

III skyrius. ŽOLININKYSTĖ

Chapter 3. GRASSLAND HUSBANDRY

ISSN 1392-3196

Žemdirbystė-Agriculture, t. 96, Nr. 2 (2009), p. 138–150

UDK 633.22+633.264]:581.19:[631.552:631.559

NENDRINIŲ ERAIČINIŲ IR PAPRASTŲJŲ ŠUNAŽOLIŲ BIOMASĖS KAITA PLAUKĖJIMO BEI ŽYDĖJIMO TARPSNIAIS

Vita TILVIKIENĖ, Bronislava BUTKUTĖ, Zenonas DABKEVIČIUS,
Žydrė KADŽIULIENĖ, Aldona KRYŽEVIČIENĖ

Lietuvos žemdirbystės institutas
Instituto al. 1, Akademija, Kėdainių r. sav.
El. paštas: vita@lzi.lt

Santrauka

Vienas atsinaujinančios energijos gamybos būdų yra daugiamečių žolių perdirbimas į biodujas. Biodujų išeiga bei kokybė tiesiogiai priklauso nuo augalų cheminės sudėties, kuriai daro įtaką augalų rūšis ir augimo tarpsnis.

Tyrimų tikslas – nustatyti nendrinio eraičino (*Festuca arundinacea* Schreb.) ir paprastosios šunažolės (*Dactylis glomerata* L.) biomasės energinę vertę lemiančių medžiagų kiekio bei derliaus dydžio priklausomumą nuo pjūčių kaitos plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais ir nendrinį eraičinį tręšimo įtaką jų cheminei sudėčiai bei derliui per vieną naudojimo metų ciklą.

Nustatyta, kad paprastųjų šunažolių ir nendrinį eraičinį metinis antžeminės dalies derlius priklausė nuo augalų išsivystymo tarpsnio pirmosios pjūties metu. Augalus pirmą kartą nupjovus plaukėjimo tarpsniu, paprastųjų šunažolių metinis derlius buvo 5,5 t ha⁻¹, o pirmąją pjūtį atlikus augalų žydėjimo metu derlius siekė 6,1 t ha⁻¹. Nendrinį eraičinį metinis derlius buvo atitinkamai 1,9 t ha⁻¹ bei 2,2 t ha⁻¹ azoto trąšomis netręštuose pasėliuose ir 3,9 t ha⁻¹ bei 6,2 t ha⁻¹ tręštuose pagal 150 kg ha⁻¹ azoto trąšų normą. Nepriklausomai nuo pirmosios pjūties laiko, paprastosios šunažolės buvo derlingesnės nei nendriniai eraičiai.

Biodujų gamybai daugiamečių žolių biomasės cheminė sudėtis buvo palankesnė plaukėjimo tarpsniu. Augalų sandarą lemiančių polimerų – celiuliozės, hemiceliuliozės, lignino – santykio kaita mažai skyrėsi ir tarp rūšių, ir kintant kiekvienos žolės augimo tarpsniui, nors vėlinant pjūtį ryškiau didėjo nendrinį eraičinį nei paprastųjų šunažolių nepasisavinto lignino kiekis. Biodujų gamybos procesui palankiausias biomasės anglies ir azoto kiekio santykis buvo azotu tręštus arba netręštus nendrinį eraičinus nupjovus plaukėjimo tarpsniu – atitinkamai 19,6 ir 22,1.

Preliminarūs tyrimų rezultatai parodė, kad pirmosios pjūties laikas gali daryti įtaką metiniam biomasės derliui bei kokybei.

Reikšminiai žodžiai: paprastosios šunažolės, nendriniai eraičiai, biomasės derlius, anglies ir azoto santykis, struktūriniai biopolimerai, biodujos.

Įvadas

Didėjantis energijos poreikis, brangstančios iškastinės žaliavos bei intensyvėjanti klimato kaita verčia ieškoti alternatyvių energijos šaltinių. Europos Sąjungos šalyse vis plačiau realizuojama idėja, kad biomasė yra ne tik maisto, pašaro, pluošto, ateities pramonės, bet ir energijos žaliava /Nielsen et al., 2007/. Ypač patrauklūs atsinaujinantys energijos šaltiniai yra augalai, nes jie sukaupia daug saulės energijos, iš jų galima pagaminti kietojo kuro bioetanolio bei metano dujų.

Besikeičiančio klimato sąlygomis siekiant saugoti aplinką, vienas geriausių augalų panaudojimo energijos reikmėms būdų yra biodujų gamyba /Mähnert et al., 2005/. Biodujos, kurių 50–75 % sudaro metanas, yra gaminamos bedeguonėje aplinkoje mikroorganizmams skaidant organines medžiagas /Wilkie, 2005/.

Vienas svarbiausių rodiklių, biodujų gamybai pasirenkant augalus, yra jų energinė vertė, kuri, priklausomai nuo augalų rūšies, cheminės sudėties, perdirbimo ir laikymo technologijų, kinta nuo 7,15 MJ kg⁻¹ SM iki 14,36 MJ kg⁻¹ SM /Janušauskas, 2003; Navickas ir kt., 2003; Mähnert et al., 2005; Raclavská et al., 2007/.

Pagrindiniai biodujų gamybos procese dalyvaujantys cheminiai elementai yra anglis, vandenilis, deguonis ir azotas. Trūkstant azoto, bakterijos negali pagaminti pakankamai fermentų, būtinų skaidant polisacharidus /Wilkie, 2005/. Anaerobiniam procesui ypač didelę įtaką turi anglies (C) ir azoto (N) santykis, kuris metano gamybai optimalus yra toks: C:N = (20–30):1 /Lehtomäki, 2006/. Biodujų gamybos metu iš įvairių žolių biomasės gaunamam metano kiekiui tiesioginį poveikį turi ir kitų biomasės cheminių elementų, baltymų, angliavandenių bei lignino koncentracijos /Gunaseelan, 1997; Janušauskas, 2003, Raclavská et al., 2007/. Augalai, turintys vienodą rūgščiame tirpale išplautos ląstelienos (RTL) koncentraciją, bet nevienodą celiuliozės ir lignino santykį, yra skirtingos energinės vertės.

