

Energinių procesų agrofito aplinkoje aspektai

Povilas Algimantas Sirvydas,

Paulius Kerpauskas

*Lietuvos žemės ūkio universitetas,
Šilumos ir biotechnologijų
inžinerijos katedra,
Studentų g. 11, LT-53361 Akademija,
Kauno r.,
el. paštas: algimantas.sirvydas@lzuu.lt*

Gamtoje kiekvienam procesui susiklostė savita medžiagų ir energijos apykaita. Daugelis gamtos išteklių, tarp jų ir energetinių, natūraliai atsinaujina. Pagrindinis atsinaujinančios energijos šaltinis Žemėje yra saulės energija – jos spindulinės energijos, transformuotos į kitas energijos rūšis, panaudojimas. Žmogus panaudoja ne visas gamtinių energinių išteklių galimybes, o tik tas, kurios tam tikru momentu atitinka poreikius ir technologinio išsivystymo galimybes.

Viena aktualiausių problemų yra augalo, kaip maisto ir transformuotos saulės energijos šaltinio, maksimalus panaudojimas. Žmonių ar gyvulių maitinimui ir energijai sunaudojama tik 3,5% organinių medžiagų, kurias pagamina sausumos augalai. Fotosintezės būdu augale sukuriama 90–95% sausų organinių medžiagų. Šis procesas vyksta dėl saulės spindulinės energijos poveikio. Augalas organinei medžiagai kurti panaudoja tik apie 2% saulės spindulinės energijos, 98% saulės energijos paverčiama pačia prasčiausia energijos rūšimi – šiluma, kuri atiduodama aplinkai konvekciniiais šilumos mainais ir vandens garo pavidalu. Augalų termoenerginė apykaita su agrofito aplinka yra svarbus veiksnys, turintis įtakos fotosintezės procesui.

Straipsnis skirtas energinės apykaitos agrofito aplinkoje analizei termino žineriniu aspektu.

Raktažodžiai: atsinaujinančios energijos šaltiniai, gamtos energiniai ištekliai, augalo energinė apykaita

1. ĮVADAS

Mūsų pasaulis, nagrinėjant termodinaminiu požiūriu, sudaro termodinaminę sistemą. Ja gali būti ląstelė, gyvas organizmas, biosfera, augalas ir t. t. Gyvas organizmas (augalas, gyvūnas) kaip termodinaminė sistema yra atvira, nes su supančia aplinka vykdo nepertraukiamą energijų ir medžiagų apykaitą. Parametrai, kuriais galima apibūdinti augalo energijų būvį tam tikru laikotarpiu, laikomi pastoviais, todėl jiems nagrinėjamo laikotarpio tarpiniu būdingas stacionarumas. Šio fakto pripažinimas leidžia teigti, kad neapverčiamų procesų ir atvirų sistemų termodinamika gali būti taikoma gyvoms sistemoms [1].

Energijų virsme energija neišnyksta, todėl bet kuriam augalo (gyvo organizmo) gyvavimo momentui galima rašyti energijų balanso lygtį:

$$\Sigma Q = 0. \quad (1)$$

Augalo balanso metodas taikytas daugelyje darbų. Išsamiausiai augalo energijų balansas nagrinėtas [2–4] siekiant įvertinti jo ryšį su fiziologiniais procesais, vykstančiais augale, – transpiracija, fotosinteze. Pastaruoju metu augalo energijų balansas panaudotas kuriant naujas termines agrotechnologijas [5–8].

Gyvojoje gamtoje negali vykti nei vieno gyvybinio proceso be judėjimo, jam būtina varomoji jėga. Judėji-

mui varomąją jėgą gali suteikti temperatūrų skirtumas, potencialų skirtumas, koncentracijų skirtumas ir t. t. Seka, kad realūs neapverčiami procesai vyksta veikiant atitinkamai temperatūros, koncentracijos, elektros potencialo ir kt. gradientams. Augalas, priklausydamas nuo sąlygų, agrofito aplinkoje teoriškai patiria 11 būdingų gyvenimo atvejų, kurie apibūdina galimus ilgalaikius ir pereinamuosius procesus, susietus su organinės medžiagos kūrimu. Energinių procesų, vykstančių agrofito aplinkoje, termodinaminė analizė atskleidžia veiksnius, kuriuos reguliuojant galima procesus, vykstančius tarp augalo ir aplinkos, pakreipti norima linkme ir to pagrindu kurti naujas termines agrotechnologijas [9–11].

