

EVALUAREA INDICILOR DE CALITATE A FITOMASEI ENERGETICE DE *Dactylis glomerata* L. ȘI *Festuca pratensis* Huds.

Țiței Victor^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-1961-1536>

Ababii Alexei¹, <https://orcid.org/0009-0002-2250-1060>

Blaj Vasile², <https://orcid.org/0000-0003-2143-566>

Doroftei Veaceaslav¹, <https://orcid.org/0009-0008-2117-9018>

Gadibadi Mihai¹, <https://orcid.org/0000-0002-7038-5669>

Andreoiu Andreea², <https://orcid.org/0009-0001-3709-275X>

Marușca Teodor², <https://orcid.org/0000-0001-7452-3814>

Gudima Andei³, <https://orcid.org/0000-0002-7250-8423>

Tod Monica², <https://orcid.org/0009-0004-3465-7120>

Daraduda Nicolae³, <https://orcid.org/0000-0001-5683-0431>

¹Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru” a Universității de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

²Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

³Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

* e-mail: victor.titei@gb.usm.md

Summary: We studied the quality indices of the energy phytomass from perennial grass *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*, collected from the experimental field of the National Botanical Garden (Institute) MSU, Chișinău. The quality indices of green mass substrates for anaerobic digestion: 92-98 g/kg CP, 359-389 g/kg CF, 76-80 g/kg CA, 648-682 g/kg NDF, 380-412 g/kg ADF, 33-41 g/kg ADL, 347-371 g/kg Cel, 269-270g/kg HC, with C/N=32.74-34.72 and biochemical methane potential 337-350 l/kg ODM. The quality indices of phytomass (straw) substrates: 771-799 g/kg NDF, 478-484 g/kg ADF, 54-65 g/kg ADL, 419-424 g/kg Cel, 293-315g/kg HC and theoretical ethanol yield from structural carbohydrates averaged 522-533 L/t. The quality indices of solid biofuel-pellets: 8.01-9.03% ash, 18.10-18.44 MJ/kg GCV, 16.73-17.07 MJ/kg NCV with bulk density 595-652 kg/m³ and durability 93-96%.

Keywords: biochemical methane potential, *Dactylis glomerata*, energy phytomass, green mass substrates, *Festuca pratensis*, solid biofuel, straw, theoretical ethanol yield.

Introducere

În secolul XXI, asigurarea cu energie este fundamentală pentru societatea modernă care solicită o alimentare cu energie capabilă să facă față cererii crescânde a populației și dezvoltării industriale, dar în același timp să fie fiabilă, economic rezonabilă și durabilă în ceea ce privește impactul său global, regional și local asupra mediului înconjurător. La moment principalele surse de energie sunt combustibilii fosili (cărbunii, țițeiul, gazele naturale și de șist) și combustibilii nucleari. În urma utilizării combustibililor fosili se produc cantități imense de emisii de carbon, azot și clor, gaze cu efect de seră în mediul ambient, fapt resimțit direct de populație prin încălzirea globală progresivă, redistribuirea neuniformă a precipitațiilor, fenomenele de secetă și arșiță, diminuarea productivității culturilor agricole și asigurării cu hrană a populației. Una dintre posibilitățile de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră este înlocuirea parțială a combustibililor fosili. Folosirea comercială a energiilor renovabile în ultimele decenii înregistrează rezultate notabile. Conversia unor energii regenerabile, ca de exemplu cea eoliană sau hidro, se face numai în energie electrică, iar energia provenită din biomasă, poate fi stocată în formă de

biocombustibili lichizi, solizi și gazoși, apoi convertită în formă de căldură și de electricitate, pentru consum casnic și industrial.

Fondarea plantațiilor perene de ierburi pentru sechestrarea dioxidului de carbon din atmosferă sub formă de fitomasă ar putea diminua efectul de seră și contribui la valorificarea rațională a apei și protejarea solului (Revenco & Țîței, 2021). În ultimele decenii se investighează mai multe specii de *Poaceae* pentru obținerea diferitor tipuri de biocombustibili (Mähnert și col. 2002; Harkot și col. 2007; Seppälä și col. 2009; Poișa și col. 2011; Godin și col. 2013; Njoku și col. 2013; Sacristán și col. 2021; Țîței & Roșca, 2021; Waliszewska și col. 2021; Sobol și col. 2022).