Augalų derlius, jų cheminės sudėties rodikliai, o vėliau ir biodujų išeiga priklauso nuo žolių augimo sąlygų, derliaus nuėmimo laiko, biomasės konservavimo bei laikymo technologijų ir kt. /Gunaseelan, 1997; Lehtomäki, 2006/. Didžiausią įtaką biodujų išeigai turi augalų rūšis bei pjūties laikas ir taikytos agrotechnologijos. Vėlinant pirmąją pjūtį, greitai didėja žolių masė ir kartu keičiasi kokybė – mažėja baltymų, mineralinių medžiagų, daugėja ląstelienos /Gipiškis, Jucienė, 1990/. Pjūčių dažnumas yra pagrindinis veiksnys, lemiantis žolyno derlingumą. Dažnai pjaunamas žolynas yra alinamas, išretėja /Katutis, 2008/. Augalų biomasę vertinant kaip biodujų gamybos žaliavą, ankstyva pjūtis ne visada yra palankesnė. Pavyzdžiui, dobilų biomasė, nupjauta intensyvaus augimo metu ir perdirbta į biodujas, energiniu atžvilgiu yra net du kartus vertingesnė (pagal biodujų išeigą iš organinės medžiagos) nei nupjauta žydėjimo metu /Kaparaju et al., 2002/. Iš svidrių biomasės metano dujų plaukėjimo tarpsniu galima pagaminti iki 50 % mažiau nei žydėjimo metu. Derliaus nuėmimo laikas metano gamybai iš kviečių didelės įtakos neturi, todėl akivaizdu, kad, priklausomai nuo augalų rūšies, siekiant gauti tą patį kiekį energijos, skiriasi auginimo technologija ir derliaus nuėmimo laikas /Pouech et al., 1998/.

Fitomasė, skirta anaerobiškai perdirbti, turi atitikti tam tikrus reikalavimus: užauginta biomasė turi būti tinkamos cheminės sudėties, augalai nesunkiai, be didelių energijos sąnaudų auginami ir prižiūrimi, atsparūs nepalankioms augimo sąlygoms, todėl pirmenybė teikiama daugiametėms žolėms /Lehtomäki, 2006/. Įvairiose pasaulio šalyse biodujų gamybai naudojamos įvairios daugiametės žolės: nendrinis dryžutis

(*Phalaris arundinacea* L.), didžioji smilga (*Agrostis gigantea* Roth.), aukštoji avižuolė (*Arrhenatherum elatius* L.), nendrinis eraičinas (*Festuca arundinacea* Schreb.), įvairių rūšių svidrė (*Lolium* spp.) ir kt. /Lehtomäki, 2006/. Daugelyje Europos šalių perdirbti į biodujas yra auginamas nendrinis dryžutis (*Phalaris arundinacea*). Tos pačios rūšies augalai šiltesnio klimato kraštuose užaugina didesnę žolės biomasės derlių ir per vegetacijos sezoną gali būti pjaunami net iki 4–5 kartų, o šiauriau esančiose šalyse, kur vegetacijos sezonas yra labai trumpas, žolynų energinis efektyvumas yra gerokai mažesnis. Tokiu atveju biomasės derlius ir kokybė turi būti gerinami taikant papildomas priemones: reguliuojant pjūčių laiką, naudojant trąšas.

Lietuvoje vienos geriausiai augančių ir didžiausią biomasės derlių duodančių žolių yra paprastoji šunažolė (*Dactylis glomerata* L.). Vidutinis metinis šių žolių sausųjų medžiagų derlius siekia 12 t ha⁻¹. Jo dydį veikia ne tik atsparumas žemai temperatūrai žiemos metu, įvairioms ligoms, bet ir žolių ankstyvumas. Paprastųjų šunažolių pirmoji pjūtis gali būti jau gegužės antrojo dešimtadienio pabaigoje /Lemežienė ir kt., 1998; Kanapeckas ir kt., 1999/. Paprastųjų šunažolių pirmosios pjūties derlius sudaro vidutiniškai 47 % metinio derliaus, o kitų varpinių žolynų, pavyzdžiui, pašarinių motiejukų, daugiamečių svidrių, pievinių miglių, pirmosios pjūties derlius plaukėjimo metu svyruoja nuo 50 iki 65 %. Tai rodo tolygesnę paprastųjų šunažolių biomasės augimo pasiskirstymą sezono metu /Kanapeckas ir kt., 1999/.

Kitos ne tik pašarui, bet ir energijos gamybai Lietuvoje perspektyvios daugiametės žolės yra nendriniai eraičinai. Jų derlius siekia 12,1–13,6 t ha⁻¹ ir mažai kinta įvairiais metais. Augalai pakenčia nederlingą įvairios mechaninės sudėties dirvožemį, gali augti minimaliai tręšiant ar netgi be trąšų. Šios rūšies augalai yra ilgaamžiai, jų šaknų sistema puikiai išvystyta, jie gerai žiemoja ir yra sąlygiškai atsparūs sausoms /Brencienė, 1995/.

Tyrimų tikslas – nustatyti nendrinio eraičino (*Festuca arundinacea* Schreb.) ir paprastosios šunažolės (*Dactylis glomerata* L.) biomasės energinę vertę lemiančių medžiagų kiekio bei derliaus dydžio priklausomumą nuo pjūčių kaitos plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais ir nendrinė eraičinų tręšimo įtaką jų cheminei sudėčiai bei derliui per vieno naudojimo metų ciklą.

Sąlygos ir metodai

Tyrimai atlikti su daugiametėmis varpinėmis žolėmis – nendrinium eraičinu (*Festuca arundinacea* Schreb.) ir paprastąja šunažole (*Dactylis glomerata* L.), užaugintomis Lietuvos žemdirbystės instituto bandymų laukuose Dotnuvoje giliau karbonatingame giliau glėjiškame (vidutinio sunkumo) priemolio rudžemyje (RDg4-k2), *Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol* (CMg-n-w-can).

Daugiamečių žolių pirmosios pjūties laiko (žolės plaukėjimo ir žydėjimo tarpsniais) įtaka jų cheminei sudėčiai bei biomasės derliui nustatyta pasirinkus antrųjų naudojimo metų daugiametės žoles. Veislės 'Navas' nendriniai eraičinai nupjauti plaukėjimo ir žydėjimo tarpsniu. Tirti netręšti ir tręšti mineralinėmis azoto trąšomis 150 kg ha⁻¹ pavasarį, prasidėjus vegetacijai, nendrinė eraičinų pasėliai. Paprastosios šunažolės nebuvo tręštos. Bandymai įrengti keturiais pakartojimais. Laukelio bendras plotas – 15 m², apskaitinis – 7,5 m².

Žolių derlius nuimtas specialiaja šienapjove „Hege 212“. Sausųjų medžiagų derliui ir cheminėms analizėms atlikti iš kiekvieno varianto pakartojimo buvo paimtas 0,5–1 kg augalų žalios masės ėminys. Sausųjų medžiagų (SM) derlius nustatytas augalų mėginius 12 val. išdžiovinus +105 °C temperatūroje iki pastovios masės. Visiškai išdžiovinti augalai pasverti ir apskaičiuotas sausųjų medžiagų derlius.

