

Daugiametis polių auginimas ir panaudojimas biokurui

Aldona Kryševičienė

Lietuvos žemdirbystės institutas,
Instituto al. 1, LT-58344
Akademija, Kėdainių rajonas,
el. paštas akryzeviciene@lzi.lt

Algirdas Baltauskas, Algirdas Jasinskas

Lietuvos žemės ūkio universiteto
Žemės ūkio inžinerijos institutas,
Instituto g. 20,
LT-54132 Raudondvaris, Kauno r.,
el. paštas arzalt@mei.lt; aljas@mei.lt

Straipsnyje pateikti daugiameisio polių auginimo ir panaudojimo biokurui bei biokuro iš polių augalų energinio efektyvumo tyrimo rezultatai. Lauko bandymai atlikti 2000–2003 m. Lietuvos žemdirbystės institute (Dotnuvoje) lengvo priemolio giliau karbonatiniame, sekliai glėžnukame rudžemyje (*Epicalcaris – Endohypogleyic Cambisol*). Auginami aduoni skirtingos rūšinės sudėties (vien varpinis polių ir jė mišinis su ankštinėmis žolėmis) polių. Pirmo–trečio derliaus metų polių pjauti birželio, liepos, rugpjūčio, rugsėjo ir kovo mėnesiais. Lietuvos žemės ūkio inžinerijos institute įvertinta natūraliai išpuvusio biokuro šiluminė vertė, degimo temperatūra, CO bei NO_x kiekis dūmuose ir polių energinis potencialas.

Nustatyta, kad polių energinį potencialą labiausiai lėmė jė derlingumas, priklausęs nuo polių rūšinės sudėties, pjovimo laiko ir meteorologinių sąlygų. Kai drėgmės pakako, ypač pavasarį polių derlius buvo pastovesnis ir kito nuo 6,3 iki 8,8 t ha⁻¹ sausųjų medžiagų, trūkstant jė – nuo 2,8 iki 6,5 t ha⁻¹. Nendrinis drėgnis polių, ir grynai, ir jė mišiniai su daugiameisiais lubiniais bei rytiniais ožiarūšiais, buvo derlingesni už beginklius dirsių polių. Ląstelių dalis sausosiose medžiagose labai priklausė nuo polių pjūties laiko, t. y. nuo polių brandos pjūties metu, ir kito nuo 32 iki 51%. Sausos biomasės grynas šilumingumas kito nuo 17,1 iki 18,5 MJ kg⁻¹. Degimo temperatūra kito nuo 770 iki 955°C. Polių, pjautų rugsėjo ir kovo mėn., biokuro degimo temperatūra buvo aukščiausia, CO bei NO_x kiekis dūmuose – mažiausias. Geriausiai degė grynus nendrinis drėgnis ir jė mišinis su rytiniais ožiarūšiais biomasė. Tirtų polių energinis potencialas kito nuo 115 iki 153 GJ ha⁻¹, auginimo ir biokuro paruošimo energetinės sąnaudos 7,98 GJ ha⁻¹.

Raktažodžiai: daugiametis žolės, biomasė, biokuras, degimas, energinis potencialas, energetinės sąnaudos

AVADAS

Vietinius biokuro išteklius sudaro medienos kuras ir šiaudai. Juos papildyti švairių dalių autoriai siūlo auginant trumpas apyvartos medžius, drambliapūlę, kanapes, nendrinis drėgnis ir kitas daugiameses žoles [3, 4, 6, 11]. JAV energinėms reikmėms buvo tirti 35 rūšių polių augalai, iš kurių 18 – daugiamesis žolės, ir vietinės kilmės soros (*Panicum virgatum*) nustatytas didžiausias energinis potencialas [9]. Europoje tirta apie 20 augalų, iš jė 4 šakniastiebinis polių rūšys (drambliapūlė – *Miscanthus* spp., sora – *Panicum virgatum*, paprastoji nendrė – *Arundo donax* ir nendriniai drėgniai – *Phalaris arundinacea*) buvo pasirinktos tirti plačiau taikant ekstensyvaus auginimo programas [2, 10, 14]. Remiantis preliminariais Danijoje atliktu dekoratyvinės drambliapūlės formos tyrimo duomenimis, daugelyje šiaurės Europos dalių (Danijoje, Airijoje, Švedijoje, Vokietijoje) buvo tiriama ši daugiamesis šakniastiebinė žolė [8]. Vėliau plėtoti jė selekcija, tačiau gauti hibridai nesubrandino sėklų ir

šveisti teko sodinant šakniastiebiais, o tai yra ilgai trunkantis ir brangus pasėlių formavimas (apie 3000–6000 eurų ha⁻¹). Tik pietinėje Vokietijos dalyje drambliapūlė 4–9 derliaus metų pasėlių vidutinis derlingumas buvo 11,7 t ha⁻¹ [7]. Prieita prie nuomonės, kad drambliapūlės yra pranašesnės už daugiameses žoles tik šiltesnio klimato zonoje – Centrinės ir Pietų Europos dalyse [9]. Polių augalų derlius labai priklauso nuo fotosintezės intensyvumo kitimo per parą, todėl dažniausiai pranašesni būna vietinės kilmės augalai. Per pastaruosius 10 metų šiaurės Europos dalyse – Švedijoje ir Suomijoje – buvo tirtas daugelio varpinis polių, naudojamų kurui, derlingumas ir nustatyta, kad jis labai nepastovus: nendrinis drėgnis ir didžiųjų eraičių kinta nuo 7 iki 14, paprastųjų šiaurinių – nuo 8 iki 10, pačiarinių motiejukų – nuo 9 iki 18 t ha⁻¹ sausųjų medžiagų. Iš minėtų rūšių daugiausiai pranašumų, atsižvelgiant ir jo genetiną sugebėjimą prisitaikyti, turėjo nendriniai drėgniai. Todėl plėtojama jė selekcija ir pasėliai demonstruojami kaip energiniai [1, 9, 12].

I. Levandovski su bendraautorais, apibendrinami Amerikoje ir Europoje atliktø tyrimø duomenis, nurodo, kad daugiameiiai polynai biokurui, palyginti su trumpos apyvartos medþiais, yra pranaðesni, nes jø masø kurui galima panaudoti jau kitais po sijos metais. Ðolës derlingesnës ir maþiau reiklios dirvai, palyginti su vienmeiiais augalais. Be to, jos gali derėti ilgai nepersotos, taip apsaugodamos kalvotas þemes nuo erozijos ir palaikydamos dirvoþemio derlingumà [9]. Lietuvoje nendriniai dryþuèiai ir beginklës dirsës yra taip pat vienos derlingiausiø ðakniastiebinio varpinio poliio. Ankstesniais tyrimais nustatyta, kad palankiais metais (1998) jos gali išauginti iki 13 t ha⁻¹ sausøjø medþiagø, o miðiniuose su ankðtinemis þolėmis, tinkamai parinkus jø rûðiø sudëtà, galima auginti ekologiðkai – nenaudojant mineralinio azoto trãðø ir naudoti kietam kurui [15]. Polynø, skirtø bioenergijos produkcijai gaminti, potencialas Lietuvoje dar maþai tyrinëtas, reikëtø poliio specialio veislis, kurios formuotø daug stiebø ir maþai lapø, t. y. kad masėje bûtø daugiau lãstelių. Dar labai svarbus polynø pranaðumas yra tai, kad jø paskirtà iðkilus reikalui bûtø galima keisti be rekultivavimo – naudoti gyvuliams ganyti, ðienauti paðarø bei biodujø gamybai, o miðiniai su medingøjø rûðiø augalais, barkûnais ir kt. gali sèkmingai tenkinti bitininkystës ūkio poreikius. Polynai plaèiai naudojami patraukliam kraðtovaizdþiui formuoti. Polynø masës naudojimas biokurui yra ypaè svarbus organizaciniu ir ekonominiu poþiuriu – jø pasiliø árengimui, prieþiurai ir derliui sudoroti tinka ta pati technika, kuri naudojama auginant javus arba polynus paðarui. Taèiau þolinio augalø masë skiriasi nuo sumedėjusio augalø, nes poliio augimo ir brendimo metu jø masėje kinta lãstelių, kurià sudaro celiuliozë, hemiceliuliozë ir ligninas, kiekis. Minëtos medþiagos yra pagrindinës degiosios medþiagos, nuo kuriø priklauso biokuro degimo savybës. Energinis biokuro naudojimo efektyvumas priklauso nuo energijos balanso [13].

