteorologické faktory (Goudrian, 1977). Výhodou využívania týchto faktorov ako vstupných parametrov MM PPP je ich ľahká dostupnosť. Obyčajne sa merajú v existujúcej sieti meteorologických staníc a nepotrebujú špeciálne experimenty. V práci vyhodnocujeme a kvantifikujeme dynamické vzťahy medzi radiačným teplotným a vlhkosťným režimom vzduchu a rastovými charakteristikami obilnín na základe meraní v existujúcej sieti meteorologických staníc a priamo v poraste.

MATERIÁL A METÓDA

Získané experimentálne výsledky o kvantitatívnych dynamických vzťahoch medzi radiačným teplotným a vlhkosťným režimom a rastovým stavom porastu sa opierajú o viacročné poľné pokusy s obilninou, ktoré boli lokalizované v agroklimateckom regióne agroekologickej oblasti Nitry.

Základná príprava pôdy, sejba, ošetrovanie a hnojenie porastu sa uskutočnilo podľa zaužívaných technologických zásad. Počas vegetačného obdobia sa robili v štyroch opakovaniach tieto merania v poraste obilnín:

- dynamika narastania indexu listovej pokrývnosti ($LAI, m^2 \cdot m^{-2}$),
- dynamika narastania hmotnosti celkovej sušiny ($W, kg \cdot m^{-2}$),
- momentálna vlhkosť pôdy (V , obj. %) v hĺbkach 0,1, 0,3 a 0,5 m,
- teplota ($I_p, ^\circ C$) a relatívna vlhkosť vzduchu (r_p , %) v poraste 0,1 m nad povrchom pôdy
- hustota toku slnečného žiarenia I_0 dopadajúceho na porast ($kJ \cdot m^{-2}$), I_p žiarenie dopadajúce na pôdu ($kJ \cdot m^{-2}$).

Merania hustoty toku globálneho žiarenia KIPP sme robili solarimetrom nad porastom a trubícovými solarimetrami v poraste v piatich až siedmich medziriadkoch najviac charakterizujúcich porast v piatich až siedmich opakovaniach od steblovania do konca voskovej zrelosti.

Množstvo absorbovaného slnečného žiarenia porastom I_{ab} sme vypočítali:

$$I_{ab} = I_0 - I_p$$

kde: I_0 - hustota toku slnečného žiarenia dopadajúceho na porast ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)

I_p - žiarenie dopadajúce na pôdu ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$).

Tieto merania nám umožnili určiť a vypočítať radiačné charakteristiky, ako je percento žiarenia porastom absorbovaného z dopadajúceho žiarenia a percentom žiarenia porastom prepusteného z dopadajúceho žiarenia.

Súbežne s týmito meraniami v poraste sa uskutočnili merania teploty vzduchu (t_m , $^{\circ}\text{C}$) v štandardizovanej meteorologickej búde v 2 m výške nad porastom.

Merania t_p , r_p , V , t_m , r_m a I_0 sa realizovali automatizovaným meracím zariadením v zostave meracie snímače - meracia ústredňa - osobný počítač. Experimentálne výsledky sa spracovali pomocou výpočtovej techniky za využitia programových systémov STATGRAPHICS, QUATTRO PRO FOR WINDOWS.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Kvantitatívne určovanie radiačného režimu porastu na rozdiel od iných mikroklimatických charakteristík, ako je teplota a vlhkosť vzduchu, je pomerne zložitá. Zložitosť kvantitatívneho opisu radiačného režimu porastu vyplýva zo zvláštností, ktoré jeho štúdium sťažujú tak v teoretickom, ako aj v experimentálnom zmysle (Kostrej, 1994).

Radiačný režim sa zvyčajne v poraste zisťuje priamym meraním, avšak možný je i druhý spôsob určenia a to teoreticky metódami matematického modelovania. Prvý spôsob využíva veľké množstvo empirických veličín, na základe ktorých robí detailnú kvantitatívnu analýzu. Druhý spôsob sa zakladá na zovšeobecňovaní experimentálnych údajov v tvare aproximovaných, empirických a polyempirických formlí, spojených s charakteristikami radiačného režimu i rýchlosti fotosyntézy s výstižným opisom štruktúry porastu. Týmto spôsobom možno dospieť k predstave, ako reálne porasty v konkrétnych podmienkach pestovania rastlín majú rozložené žiarenie v profile porastu.

Existujú veľmi zložité modely rozloženia svetla v poraste (Geng *et al.*, 1986). Niektorý z nich je pre riadkový výsev, iné sú pre voliteľné rastliny s nerovnomerným rozložením listov. Tieto modely nie sú vhodné pre použitie v poľnohospodárstve. Okrem toho väčšina z nich zahŕňa režim integrálnej a krátkovlnnej radiácie, ktorá zvyčajne nie je pre modelovanie produkčného procesu taká dôležitá.