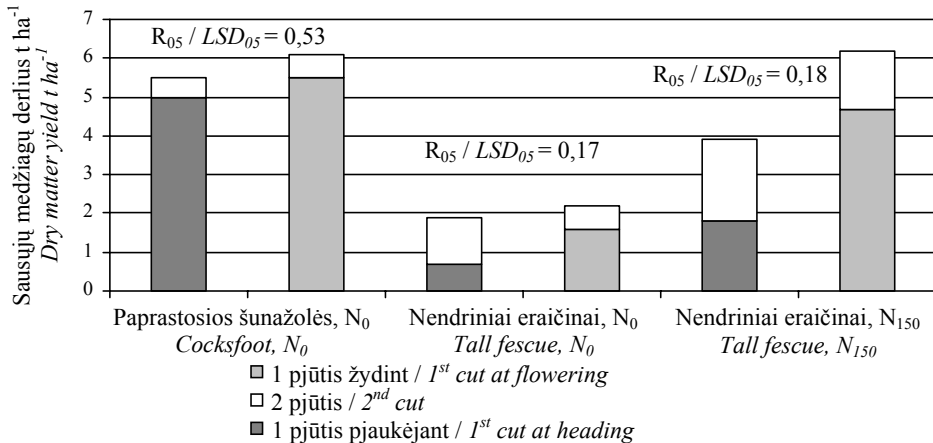
Mėginių paruošimas cheminėms analizėms. Prieš džiovinimą žolių mėginiai susmulkinti kapokle 3–5 cm ilgio gabalėliais, 15 min. fiksuoti +105 °C ir išdžiovinti +65 ± 5 °C temperatūroje. Sumalti cikloniniu malūnu naudojant sietą su 1 mm skersmens akutėmis.

Cheminių analizių metodai. Suminio azoto (N), anglies (C) ir sieros (S) koncentracija nustatyta Dumas metodu /Konig, Fortman, 1996/, pagrįstu medžiagos sausos oksidacijos (sudeginimo) technika +900 °C temperatūroje su kontroliuojamu kiekiu deguonies. Azoto (kartu su sieros ir anglies) koncentracija mėginyje nustatyta automatiniais analizatoriais „Vario EL III“. Ląstelienos frakcijos, t. y. išplauta neutraliame tirpale (NTL) bei silpnose rūgštyse (RTL), ir ligninas (RLL) nustatyti pagal Van Soesto ląstelienos frakcionavimo metodiką /Faithfull, 2002/. Celiuliozės, hemiceliuliozės ir žalių baltymų kiekis (g kg⁻¹ SM) apskaičiuoti taip: celiuliozė = RTL – RLL, hemiceliuliozė = NTL – RTL /Rinne et al., 1997/, žali baltymai = N x 6,25. Tirpių angliavandenių, t. y. mono-, di- ir oligosacharidų, suma nustatyta Dreywoodo antrono reagentu /Morris, 1948; Li et al., 1996/. Magnio koncentracija nustatyta kompleksometriiniu metodu, kalio ir kalcio – liepsnos fotometru /Ермаков и др., 1987/.

Tyrimų duomenys įvertinti dispersinės analizės metodu, esminio skirtumo ribos R_{05} nustatytos taikant programą *Anova* /Tarakanovas, Raudonius, 2003/.

Rezultatai ir jų aptarimas

Sausųjų medžiagų derlius. Tyrimų duomenys parodė, kad žolės derlingumą lemia pjūties laikas ir tręšimas azoto trąšomis. Paprastųjų šunažolių derliaus prieaugis nuo plaukėjimo, kai siekė 5,0 t ha⁻¹, iki žydėjimo buvo 0,5 t ha⁻¹, tačiau antrosios pjūties metu nustatytas derlius siekė tik 0,4 t ha⁻¹ laukeliuose, pirmą kartą pjautuose šunažolėms ir plaukėjant, ir joms žydint (1 pav.). Azotu netręštų nendriinių eraičinų biomasės pirmosios pjūties sausųjų medžiagų derlius buvo gerokai mažesnis (0,7 t ha⁻¹ plaukėjant ir 1,6 t ha⁻¹ žydint) nei gautas atitinkamais brandos tarpsniais taip pat azotu netręštų paprastųjų šunažolių. Nors antrosios pjūties nendriinių eraičinų derlius buvo didesnis nei šunažolių, jis nekompensavo didelių pirmosios pjūties derliaus skirtumų. Tręštų azotu nendriinių eraičinų pirmosios pjūties ir metinis derlius, žolės pirmą kartą nupjovus augalų plaukėjimo tarpsniu, taip pat buvo mažesnis nei atitinkamas šunažolių derlius, tačiau laukeliuose, kur tręstos žolės nupjautos žydėjimo metu, nendriinių eraičinų antrosios pjūties (1,5 t ha⁻¹) ir metinis (6,2 t ha⁻¹) derlius buvo didesnis už šunažolių derlių (atitinkamai 0,4 ir 5,9 t ha⁻¹). Tręšimas azoto trąšomis turėjo didelę įtaką nendriinių eraičinų sausųjų medžiagų derliui: pagal 150 kg ha⁻¹ mineralinio azoto normą tręštų pasėlių sausųjų medžiagų metinis derlius buvo 2–3 kartus didesnis nei netręštų žolynų. Pirmąją pjūtį atlikus plaukėjimo tarpsniu, jis siekė atitinkamai 3,9 bei 1,9 t ha⁻¹, o žydėjimo metu – 6,2 bei 2,2 t ha⁻¹.