Tyrimø tikslas buvo ávertinti skirtingos rûðinës sudëties polynø energiná potencialà, jø biomasës, skirtingu laiku pjaunant polynus, tinkamumà kurui ir biokuro energiná efektyvumà.

TYRIMØ METODAI IR SÀLYGOS

Dviejø faktoriø lauko bandymai atlikti 2000–2003 m. Lietuvos þemdirbystës institute (Dotnuvoje) lengvo priemolio giliau karbonatiniame, sekliai glëjiðkame rudþemyje (*Epicalcaris* – *Endohypogleyic Cambisol*), kuriame humuso buvo 1,5–1,9%, pH – 5,2–7,0, bendrojo azoto – 0,103–0,150%, judriøjø P₂O₅ – 100–200 mg kg⁻¹ ir K₂O – 169 mg kg⁻¹. Skirtingos rûðinës sudëties aðtuoniuose polynuose augo aukðtaugës varpinës þolës ir jø miðiniai su ankðtinemis þolėmis. Du grynø varpinio poliio – nendrinio dryþuèio (*Phalaris arundinacea* L.) ir beginkliø dirsio (*Bromus inermis* Leyser.) polynai buvo trãðiami mineralinemis azoto trãdomis, iðberiant po N₆₀ per 2 kartus. Kitus polynus sudarë kiekvienos ið minëtøjø varpinio poliio miðiniai su ankðtinemis – geltonþiedþiais barkûnais (*Melilotus officinalis* Lam.), daugiameiiais lubiniais (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) ir rytiniais oþiaruèiais (*Galega orientalis* Lam.). Toliau tekste vartojami poliio pavadinimø trumpiniai – dryþuèiai, dirsës, miðiniai su barkûnais, lubiniais, oþiaruèiais). Miðiniai azoto trãdomis nebuvo trãðiami. Bandymai árengti 2000 m., keturi pakartojimai, apskaitinio laukelio dydis – 10 m². Seta sèjamàja SAXSONIA siauraeilu būdu, iðsėjant gryniems beginkliø dirsio paseliams 25 kg ha⁻¹ (sèklos visur 100% ūkinës vertës) ‘Barta’ veislës sèklø, nendrinio dryþuèio paseliams – 18 kg ha⁻¹ ‘Baltika’ veislës sèklø. Miðiniams kiekvienos ið minëtø varpinio poliio sèkla prieš sèjà sumaiðyta su ankðtinio poliio sèkla, pridedant oþiaruèio ‘Gale’ 10 kg ha⁻¹, barkûnø – 10 kg ha⁻¹ neveislinës sèklos, lubinø – 15 kg ha⁻¹, surinktos ið vietinio augimvieèio. Antrojo–ketvirtøjø metø polynai pjauti bandymine maðinine ðienapjove MF-70 antrame deðimtadienyje birþelio (06), liepos (07), rugpjũèio (08), rugsėjo (09) mën. ir kitø metø kovo (03) mën. treèiame deðimtadienyje. Pjũties dienà nustatytas polynø aukðtis, nuþauta polynø biomasë pasverta, paimti mëginiai rûðinei jos sudëèiai, lãstelienei ir sausosioms medþiagoms nustatyti. Pastarosios nustatytos iðþpiovinus mëginà 105°C temperatūroje iki pastovaus svorio. Polynø (2-o faktoriø bandymo) derliaus duomenys apdoroti dispersinës analizës metodu, taikant statistinæ duomenø apdorojimo programà ANOVA. Vidutinë kiekvieno faktoriaus paklaida apskaièiuota ið 3 derliaus metø kiekvieno varianto 4 pakartojimø vidutinio duomenø.

Natūraliai lauke iðþpiuvusios biomasës paruoðimas kurui ir biokuro ávertinimas atliktas Lietuvos þemës ūkio inþinerijos institute. Biomasë smulkinta ir kurenta kapojø pavidalu eksperimentiniame katile su þidinio kurykla (1 pav.). Biokurui ávertinti buvo nustatytas kapojø sluoksnio sàlyginis tankis, sausos biomasës grynasis ðilumingumas, degimo temperatūra, anglies monoksido ir azoto oksidø kiekis dūmuose. Polynø biomasës kuro sluoksnio tankis priklausë nuo sàlyginio tankio ir drëgnio:

Natūraliai lauke iðþpiuvusios biomasës paruoðimas kurui ir biokuro ávertinimas atliktas Lietuvos þemës ūkio inþinerijos institute. Biomasë smulkinta ir kurenta kapojø pavidalu eksperimentiniame katile su þidinio kurykla (1 pav.). Biokurui ávertinti buvo nustatytas kapojø sluoksnio sàlyginis tankis, sausos biomasës grynasis ðilumingumas, degimo temperatūra, anglies monoksido ir azoto oksidø kiekis dūmuose. Polynø biomasës kuro sluoksnio tankis priklausë nuo sàlyginio tankio ir drëgnio:

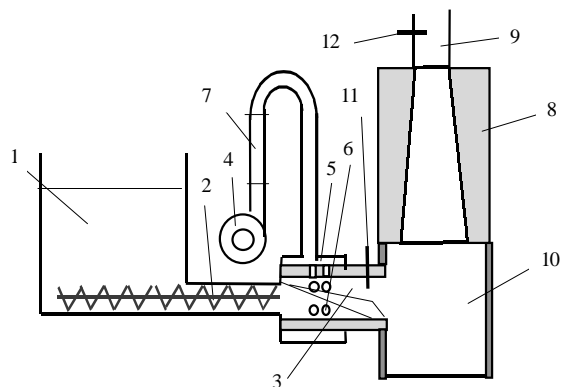
$$\gamma = \gamma_s \frac{100}{100 - W}; \quad (1)$$

èia γ – poliio biomasës kuro sluoksnio tankis kg m⁻³;

γ_s – sluoksnio s^llyginis tankis kg m⁻³;

W – drëgnis %.