Augalo lapo paviršiuje vyksta sudėtingi termohidromechaniniai procesai. Čia CO₂ juda augalo lapo paviršiaus kryptimi. Tame pačiame pasienio sluoksnyje, bet priešinga kryptimi, šalinami H₂O garai, O₂ ir šiluma kaip metabolitai. Taigi lapo paviršiuje susidaro du vienas kitam priešingi srautai. Jie priešingi ir fiziologiniu požiūriu. CO₂ naudojamas organinei medžiagai kurti, O₂, Q ir H₂O – organinės medžiagos gamybos atliekos – metabolitai. Dėmesys nukrypsta į asimiliacinio aparato teorinį pajėgumą (apie 20%) [2] ir faktinį saulės energijos panaudojimą kuriant organinę medžiagą (apie 2%). Minimumo (limituojančio veiksnio) dėsnis, galiojantis augalų pasaulyje, nurodo, kad gyvybinius procesus, tarp jų ir derlių, esant kitoms vienodoms sąlygoms, sąlygoja minimalus veiksnys. Šiuo požiūriu augalo transpiracijos

metu vykstantys energiniai ir drėgmės mainai su agrofito aplinka vykdo vieną svarbiausių augalo gyvenime procesų – asimiliacijos proceso atliekų pašalinimą. Vertinant metabolitų pašalinimo svarbą, išplaukiančią iš minimumo dėsnio, ypač svarbu turėti teorinį termoenergi- nių procesų agrofito aplinkoje vertinimą.

2. PROCESŲ AGROFITO APLINKOJE ENERGINIS VERTINIMAS

Augalas absorbuoja 34–37% saulės integralinės spinduliuotės. 96–98% absorbuotos spindulinės energijos augalas paverčia pačia paprasčiausia energijos rūšimi – šiluma [2, 12]. Visą šilumą augalas atiduoda aplinkai. Galimi du šilumos atidavimo aplinkai procesai: pirmasis – tai tiesioginis augalo organo šilumos atidavimo supančiai aplinkai procesas, kurį aprašo Niutono dėsnis; ant- rasis – tai šilumos sunaudojimas vandens garinimui (transpiracijai): vandens garo pavidalu ji atiduodama aplinkai. Šilumos vandens garo pavidalu atidavimo procesas yra gana sudėtingas bei priklauso nuo augalo biologi- nių ir aplinkos veiksnių kitimo per parą. Vandens garavimo dėsningumas aprašomas Daltono dėsniu laisvai garuojančiam vandens paviršiui, taip pat Stefano dėsniu, įvertinančiu Stefano srautus kapiliariniuose poringuose kūnuose. Šie dėsningumai nevisiškai apibūdina transpi- racijos procesą. Daltono ir Stefano dėsningumai aprašo priklausomybę nuo parcialinių slėgių skirtumo ir visai neįvertina augalo adaptacijos tam tikru energetinių mai- nų su aplinka atveju.

Augalai, nuėję ilgą evoliucijos kelią, maksimaliai pri- sitaikė prie aplinkos veiksnių. Jie selektyviai sugeria sau- lės energiją. 80–95% saulės spindulinės energijos auga- lai sugeria ultravioletinių ir fotosintetinių aktyvių spin- dulių, kurių bangos ilgis 0,20–0,70 μm , srityje. Šioje dalyje sukaupia apie 45–50% saulės spinduliuotės. Trum- pųjų infraraudonųjų spindulių augalai sugeria 5–15% (0,7–1,0 μm). Augalų (mezofitų) lapai 22–24% krintan- čios integralinės (0,2–4,0 μm) saulės spinduliuotės pra- leidžia, 41–44% atspindi, o 34–37% sugeria. Augalai fotosintezei panaudoja ne daugiau kaip 2–4% sugertos saulės energijos. Likusi augalų sugerta saulės energija (96–98%) sunaudojama šilumos mainams su aplinka ir transpiracijai [2, 12].

Augalai tam tikrais gyvavimo periodais jautrūs kie- kybiniais aplinkos veiksniams, ypač drėgmei, aplinkos temperatūrai, saulės spinduliuotei. Šie trys veiksniai tar- pusavyje glaudžiai susiję. Juos jungia augalo energijų apykaita su aplinka. Augalo organo energijų balansą (1), įvertinus pagrindinių veiksnių įtaką, bet kuriuo nagrinė- jamu atveju galima rašyti taip:

$$abQ_{sp} = aQ_1 = \pm Q_2 + Q_3 \text{ arba } abq_{sp} = aq_1 = \pm q_2 + q_3; \quad (2)$$

čia a – koeficientas, įvertinantis absorbuotos saulės ener- gijos dalį, kuri augale virsta šiluma % arba dalimis, $a = 0,96\text{--}0,98$; b – augalo absorbuojama integralinės sau- lės spinduliuotės dalis % arba dalimis, $b = 0,34\text{--}0,37$;

Q_{sp} , q_{sp} – atitinkamai integralinės saulės spinduliuotės srautas J/s, srauto tankis J/(s·m²); Q_1 , q_1 – atitinkamai augale absorbuojamos saulės energijos srautas J/s, šilu- mos srauto tankis J/(s·m²); Q_2 , q_2 – atitinkamai šilumos srautas, atiduodamas arba gaunamas iš aplinkos šilumos mainais, J/s, šilumos srauto tankis J/(s·m²); Q_3 , q_3 – atitinkamai šilumos srautas, sunaudotas transpiracijai– garinimui ir atiduodamas aplinkai vandens garo pavidalu, J/s, srauto tankis J/(s·m²).