1 paveikslas. Paprastųjų šunažolių ir nendrinųjų eraičinų sausųjų medžiagų derlius plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais

Figure 1. Dry matter yield of cocksfoot and tall fescue at heading and flowering stages

Cheminė biodujų gamybai skirtos augalų biomasės sudėtis. Žolių rūšis, jų pjūties laikas bei tręšimas azoto trąšomis turėjo įtakos ir pačiose ląstelėse sukauptų mikroorganizmų mitybai svarbių komponentų, t. y. baltymų ir vandenyje tirpių arba nestrūktūrinių angliavandenių (VTA), ir strūktūrinių ląstelės sienelių biopolimerų, t. y. celiuliozės, hemiceliuliozės bei lignino, koncentracijų kaitai biomasėje (2 pav.). Nendrinųjų eraičinų minėtų biomasės komponentų pokyčiai buvo ryškesni dėl pjūties laiko nei dėl tręšimo. Itin akivaizdi žolių brandos įtaka suminio azoto (N) ir pagal jo vertes apskaičiuotų žalių baltymų koncentracijai. Tręšimas pagal azoto N_{150} trąšų normą žalių baltymų koncentraciją padidino 18 g kg^{-1} SM plaukėjančių nendrinųjų eraičinų biomasėje ir $19,6 \text{ g kg}^{-1}$ SM žydinčių augalų biomasėje. Augalams bręstant, nuo plaukėjimo iki žydėjimo prarandama vidutiniškai net $82,9 \text{ g kg}^{-1}$ SM žalių baltymų. Paprastųjų šunažolių biomasė net plaukėjimo metu nebuvo turtinga azoto ir baltymų, jų koncentracija siekė tik 70 g kg^{-1} SM, ir buvo dar mažesnė šunažolėms žydint – $58,2 \text{ g kg}^{-1}$. Toks žalių baltymų ir suminio azoto koncentracijų skirtumas įvairių rūšių žolėse joms plaukėjant galėtų būti paaiškintas, viena vertus, praskiedimo efektu: plaukėjimo tarpsniu paprastųjų šunažolių derlius buvo beveik dvigubai didesnis už nendrinųjų eraičinų (1 lentelė). Antra vertus, tai gali būti susiję su nevienoda žolių geba efektyviai pasisavinti azotines maisto medžiagas. Azoto panaudojimo efektyvumu skiriasi ne tik žolių rūšys, bet ir kai kurie tos pačios rūšies genotipai /Bregard et al., 2001; Zemenchik, Albrecht, 2002/. Baltymai yra vienintelis mikroorganizmų azoto šaltinis, todėl jo koncentracija biodujų gamybai skirtoje biomasėje turi būti optimali.

Antrosios pjūties abiejų rūšių augalų biomasėje azotinių medžiagų buvo nedaug: $56,3\text{--}92,5 \text{ g kg}^{-1}$ SM (1 lentelė). Be to, nepriklausomai nuo pirmosios pjūties laiko, azotu netręštų žolių biomasėje antrosios pjūties metu žalių baltymų koncentracija buvo panaši: šunažolių – $78,8$ bei $71,8 \text{ g kg}^{-1}$ SM ir eraičinų – $64,4$ bei $63,8 \text{ g kg}^{-1}$ SM. Pirmosios

pjūties laikas turėjo įtakos baltymų koncentracijai antrosios pjūties azotu tręštų eraičinų biomasėje – 56,3 ir 92,5 g kg⁻¹ SM.

1 lentelė. Paprastųjų šunažolių ir nendriinių eraičinų biomasės cheminės sudėties kaita plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais

Table 1. The variation of chemical composition of tall fescue and cocksfoot biomass at heading and flowering stages

Pjūties laikas / Cutting time	Rodikliai g kg ⁻¹ SM / Indicators g kg ⁻¹ DM			
	Žali baltymai Crude protein	VTA WSC	NTL NDF	RTL ADF
Paprastosios šunažolės, N ₀ / Cocksfoot				
I pjūtis plaukėjant / 1 st cut at heading	70,0	208	573	322
II pjūtis 2008-10-07 / 2 nd cut	78,8	73	648	414
I pjūtis žydint / 1 st cut at flowering	58,2	140	649	380
II pjūtis 2008-10-07 / 2 nd cut	71,8	89	645	407
Nendriniai eraičinai, N ₀ / Tall fescue				
I pjūtis plaukėjant / 1 st cut at heading	123,0	237	492	245
II pjūtis 2008-10-07 / 2 nd cut	64,4	145	663	410
1 pjūtis žydint / 1 st cut at flowering	38,5	171	660	393
2 pjūtis 2008-10-07 / 2 nd cut	63,8	108	725	459
Nendriniai eraičinai, N ₁₅₀ / Tall fescue				
I pjūtis plaukėjant / 1 st cut at heading	141,0	159	561	301
II pjūtis 2008-10-07 / 2 nd cut	56,3	110	660	368
I pjūtis žydint / 1 st cut at flowering	58,1	160	643	347
II pjūtis 2008-10-07 / 2 nd cut	92,5	148	649	380

Pastaba / Note. VTA / WSC – vandenyje tirpūs angliavandeniai / water soluble carbohydrates, NTL / NDF – neutraliame tirpale išplauta ląstelienu / neutral detergent fibre, RTL / ADF – silpnų rūgščių tirpale išplauta ląstelienu / acid detergent fibre.

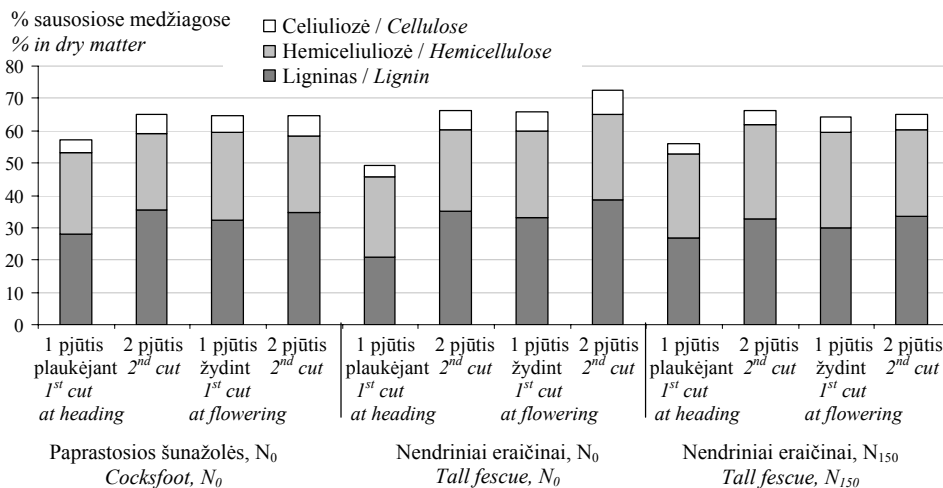
Cukrus arba vandenyje tirpius angliavandenius (VTA) mikroorganizmai fermentuoja labai greitai ir visiškai juos pasisavina. VTA kiekis tolygus greitai išgaunamos energijos kiekiui mikrofloros veiklai suaktyvinti. Vandenyje tirpūs angliavandeniai turi labai didelę įtaką žolių masės anaerobinės fermentacijos procesui, jo greičiui ir kokybei. VTA, kaip pirminių fotosintezės produktų, koncentracija itin jautri temperatūros, apšvietimo pokyčiams ir kitiems aplinkos veiksniams /Halling et al., 2004; Volaire et al., 2005/. Tai gali būti viena iš priežasčių, kodėl šių junginių kaita dėl augalų brandos nėra tokia ryški kaip žalių baltymų. Nors VTA koncentracija nendriinių eraičinų biomasėje nuo plaukėjimo iki žydėjimo tarpsnio sumažėjo vidutiniškai 32 g kg⁻¹ SM, šis skirtumas susijęs tik su netręštų augalų VTA koncentracijos pokyčiu. Angliavandenių ypač gausu (237 g kg⁻¹ SM) buvo plaukėjimo tarpsnio azotu netręštų nendriinių eraičinų biomasėje, o žydinčių augalų VTA koncentracija buvo 171 g kg⁻¹ SM. Panašus VTA kaitos pobūdis nustatytas ir paprastųjų šunažolių biomasėje: nuo 208 g kg⁻¹ SM augalams plaukėjant iki 140 g kg⁻¹ SM žydint. VTA reikšmių sumažėjimas augalui bręstant, be abejo, yra susijęs ir su jame vykstančiais biocheminiais bei fiziologiniais pokyčiais: dalis angliavandenių