Sluoksnio sàlyginis tankis parodo biomasës sausøjø medþiagø kiekà tūrio vienetė. Kapojø drëgnis nustatytas standartiniu dþiovinimo metodu, tankis – pripildant kalibruotà (5,715 dm³ tūrio) indà kapojais ir sveriant jø masę. Sàlyginis tankis apskaièiuotas pagal (1) lygtà ðilumingumas nustatytas kalori-



1 pav. Vandens išdymo katilo su šildinio kūrykla schema. 1 – kuro bunkeris; 2 – sraigtinis kuro tiekiklis; 3 – kūrykla; 4 – ventiliatorius; 5 – oro kamera; 6 – oro šūtimo angos; 7 – rotametas; 8 – šilumokaitis; 9 – dūmų anga; 10 – pelenų kamera; 11 – termojutiklis; 12 – degimo analizatoriaus zondas

metru W-08 MA. Pagal kalorimetrinėje bomboje nustatytą šilumingumą apskaičiuotas sausos masės grynas šilumingumas:

$$Q_g^s = Q_b^a \frac{100}{100 - W_a} - 206H; \quad (2)$$

čia Q_g^s – sausos masės grynas šilumingumas kJ kg⁻¹,

Q_b^a – kalorimetrinėje bomboje nustatytas bandinio šilumingumas kJ kg⁻¹,

W_a – bandinio drėgnis %,

H – vandenilio (H) kiekis masėje % (nustatyta $H = 6\%$).

Drėgnos (naudojamos) biomasės grynas šilumingumas apskaičiuojamas pagal sausos masės gryną šilumingumą taip:

$$Q_g^n = Q_g^s \frac{100 - W^n}{100} - 23W^n; \quad (3)$$

čia Q_g^n – naudojamo (drėgno) biomasės kuro grynas šilumingumas kJ kg⁻¹,

W^n – naudojamo biomasės kuro drėgnis %.

Degimo temperatūra kūrykloje matuota NiCroSil-NiSil (N) termoelementu ir registruota prietaisu ALMEMO-2290-8. Degimo kokybę nustatyta firmos BACHARACH degimo analizatoriumi PCA-65 matuojant deguonies (O₂), anglies monoksido (CO) ir azoto oksido (NO_x) kieką dūmuose.

Polynų energinis potencialas apskaičiuotas pagal biomasės derlių sausosiomis medžiagomis ir grynojo šilumingumo tyrimo duomenis:

$$E_p = DQ_g; \quad (4)$$

čia E_p – polynų energinis potencialas GJ ha⁻¹,

D – polynų biomasės derlius t ha⁻¹,

Q_g – biomasės grynas šilumingumas MJ kg⁻¹.

Polynų auginimo (škaitant ir sėklų ruošimo), pasėlių priežiūros ir masės nuėmimo bei biokuro ruošimo technologijose energinis vertinimas atliktas pagal standartinę metodiką [5, 16]. Vertinant polynų masės išauginimo ir biokuro ruošimo technologines operacijas, apskaičiuojami šie energetinio vertinimo rodikliai:

- tiesioginės energijos sąnaudos,
- netiesioginės energijos sąnaudos,
- mašinų energijos imlumas,
- žmogaus darbo energijos sąnaudos.

Sudėjus šiuos rodiklius gaunamos bendrosios energijos sąnaudos biokurui paruošti.

Bandymų vykdymo laikotarpiu meteorologinės sąlygos buvo labai įvairios. Pagal Dotnuvos agrometeorologijos stotyje užregistruotus duomenis (1 lentelė), 2001 m. pavasaris labai kontrastingas, neįprastai šilta buvo balandžio trečiojo dekadėje, gegužės pradžioje šaltesnis, o vėliau labai šilta, tad vidutinė pastarojo mėnesio temperatūra buvo aukštesnė už vidutinę daugiametę. Liepa buvo labai šilta (21°C), gausu kritulių (102,5 mm), tad vegetacijos periodas buvo labai palankus daugiametėms žolėms.

2002 m. pavasaris labai sausas. Balandį kritulių iškrito 56% daugiametinio vidurkio, gegužė – dar mažiau, tik 37%. Gegužė prasidėjo karšči orai (antrąją dešimtadienį užregistruota 26,4°C) sparčiai išgarino drėgmę. Per intensyviausią žolių augimo ir krūmijimosi laikotarpį kurio sąlygos paprastai ir lemia polynų derlingumą, HTK buvo tik 0,6 (normalus – 1,1–1,5). Kritulių stokota ir vasarą. Daugiametėms žolėms produktyvios drėgmės atsargos dirvoje vegetacijos laikotarpiu, išskyrus spalį, buvo kritinės.

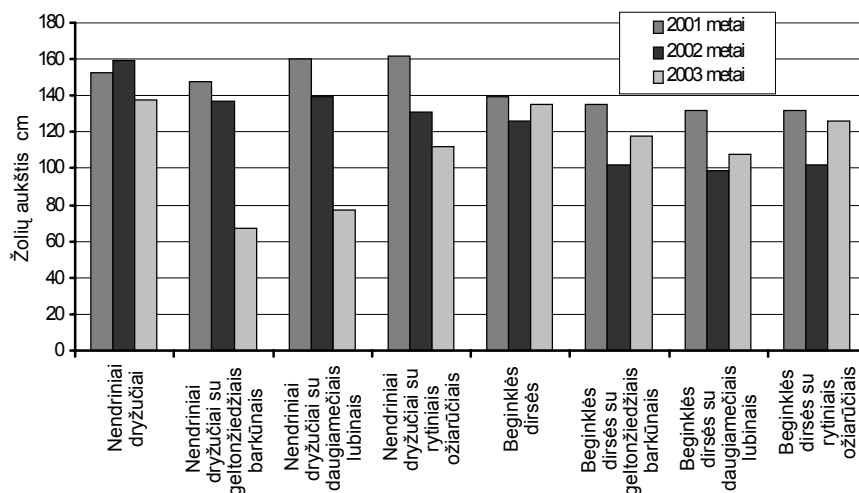
2003 m. pavasaris vėlyvas. Praėjusio metų sausrą išvargintos žolės atgijo lėtai. Be to, gegužė jau pradėjo trūkti drėgmės. Balandžio ir gegužės HTK buvo atitinkamai tik 0,3 ir 0,7. Birželį ir liepą pagausėjė krituliai ir už daugiametę vidutinę aukštesnę temperatūrą polynams sudarė sąlygas sustiprėti. Tačiau nepakankamai išsikrūmijusios žolės pavasarį ir šiais metais sudarė retesnius ir mažiau derlingus pasėlius negu 2001 m.

TYRIMŲ REZULTATAI

Tiriamos daugiametės varpinės žolės ir jų mišiniai su ankštinėmis žolėmis intensyviai augo ir didžiausią aukštą pasiekė iki masinio žydėjimo, kuris praktiškai buvo birželį. Vėliau polynų aukštis nedidėjo. Atskirais metais žolių augimo intensyvumas buvo nevienodas. 2001 ir 2002 m. drypučiai, pagal biologinį vystymąsi priklausantys ankstyvųjų žolių grupei, gerai panaudojo ankstyvo pavasario drėgmę ir išaugo per 160 cm aukštį (2 pav.). Sparčiau augo drypučiai mišiniuose, ypač su opiarūčiais. Beginklė dirvė, priskiriama vidutinio ankstyvumo žolių grupei, pavasarį augo ir vystėsi lėčiau negu drypučiai. Beje, dirvės yra mažiau reiklios drėgmei, todėl ypač sau-

1 lentelė. **Vegetacijos laikotarpiu iškritusio kritulio ir temperatūrų sumos**
Dotnuvos agrometeorologinės stoties 2001–2003 m. duomenys