Criza energetică care afectează Republica Moldova, începând cu toamna anului 2021, a evidențiat importanța dezvoltării sectorului de biocombustibili renovabili pentru economia națională, dar și din punct de vedere al siguranței și securității energetice. Totodată, aceasta a demonstrat necesitatea dezvoltării necondiționate a acestui sector prin identificarea resurselor vegetale pentru fondarea plantațiilor energetice și elaborarea elementelor tehnologice de recoltare și procesare a fitomasei pentru obținerea a diferitor tipuri de biocombustibili.

Scopul cercetării a constat în evaluarea indicilor de calitate a masei proaspete recoltate, precum și a fitomasei din plantațiile semincere de golomăț *Dactylis glomerata* și de păiuș de livezi *Festuca pratensis*, posibilități de valorificare a lor pentru obținerea diferitor tipuri de biocombustibili pentru producerea energiei renovabile în condițiile Republicii Moldova.

Materiale și metode

În calitate de obiect de studiu au servit plantele de golomăț *Dactylis glomerata* și de păiuș de livezi *Festuca pratensis* crescute în terenul experimental al Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru” din Chișinău. Mostrele de plante, pentru determinarea compoziției biochimice și estimarea potențialului de obținere a biometanului, au fost prelevate la prima coasă în anul 2 de vegetație la demararea înfloririi. Plantele recoltate au fost mărunțite și supuse deshidratării în etuvă cu ventilație forțată la temperatura de 60°C, la finele fixării materialul biologic a fost măcinat fin la moara de laborator cu bile. Pentru evaluarea potențialului obținere a biocombustibililor solizi și a bioetanolului fitomasa (paiele) a fost prelevată din plantațiile semincere la finele vegetației după recoltarea semințelor. Evaluarea conținutului de proteină brută (CP), cenușa brută (CA), fibră brută (CF), conținutul de fibre prin tratare cu detergent neutru (NDF), conținutul de fibre prin tratare cu detergent acid (ADF), conținutul de lignină sulfurică (ADL), lignină sulfurică (ADL), a fost realizată aplicând metoda spectrofotometriei infraroșu apropiat cu utilizarea echipamentului tehnic PERTEN DA 7200 din cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România. Conținutul de celuloză (Cel), hemiceluloză (HC) s-a estimat conform ecuațiilor acceptate. Conținutul de carbon în materia organică s-a calculat conform ecuației reportate de Badger și col. (1979). Potențialul de producție a biogazului și randamentul specific de metan au fost evaluate pe baza conținutului de proteină brută și a compușilor chimici a pereților celulari lignină sulfurică și hemiceluloză a masei proaspete recoltate conform ecuațiilor reportate de Dandikas și col. (2015). Potențialul teoretic de obținere a bioetanolului celulozic a fost estimat în baza conținutului de hidrați de carbon structurali conversia lor în zaharuri tip pentoze și hexoze conform Goff și col. (2010). Particularitățile fizico-mecanice ale fitomasei uscate recoltate au fost evaluate în cadrul Laboratorului Biocombustibili solizi UTM după conținutul de umiditate, determinat prin metoda uscării în etuvă, conform SM EN ISO 18134; cenușă - prin calcinarea lentă în cuptorul electric cu mufă conform SM EN 18122; valoarea calorică superioară (brută) s-a estimat folosind calorimetrul izoperibolic IKA C6000 în conformitate cu SM EN ISO 18125; densitatea în vrac a biocombustibilului solid-pileți - conform metodelor acceptate; densificarea fitomasei în formă de pileți s-a realizat – la utilajul de pelitare (Marian, 2016).

Rezultate și discuții

Am putea menționa că la momentul recoltării, demararea înfloririi, plantele de *Dactylis glomerata* atingeau înălțimea de 110-114 cm cu un grad de înfrunzire de 34%, iar plantele de *Festuca pratensis* 102-105 cm și 38 % conținut de frunze. Conținutul de substanțe uscate în masa proaspătă recoltată la ierburile investigate diferă, fiind de 236 g/kg la *Dactylis glomerata* și de 273 g/kg la *Festuca pratensis*.