įjungiami į stambiamolekules ląstelių sienelių struktūras – celiuliozę, hemiceliuliozę, ligniną ir kt. Netręštų žolių rūšis lyginat pagal VTA koncentraciją jų biomasėje nustatyta, kad nendriniai eraičiniai sukaupia apie 30 g kg⁻¹ SM daugiau VTA. Antrosios pjūties žolė turi mažiau VTA nei atitinkamo varianto pirmosios pjūties. Tam galėjo turėti įtakos pakitusios klimato sąlygos, lapų ir stiebų santykio skirtumai skirtingų pjūčių metu. Taip pat itin išryškėjo žolių rūšies įtaka: cukrų šunažolių biomasėje buvo daug mažiau (73 ir 89 g kg⁻¹ SM) nei nendrinų eraičinų (145 bei 108 g kg⁻¹ SM netręštų ir 110–148 g kg⁻¹ SM tręštų).

Augalams senstant, itin sparčiai didėjo azotu netręštų nendrinų eraičinų ląstelių sienelės sudarančių komponentų koncentracija biomasės sausojoje medžiagoje. Šio varianto NTL koncentracija padidėjo 168 g kg⁻¹ SM, o RTL – 148 g kg⁻¹ SM. Be to, ankstyvesnės brandos, t. y. žolėms plaukėjant, azotu netręšti augalai turėjo 69 g kg⁻¹ SM mažiau ląstelienos NTL ir 54 g kg⁻¹ SM – RTL nei tręštieji, tačiau jiems žydint, priešingai, ląstelienos buvo daugiau netręštų nendrinų eraičinų biomasėje. Netręštų paprastųjų šunažolių biomasėje iš celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino susidedančios ląstelienos NTL koncentracijos abiem brandos tarpsniais buvo panašios į atitinkamo tarpsnio azotu tręštų nendrinų eraičinų. Literatūroje taip pat teigiama, kad žolinių augalų kokybė labai priklauso nuo augalų išsivystymo tarpsnio: mažėja baltymų ir VTA, kaupiasi daugiau ląstelių sienelės medžiagų /Sanderson, Wedin, 1989; Butkutė, Paplauskienė, 2004/. Ląstelienos kiekio kitimui mažesnę įtaką turėjo tręšimas azoto trąšomis, metai ir vietovė nei pjūties laikas /Lemus et al., 2008/. Su nedidelėmis išimtimis, daugiau ląstelienos NTL bei RTL frakcijų turėjo atolo biomasė nei atitinkama pirmosios pjūties žolė.

Anaerobinės bakterijos gyvybei reikalingos energijos gauna skaidydamos angliavandenius. Tolesnių procesų metu skaidomi sudėtingi stambiamolekuliai junginiai – struktūriniai angliavandeniai celiuliozė ir hemiceliuliozė, kurios kartu su ligninu yra pagrindinės ląstelių sienelių, t. y. NTL, sudedamosios dalys. Jų santykio kaitą atspindi 2 paveiksle pateikti duomenys.

Nors augalams senstant sausosiose medžiagose didėjo ląstelienos NTL ir ją sudarančių biopolimerų koncentracija, tačiau celiuliozės, hemiceliuliozės bei lignino santykis ląstelienoje išliko mažai pakitęs paprastųjų šunažolių ir azotu tręštų nendrinų eraičinų biomasėje. Biomasėje ligninas yra vienas iš ribojančių veiksnių didelei biodujų išėigai gauti. Šio mikroorganizmų nepasisavinamo biopolimero daugiau sukaupta vėlyvos brandos augaluose, tačiau kaitos mastas priklausė nuo žolių rūšies ir tręšimo. Vėlinant pjūtį, lignino santykinė dalis didėjo nežymiai, ypač netręštų nendrinų eraičinų biomasėje. Paprastųjų šunažolių biomasėje lignino koncentracija nuo plaukėjimo iki žydėjimo padidėjo mažiau, t. y. 1,39 proc. vieneto, o netręštų nendrinų eraičinų biomasėje – net 2,76 proc. vieneto, t. y. nuo 3,42 iki 6,18 %. Nors plaukėjančių tręštų ir azotu netręštų eraičinų ląstelių sienelės buvo lignifikuotos vienodai, tręšimas azoto trąšomis šiek tiek pristabdė lignino, kaip ir pačios ląstelienos, kaupimąsi. Antrosios pjūties žolių biomasė turėjo daugiau celiuliozės bei lignino nei atitinkama pirmosios pjūties žolė, o hemiceliuliozės koncentracija išliko panaši kaip ir atitinkamo varianto pirmosios pjūties žolės. Tik azotu tręštų nendrinų eraičinų atolo, kai pirma pjūtis atlikta augalams žydint, žolėje lignino buvo šiek tiek mažiau nei pirmosios pjūties biomasėje.