Pagrindiniu transpiracijos – vandens garinimo orga- nu augale yra lapas. Lapai ploni, todėl galima laikyti, kad lapo temperatūra abiejose pusėse vienoda. Tuomet išskleidus ir pertvarkius (2) lygtį gaunama:

$$w = \frac{abq_{sp} - 2\alpha(t_1 - t_0)}{r} = \frac{aq_1 - 2\alpha(t_1 - t_0)}{r}; \quad (3)$$

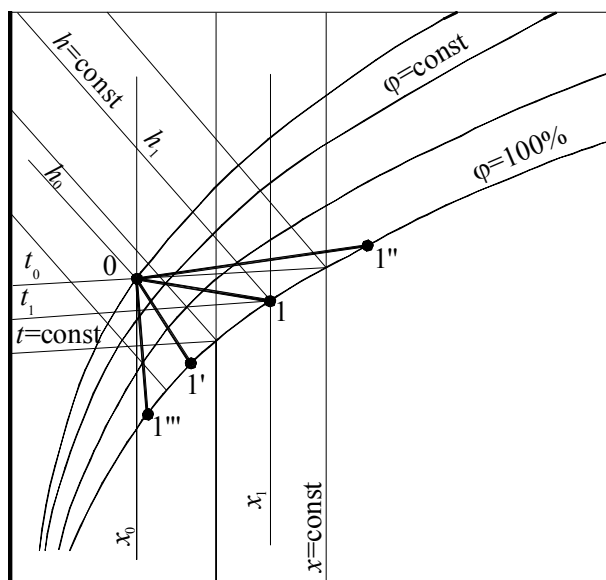
čia w – transpiracijos intensyvumas kg/(m²·s); r – van- dens garavimo šiluma J/kg; α – augalo lapo šilumos atidavimo koeficientas J/(m²·K·s); t_1 , t_0 – atitinkamai au- galo lapo temperatūra ir aplinkos oro temperatūra °C.

Duomenys apie energijų pasiskirstymą tarp sudeda- mujų augalo energinio balanso narių prieštaringi [2, 12]. Siekiant apibūdinti kai kuriuos transpiracijos proceso energinių ir drėgmės mainų su agrofito aplinka dėsningumų ir galimybes juos nagrinėti h - x diagramoje, at- liekama šių procesų termodinaminė analizė.

3. PROCESŲ AGROFITO APLINKOJE ENERGINĖ ANALIZĖ

Skysčio fazės vandens ir dujinės fazės vandens garų, esant numatytiems temperatūrai ir suminiam slėgiui, ter- modinaminė pusiausvyra yra tada, kuomet cheminiai po- tencialai abiejose fazėse vienodi, t. y. $\mu_{sk} = \mu_g$ J/mol. Se- ka, kad vandens potencialas šiuo atveju yra lygus 0. Žiotelinės ir kutikulinės transpiracijos atveju teigiama, kad vandens potencialas lapo paviršiuje gali būti pri- imamas $\mu_{sk} - \mu_g = 0$ [13]. Esant tokiai prielaidai (tai ga- lioja, kai temperatūrų skirtumas mažas) labai supras- tėja transpiracijos proceso nagrinėjimas h - x (entalpija– drėgnis) diagramoje. Seka, kad oro ir vandens garo mi- šinio būklę augalo lapo paviršiuje h - x diagramoje vaiz- duoja ribinė kreivė $\varphi = 100\% = const$. Taigi galima teigti, kad norint nustatyti sauso oro ir vandens garų mišinio parametrus virš transpiruojančio augalo lapo paviršiaus, būtina žinoti aplinkos oro temperatūrą t_0 , jo santykinę drėgmę φ_0 ir transpiruojančio augalo paviršiaus temperatūrą t_1 .

Žinodami t_0 , φ_0 ir t_1 , h - x diagramoje galime pavaiz- duoti transpiruojančio lapo energinius mainus su supan- čia aplinka ir juos analizuoti įvairiomis energinių mainų su agrofito aplinka sąlygomis. h - x diagramoje linijų $t_0 = const$ ir $\varphi_0 = const$ sankirtoje randame tašką 0, kuris apibūdina nagrinėjamos aplinkos oro parametrus. Linijų t_1 ir $\varphi = 100\%$ sankirtoje randame tašką 1, kuris apibū- dina oro parametrus augalo lapo paviršiuje (1 pav.). Pri- klausomai nuo transpiruojančio augalo lapo paviršiaus temperatūros t_1 (t. y. taškų 1, 1', 1'', 1''' ir t. t.) kreivėje



1 pav. Energiųjų procesų, vykstančių tarp augalo ir agrofito aplinkos esant skirtingoms transpiruojančio lapo temperatūroms, vaizdavimo schema $h-x$ diagramoje

$\varphi = 100\%$ padėčių ir taško 0 gauname tieses, jungiančias taškus 0-1, 0-1', 0-1'', 0-1''' ir t. t.