Este cunoscut faptul că pentru buna funcționare a stațiilor de biogaz este necesar de a pregăti substraturi omogene de biomasă cu un conținut optimal de nutrienți pentru activitatea microbiană în procesele de metanogeneză, prin care se obține metanul ca energie și digestatul ca fertilizant organic pentru agricultura ecologică. Rezultatele privitor la compoziția biochimică a substanțelor uscate din plantele recoltate de golomăț *Dactylis glomerata* și de păiuș de livezi *Festuca pratensis*, potențialului biochimic de obținere a biometanului sunt redată în tabelul 1. S-a stabilit că plantele de *Festuca pratensis* au un conținut mai ridicat de proteină brută și mai diminuat de fibră brută, lignină sulfurică și celuloză comparativ cu plantele de *Dactylis glomerata*, fapt ce s-a răsfrânt pozitiv asupra potențialului biochimic de obținere a biometanului. Astfel, potențialul biochimic de obținere a biometanului în substratul de *Festuca pratensis* atinge 350 l/kg materie organică față de 337 l/kg materie organică în substratul de *Dactylis glomerata*. În literatura de specialitate sunt redată rezultate privitor la componența biochimică și potențialului de obținere a biometanului în substraturile de masă proaspătă recoltată din speciile investigate de ierburi. Conform Mähnert și col. (2002), masa proaspătă de *Festuca pratensis* conține 176 g/kg substanță uscată cu 91.5% materie organică și un potențial de biogaz de 708-909 l/kg, iar de *Dactylis glomerata* -186 g/kg substanță uscată cu 89.9% materie organică și 678-800 l/kg biogaz. Heuzé & Tran (2015) menționează că plantele de golomăț conțin 20.7% substanțe uscate, iar componența chimică a acestora fiind 16.3 % proteină, 4.0 % grăsimi, 29.7 % celuloză, 59.9% NDF, 32.3% ADF, 4.5% ADL, 9.7 % cenușă, 10.1% zahăruri. 4.1 g/kg calciu, 2.8 g/kg fosfor, 69.4% materie organică digestibilă, și o încărcătură de 18.0 MJ/kg energie brută. Xue și col. (2020) au stabilit că masa proaspătă de *Dactylis glomerata* conține 245-255 g/kg substanțe uscate., 11.9-13.7% proteină, 55.0-56.9 % NDF, 29.9-32.3 % ADF, 3.48-4.57% ADL, 9.33-10.24 % cenușă. Muñoz și col. (1999) raportează că plantele de golomăț recoltate primăvara conțin 10.59% proteină brută, 35.63 % ADF, 65.1% NDF, 4.69% ADL. Tenikecier & Ates (2018) au stabilit că golomățul recoltat în perioada de înflorire conține 13.56% proteină, 30.38% ADF și 55.44% NDF. Sosnowski și col. (2017) raportează că plantele recoltate de *Dactylis glomerata* au o concentrație de 47.8-51.6% NDF, 28.6-30.5% ADF, 3.12-3.79% ADL, 25.5-26.7% celuloză și 19.2-21.2% hemiceluloză, iar cele de *Festuca pratensis*, respectiv 47.6-51.0% NDF, 29.8-31.0% ADF, 3.40-4.00% ADL, 25.5-26.7% celuloză și 17.8-20.0% hemiceluloză. Berzins și col. (2015) menționează că la prima coasă soiurile cercetate de *Festuca pratensis* au un conținut de 10.66-12.50% proteină și 5.46-6.79% cenușă. Staniak (2015) a stabilit că soiurile testate de *Festuca pratensis* au un conținut de 14.6-16.9 % proteină brută și 21.0-27.7% fibră brută, iar soiurile de *Dactylis glomerata* 14.0-16.2% proteină brută și 28.5-29.3% fibră brută. Seppälä și col. (2009) prezintă un potențial de metan a substratului de biomasă de *Dactylis glomerata* de 308-382 l/kg. Butkutė și col. (2014), a stabilit că biomasa de de *Dactylis glomerata* conține 163-244 g/kg substanță uscată, 7.25-9.33% cenușă, 8.5-15.0 % azot, 61.7-69.1 % NDF, 365-482 % ADF, 2.28-6.30 % ADL, 21.6-24.6 % hemiceluloză, 34.8-41.1 % celuloză, C/N =18.8-34.4, potențialul de biometan atinge 350-369 l/kg materie organică. Naydenova&Vasileva (2016) raportează că golomățul conțin 10.44% proteină brută, 37.82 % ADF, 58.83% NDF, 7.16% ADL, 21.03% celuloză și 21.01% hemiceluloză.