2 paveikslas. Struktūrinių biopolimerų santykio ląstelienoje kaita paprastųjų šunažolių ir nendrinų eraičinų biomasėje plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais

Figure 2. The variation of the ratio of structural biopolymers in the fibre of the biomass of cocksfoot and tall fescue cut at heading and flowering stages

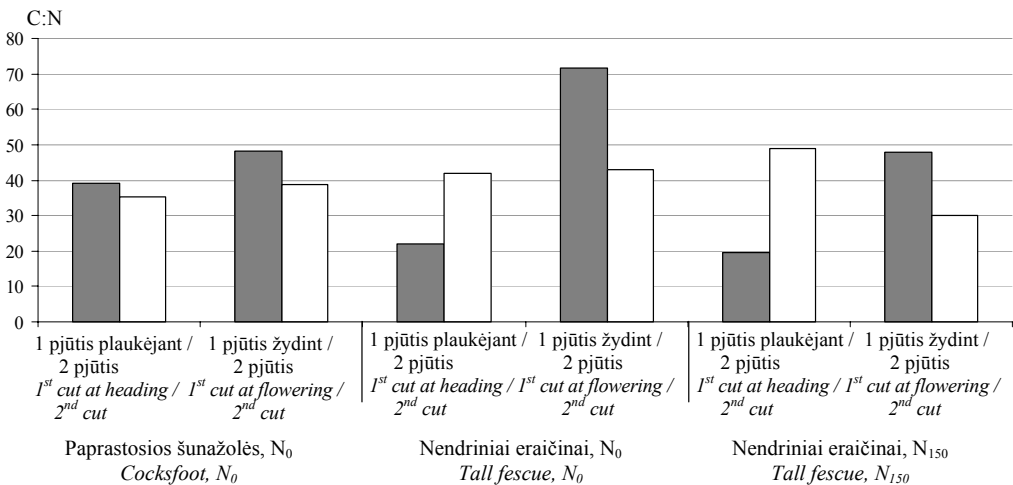
Žolių masę vertinant kaip biodujų gamybos žaliavą, būtina turėti informacijos apie jos pagrindinių elementų – azoto, anglies, fosforo, kalio, sieros, kalcio ir magnio – koncentracijas. Pagal J. P. Juangą (2005), jie reikalingi anaerobinių mikroorganizmų apykaitai palaikyti ir anaerobiniam metanogenezės procesui stabilizuoti. Neatsižvelgiant į organinių junginių kaitą, dėl žolių rūšies, pirmosios pjūties laiko arba tręšimo azoto trąšomis suminės anglies (C) koncentracijos abiejų pjūčių žolių biomasėje skirtumas buvo nedidelis, t. y. neviršijo nustatymo paklaidų (2 lentelė). Azoto koncentracijos kaitos dėsningumai buvo aptarti anksčiau, nagrinėjant žalių baltymų kaitos dėsningumus (2 lentelė). Likusių tirtų makroelementų koncentracija žolių biomasėje buvo didesnė (su nedidelėmis išimtimis šunažolių biomasėje) nupjautų plaukėjimo tarpsniu nei žydėjimo. Nepaisant esminio nendrinų eraičinų derliaus padidėjimo dėl tręšimo, makroelementų koncentracija tręštų ir netręštų plaukėjimo tarpsnio augalų biomasėje skyrėsi nežymiai. Azotu tręštų žolių derliuje visų makroelementų, išskyrus fosforą, koncentracija žydėjimo tarpsniu buvo didesnė. Galima daryti prielaidą, kad augalų aprūpinimas azotu sudarė palankias sąlygas ir kitų makroelementų kaupimuisi pirmosios pjūties žolėje. Antrosios pjūties žolėje, nepriklausomai nuo žolių rūšies, pirmosios pjūties laiko ar tręšimo, aktyvaus azoto dėsningumas buvo atolo biomasei būdingos didesnės fosforo, kalcio ir magnio koncentracijos. Tačiau antrosios pjūties metu žolė mažiau turtinga kalio, o sieros koncentracijos kaita nendrinų eraičinų biomasėje nebuvo dėsninga.

Vienas svarbiausių skirtos perdirbti į biodujas biomasės rodiklių yra C ir N santykis. Kaip jau buvo minėta, daugelis šaltinių nurodo, kad optimali santykio reikšmė yra tarp 20 ir 30. Šio santykio vertės priklausė nuo žolių rūšies, augalų brandos tarpsnio ir tręšimo azoto trąšomis. Tyrimų metu optimalus C ir N santykis gautas azotu tręštus arba netręštus nendrinus eraičinius nupjovus jiems plaukėjant (3 pav.).

2 lentelė. Pagrindinių makroelementų koncentracijų kaita paprastųjų šunažolių ir nendriinių eraičinų biomasėje plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais

Table 2. The variation of the concentrations of the main macro-elements in the biomass of cocksfoot and tall fescue at heading and flowering stages

Pjūties laikas / Cutting time	Elementų kiekis g kg ⁻¹ SM / Elements g kg ⁻¹ DM						
	N	C	P	K	S	Ca	Mg
Paprastosios šunažolės, N ₀ / Cocksfoot							
I pjūtis plaukėjant / 1 st cut at heading	11,2	438	2,06	18,0	1,29	4,03	0,68
II pjūtis 2008-11-07 / 2 nd cut	12,6	444	3,25	11,8	2,53	10,80	1,65
I pjūtis žydint / 1 st cut at flowering	9,31	448	1,52	13,9	1,39	3,42	0,80
II pjūtis 2008-11-07 / 2 nd cut	11,48	447	3,45	11,6	2,26	10,60	1,78
Nendriniai eraičiai, N ₀ / Tall fescue							
I pjūtis plaukėjant / 1 st cut at heading	19,7	436	2,62	23,2	1,99	4,31	0,81
II pjūtis 2008-11-07 / 2 nd cut	10,3	432	3,89	14,3	2,30	8,63	1,52
I pjūtis žydint / 1 st cut at flowering	6,2	443	1,86	13,6	1,68	2,55	0,64
II pjūtis 2008-11-07 / 2 nd cut	10,2	438	2,46	12,4	1,56	6,70	1,37
Nendriniai eraičiai, N ₁₅₀ / Tall fescue							
I pjūtis plaukėjant / 1 st cut at heading	22,60	442	2,70	21,6	2,14	4,31	1,07
II pjūtis 2008-11-07 / 2 nd cut	9,01	440	2,84	14,8	1,63	6,68	1,14
I pjūtis žydint / 1 st cut at flowering	9,29	444	1,67	18,6	1,73	3,34	0,68
II pjūtis 2008-11-07 / 2 nd cut	14,80	447	3,76	15,0	2,72	11,0	1,73



3 paveikslas. Anglies ir azoto santykio kaita paprastųjų šunažolių ir nendriinių eraičinų biomasėje plaukėjimo bei žydėjimo tarpsniais

Figure 3. The variation of the ratio of carbon to nitrogen in the biomass of cocksfoot and tall fescue at heading and flowering stages

Visais tirtais atvejais C ir N vertės buvo didesnės augalams žydint nei plaukėjant. Pirmosios pjūties laikas buvo ypač reikšmingas C ir N santykiui nendriinių eraičinų biomasėje: šio rodiklio vertės netreštų augalų biomasėje padidėjo daugiau nei trigubai – nuo 22,13 iki 71,92, o treštų azotu – nuo 19,56 iki 47,79. Nors trešimas azoto trąšomis didelės įtakos anglies ir azoto santykiui plaukėjimo tarpsniu neturėjo, tačiau treštuose augaluose, jiems senstant, didėjo lėčiau. Šunažolių atole, nepriklausomai nuo pirmosios pjūties laiko, anglies ir azoto santykis sumažėjo ir buvo artimesnis optimaliam nei atitinkamų variantų pirmosios pjūties žolėje. Ir treštų azoto trąšomis, ir netreštų nendriinių eraičinų antrosios pjūties biomasėje C:N verčių kaita priklausė nuo pirmosios pjūties tarpsnio. Ataugusių biomasę nupjovus po pirmosios plaukėjančių augalų pjūties, atolo C:N vertės buvo didesnės, o po pirmosios žydinčių augalų pjūties – mažesnės nei pirmosios pjūties atitinkamo varianto žolės.