Aplinkos oras turi drėgmės, todėl jis sutalpinti-absorbuoti drėgmės gali mažiau negu absoliučiai sausas oras. Būtiną, minimalų oro kiekį, kuris gali absorbuoti 1 kg augalų išgarintos drėgmės, galime nustatyti, žinant oro drėgnių x_1 ir x_0 reikšmes, pagal lygtį:

$$G_{\min} = \frac{1}{x_1 - x_0}; \quad (4)$$

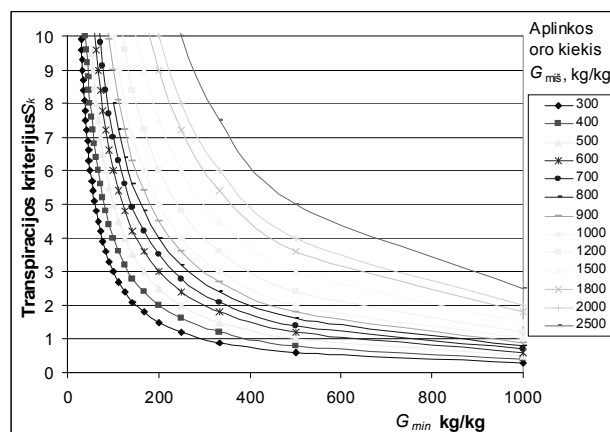
čia G_{\min} – minimali oro masė, kuri pajėgtų absorbuoti 1 kg augalų išgarintos drėgmės kg/kg; x_1, x_0 – atitinkamai oro drėgnis augalo paviršiuje ir jį supančio oro aplinkoje, esant atitinkamoms temperatūroms, kg/kg.

Transpiruojančio augalo lapo paviršiuje (taškai 1, 1', 1'', 1''' ir t. t.) drėgnasis oras, kurio minimali masė $G_{1\min}$ kg, visiškai prisotinama vandens garais, išgaravus 1 kg drėgmės. Pasišalinanti oro masė $G_{1\min}$ kg nuo lapo paviršiaus (o tai būtina sąlyga transpiracijos procesui) susimaišo su tam tikra aplinkos oro (taško 0) mase G_0 kg. Dėl šių dviejų $G_{1\min}$ ir G_0 masės srautų sąveikos susidaro lapo paviršiaus pasienio sluoksnyje naujų parametru oro mišinys, kurio masė $G_{miš}$. Šių abiejų oro masių santykį pažymime $S_k = \frac{G_0}{G_{1\min}}$ ir toliau, įvertinant

šio santykio fizinę prasmę, vadiname jį transpiracijos kriterijumi. Oro mišinio masę $G_{miš}$ apskaičiuojame iš lygties:

$$G_{miš} = G_{1\min} + G_0 = (1 + S_k)G_{1\min}. \quad (5)$$

Transpiracijos procese dalyvauja didžiulės oro masės. Naudodamiesi (4) ir (5) lygtimis 2 pav. pateikiame oro masės ($G_{miš}$), dalyvaujančios transpiracijos procese, priklausomybę nuo transpiracijos kriterijaus S_k ir mini-



2 pav. Oro masės $G_{miš}$ kg/kg, dalyvaujančios transpiracijos procese išgarinant 1 kg drėgmės, priklausomybė nuo transpiracijos kriterijaus S_k ir minimalios, visiškai prisotintos drėgmės oro masės $G_{1\min}$ augalo lapo paviršiuje

malios oro masės, kuri pajėgi absorbuoti 1 kg augalų išgarintos drėgmės $G_{1\min}$.

Santykis $S_k = \frac{G_0}{G_{1\min}}$ parodo, kad aplinkos oras $G_0 =$

$S_k G_{1\min}$ kg, išgaravus 1 kg drėgmės, susimaišo su oru, visiškai prisotintu vandens garais, kurio masė $G_{1\min}$ kg.

Vadinasi, galima rašyti šilumos ir drėgmės masės balansų lygtis augalo pasienio sluoksnyje nagrinėjamos sąlygomis.

$$h_1 + S_k h_0 = (1 + S_k) h_{miš}, \quad (6)$$

$$x_1 + S_k x_0 = (1 + S_k) x_{miš}; \quad (7)$$

čia $h_1, h_0, h_{miš}$ – atitinkamai oro lapo paviršiuje (1 taške), aplinkos oro (0 taške) ir naujai susidariusio oro mišinio entalpija J/kg; $x_1, x_0, x_{miš}$ – atitinkamai oro drėgniai kg/kg.

Pertvarkius (9) ir (10) lygtis galima surasti S_k transpiracijos kriterijaus išraišką:

$$S_k = \frac{h_1 - h_{miš}}{h_{miš} - h_0} = \frac{x_1 - x_{miš}}{x_{miš} - x_0} = \frac{G_0}{G_{1\min}} = \frac{Q_3}{Q_2}. \quad (8)$$

Transpiracijos kriterijus S_k augalo gyvenime yra ypatingas, nes jis nusako energijų pasiskirstymą tarp transpiracijos ir šilumos mainų su aplinka ir išreiškiamas su naudotų energijų augalui išgarinant 1 kg drėgmės santy-

kiu $S_k = \frac{Q_{transpiracijos}}{Q_{šilumos\ mainų}}$. Panaudojus šį transpiracijos kri-