Utilizarea bioetanolului ca combustibil pentru motor are o istorie la fel de lungă, ca și mașina în sine. Bioetanolul reprezintă un combustibil lichid important, regenerabil pentru autovehicule. Producția de bioetanol din biomasă este o modalitate de a reduce atât consumul de petrol, cât și de diminuare a poluarării mediului. Tehnologiile de conversie pentru producerea de etanol din resurse de biomasă celulozică, utilizează un proces de pretratare pentru a descompune

hemicelulozele în zaharuri și a deschide structura componentei celulozice. Porțiunea de celuloză este hidrolizată de acizi sau enzime în zahăr glucozat care este fermentat la bioetanol.

Tabelul 1

**Compoziția biochimică și potențialului de obținere a biometanolului
în substraturile de masă proaspătă recoltată din speciile investigate de ierburi**

<i>Indici</i>	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Festuca pratensis</i>
Proteină brută (CP), g/kg	92	98
Fibră brută (CF), g/kg	389	359
Fibră în acid detergent (ADF), g/kg	412	380
Fibră în detergent neutru (NDF), g/kg	682	648
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	41	33
Celuloză (Cel), g/kg	371	347
Hemiceluloză (HC), g/kg	270	269
Cenușă brută (CA), g/kg	80	76
Carbon (C), g/kg	511.11	513.33
Azot (N), g/kg	14.72	15.68
Raportul carbon : azot (C/N)	34.72	32.74
Potențial biogaz, l/kg materie organică	630	656
Potențial biometan, l/kg materie organică	337	350

Zaharurile din hemiceluloze sunt, de asemenea, fermentate în bioetanol. Analizând rezultatele obținute privitor la compoziția biochimică a fitomasei, Tabelul 2, am putea menționa că substratul de *Dactylis glomerata* se evidențiază printr-un conținut mai ridicat a compușilor din pereții celulari, în special lignină și hemiceluloză, fapt ce s-a răsfrânt și asupra concentrației de zaharuri tip pentoze.

Tabelul 2

Compoziția biochimică a fitomasei din speciile investigate de ierburi și potențialul teoretic de obținere a bioetanolului

<i>Indici</i>	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Festuca pratensis</i>
Fibră în acid detergent (ADF), g/kg	484	478
Fibră în detergent neutru (NDF), g/kg	799	771
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	65	54
Celuloză (Cel), g/kg	419	424
Hemiceluloză (HC), g/kg	315	293
Zaharuri tip hexoze, g/kg	76.21	76.88
Zaharuri tip pentoze, g/kg	51.81	48.19
Randament etanol celulozic (TEP), l/t	533	522

Potențialul teoretic de obținere a bioetanolului estimat în substraturile investigate atinge valori de 522-533 litri/t materie organică, valori mai înalte prezintă substratul de paie de *Dactylis glomerata*. Njoku și col. (2013) menționează că randamentul de etanol la fermentarea hidrolizatelor lichide de hemiceluloză separate din substratul de *Dactylis glomerata* variază de la 89 la 158 ml/kg substanță uscată în dependență de procedeul pretratării. În cercetările noastre anterioare, Doroftei și col. (2021), s-a stabilit că substraturile de paie de *Festuca arundinacea*, *Festuca pratensis* și *Festuca rubra* prezintă un potențialul teoretic bioetanol de 493-495 l/kg, iar paile de *Triticum aestivum* - 513 l/kg. Waliszewska și col. (2021) au stabilit că biomasa de *Dactylis glomerata* are concentrație de 10.59 % substanțe extractive, 37.71 % celuloză, 19.33 % lignină și 31.48% hemiceluloză. Sacristán și col. (2021) raportează că biomasa de *Dactylis glomerata* conține 909.2 g/kg substanță uscată cu 6.96 % cenușă, 37.67 % fibră brută, 45.70 % ADF, 69.33 % NDF, 6.10 % proteină, 39.70 % celuloză, 23.63 % celuloză, 6.00 % lignină.