Išvados

1. Antrųjų naudojimo metų paprastųjų šunažolių metinis derlius priklausė nuo žolės išsivystymo tarpsnio pirmosios pjūties metu. Metinis derlius, kai pirma pjūtis atlikta žydėjimo tarpsniu, buvo 0,5 tonos didesnis už derlių, kai pirma pjūtis buvo plaukėjimo tarpsniu. Nustatyta, kad, nepriklausomai nuo pirmosios pjūties laiko, netreštos azoto trąšomis paprastosios šunažolės buvo derlingesnės už nendriinius eraičinius.

2. Antrųjų naudojimo metų nendriinių eraičinų metinis biomasės derlius priklausė nuo pirmosios pjūties laiko ir pjūties laiko bei trešimo sąveikos. Metinis derlius buvo didesnis, kai pirmoji pjūtis atlikta žydėjimo tarpsniu. Patrešus pagal N_{150} $kg\ ha^{-1}$ azoto trąšų normą, derlius buvo didesnis vėlinant pirmąją pjūtį.

3. Tirtos biomasės biodujoms kokybės rodikliai priklausė nuo žolių rūšies ir jų išsivystymo tarpsnio pirmosios pjūties metu. Žolių kokybė biodujų gamybai daugeliu atvejų buvo geresnė žolių plaukėjimo tarpsniu. Nendriinių eraičinų žalių baltymų koncentracija žolių plaukėjimo tarpsniu buvo $123\ g\ kg^{-1}$ netreštame pasėlyje ir $141\ g\ kg^{-1}$ pagal $150\ kg\ ha^{-1}$ azoto trąšų normą treštame pasėlyje, o netreštų paprastųjų šunažolių biomasėje ji siekė tik $70\ g\ kg^{-1}$. Vandenyje tirpių angliavandenių (VTA) kaitos pobūdis abiejų tirtų rūšių žolių buvo panašus – augalų biomasėje šių elementų buvo vidutiniškai 1,5 karto daugiau plaukėjimo tarpsniu nei žydėjimo metu.

4. Pastebėta tendencija, kad žolių pirmosios pjūties biomasėje makroelementų koncentracija buvo didesnė plaukėjimo nei žydėjimo tarpsniu. Žolių trešimas azoto trąšomis mažai veikė makroelementų koncentraciją biomasėje plaukėjimo tarpsniu, tačiau visų makroelementų, išskyrus fosforo, buvo gausu žydėjimo tarpsniu.

5. Struktūrinių biopolimerų (celiuliozės, hemiceliuliozės, lignino) santykio kaita mažai skyrėsi ir lyginant tarp rūšių, ir kintant kiekvienos žolės tarpsniui. Bet vėlinant pjūtį ryškiau didėjo nendriinių eraičinų nei paprastųjų šunažolių nepasisavinto lignino kiekis: jis kito nuo 3,4 iki 6,2 %. Palankiausias biodujų gamybos procesui anglies ir azoto santykis buvo nendriinius eraičinius nupjovus plaukėjimo tarpsniu: azoto trąšomis treštų augalų biomasėje jis buvo 19,6, o netreštų – 22,1.

6. Preliminarūs tyrimų rezultatai parodė, kad pirmosios pjūties laikas gali daryti įtaką augalų derliui bei kokybei. Pastarajai tendencijai patikimai įvertinti ir biomasės derliaus bei kokybės per kelerius metus stabilumui nustatyti reikėtų daugiau tyrimų.

Padėka

Dėkojame Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui už finansinę paramą atliekant šiuos tyrimus.

Gauta 2008 11 25
Pasirašyta spaudai 2009 05 14

LITERATŪRA

1. Bregard A., Belanger G., Michaud R., Tremblay G. F. Biomass partitioning, forage nutritive value, and yield of contrasting genotypes of timothy // *Crop Science*. – 2001, vol. 41, No. 4, p. 1212–1219
2. Brencienė V. Varpinių žolių palyginimas Vakarų Lietuvos velėniniame jauriniame ir velėniniame jauriniame glėjiškame dirvožemyje // *Žemdirbystė: LŽI mokslo darbai*. – 1995, t. 46, p. 16–22
3. Butkutė B., Paplauskienė V. Changes in the quality of some Lithuanian grasses as affected by cutting time in spring // *Grassland Science in Europe*. – 2004, vol. 9, p. 909–911
4. Butkutė B., Paplauskienė V. Daugiamečių varpinių žolių pašarinės vertės potencialas // *Žemdirbystė-Agriculture*. – 2006, t. 93, Nr. 3, p. 172–187
5. Faithfull N. T. *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*. – Wallingford, 2002. – 266 p.
6. Gipiškis V., Jucienė G. Atolo pjovimo laikas Nemuno užliejamose pievose // *LŽMTI mokslinių straipsnių rinkinys / Žolių ūkis*. – Vilnius, 1990, Nr. 66, p. 22–23
7. Gunaseelan V. Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review // *Biomass and Bioenergy*. – 1997, vol. 13, p. 83–114
8. Halling M. A., Longland A. C., Martens S. et al. Accumulation of water soluble carbohydrates in two perennial ryegrass cultivars at nine European sites // *Grassland Science in Europe*. – 2004, vol. 9, p. 954–956
9. Janušauskas R. J. Biodujų gamyba iš žemės ūkio ir maisto pramonės atliekų // *Energetika*. – 2003, Nr. 4, p. 102–106
10. Juanga J. P. Optimizing dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste: a thesis for the degree of Master of Engineering. – Thailand, 2005, p. 18–23
11. Kanapeckas J., Lemežienė N., Tarakanovas P. ir kt. Plaukėjimo fazėje pjautų daugiamečių varpinių žolių derliaus ir jo vertės palyginimas // *Žemės ūkio mokslai*. – 1999, Nr. 1, p. 10–16
12. Kaparaju P., Luostarinen S., Kalmari E. et al. Codigestion of energy crops and industrial confectionery by-products with cow manure: batch scale and farm-scale evaluation // *Water Science and Technology*. – 2002, vol. 45, p. 275–280
13. Katutis K. Augimvietės bei pjūčių dažnumo įtaka pievų žolynų derlingumui ir nupjautos biomasės irimui Nemuno žemupyje // *Žemdirbystė: LŽI mokslo darbai*. – 2008, t. 95, Nr. 1, p. 107–124
14. Koning N., Fortman H. Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungs- Methoden des Umweltanalytik-Labor der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabor II des Forschungszentrums Waldökosysteme. Teil 1: Elementbestimmungsmethoden A-M. – Göttingen, 1996, Reihe B, Bd. 46
15. Lehtomäki A. Biogas production from energy crops and crop residues // *Studies in Biological and Environmental Science*. – Jyväskylä, 2006, vol. 163. – 91 p.
16. Lemežienė N., Kanapickas J., Tarakanovas P., Nekrošas S. Daugiamečių žolių derlingumas bei kitos ūkiškai naudingos savybės // *Žemės ūkio mokslai*. – 1998, Nr. 1, p. 42–47