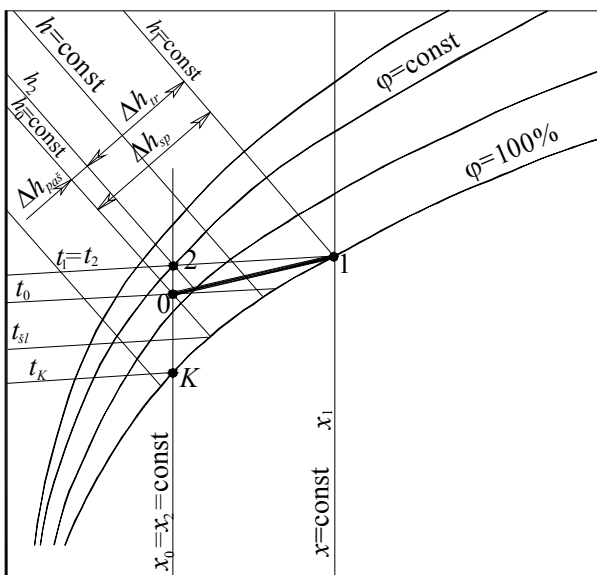
terijų (nedimensinį santykį) galima aprašyti augalo drėgmės materialinį (transpiracijos), energinių mainų su aplinka ir pasiskirstymo tarp jų atvejus.

Lygtis (8) yra tiesės lygtis, jungianti mūsų pažymėtus taškus h_1, x_1 ir h_0, x_0 , t. y. $h-x$ diagramoje tiesė tarp taškų 1 ir 0 (1 pav.). Priklausomai nuo besimaišančių srautų $G_0, G_{1\min}$ ir santykio S_k naujai susidariusio oro

parametrai bus šioje tiesėje, nepaisant transpiracijos intensyvumo. Todėl tiesė, jungianti oro agrofito aplinkoje parametrus atitinkantį tašką 0 su oro parametrų transpiruojančio lapo paviršiuje tašku 1, yra grafinis energinių (transpiracijos ir šilumos mainų) procesų vaizdavimas sistemoje *transpiruojantis augalo lapas* \Leftrightarrow *aplinkos oras* $h-x$ diagramoje. Rodyklės nurodo, kad procesas gali vykti abiem kryptimis, nes jis aprašo garavimą ir kondensaciją (naktį). Pateikta procesų vaizdavimo schema aprašo visus galimus augalo su aplinka energinių (transpiracijos ir šilumos mainų) mainų atvejus. Teoriškai iš tiesų augalo gyvenime galime aptikti 11 energinių ir drėgmės mainų su agrofito aplinka atveju.

4. ENERGINIŲ PROCESŲ AGROFITO APLINKOJE ANALIZĖ $h-x$ DIAGRAMOJE

Transpiracija agrofito aplinkoje pasireiškia augalo termoenergių ir drėgmės mainų procesuose. Šie procesai termoenergių požiūriu turi būti nagrinėjami kontinuu-me, nes jie susieti energijų balanso lygtimis (1) ir (2). Čia pateiksime tikrai dviejų esminių skirtingų transpiracijos proceso atvejų nagrinėjimo pagrindus. Esminį šių dviejų procesų skirtumą apibūdina transpiruojančio augalo lapo temperatūra t_1 . Ji gali būti aukštesnė arba žemesnė už aplinkos oro temperatūrą t_0 . Pradžioje pateikiame transpiruojančio augalo lapo energinių mainų su aplinka schemą $h-x$ diagramoje, kai transpiruojančio lapo temperatūra t_1 aukštesnė už temperatūrą t_0 aplinkoje $t_1 > t_0$ (3 pav.). Transpiracijos procese išgarinant 1 kg drėgmės dalyvauja minimali oro masė G_{1min} , temperatūros t_0 , kuri augalo lapo paviršiuje visiškai prisotinama drėgme ir sušyla iki lapo temperatūros t_1 . G_{1min} randame iš (4) lygties. Minimalų šilumos kiekį Q_2^{pas} , kurį gauna



3 pav. Transpiruojančio augalo lapo energinių mainų su aplinka schema $h-x$ diagramoje, kai lapo temperatūra didesnė už aplinkos temperatūrą $t_1 > t_0$

šildomas oras iš augalo, galime nustatyti naudodamiesi $h-x$ diagrama.

Nagrinėjamam atvejui augalo transpiracijos procesą $h-x$ diagramoje randame taip (3 pav.). Oras, kurio masė G_{1min} , augalo organo paviršiuje pašildomas nuo temperatūros t_0 iki temperatūros t_1 . Oro pašildymo procese oro drėgnis nekinta, todėl $h-x$ diagramoje šildymas pažymėtas tiese $x_0 = const$. Iš taško 0 žymime oro šildymo procesą, kai $x_0 = const$, iki izotermos $t_1 = const$. Tiesių $x_0 = const$ ir $t_1 = const$ sankirtoje gauname tašką 2. Tuomet entalpijų skirtumas parodo šilumos kiekį, kurį gauna 1 kg oro, šildomo nuo t_0 iki t_1 temperatūros. Kadangi šiame procese dalyvauja G_{1min} kg oro, tai šilumos kiekis išgaruojant 1 kg drėgmės bus:

$$Q_2^{pas} = (h_2 - h_0)G_{1min} = \Delta h_{pas} G_{1min}; \quad (9)$$

čia Q_2^{pas} – šilumos kiekis, kurį aplinkos oras gauna augalo paviršiuje išgarinant 1 kg drėgmės, J/kg; h_2, h_0 – oro entalpijos atitinkamai 2 ir 0 taškuose, randamos $h-x$ diagramoje arba skaičiavimais, J/kg; Δh_{pas} – entalpijų skirtumas tarp atitinkamų taškų J/kg.