Fitomasa solidă reprezintă componentul vegetal al naturii și a constituit întotdeauna o sursă majoră de energie pentru omenire, fiind folosită odată cu descoperirea focului. Printre formele moderne de valorificare a fitomasei ca combustibili solizi se regăsesc baloții, peleții, brichetele și tocatura. Materia primă folosită la producerea biocombustibililor solizi este foarte variată după compoziția biochimică și particularitățile fizico-mecanice ce se răsfrâng asupra calității produsului finit desinificat. Rezultatele privitor la particularitățile fizico-mecanice ale fitomasei și a peleților obținuți din plantele de *Dactylis glomerata* și *Festuca pratensis* sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabelul 3

Particularitățile fizico-mecanice ale fitomasei uscate recoltate și a combustibilului solid obținut din speciile investigate de ierburi

Indici	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Festuca pratensis</i>
<i>Fitomasa solidă</i>		
Cenușă brută (CA), g/kg	7.07	8.57
Valoare calorifică brută (GCV), MJ/kg	18.42	18.11
Valoare calorifică netă (NCV), MJ/kg	17.04	16.74
Valoare calorifică netă la 10% umiditate (NCV ₁₀), MJ/kg	15.09	14.82
<i>Combustibil solid-peleți</i>		
Cenușă brută (CA), g/kg	8.01	9.03
Valoare calorifică brută (GCV), MJ/kg	18.44	18.10
Valoare calorifică netă (NCV), MJ/kg	17.07	16.73
Valoare calorifică netă la 10% umiditate (NCV ₁₀), MJ/kg	15.12	14.91
Densitatea în vrag, kg/m ³	595.2	652.4
Durabilitatea, %	92.86	95.56

Fitomasa solidă de *Dactylis glomerata* se evidențiază printr-un conținut mai diminuat de cenușă și încărcătură energetică mai înaltă. Combustibilul solid-peleți din fitomasa de *Festuca pratensis* au o densitate în vrag și durabilitate mai mare, însă au un conținut mai înalt de cenușă și o valoare calorifică mai redusă comparativ cu cele din fitomasa solidă de *Dactylis glomerata*. Harkot și col. (2007) menționează că biomasa de *Dactylis glomerata* conține 5.5% cenușă, 94.5% substanțe combustibile, 52.1 % carbon, 0.19% sulf, 0.28 % clor și o valoare calorifică brută de 18.7 MJ/kg și valoare calorifică netă 17.6 MJ/kg. Waliszewska și col. (2021) au stabilit că biomasa de *Dactylis glomerata* are un conținut de 6.2% umiditate și o valoare calorifică de 16.1 MJ/kg. Sobol și col. (2022) menționează că *Festuca pratensis* conține 6.69% cenușă și o valoare calorifică brută de 16.877 MJ/kg. Daraduda (2024) raportează că biomasa de *Festuca pratensis* conține 3.90% cenușă și valoare calorifică netă 18.39 MJ/kg, iar biomasa de *Miscanthus sinensis* respectiv de 4.07% cenușă și valoare calorifică netă 17.55 MJ/kg.

Concluzii

Plantele de golomăț *Dactylis glomerata* și de păiuș de livezi *Festuca pratensis* pot fi utilizate la înerbarea terenurilor marginale și degradate, iar fitomasa recoltată valorificată la obținerea diferitor tipuri de biocombustibili ca energie renovabilă.

Notă. Cercetările au fost realizate în cadrul subprogramului 010102 „Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru utilizare în economia circulară”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării al RM.

Referințe

1. Badger C.M., Bogue M.J., Stewart D.J., 1979. Biogas production from crops and organic wastes. *New Zeland Journal of Science*, 22:11.
2. Berzins P., Jansone S., Rancane S., Stesele V., Dzene I., 2015. The evaluation of perennial grass cultivars in Latvia condition. *Proceedings of the 25th NJF congress Nordic View to Sustainable Rural Development*, 141–147.