17. Lemus R., Brummer E. C., Burras C. L. et al. Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in Southern Iowa, USA // *Biomass and Bioenergy*. – 2008, vol. 32, issue 12, p. 1187–1194
18. Li R., Volenec J. J., Joern B. C., Cunningham S. M. Seasonal changes in nonstructural carbohydrates, protein, and macronutrients in roots of alfalfa, red clover, sweetclover, and birdsfoot trefoil // *Crop Science*. – 1996, vol. 36, p. 617–623
19. Mähnert P., Heiermann M., Linke B. Batch- and semicontinuous biogas production from different grass species // *Agricultural Engineering International*. – 2005, vol. 7, p. 1–11
20. Morris D. L. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent // *Science*. – 1948, vol. 107, p. 254–255
21. Navickas K., Župerka V., Janušauskas R. Daugiamečių žolių panaudojimas biodujų gamybai [Utilisation of perennial grasses for biogas generation] // *Žemės ūkio inžinerija: mokslo darbai / LZŪU, LZII*. – 2003, t. 35, Nr. 4, p. 109–116
22. Nielsen J. B. H., Oleskowicz-Popiel P., Seadi T. A. Energy crop potentials for bioenergy in EU-27 // 15th European Biomass Conference & Exhibition. – Berlin, 2007, p. 94–103
23. Pouech P., Fruteau H., Bewa H. Agricultural crops for biogas production on anaerobic digestion plants // *Proceedings 10th European conference “Biomass for energy and industry”*. – Germany, 1998, p. 163–165
24. Raclavská H., Juchelková D., Roubíček V. Utilisation of biomass and mixtures for the gas production // *International Conference on Engineering Education*. – Coimbra, Portugal, 2007, p. 70–74
25. Rinne M., Jaakkola S., Huhtanen P. Grass maturity effects on cattle fed silage-based diets. 1. Organic matter digestion, rumen fermentation and nitrogen utilization // *Animal Feed Science and Technology*. – 1997, vol. 67, p. 1–17
26. Sanderson M. A., Wedin W. F. Phenological stage and herbage quality relationships in temperate grasses and legumes // *Agronomy Journal*. – 1989, vol. 81, p. 864–869
27. Tarakanovas P., Raudonius S. Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas *Anova, Stat, Split-plot* iš paketo *Selekcija ir Irristat*. – Akademija (Kėdainių r.), 2003. – 57 p.
28. The biomass assessment handbook: bioenergy for sustainable environment. – London, 2007. – 269 p.
29. Volaire F., Norton M. R., Norton G. M. et al. Seasonal patterns of growth, dehydrins and water-soluble carbohydrates in genotypes of *Dactylis glomerata* varying in summer dormancy // *Annals of Botany*. – 2005, vol. 95, No. 6, p. 981–990
30. Wilkie A. Anaerobic digestion: biology and benefits // *Dairy manure management conference: Natural resource, agriculture and engineering service*. – Ithaca, 2005, p. 63–72
31. Zemenchik R. A., Albrecht K. A. Nitrogen use efficiency and apparent nitrogen recovery of Kentucky bluegrass, smooth brome grass, and orchardgrass // *Agronomy Journal*. – 2002, vol. 94, p. 421–428
32. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического анализа растений. – Ленинград, 1987. – 430 с.

VARIATION OF TALL FESCUE AND COCKSFOOT BIOMASS AT HEADING AND FLOWERING STAGES

V. Tilvikienė, B. Butkutė, Z. Dabkevičius, Ž. Kadžiulienė, A. Kryževičienė

Lithuanian Institute of Agriculture

Summary

One of the ways of renewable energy production is processing of perennial grasses into biogas. The output and quality of biogas are directly dependent on the chemical composition of plants, which is influenced by plant species and growth stage.

The present study was designed to determine the contents of substances determining tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) biomass energy value and yield in relation to cutting timing at heading and flowering stages as well as the impact of tall fescue fertilisation on its chemical composition and yield per one year's cycle of use.

The annual above-ground yield of cocksfoot and tall fescue depended on plant growth stage at first cut. When the first had been taken at heading stage, the annual yield of cocksfoot amounted to 5.5 t ha⁻¹ and when the first cut had been taken at flowering, the annual yield was 6.1 t ha⁻¹. The annual yield for tall fescue amounted to 1.9 t ha⁻¹ and 2.2 t ha⁻¹, respectively in the plots not applied with nitrogen fertiliser and to 3.9 t ha⁻¹ and 6.2 t ha⁻¹ in the plots applied with 150 kg ha⁻¹ rate. Irrespective of the first cut timing, cocksfoot was higher yielding than tall fescue.

Chemical composition of perennial grasses' biomass was more favourable for biogas production at heading stage. The variation of the ratio of polymers determining plant makeup – cellulose, hemicellulose, and lignin differed little between the species and growth stages. However, the content of non-utilised lignin in tall fescue increased more markedly with delayed cutting time compared with that in cocksfoot. The most favourable carbon to nitrogen content ratio 19.6 and 22.1 for biogas production was found in the biomass of tall fescue either fertilised with nitrogen or not when the cut was taken at flowering stage.

Preliminary research results suggest that the time of the first cut can influence annual biomass yield and quality.

Key words: cocksfoot, tall fescue, biomass yield, chemical composition, biogas production.