Metai	Mėnuo							Per vegetaciją
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Vidutinė oro temperatūra °C								
2001	8,0	12,8	14,4	21,0	17,6	11,9	9,0	13,5
2002	7,9	15,4	16,8	20,3	20,3	12,9	4,5	14,0
2003	5,4	13,6	15,5	20,6	17,3	12,9	4,9	12,9
Vidutiniai 1924–2003	5,6	12,2	15,6	17,6	16,6	11,9	6,7	12,3
Kritulio kiekis mm								
2001	34,7	34,6	52,8	102,5	59,1	76,5	40,4	400,6
2002	21,6	19,5	52,3	25,7	29,1	14,6	124,9	298,6
2003	37,6	36,3	54,9	54,6	66,5	22,4	56,2	328,5
Vidutiniai 1924–2003	38,2	52,4	62,3	73,7	73,2	54,8	49,4	404,0
Hidroterminis koeficientas (HTK)								
2001	1,4	0,9	1,2	1,6	1,4	2,1	1,5	1,4
2002	0,8	0,6	1,5	0,8	0,6	0,6	1,2	0,8
2003	0,3	0,7	1,7	1,1	1,7	0,9	2,7	1,2
Vidutiniai 1924–2003	2,4	1,4	1,3	1,4	1,5	1,5	2,5	1,6



2 pav. Polynų aukštis birželį

sais 2003 m. orais jė aukštis grynuose pasėliuose buvo panašus kaip ir drypuėiė, o miėiniuose juos net gerokai praaugo.

Ankėtinėš žolėš darė teigiamą poveiką varpinėms žolėms, nes pastarosios miėiniuose (be azoto trąė) iėaugo beveik tokio pat aukėėio, kaip ir trąėiamos grynuose pasėliuose. Matyt miėiniuose, ypaė su ožiarūėiais, varpinio žolios aukėėiui teigiamą poveiką darė konkurencija ir pastovus jė maitinimas biologiniu azotu, fiksuojamu iė atmosferos greta auganėio ankėtinio žolios. Miėinioš biomasėš rūdinė sudėtis kasmet āvairavo, ožiarūėiėš masėš dalis žolynuose su drypuėiais daugėjo nuo 10% pirmaisiais derliaus metais iki 26,8% antraisiais ir 56% treėiaisiais derliaus metais. Miėiniuose su diršėmis ožiarūėiėš buvo mažiau

ir bendroje masėje jie sudarė atitinkamai 4, 9 ir 30%. Lubinio kiekis miėiniuose pameėiui taip pat didėjo, nuo 4,5% pirmaisiais derliaus metais iki 19% antraisiais ir 28% treėiaisiais. Tuo tarpu barkūnė, kurie pirmaisiais derliaus metais žolynuose sudarė iki 25%, kasmet mažėjo, savaime jė pasisėjo tik labai maža dalis. Treėiaisiais metais barkūnai bendroje masėje besudarė tik apie 4%.

Polynų biomasėš derlius, perskaiėiuotas ā sausiasias medžiagas, pateiktas 2 lentelėje. Sausojo medžiago iėeigā (%) lėmė žolios bran-

da, vėlesnio pjūėio biomasėje ji buvo didesnė, mat žolios, baigianėio brandinti vaisinius ūglius, stiebai ir lapai būna apdžiūvā, o jaunė ūgliė tuo metu jos neaugina. Sausiausia biomasė buvo žolynė, pjautė rugpjūėio viduryje, nepaisant pjūties kovo mėnesā. Polynų derlius labiau priklausė nuo meteorologinioš sālygė ir žolynė sudėties negu nuo pjūties laiko, taėiau visais atvejais derlingesni buvo drypuėio žolynai – ir grynai pasėliai, trąėiami mineralinėmis azoto trąėomis, ir jė miėiniai su lubiniais bei ožiarūėiais. Palankiausias žolėms augti 2001 m. grynė drypuėio didžiausias sausojė medžiago derlius nustatytas liepos rugpjūėio mėn. ir buvo 7,5 t ha⁻¹, tuo tarpu miėinioš su lubiniais ir ožiarūėiais siekė 8,8 t ha⁻¹, gautas derliaus priedas siekė iki 1,3 t ha⁻¹. Mažiau palankiausias

2 lentelė. Polynø biomasės derlius t ha⁻¹ sausøjø medžiagø

Polyno rûdinė sudėtis (A faktorius)	Metai	Pjûties laikas (B faktorius)				
		birþelis	liepa	rugpjûtis	rugsėjis	kovas
Nendriniai dryþuèiai	2001	5,58	7,49	7,47	7,18	6,72
	2002	5,76	6,12	6,56	6,54	5,60
	2003	6,45	7,03	5,59	6,34	–
	vidurkis	5,930	6,880	6,540	6,687	6,160
Nendriniai dryþuèiai su geltonþiedþiais barkûnais	2001	5,85	7,79	7,84	6,93	6,90
	2002	3,43	4,24	4,86	4,44	3,88
	2003	2,70	3,15	2,64	3,16	–
	vidurkis	3,993	5,060	5,113	4,843	5,390
Nendriniai dryþuèiai su daugiameèiais lubiniais	2001	6,53	8,38	8,80	7,18	6,91
	2002	3,69	5,00	5,58	4,72	3,68
	2003	2,86	4,37	4,34	3,36	–
	vidurkis	4,360	5,917	6,240	5,087	5,295
Nendriniai dryþuèiai su rytiniais oþiaruèiais	2001	5,81	8,41	8,80	7,03	–
	2002	3,90	5,46	4,90	4,84	3,14
	2003	4,79	6,98	5,18	3,36	–
	vidurkis	4,833	6,950	6,293	5,077	3,140
Vidutinio derliø:		$R_{05} = 0,055$				
		$R_{05} A = 0,064$				
		$R_{05} B = 0,201$				
Beginklės dirsės	2001	7,10	7,76	6,54	5,54	5,62
	2002	4,64	5,52	5,46	5,58	4,45
	2003	6,67	5,76	5,22	4,32	–
	vidurkis	6,137	6,347	5,740	5,147	5,035
Beginklės dirsės su geltonþiedþiais barkûnais	2001	5,97	6,46	7,02	5,84	5,86
	2002	2,40	3,15	3,09	2,61	2,08
	2003	4,08	2,79	2,60	2,43	–
	vidurkis	4,150	4,133	4,237	3,627	3,970
Beginklės dirsės su daugiameèiais lubiniais	2001	6,84	7,34	6,31	5,18	5,52
	2002	2,50	3,19	3,02	2,86	2,18
	2003	4,48	4,16	3,26	2,64	–
	vidurkis	4,607	4,897	4,197	3,560	3,850
Beginklės dirsės su rytiniais oþiaruèiais	2001	6,17	6,32	7,00	5,06	–
	2002	3,30	4,11	3,81	3,04	2,01
	2003	4,51	5,03	3,90	2,53	–
	vidurkis	4,660	5,153	4,903	3,543	2,010
Vidutinio derliø:		$R_{05} = 0,061$				
		$R_{05} A = 0,071$				
		$R_{05} B = 0,223$				

2002 ir ypaè sausringais 2003 m. pranaðesni buvo azoto trãðomis trãðti grynai pasëliai – 6,5–7,0 t ha⁻¹. Taèiau nuo jø tik 0,05 t ha⁻¹ (nepatikimu derliaus skirtumu, $R_{05} = 0,064$) atsiliko miðiniai su oþiaruèiais, nupjauti liepà.

