

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ОКРЕМИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Т. В. ФИЛИПЧУК, І. О. СИТНИКОВА, В. І. БУРКУТ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012
e-mail: t.filypchuk@chnu.edu.ua, i.sytnikova@chnu.edu.ua

У роботі проаналізовано деякі аспекти використання окремих енергетичних культур: *Miscanthus x giganteus* J.M. Greif et Deuter ex Hodkinson et Renvoize, *Panicum virgatum* L., *Sorghum saccharatum* (L.) Pers. (Switchgrass). Визначено вміст мінеральних елементів (Калію, Натрію, Кальцію) в біомасі надземної частини енергетичних культур та ґрунті після їх вирощування. Для порівняння відбирали ґрунти перелогу, ділянок, де вирощувалися багаторічні злакові трави (контрольні ділянки) та зернові сільськогосподарські культури. Проби ґрунту відбирали на ділянці 10×10 м з двох рівнів орного шару глибиною: 0 – 20 і 20 – 40 см. Оцінено вміст енергетичними культурами вказаних мінеральних елементів за коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП). Визначено вміст золи в біомасі досліджених енергокультур. Апробовано методіку саморобного виготовлення пелетів без використання будь-яких зв'язувальних речовин з біомаси досліджених енергетичних культур. Механічну міцність пелетів вимірювали за допомогою фіксації зусилля, необхідного для руйнування (зламу) пелетів. Отримані результати приводили до площі зламу пелету, визначаючи відношення показника сили до площі зламу. Вміст валових форм аналізованих елементів у ґрунті та біомасі енергетичних культур визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії, вміст золи встановлювали, обчислюючи масу залишку після повільного озолення проби у муфельній печі. Встановлено, що всі досліджені енергетичні культури менше виносять Натрію і Калію з ґрунту, ніж Кальцій. Більший винос Калію здійснює *S. saccharatum*, а Кальцію – *P. virgatum*. Показано, що біомаса надземної частини міскантусу та проса характеризується більшою зольністю порівняно з сорго цукровим, що пояснюється значною часткою листяної маси. Виявлено, що для всіх досліджених енергетичних культур механічна міцність пелетів, виготовлених з листя менша порівняно зі стебловою частиною. За природними клейкими властивостями сировини досліджені енергетичні культури можна розмістити у наступний спадний ряд: *Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) → *Miscanthus* sp. → *Panicum virgatum* L.

Ключові слова: *Sorghum saccharatum* (L.) Pers.), *Miscanthus* sp., *Panicum virgatum* L., мінеральні елементи, коефіцієнт біологічного поглинання, вміст золи, механічна міцність пелетів.

Вступ. Останніми роками особлива увага надається питанням захисту довкілля та сталого розвитку суспільства. Під сталим розвитком розуміють розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для можливостей майбутніх поколінь задовольняти власні потреби (Гелетуха та ін., 2014 а; Гелетуха та ін., 2016; Report of the World..., 1987).

Невід'ємною складовою загального процесу сталого розвитку суспільства в цілому є сталий розвиток біоенергетики. Виробництво енергії з біомаси – один з пріоритетних напрямків розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Цьому сприяють високий енергетичний потенціал і відновлюваний характер, завдяки чому галузь займає помітну нішу в загальному енергобалансі більшості розвинених країн світу (Риженко, Прощаликіна, 2019).

Україна значною мірою залежить від імпорту енергоносіїв, що створює загрози її енергетичній безпеці. Водночас наша країна має значний потенціал виробництва біомаси завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам та земельному фонду. Головним пріоритетом біоенергетики є пошук дешевої біосировини. Енергетичні культури дають високі врожаї і невибагливі у вирощуванні. Для більшості з них фотосинтез відбувається за C₄–

типом, що дає їм змогу інтенсивно трансформувати енергію сонця в енергомістку біомасу. Ці рослини невибагливі до родючості ґрунту, не потребують значного використання добрив, запобігають ерозійним процесам, сприяють збереженню та покращенню агроєкосистем і забезпечують низьку собівартість біомаси (Мазур та ін., 2017).

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується інтенсивним використанням земель, що призводить до подальшого розвитку процесів деградації та зниження родючості ґрунтів і незначним фінансуванням ґрунтозахисних і землеохоронних заходів. До землеробства в Україні залучено значну площу земель із деградованими та малопродуктивними ґрунтами, що економічно недоцільно та екологічно необґрунтовано (Стадницька, 2020). За оцінкою ІТТФ (Інститут технічної теплофізики НАН України), в Україні на сьогодні 3-4 млн. га сільськогосподарських земель, які не використовуються, але придатні для вирощування енергетичних культур (Практичний посібник..., 2017). З огляду на вище зазначене використання енергетичних культур в якості джерела біомаси – актуальна тема.

Мета роботи – проаналізувати деякі аспекти використання окремих енергетичних культур:

Miscanthus x giganteus J.M. Greef et Deuter ex Hodkinson et Renvoize, *Panicum virgatum* L., *Sorghum saccharatum* (L.) Pers. (*Switchgrass*).