Ako základné ukazovatele radiačného režimu porastu sú funkcie absorpcie a transmisie žiarenia, ich experimentálne určovanie v porastoch poľných plodín je veľmi zložitá. Transmisia a absorpcia žiarenia značne závisí od výšky slnka, hustoty porastu i orientácie listov a iných faktorov.

Absorpcia žiarenia v závislosti od veľkosti indexu listovej pokrývnosti (LAI) meraná v porastoch obilovín má opačnú tendenciu ako jeho transmisia. Pri nižších hodnotách LAI je absorpcia žiarenia nižšia. Pri nízkych hodnotách absorpcie sa dosahujú vysoké hodnoty transmisie.

Naše merania napr. v porastoch husto siatych obilnín ďalej ukazujú, že z hľadiska rovnomernej absorpcie žiarenia v profile porastu je dôležitým ukazovateľom i výškové rozloženie fotosyntetizujúceho olistenia. Zistili sme, že zvýšením hustoty porastu zo 100 na 650 rastlín.m⁻² v období maximálneho rozvoja listovej plochy klesol počet živých listov a vplyvom toho sa znížila aj výška olistenia fotosyntetizujúcich listov.

Na základe vyše 500 experimentálnych meraní sme určili závislosti zmien transmisie žiarenia od veľkosti LAI a hmotnosti suchej biomasy (W) v porastoch viacerých odrôd obilnín.

Regresná analýza na hranici významnosti 0,99 vyjadrená korelačným koeficientom vymedzuje jeho hodnoty: medzi transmisiou žiarenia LAI $r = 0,96$ až $0,98$ medzi transmisiou a $W_r = 0,91$ až $0,93$.

Medzi absorpciou žiarenia a veľkosťou LAI sa r pohyboval v rozmedzí $0,88$ až $0,92$ a medzi absorpciou a W v rozpätí $0,86$ až $0,90$. Veľmi nízke hodnoty korelačného koeficientu sú na začiatku a na konci vegetácie. Rozdielne hodnoty transmisie a absorpcie žiarenia pri tej istej veľkosti LAI sú na začiatku a ku koncu vegetácie, keď sa zväčšuje plocha stebiel a klasov. Z toho vyplýva, že tak transmisia, ako aj absorpcia žiarenia majú ontogenetický trend, preto pri sledovaní závislosti transmisie a absorpcie žiarenia počas vegetácie v závislosti od LAI a W v rozdielnych momentoch vegetácie efektívnych teplôt (SET), ktorými vyjadríme ontogenetický vývoj rastlín v poraste, a tým i zmeny absorpcie žiarenia vplyvom ontogenézy. Vzťah medzi koeficientom absorpcie (K_{ab}) a koeficientom transmisie (K_{tr}) a veľkosťou LAI (m².m⁻²) v určitom momente vegetácie (index j) sa vyjadruje funkciou:

$$K_{tr}(LAI) = \exp(-OZR_j \cdot LAI)$$

$$K_{ab}(LAI) = K_{ab \max} / I - \exp(OZR_j \cdot LAI)$$

kde OZR = empirická funkcia, charakterizujúca ontogenetickú zmenu optickej hustoty porastu, určená zmenou celkovej asimilačnej plochy a asimilačnej plochy jednotlivých orgánov

$$K_{ab} = \text{priemerná maximálna hodnota} = 0,93$$

Dynamika OZR sa dá opísať rovnicou:

$$OZR_j = 0,0176 / SET_j (100)^2 - 0,093 (SET_j) 100 / + 0,53$$

kde SET = suma efektívnych teplôt.

Pri experimentálnom preverovaní neprevýšila stredná chyba hodnotu 1,50. Uvedené analytické rovnice sa môžu využiť pre nedeštrukčný spôsob určovania veľkosti listovej plochy.

Na základe radiačných charakteristík porastu (80 priemerných údajov o absorpcii a transmisii žiarenia) sme na PC zostavili závislosti absorpcie (K_{ab}) a transmisie (K_{tr}) žiarenia od sušiny listov (WL) a veľkosti LAI. Závislosti sú nelineárne a dajú sa vyjadriť:

$$K_{ab}(WL) = 1 - WL (6,4 + 0,91 WL)^{-1}$$

$$K_{ab}(\text{LAI}) = \exp(-0,75 \text{ LAI})$$

$$K_{tr}(\text{WL}) = (6,7 + 1,01 \text{ WL})^{-1}$$

$$K_{tr}(\text{LAI}) = 0,95 / 1 - \exp(0,56 \text{ LAI})$$

Korelačný koeficient mal tieto hodnoty: medzi K_{ab} a WL $r = 0,914 + 0,02$, medzi K_{ab} a LAI

$$r = 0,894 + 0,04, \text{ medzi } K_{tr} \text{ a WL}$$

$$r = 0,890 + 0,04 \text{ a medzi } K_{tr} \text{ a LAI } r = 0,988 + 0,002.$$

Teplotným a vlhkosným prostredím v poraste je vzduch a pôda. Pre charakteristiku tohto prostredia existuje celý rad ukazovateľov: teplota a vlhkosť vzduchu nad porastom, na rôznych úrovniach v profile porastu, teplota povrchu pôdy atď. Tieto parametre teplotného a vlhkosného režimu podstatne ovplyvňujú rýchlosť priebehu takých základných fyziologických procesov, ako je fotosyntéza, dýchanie, vodný režim, rast a pod.