Šilumos kiekį, kurį augalo organas gauna esant teigiamai efektyviai šiluminei spinduliotei, randame iš lygties:

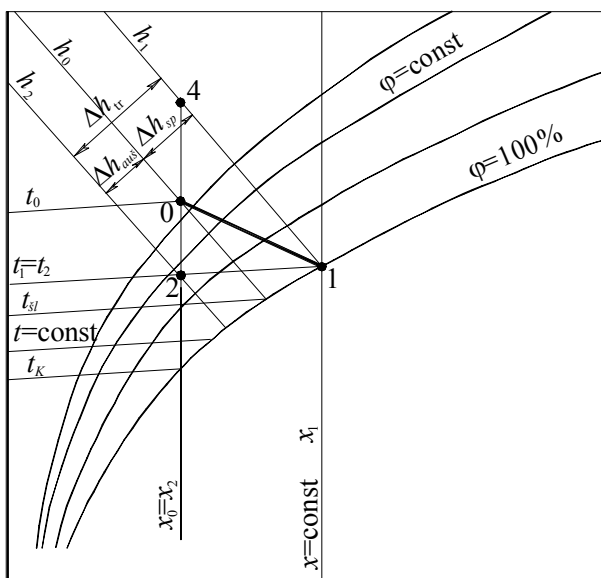
$$aQ_1 = (h_1 - h_0)G_{1min} = \Delta h_{sp} G_{1min}; \quad (10)$$

čia Δh_{sp} – oro entalpijos pokytis, kurį suteikia teigiama efektyvi šiluminė spinduliuotė.

Transpiruojančio augalo lapo energinių mainų su aplinka schemą $h-x$ diagramoje, kai transpiruojančio lapo temperatūra t_1 žemesnė už aplinkos temperatūrą ($t_1 < t_0$), pateikta 4 pav. Transpiracijos procese išgarinant 1 kg drėgmės dalyvauja minimali oro masė G_{1min} , temperatūros t_0 , kuri augalo lapo paviršiuje visiškai prisotinama drėgme ir atšąla iki lapo temperatūros t_1 . G_{1min} randame iš (4) lygties. Minimalų šilumos kiekį, kurį atiduoda aušdamas oras augalui, Q_{2min}^{aus} galime rasti naudodamiesi $h-x$ diagrama. Šį procesą $h-x$ diagramoje randame taip (4 pav.). Oras, kurio masė G_{1min} , augalo organo paviršiuje atšąla nuo temperatūros t_0 iki temperatūros t_1 . Oro atšaldymo procese oro drėgnis nekinta, todėl $h-x$ diagramoje atšaldymas pažymėtas tiese $x_0 = const$. Iš taško 0 žymime oro atšaldymo procesą, kai $x_0 = const$, iki izotermos $t_1 = const$. Tiesių $x_0 = const$ ir $t_1 = const$ sankirtoje gauname tašką 2. Tuomet entalpijų skirtumas $h_0 - h_2 = \Delta h_{aus}$ parodo šilumos kiekį, kurį atiduoda 1 kg oro atšaldamas nuo t_0 iki t_1 temperatūros. Kadangi šiame procese dalyvauja G_{1min} kg oro, tai šilumos kiekis, suteikiamas iš augalo orui išgarinant 1 kg drėgmės, bus:

$$Q_{2min}^{aus} = (h_0 - h_2)G_{1min} = \Delta h_{aus} G_{1min}; \quad (11)$$

čia Q_{2min}^{aus} – šilumos kiekis, kurį aplinkos oras atiduoda augalo paviršiui kol išgaruoja 1 kg drėgmės, J/kg; h_0, h_2 – oro entalpijos atitinkamai taškuose 2 ir 0, randamos $h-x$ diagramoje arba skaičiavimais, J/kg; Δh_{aus} – entalpijų skirtumas tarp atitinkamų taškų J/kg.



4 pav. Transpiruojančio augalo lapo energinių mainų su aplinka schema $h-x$ diagramoje, kai lapo temperatūra mažesnė už aplinkos temperatūrą $t_1 < t_0$

Šilumos kiekį, kurį augalas sunaudoja transpiracijai (abiem atvejais) išgarinant 1 kg drėgmės, randame iš lygties:

$$Q_3 = wr = r = (h_4 - h_2)G_{\text{limin}} = (h_1 - h_2)G_{\text{limin}} = \Delta h_{tr} G_{\text{limin}} \quad (12)$$

Vieną svarbiausių augalo energinės apykaitos rodiklių transpiracijos kriterijų S_k randame iš lygties:

$$S_k = \frac{Q_3}{Q_2^{paš}} = \frac{Q_3}{Q_2^{aus}} = \frac{h_1 - h_2}{h_0 - h_2} = \frac{\Delta h_{tr}}{\Delta h_{aus}} \quad (13)$$