Grynø dirsø þolynai (su N) buvo derlingesni uþ jø miðinius (be N) ir palankiais augimui metais didþiausias jø derlius nustatytas birþelá–liepà, iki 7,8 ha⁻¹, nepalankiais – 5,8–6,7 ha⁻¹. Oþiaruèiø pranaðumas priè kitas ankðtines þoles buvo þenklus ir miðniuose su dirsėmis, ypaè sausringais metais.

Paliktø per þiemà ir nupjautø pavasarà þolynø sausøjø medþiagø derlius buvo 14–35% maþesnis, negu nupjautø rugsėjá Didþiausi biomasės nuostoliai þiemojimo metu nustatyti miðiniø su oþiaruèiais.

Làstelienos dalis biomasės sausosiose medþiagøse buvo nevienoda ir priklausè nuo pjûties laiko ir þolyno rûdinės sudëties. Biomasėje birþelá pjautø þoliø làstelienos rasta 32–40%, liepà – ðiek tiek maþiau. Dar vëliau pjautø þolynø, senėjant þoliø stiebams, biomasėje làstelienos dalis didėjo ir rugsėjá sudarè 35–49%. Paliktø per þiemà ir nupjautø pavasarà þolynø biomasėje làstelienos nustatyta daugiausia, nuo 41 iki 51%. Daugiausia làstelienos nustatyta grynø dirsø biomasėje, maþiau – miðniuose, ypaè su oþiaruèiais.

Skirtinga þolynø rûdinė sudėtis, augimo sàlygos bei pjûties laikas turėjo átakos ir ið jø masės ruoðiamo biokuro savybëms. Viena tokiø savybiø yra kapojø sàlyginis tankis, jis kito nuo 39,4 iki 56,3 kg m⁻³. Kapo-

3 lentelė. **Poliio sausosios masės grynasis dilingumas MJ kg⁻¹**

Polyno rūdinė sudėtis	Pjūties laikas					
	2001 m.		2002 m.			2003 m.
	liepa	rugsėjis	kovas	liepa	rugsėjis	kovas
Nendriniai drybūčiai	17,83 ± 0,09	18,24 ± 0,12	18,04 ± 0,06	17,75 ± 0,06	17,06 ± 0,06	17,9 ± 0,09
Nendriniai drybūčiai su gelton- piedpiais barkūnais	17,96 ± 0,06	-	18,24 ± 0,1	-	-	-
Nendriniai drybūčiai su daugia- meiiais lubiniais	18,47 ± 0,03	-	18,05 ± 0,06	-	-	-
Nendriniai drybūčiai su rytiniais opiarūčiais	17,86 ± 0,06	-	-	17,69 ± 0,09	17,25 ± 0,04	18,06 ± 0,09
Beginklės dirsės	18,08 ± 0,06	18,01 ± 0,06	18,05 ± 0,12	-	-	18,51 ± 0,06
Beginklės dirsės su gelton- piedpiais barkūnais	18,52 ± 0,03	-	18,38 ± 0,12	17,92 ± 0,12	17,88 ± 0,09	17,78 ± 0,06

jai, ruodti id liepos mēnesā nupjautō polynō biomasēs, buvo tankiausi, tuo tarpu id nupjautō pavasarā kovo mēnesā – reēiausi. Abiejō rūdiō grynō varpinio poliio kapojō sālyginis tankis buvo didesnis negu ruodtō id jō miidinio, 52,3–56,3 kg m⁻³. Panaūaus tankio kapojai buvo gauti ruodiant juos ir id dirsiō miidinio su barkūnais, nes pastarōjō labai sumapējus miidiniuose, biomasēs rūdinē sudētis, praktiūkai, buvo artimesnē grynō polynō sudēēiai negu miidinio. Pjaunant polynus vēliau, jō masēs kapojō tankis mapējo iki 44–48,5 kg m⁻³ (rugsējā) ir iki 42,7–45,5 kg m⁻³ (kovā). Kapojō, ruodtō id drybūēiō su lubiniais ir opiarūēiais miidinio biomasēs, nupjovus polynus liepā ir rugsējā sālyginis tankis buvo beveik vienodas, 49,5 ir 47,5 kg m⁻³, nupjautōjō pavasarā sumapējo atitinkamai iki 45 ir 39,4 kg m⁻³. Kadangi poliio kapojō tankis nedidelis, todēl kurui daugiametes poles reikētō presuoti ā ritinius ir deginti ritiniais kūrenamuose katiluose.

Polinio biokuro dilingumo tyrimō rezultatai pateikti 3 lentelėje. Poliio biomasēs grynasis dilingumas kito nuo 17,25 iki 18,52 MJ kg⁻¹ ir priklausē ne tik nuo augalō rūdiēs, bet ir nuo augalō brandos pjūties metu. Palankiais polēms augti 2001 metais liepā nupjautō dirsiō biomasē buvo truputā dilingesnē negu drybūēiō ir tokia idliko vēlinant pjūtā Drybūēiō, nupjautō rugsējā palyginti su nupjautō lie-

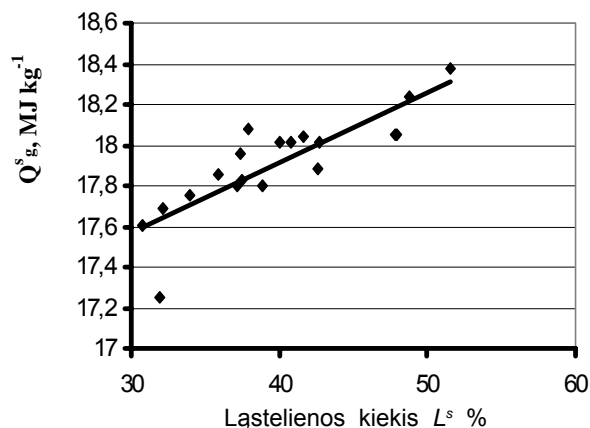
pā, biomasē buvo 0,4 MJ kg⁻¹ dilingesnē. Varpinio ir ankūtinio poliio miidinio biomasēs dilingumas buvo didesnis negu grynō varpinio poliio. Didžiausias dilingumas buvo drybūēiō su lubiniais (18,47 MJ kg⁻¹) ir dirsiō su barkūnais (18,52 MJ kg⁻¹). Paliktō per piemā ir nupjautō pavasarā polynō biomasēs dilingumas sumapējo neįymiai ir buvo 18,04–18,38 MJ kg⁻¹. Nepalankiais polēms augti 2002 m., kai polēs subrendo anksēiau, jō sausosios masēs grynasis dilingumas liepā siekē 17,69–17,92 MJ kg⁻¹, rugsējā truputā sumapējo. Paliktō per piemā ir nupjautō pavasarā poliio masēs dilingumas buvo 17,78–18,51 MJ kg⁻¹.

Analizuojant āvairiu laiku nupjautō poliio sausiosiose medpiagose nustatyta lāstelienos kiekā ir biomasēs grynājā dilingumā, nustatyta tarp jō tiesinē priklausomybē (3 pav.).

Poliio biomasēs gryojo dilingumo priklausomybē nuo lāstelienos kiekio, pastarajai kintant nuo 30 iki 50% (koreliacijos koeficientas R = 0,84), gali būti išreikšta lygtimi:

$$Q_g^s = 0,034L^s + 16,534; \quad (5)$$

ēia Q_g^s – biomasēs (sausōjō medpiagō) grynasis dilingumas MJ kg⁻¹,



3 pav. Ėoliø biokuro grynojo ðilumingumo Q_g^s priklausomybė nuo lãstelienos kiekio L^s

L^s – lãstelienos kiekis biomasėje %.