Za základné kvantitatívne charakteristiky stavu porastu sa použili hodnoty veľkosti LAI a údaje o hmotnosti sušiny (W). Vzájomné vzťahy medzi nimi určujú stupeň zatienenia pôdy porastom, rýchlosť aktuálnej evapotranspirácie, rýchlosť transpirácie, turbulentnú výmenu tepla v prízemnej vrstve vzduchu a v konečnom dôsledku termický režim porastu.

Údaje o pôdnej vlhkosti veľmi komplikujú výpočet teploty v poraste (t_p) v dôsledku zmeny tepelnej vodivosti. Pre kvantitatívnu charakteristiku termického režimu porastu sa použila priemerná denná teplota vzduchu v poraste. Východiskové údaje na určenie priemernej dennej teploty vzduchu porastu (t_p) sú údaje o priemernej teplote vzduchu meranej v meteorologickej búde (t_m).

Korelačné koeficienty medzi uvedenými charakteristikami boli preukazné:

$$r(t_m, \text{LAI}) = 0,68 + 0,05$$

$$r(t_m, t_p) = 0,86 + 0,05$$

$$r(t_m, W) = 0,47 + 0,06$$

V porastoch pri LAI = 1 v intervale teplôt 12,0 až 18,0 °C je teplota v poraste zhodná s t_m . Pri teplotách vzduchu 30 °C a viac je teplota v poraste o 2 až 2,5 °C vyššia ako teplota v meteorologickej búde. Toto zistenie svedčí o tom, že porasty obilnín regulujú teplotný režim v závislosti od prehriatia rastlín a pôdy.

Pri LAI 5 až 6 m².m⁻² sa t_p prakticky nemení. Modelové vyjadrenie teploty vzduchu v poraste v závislosti od dynamiky zmien teploty meranej v meteorologickej búde (t_m), veľkosti LAI a obsahu vody v pôde (V) je takéto:

$$t_p(t_m, \text{LAI}, V) = 0 \quad t_m \text{ } 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_p(t_m, \text{LAI}, V) \equiv \frac{1,84\text{LAI} / 0,36t_m - 0,71_n(t_m - 100) /}{(4,2 + \text{LAI}) / 1 + 8,5 \exp(-0,05V) /} \quad 10^\circ\text{C} \quad t_m \text{ } 26^\circ\text{C}$$

$$t_p(t_m, LAI, V) = \frac{7,0 LAI}{(4,2 + LAI) / 1 + 8,5 \exp(-0,05V)} t_m \text{ } 10^0\text{C}$$

Podobne ako teplota, aj vlhkosť vzduchu je dôležitým kvantitatívnym ukazovateľom fytoklímy porastu, určujúcim rýchlosť priebehu fyziologických procesov, rast a produkčnú výkonnosť. Vysoká korelačná závislosť medzi vlhkosťou vzduchu v medzilistovom priestore v poraste (r_p) a rýchlosťou transpirácie s prieduchovým odporom a vodným potenciálom listov (Bichele et al., 1982) dovoľuje použiť tento ukazovateľ ako kvantitatívny parameter do matematických modelov produkčného procesu.

Naše zistenia kvantitatívnych dynamických vzťahov medzi teplotným a vlhkosťným režimom a rastovým stavom porastu nielen korešpondujú s výsledkami z literatúry (Tooming, 1984, Keulen, Seligman, 1987, Pennig de Vries, 1989), ale ich aj tvorivo rozvíjajú.

LITERATÚRA

- BICHELE, Z.N. et al.: Matematičeskoje modelirovanije transpiraciji i fotosinteza rastenij pri nedostatke počvennoj vlagi. Leningrad, Gidrometeoizdat 1982
- GENG, S. et al.: Analysis and simulation temperature and solar radiation. /Report/. Wageningen, CABO 1986(5)
- GOUDRIAN, J.: Crop micrometeorology and simulation study. Wageningen, Pudoc 1977
- KEULEN, H. VAN - SELIGMAN, N.G.: Simulation of water use nitrogen nutrition and growth of a spring wheat crop. Wageningen. Pudoc 1987
- KOSTREJ, A.: Modelovanie vplyvu ekologických faktorov na rast, produkciu a produkčný proces. In: Zbor. Modely a modelovanie rastlinnej produkcie, Nitra, 1994
- PENNING DE VRIES, F.W.T. et. al: Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Wageningen, Pudoc 1989
- RABINGGE, R.: Pests, diseases and crop production. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.-LAAR H.H.VAN: Simulation of plant growth and crop production. Wageningen, Pudoc 1982
- TOOMING, CH.G.: Ekologičeskije principy maksimal'noj produktivnosti posevov. Leningrad, Gidrometeoizdat 1984.