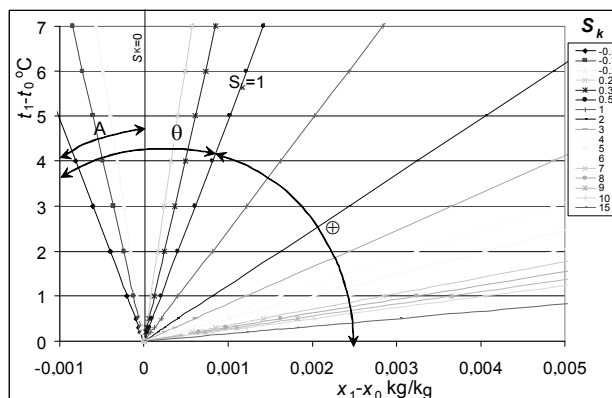
Naudodamiesi (4), (7) ir (8) lygtimis gauname:

$$S_k = \frac{Q_3}{Q_2^{paš}} = \frac{Q_3}{Q_2^{aus}} = \frac{r}{c_p \frac{t_1 - t_0}{x_1 - x_0}} = 2465z \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} \quad (14)$$

čia z – koeficientas, įvertinantis augalo lapo temperatūros įtaką vandens garavimo ir savitajai oro šilumai, kuris randamas iš lentelės.

Transpiracijos kriterijaus S_k priklausomybė nuo drėgnių (x_1-x_0) ir temperatūrų (t_1-t_0) skirtumų pateikta (5 pav.) reikšmėms, kurias aptinkame augalo gyvenime natūraliomis sąlygomis.

Kaip matyti 5 pav., tiesė, kai transpiracijos kriterijus $S_k = 1$, visus transpiracijos kriterijus S_k padalijo į dvi dalis. Procesai vyksta esant transpiracijos kriterijui $1 < S_k < \infty$ ir teigiamai efektyviai šiluminei spinduliuotei, t. y. saulėtu paros metu. Gauta spindulinė saulės



5 pav. Transpiracinio kriterijaus S_k priklausomybė nuo aplinkos oro (t_0, x_0) ir oro transpiruojančiame lapo paviršiuje (t_1, x_1) parametų, esant aplinkos temperatūrai 10°C . A – rasos iškritimo sritis. θ, \oplus – atitinkamai neigiamo ir teigiamo efektyvės šiluminės spinduliuotės sritis

energija sunaudojama transpiracijai ir konvekciniais šilumos mainams su agrofito aplinka.

Transpiracijos kriterijui esant $S_k = 1$, augale nevyksta energinių mainų su aplinka spinduliavimu $Q_{sp} = 0$. Visa šiluma gauta iš konvekcinų šilumos mainų su agrofito aplinka, sunaudojama transpiracijai $Q_2 = Q_3$.

Transpiracijos kriterijui esant $0 < S_k < 1$, šiluma gaunama tik iš konvekcinų šilumos mainų su agrofito aplinka. Gauta šiluma sunaudojama energijos nuostoliams į aplinką padengti. Konvekcinų šilumos mainų metu gauta energija sunaudojama augalo transpiracijai ir efektyviai šiluminei spinduliuotei į aplinką.

Transpiracijos kriterijui esant $-\infty < S_k < 0$, energija, gaunama iš aplinkos konvekcinų šilumos mainų su agrofito aplinka, nekompensuoja visų efektyvino šiluminės spinduliuotės šilumos nuostolių į aplinką. Transpiracija nevyksta. Prasideda ore esančios drėgmės kondensacijos procesas. Išskrentanti rasa suteikia augalui papildomą šilumą, kuri padeda kompensuoti augalo šilumos nuostolius į aplinką. Jei šis procesas vyksta esant žemai, teigiamai aplinkos temperatūrai, ne didesnei kaip 3°C , gali pasireikšti radiacinė šalna. Ši zona 5 pav. pažymėta A. Taigi 5 pav. pateikta transpiracijos kriterijaus tiesių S_k visumos analizė padeda aiškintis agrofito aplinkoje stebimus procesus.

5. IŠVADOS

1. Agrofito aplinkos poveikio augalui prognozavimo ir vertinimo pagrindiniai veiksniai: šviesa, temperatūra ir drėgmė tarpusavyje glaudžiai susiję ir turi būti nagrinėjami vientisai. Juos jungia augalo drėgmės ir energijų apykaitos su aplinka balansai, taip pat agrofito aplinkoje vykstančių termodinaminių procesų dėsninčiai.

Lentelė. Koeficiento z reikšmė, įvertinanti vandens garavimo ir oro savitosios šilumos priklausomybę nuo temperatūros

Augalo lapo temperatūra $^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Pataisos koeficiento z reikšmė	1,019	1,015	1,010	1,005	1,000	0,995	0,991	0,986	0,981

2. Termoenergių procesų agrofito aplinkoje pagrindinis vertinimo rodiklis yra transpiracijos kriterijus, išreikštas sunaudojamų (gaunamų) energijų transpiracijai ir konvekciniams šilumos mainams santykiu. Transpiracijos kriterijų visumos analizė atskleidžia procesų, vykstančių agrofito aplinkoje, dėsninumus.

3. Termoenergių procesų analizė leido nustatyti, kad $h-x$ (entalpija–drėgnis) diagramoje galima grafiškai nagrinėti energinius procesus, vykstančius agrofito aplinkoje.