Siekiant biokuro didesnio ðilumingumo, energetiniams reikmėms auginamus þolynus, priedingai negu skirtus paðarams, reikia pjauti augalams daugiausia sukaupus lãstelienos.

Ėoliø biokuro degimo tyrimø rezultatai pateikti 4 lentelėje.

Polinio biokuro degimo temperatūra kito nuo 700 iki 957°C ir aukðčiausia buvo rugsėjã nupjauto dryþuèiø miðinio su lubiniais (957°C) bei kovã nupjauto dryþuèiø miðinio su oþiaruèiais (955°C). Daugumos þolynø, nupjautø rugsėjã ir kovã, degimo temperatūra buvo aukðtesnė, negu nupjautø liepã, ir tai susiję su stiebø branda ir maþesniu þaliø lapø kiekiu bendrojoje masėje. Todėl galima teigti, kad þolinis bio-

kuras bûna kaitresnis, jeigu ruoðiamas ið vasaros pabaigoje arba pavasarã nupjautø þolynø.

Daugiausia CO, perskaièiavus, kai dūmuose standartinė deguonies koncentracija $O_2 = 6\%$, buvo deginant liepã nupjautø dryþuèiø (692 ppm), jø miðinio su oþiaruèiais (679 ppm) bei grynø dirsio (658 ppm) biomasę. Kūrenant biokuru, paruoðtu ið vėliau pjautø þolynø, bei pavasarã, CO kiekis dūmuose buvo þenkliai maþesnis ir kito nuo 412 iki 16 ppm. Sprendþiant pagal CO kiekã dūmuose, geriau sudega dryþuèiø biomasė, ir grynø, ir jø miðinio. Visø þolynø, nepriklausomai nuo rūðinės jø sudėties, nupjautø vasaros pabaigoje ir pavasarã, biomasė sudegė geriau, negu nupjautø liepos mėnesã

NO_x kiekis dūmuose kito nuo 201 iki 312 ppm. Daugiau NO_x dūmuose buvo deginant dryþuèiø ir jø miðinio su lubiniais, nupjautø rugsėjã biomasę.

Pagal þolynø derlingumã ir jø biokuro ðilumingumã apskaièiuotas þolynø energinis potencialas (4, 5 pav.). Skaièiavimuose pasirinkta, kad paruoðto biokuro drėgnis 15%.

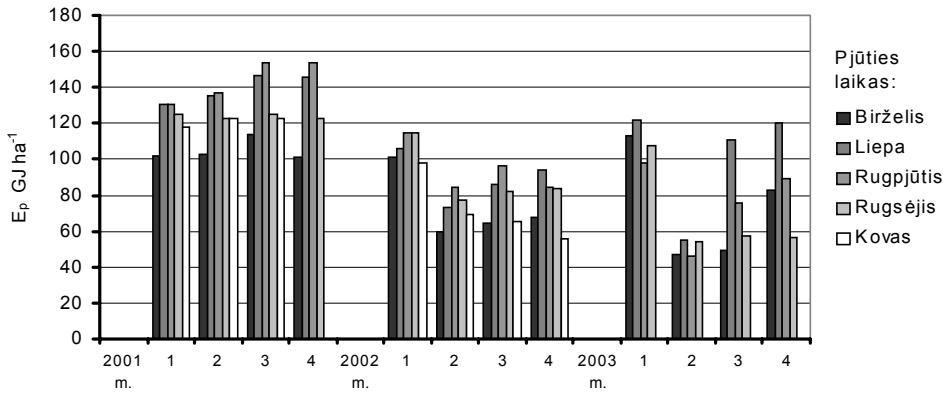
Palankiais metais grynø abiejø varpinio þolynø (su N) didþiausias energinis potencialas buvo panaðus ir kito nuo 130 GJ ha⁻¹ (dryþuèiø, nupjautø liepã ir rugpjūtã) iki 135 GJ ha⁻¹ (dirsio, nupjautø liepã). Sausringais metais minėtø þolynø, buvus maþesniai derlingumui, energinis potencialas labiau kito, buvo maþesnis ir sudarė atitinkamai 115 ir 100 GJ ha⁻¹.

Dryþuèiø miðinio su ankðtinėmis þolėmis, ypaè su lubiniais ir oþiaruèiais energinis potencialas palankiais augimui 2001 m. buvo didesnis negu grynø trãðtø (N) pasėliø (153 GJ ha⁻¹), pjautø liepã-rugpjūtã Visø vėliau pjautø þolynø energinis poten-

4 lentelė. Polio biokuro degimo temperatūra (T_d), anglies monoksido (CO) ir azoto oksido (NO_x) kiekis dūmuose (esant dūmuose $O_2 = 6\%$)

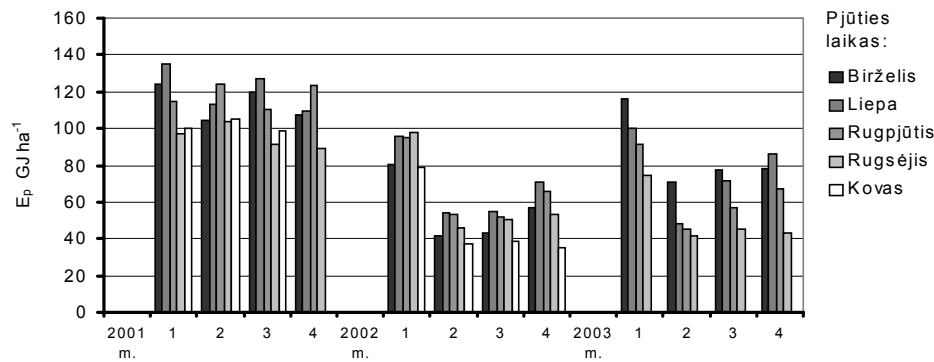
Polyno rūðinė sudėtis	Pjūties laikas	T_d °C	CO ppm	NO_x ppm
Nendriniai dryþuèiai	07	869	692	259
	09	917	219	307
	03	865	101	307
Nendriniai dryþuèiai su geltonþiedþiais barkūnais	07	883	75	246
	09	845	313	243
	03	825	97	211
Nendriniai dryþuèiai su daugiameèiais lubiniais	07	925	348	239
	09	957	149	312
	03	938	54	270
Nendriniai dryþuèiai su rytiniais oþiaruèiais	07	700	679	201
	09	919	147	288
	03	955	133	219
Beginklės dirsės	07	891	658	225
	09	804	412	239
	03	829	16	21
Beginklės dirsės su geltonþiedþiais barkūnais	07	841	405	273
	09	851	172	216
	03	869	197	235

Santycinė standartinė nuokrypa ne daugiau kaip: T_d – 5%, CO – 12%, NO_x – 10%.



4 pav. Nendrinio dryþuèio poliø energinis potencialas.

1 – nendriniai dryþuèiai (gryni), 2 – nendriniai dryþuèiai su geltonþiedþiais barkûnais, 3 – nendriniai dryþuèiai su daugiameeiais lubiniais, 4 – nendriniai dryþuèiai su rytiniais oþiarûeiais



5 pav. Beginklio dirsiø poliø energinis potencialas.