4. Butkutė B., Lemežienė N., Kanapeckas J. et al. 2014. Cocksfoot, tall fescue and reed canary grass: dry matter yield, chemical composition and biomass convertibility to methane. *Biomass and Bioenergy*, 66:1–11. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.03.014.
5. Dandikas V., Heuwinkel H., Lichti F., Drewes J.E., Koch K., 2015. Correlation between biogas yield and chemical composition of grassland plant species. *Energy Fuels*, 29 (11): 7221-7229.
6. Daraduda N., 2024. *Valorificarea biomasei culturilor energetice pentru producerea biocombustibililor solizi densificați*. Teză de doctor în științe ingineresti. Chișinău, 174p.
7. Doroftei V., Țiței V., Ababii A. et al. 2021. Evaluarea calității biomasei din plantațiile semincere de ierburi perene și posibilități de valorificare. In. *Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor*. Chișinău, 346-349.
8. Godin B., Lamaudière S., Agneessens R. et al. 2013. Chemical characteristics and biofuels potentials of various plant biomasses: influence of the harvesting date. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93:3216–3224.
9. Goff B.M., Moore K.J., Fales L., Heaton A., 2010. Double-cropping sorghum for biomass. *Agronomy Journal*, 102:1586-1592.
10. Heuzé V., Tran G., 2015. *Cocksfoot (Dactylis glomerata)*. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/466>
11. Harkot W., Warda M., Sawicki J. et al. 2007. The possibility of meadow sward use for energy purposes. *PTL Lkarstwo w Polsc (Grassland Science in Poland)*, 10: 59-67.
12. Mähner P., Heiermann M., Pöchl M., Schelle H., Linke B., 2002. Alternative use for grassland cuts - forage grasses as biogas co-substrates. *Landtechnik*, 5: 260–261.
13. Marian G., 2016. *Biocombustibilii solizi -producere și proprietăți*. Manual pentru uzul producătorilor de biocombustibili solizi. Chișinău, 172 p.
14. Muñoz F., Andueza D., Delgado I., Ochoa M.J., 1999. Chemical composition and in vitro digestibility of herbaceous autochthonous plants in a semi-arid region of Spain. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 39, 75-78. <http://om.ciheam.org/om/pdf/c39/99600049.pdf>
15. Naydenova Y., Vasileva V., 2016. Analysis of forage quality of grass mixtures – perennial grasses with subterranean clover. *Journal of Basic and Applied Research*, 2(4): 534-540
16. Njoku S.I., Iversen J.A., Uellendahl H., Ahring B.K., 2013. Production of ethanol from hemicellulose fraction of cocksfoot grass using pichia stipitis. *Sustainable Chemical Processes*, 1(13): 1-7. <https://doi.org/10.1186/2043-7129-1-13>
17. Poiša L., Adamovičs A., Antipova L. et al. 2011. The chemical content of different energy crops *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*, 1:191-196.
18. Revenco E., Țiței, V., 2021. *Înierbarea terenurilor agricole ca metodă de conservare a apei și protejare a solului: Ghid practice pentru producătorii agricoli*. Chișinău: S. n., 60p.
19. Sacristán D., Cifre,J., Llompert M., Jaume J., Gulias J., 2021. Lignocellulosic biomass production and persistence of perennial grass species grown in Mediterranean marginal lands. *Agronomy*, 11, 2060. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102060>
20. Seppälä M., Paavola T., Lehtomäki A., Rintala J., 2009. Biogas production from boreal herbaceous grasses - specific methane yield and methane yield per hectare. *Bioresource Technology*, 100(12): 2952– 2958. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.04>
21. Sobol Ł., Wolski K., Radkowski A., Piwowarczyk E., Jurkowski M., Bujak H., Dyjakon A., 2022. Determination of energy parameters and their variability between varieties of fodder and turf grasses. *Sustainability*, 14, 11369. <https://doi.org/10.3390/su141811369>
22. Sosnowski J., Matsyura A., Jankowski K., Przytuła M., 2017. Cell wall fractions in the biomass of *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(1): 66–70.
23. Staniak M., 2016. The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. *Acta Agrobotanica*, 69(2):1663. <http://dx.doi.org/10.5586/aa.1663>
24. Tenikecier H.S., Ates E., 2018. Chemical composition of six grass species (*Poaceae* sp.) from protected forest range in Northern Bulgaria. *Asian Journal of Applied Sciences*, 11: 71-75.
25. Țiței V., Roșca I., 2021. *Bunele practici de utilizare a terenurilor degradate în cultivarea culturilor cu potențial de biomasă energetică*. Chișinău, 80 p.

26. Waliszewska B., Grzelak M., Gawęł E. et al. 2021. Chemical characteristics of selected grass species from polish meadows and their potential utilization for energy generation purposes. *Energies*, 14, 1669. <https://doi.org/10.3390/en14061669>
27. Xue Z., Wang Y., Yang H., Li S., Zhang Y., 2020. Silage fermentation and *In vitro* degradation characteristics of orchardgrass and alfalfa intercrop mixtures as influenced by forage ratios and nitrogen fertilizing levels. *Sustainability*, 12, 871; [doi:10.3390/su12030871](https://doi.org/10.3390/su12030871).