4. Augalo energinės apykaitos procese dalyvauja didžiulės oro masės, skaičiuojamos keliais šimtais kilogramų kilogramui išgarintos drėgmės, priklausomai nuo agrofito aplinkos sąlygų.

Gauta 2005 03 23

Parengta 2006 11 30

Literatūra

- Zotina A. I. Термодинамический подход и проблема развития, роста и старения. Москва: Наука, 1974. 184 с.
- Илькун Г. М. Энергетичний баланс рослин. Киев, 1967. 234 с.
- Sirvydas A. P. Termoenerginiai procesai augaluose ir jų aplinkoje: Habilitacinis darbas. Kaunas-Akademija: LŽŪA. 1993. P. 296.
- Cochard H., Coll L., Le Roux X., Ameglio T. Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut // *Plant Physiology*. 2002. Vol. 128. P. 282–290.
- Bertram A. Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämpfung. Dissertation. Weihenstephan. 1996. 196 S.
- Kerpauskas P. Lokaluotos aplinkos terminiam piktžolių naikinimui formavimas ir tyrimas. Daktaro disertacija. Akademijs: LŽŪU, 2003. 113 p.
- Vasinauskienė R. Terminės aplinkos poveikio augalams tyrimai ir agrotechnologinis įvertinimas. Daktaro disertacija. Akademijs: LŽŪU, 2004. 99 p.
- Čėsna J., Kerpauskas P., Sirvydas A., Vasinauskienė R. Piktžolių terminio naikinimo aukštatemperatūroje aplinkoje tyrimai // *Aplinkos inžinerija*. 2000. T. VIII, Nr. 1. P. 28–37.
- Sirvydas A., Lazauskas P., Vasinauskienė R., Kerpauskas P. Thermal weed control by water steam. *European Weed Research Society // 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control* Pisa, Italy, 11–13 March 2002–2003. P. 253–262.
- Sirvydas A., Kerpauskas P., Vasinauskienė R., Janulevičius A. Terminio piktžolių naikinimo įrenginių, naudojančių drėgnąjį vandens garą, energetinis įvertinimas // *Vagos*. 2003. Nr. 60. P. 59–65.
- Sirvydas A., Lazauskas P., Vasinauskienė R., Kerpauskas P. Weed control in onions by steam // *Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz*. 2004. Sonderheft XIX. P. 581–587.

12. Шульгин И. А. Солнечная радиация и фотоморфогенез зеленого растения. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д-ра биол. наук. Ленинград, 1970. 40 с.

13. Слейчер Р. Водяной режим растений. Москва: Наука, 1970. 342 с.

Povilas Algimantas Sirvydas, Paulius Kerpauskas

ASPECTS OF ENERGY PROCESSES IN AGRO-FIT ENVIRONMENT

Summary

Each process in nature may be characterized by its own distinctive material and energy exchanges. Many natural resources, including energy resources, are renewed in their natural way. The main renewable energy source on the Earth is solar radiation, received and used directly or after transformation into other kinds of energy. Man utilizes not all possible natural energy resources, choosing only those corresponding to current needs and the available technology level.

The maximal utilization of the plant as a food and transformed solar radiation energy source is one of the most topical research issues. Only 3.5% of organic substances produced by dry land plants are consumed as food by human and animal consumers and utilised for energy needs. In the plant, 90 to 95% of dry organic matter is created by means of photosynthesis. The process itself goes on under the influence of solar radiation. The plant uses for creation of organic matter only 2% of solar radiation energy. The remaining 98% of solar energy is converted into the simplest, unrefined type of energy – heat transferred to the environment by convection heat transfer and in form of water vapour. Plant thermal energy exchange with the agro-fit environment is an important factor influencing the process of photosynthesis. The work is dedicated to the analysis of energy exchanges in an agro-fit environment from the viewpoint of thermal engineering.

Key words: renewable energy sources, natural energy resources, plant energy exchanges

Повилас-Альгимантас Сирвидас, Паулюс Керпаускас

АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ АГРОФИТА

Резюме

Каждый процесс в природе отличается своеобразным обменом вещества и энергии. Возобновление большинства природных ресурсов, в т. ч. и энергетических, происходит естественным путем. Основным источником возобновления энергии является солнечная энергия, непосредственная или трансформированная в другие виды энергии. Природные ресурсы используются людьми в той мере, насколько позволяет уровень технологического развития.

Одной из наиболее актуальных задач является максимальное использование растений в качестве источника питательных веществ и трансформированной солнечной энергии. С пищей людей и кормом животных потребляется энергия лишь

3,5% органических веществ, производимых растительностью суши. В ходе протекающего под воздействием солнечных лучей процесса фотосинтеза создается 90–95% сухого органического вещества, производимого растительностью суши. При этом используется лишь 2% солнечной энергии, а 98% – трансформируется в простейший вид энергии – тепло. Происходит конвекционный обмен, и в виде водяного пара

тепло передается в окружающую среду. Обмен тепловой энергией между растениями и средой агрофита является важным фактором, влияющим на процесс фотосинтеза.

В статье энергетический обмен в среде агрофита рассматривается в аспекте тепловой инженерии.

Ключевые слова: источники возобновления энергии, природные ресурсы энергии, энергетический обмен растений