1 – beginklës dirsiø (grynos), 2 – beginklës dirsiø su geltonþiedþiais barkûnais, 3 – beginklës dirsiø su daugiameeiais lubiniais, 4 – beginklës dirsiø su rytiniais oþiarûeiais

cialas maþejo iki 122–125 GJ ha⁻¹ (pjautø rugsjã) bei 118–123 GJ ha⁻¹ (pjautø kovã). Nepalankiais 2002 m. miðinio energinis potencialas buvo maþesnis, negu gryno varpinio poliø (su N), ir nedaug tekito: nuo 96 GJ ha⁻¹ su lubiniais (pjautø rugpjútã) iki 94 GJ ha⁻¹ su oþiarûeiais (pjautø liepã). Pjaunant vëliau, energinis potencialas dar maþejo.

Dirsiø miðinio su ankðtiniais augalais energinis potencialas palankiais metais buvo artimas gryno pasëljo potencialui ir siekë 124–127 GJ ha⁻¹, nepalankiais metais, buvus kur kas maþesniai derlingumui, þenkliai sumaþejo ir sudarë 54–80 GJ ha⁻¹.

Apskaièiuojant energijos sãnaudas biokurai ruoðti ið poliø, ávertintos poliø árengimo bei auginimo ir derliaus nuëmimo energijos sãnaudas. Poliø árengimo ir auginimo sãnaudas sudarë dirvos paruoðimas sėjai, poliø sėja ir poliø trãðimas (ãskaitant ir sëklos bei trãðø energinã vertã). Derliaus nuëmimo sãnaudas sudarë poliø pjovimas, grëbimas á sãvalkas, sãvalkø vartymas – dþiovinimas, iðdþiovinintos masës surinkimas ir presavimas á ritinius, ritinio pakrovimas ir veþimas á saugojimo vietã. Apskaièiuotos bendrosios energinës sãnaudos pateiktos 5 lentelėje.

Ið 5 lentelėje pateiktø duomenø matyti, kad bendrosios poliø árengimo, auginimo ir biokuro ruoðimo energijos sãnaudos siekia 7982 MJ ha⁻¹. Didþiausia poliø augalø auginimo ir biokuro ruoðimo energijos sãnaudø dalã (apie 80–85%) sudaro tiesioginës ir netiesioginës energijos sãnaudos (ãskaitant energijos sãnaudas trãðoms ir sëklai). Daugiameeio poliø biomasës õilumos energija 11–18 kartø didesnë uþ energijos sãnaudas biokurai ið jø pagaminti.

IŠVADOS

1. Biokurai gaminti tinka ávairios rûðinës sudëties daugiameeio poliø biomasë. Ið tirtø 8 skirtingos rûðinës sudëties poliø nendrinio dryþuèio poliø – gryni ir jø miðiniai su geltonþiedþiais barkûnais, daugiameeiais lubiniais

ir rytiniais oþiarûeiais – buvo pranaðesni uþ analogiskus beginklio dirsiø poliø.

2. Daugiameeio poliø, auginamø lengvoje dirvoje, turinèioje maþiau kaip 2% humuso, biomasës derlius, esant palankioms meteorologinëms sãlygoms, buvo pastovesnis ir kito nuo 6,3 iki 8,8 t ha⁻¹ sausøjø medþiagø, esant nepalankioms, ypaè trûkstant drëgmës – nuo 2,8 iki 6,5 t ha⁻¹.

3. Poliø rûðinë sudëtis, augimo sãlygos ir pjûties laikas turëjo átakos ið jø masës paruoðto biokuro savybëms, grynas õilumingumas kito nuo 17,1 iki 18,5 MJ kg⁻¹, degimo temperatûra – nuo 770 iki 955°C.

4. Aukðtesnë degimo temperatûra ir maþesnis NO_x kiekis dûmuose buvo deginant biomasã poliø, nupjautø vasaros pabaigoje ir pavasarã Daugiausia biomasës sausøjø medþiagø gauta nupjovus poliø liepã–rugpjútã

5. Daugiameeio poliø energinis potencialas palankiais jø augimui metais kito nuo 123 iki 153 GJ ha⁻¹, nepalankiais metais – 52–115 GJ ha⁻¹. Gryno nendrinio dryþuèio poliø, trãðtø azoto trãðomis, energinis potencialas maþiau priklausë nuo meteorologinio sãlygø ir buvo 115–130 GJ ha⁻¹, jø miðinio

5 lentelė. Daugiameiis poliis auginimo ir biokuro ruođimo energijos sànaudos (rodikliis suvestinė)

Rodiklis ir matavimo vienetas	Poliis energiniis paseliis arengimo ir auginimo energijos sànaudos	Biokuro ruođimo energijos sànaudos	Bendrosios energijos sànaudos
Tiesioginės energijos sànaudos MJ ha ⁻¹	950,1	2828,3	3778,4
Netiesioginės energijos sànaudos (tràðos, sėkla) MJ ha ⁻¹	2795,0	–	2795,0
Mađinis energijos imlumas MJ ha ⁻¹	402,2	984,7	1386,9
Ėmoniis darbo sànaudos MJ ha ⁻¹	4,2	17,1	21,3
Bendrosios energijos sànaudos MJ ha ⁻¹	4151,5	3830,1	7981,6

su rytiniais oþiarūeiais ir daugiameeiais lubiniais (be azoto tràðis) nepalankiais metais siekė 95 GJ ha⁻¹, palankiais – 153 GJ ha⁻¹.

6. Bendrosios poliis auginimo ir biokuro ruođimo energijos sànaudos siekė 7,982 GJ ha⁻¹. Didþiausia energijos sànaudis dalá (per 80%) sudarė tiesioginės ir netiesioginės energijos sànaudos. Daugiameiis poliis biomasės õilumos energija 11–18 kartis didesnė uþ energijos sànaudas biokurui ið jø pagaminti.

Padėka

Darbas atliktas vykdant programà „Saulės energijos konversija ir naudojimas“. Tyrimus remia Lietuvos valstybinis mokslo ir studijis fondas. Autoriai dėkoja uþ paramà.

Gauta 2004 04 24

Literatūra

- Andersson B. Prospects for breeding and supply of plant material // Bioenergy Workshop Report: Renewable Energy and Sustainable Agriculture “The Impact of Perennial Grass Research”. Brussels: European Commission, 2000. P. 50–52.
- Cherney J. H., Johnson K. D., Volenec J. J. et al. Evaluation of potencial herbaceous biomass crops on marginal crop lands: 1. agronomic potential. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1990. 43 p.
- Hadders G., Olsson R. Harvest of grass for combustion in late summer and in spring // Biomass and Bioenergy. 1997. Vol. 12. P. 171–175.
- Huisman W. Planting and harvesting Miscanthus giganteus // Landwards. 1996. Vol. 51. N 2. P. 17–19.
- Jasinskas A. Poliniis augalø kuro ruođimo technologijø energetinis vertinimas // Ðemės ūkio inþinerija: LÐŪII ir LÐŪU mokslo darbai. 2003. T. 35(4). P. 70–81.
- Jevie P., Lunaėek M., Sladky V. et al. Energetical and industrial use of phytomass // Annual report 1999 / Research institute of agricultural engineering, Prague. 2000 April. P. 62–73.
- Kahle P. Auswirkungen eines mehrjarigen Miscanthus – Atbaus auf ausgewählte Bodeneigenschaften Pude R. (ed.). Miscanthus vom Anbau bis zur Verwertung. Bonn: Verlag M. Wehle: Wittenschlik, 2000. P. 43–47.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock JMO et al. Miscanthus: European experience with a novel energy crop // Biomass and Bioenergy. 2000. Vol. 19. P. 209–227.
- Lewandowski I., Scurlock J. M. O., Lindwal E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe // Biomass and Bioenergy. 2003. Vol. 25. Iss. 4. P. 335–361.
- Parrish D. J., Wolf D. D., Daniels W. I. et al. Perennial species for optimum production of herbaceous biomass // The Piedmont- Report ORNL /Sub/ 85–27411/5. Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, 1990. 43 p.
- Paulrud S., Nilsson C. Briqueting and combustion of spring – harvested reed canary-grass: effect of fuel composition // Biomass and Bioenergy. 2001. Vol. 20(1). P. 25–35.
- Sajonkari-Pahkala K. Non-wood plants as raw material for pulp and paper. Agricultural and Food Science in Finland. 2001. Vol. 10 (Suppl. 1). 101 p.
- Scholz V., Berg W. Energetic use of the production of biofuels // Field technologies and environment: Proceedings of the International Conference. 24–25 September 1998 Lithuanian Institute of Agricultural Engineering. Raudondvaris, 1998. P. 143–149.
- Wright N. Screening of herbaceous species for energy crop production // Report ORNL /Sub/ 85–27411/5. Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, 1990. 85 p.
- Paltauskas A., Jasinskas A., Kryževičienė A. Analysis of the Suitability Tall-Growing Plants for Cultivation and Use as a Fuel // Perspective Sustainable Technological Processes in Agricultural Engineering: Proceedings of the International Conference. 20–21 September 2001 Lithuanian Institute of Agricultural Engineering. Raudondvaris, 2001. P. 155–160.
- Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной

техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве / ЦОПКБ; ВИМ, 1989. 60 с.

Aldona Kryževičienė, Algirdas Paltauskas, Algirdas Jasinskas

CULTIVATION AND UTILIZATION OF THE PERENNIAL GRASSES AS BIOFUEL

Summary

The present paper provides the results of the assessment of the suitability of biomass from swards of different composition for fuel and an estimation of their energy potential.

Field experiments were carried out at the Lithuanian Institute of Agriculture in Dotnuva during the period 2000–2003. The soil of the experimental site is characterised as *Epicalcari – Endohypogleyic Cambisol*, light loam. The soil plough layer contained 1.5–1.9% of humus, pH 5.2–7.0, available P_2O_5 100–200 mg kg⁻¹, K_2O 169 mg kg⁻¹. Eight swards of different species composition were grown. Two of them consisted of pure rhizomatous tall-growing grasses – reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) and awnless brome grass (*Bromus inermis* Leyser), treated with mineral nitrogen at a rate of N_{60} split in two applications. The other swards consisted of the above-mentioned grasses mixed with legumes – sweet clover (*Melilotus officinalis* Lam.), perennial lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) and goat's rue (*Galega orientalis* Lam.). The mixtures did not receive any nitrogen fertilisation. The swards of the first-third years of use were cut in June, July, August, September, and in the March of the following year. Dry matter output and yield, and fibre % in dry matter were determined.

The calorific value and combustion temperature of herbage biomass and the NO_x content in the smoke when burning the biomass in a hearth-type furnace were tested at the Institute of Agricultural Engineering. The energy potential of swards and energy input for biofuel production were calculated according to the DM data.

Experimental evidence suggests that the energy potential of swards was mostly determined by their productivity, which depended on the species composition of swards, cutting time and meteorological conditions. Under a sufficient content of moisture, especially in spring, the yield of swards biomass was more stable and ranged from 6.3 to 8.8 t ha⁻¹ dry matter. When there was a shortage of moisture, the yield ranged from 2.8 to 6.5 t ha⁻¹. The swards of reed canary grass, both pure and mixed with perennial lupine and goat's rue, were more productive than the swards of awnless brome grass. The share of fibre in dry matter to a great extent depended on the cutting time of swards, i.e. on the maturity of swards at cutting and ranged from 38 to 45%, the net calorific value of biomass ranging from 17.1 to 18.5 MJ kg⁻¹. The combustion temperature ranged from 770 to 955°C. The combustion temperature of the biomass of swards cut in September and March was the highest and had the lowest NO_x content in the smoke. The biomass of reed canary grass and its mixtures with goat's rue burned best. The energy potential of the tested tall-growing grass swards cultivated on light soils low in humus content ranged from 115 to 153 GJ ha⁻¹. The energy input for the cultivation of swards and biofuel preparation amounted to 7.98 GJ ha⁻¹.

Key words: perennial grasses, biomass, biofuel, combustion, energy potential, energy input

Алдона Крижявичене, Альгирдас Жалтаускас, Альгирдас Ясинскас

ВЫРАЩИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ ДЛЯ БИОТОПЛИВА

Резюме

Представлены результаты исследований по выращиванию и использованию в качестве топлива биомассы многолетних трав и энергетической эффективности биотоплива из травянистых растений.

Полевые опыты выращивания трав проводились в 2000–2003 гг. в Литовском институте земледелия в Дотнуве на почвах легкого суглинка (*Epicalcari – Endohypogleyic Cambisol*), которые содержат: гумуса – 1,5–1,9%, pH – 5,2–7,0, азота – 0,103–0,150%, P_2O_5 – 100–200 мг кг⁻¹ и K_2O – 169 мг кг⁻¹. Выращивалось восемь травостоев различного состава. Два из них были чистые злаковые корневищные травы – двукосточник тростниковый (*Phalaris arundinacea* L.) и кострец безостый (*Bromus inermis* Leyser.), в которые вносились минеральные азотные удобрения – двухкратно по N_{60} . Остальные травостои представляли смеси упомянутых трав с бобовыми растениями – донником желтоцветным (*Melilotus officinalis* Lam.), люпином многолетним (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) и восточным козлятником (*Galega orientalis* Lam.). Травосмеси азотными удобрениями не удобрялись. Посевы второго–четвертого года роста косились в середине июня, июля, августа, сентября и в конце марта следующего года. Определены урожай сухой биомассы и содержание клетчатки в ней. В Институте инженерии сельского хозяйства установлены теплотворная способность биомассы, температура горения, содержание CO и NO_x в дымовых газах при сжигании биомассы в котле с подовой топкой и рассчитан энергетический потенциал травостоев.

Данные исследований показали, что на энергетический потенциал травостоев наиболее сильно влияла урожайность, зависящая от сортового состава, метеорологических условий и времени скашивания. При достаточной влаге, особенно весной, урожайность травостоев составила 6,3–8,8 т га⁻¹ сухой массы, при недостатке – 2,8–6,5 т га⁻¹. Травостои двукосточника тростникового и его смесей с многолетним люпином и козлятником были более урожайными, чем травостои костреца безостого. Содержание клетчатки в сухой биомассе зависело от времени уборки трав и колебалось от 32 до 51%. Наиболее низкая теплота сгорания сухой биомассы колебалась от 17,1 до 18,5 МДж кг⁻¹ и зависела от содержания клетчатки в биомассе. Температура горения колебалась от 770 до 955°C. Наиболее высокая температура горения и меньшее количество CO и NO_x в дымовых газах наблюдались при сжигании биотоплива травостоев, убранных в сентябре и в марте. Лучше всего горела биомасса двукосточника тростникового и его смеси с козлятником. Энергетический потенциал исследованных травостоев был 115–153 ГДж га⁻¹, энергозатраты на выращивание трав и приготовление биотоплива составили 7,98 ГДж га⁻¹.

Ключевые слова: многолетние травы, биомасса, биотопливо, горение, энергетический потенциал, энергозатраты