Матеріали та методи. Дослідження проводили в рамках угоди про співробітництво з Буковинською державною сільськогосподарською дослідною станцією НААН.

Для дослідження відбирали біомасу надземної частини таких енергетичних культур: сорго цукрове гібриду Медовий; лозовидне просо і міскантус гігантський п'ятого року вегетації та зразки ґрунту після їх вирощування. Для порівняння відбирали ґрунти перелогу, ділянок, де вирощувалися багаторічні злакові трави (контрольні ділянки) та зернові сільськогосподарські культури. Дослідні ділянки з енергетичними культурами закладалися на схилі південно-західної експозиції крутизною 5 – 7°. Ґрунт досліджених ділянок – сірий лісовий важко-суглинковий середньозмитий.

Проби ґрунту відбирали відповідно до вимог ДСТУ ISO 10381-1:2004 (ДСТУ ISO 10381-1:2004..., 2006) на ділянці 10×10 м з двох рівнів орного шару глибиною: 0 – 20 і 20 – 40 см.

Вміст валових форм аналізованих елементів у ґрунтах дослідних ділянок та біомасі енергетичних культур визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії на приладі марки С 115–М. Для встановлення кількісних параметрів переходу мінеральних елементів з ґрунту у енергетичні культури визначено коефіцієнти біологічного поглинання (КБП), які виявляли за співвідношенням середніх значень вмісту хімічного елемента в рослині до його вмісту в ґрунті.

Вміст золи встановлювали, обчислюючи масу залишку після повільного озолення проби у муфельній печі відповідно до ДСТУ-П CEN/TS 14775:2012 (ДСТУ..., 2013).

Нами апробовано методику саморобного виготовлення пелетів без використання будь-яких зв'язувальних речовин з біомаси досліджених енергетичних культур. Виготовлення зразків паливних пелетів проводили за наступними етапами (рис.1).

Для виготовлення пелетів використовували саморобний ручний прес з робочою площею поршня 8 см², який дозволяв отримувати пелети товщиною до 1 см.

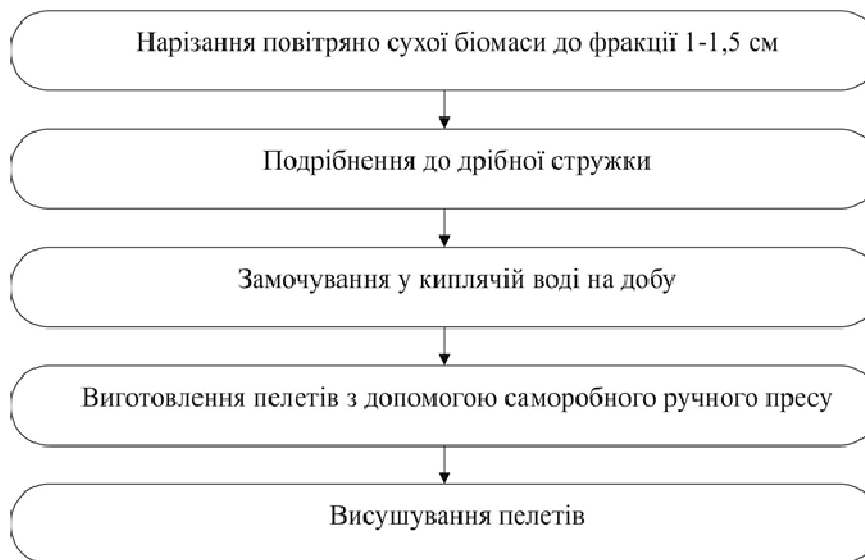


Рис. 1. Етапи виготовлення пелетів

Fig. 1. Stages of pellets production

Пелети піддавалися поступовому висушуванню у сухому провітрюваному приміщенні у літній період часу при температурі повітря +22...+25 °С. Механічну міцність пелетів вимірювали за допомогою фіксації зусилля, необхідного для руйнування (зламу) пелетів. Силу зламу вимірювали за допомогою динамометра наступним чином: нижня частина пелетів жорстко фіксувалася (рис. 2), а до верхньої прикладалася сила через динамометр і спеціальну рейку, яка створювала навантаження на верхню половину пелетів.

Силу збільшували до моменту зламу пелетів (рис. 3), максимальні покази динамометра фіксувались в момент руйнування.



Рис. 2. Фіксація нижньої та верхньої частин пелетів перед вимірюванням механічної міцності

Fig. 2. Fixation of the lower and upper parts of the pellets before measuring the mechanical strength

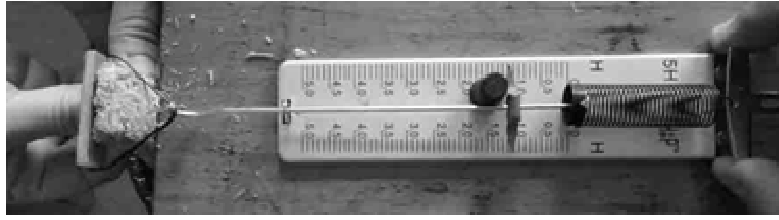


Рис. 3. Збільшення сили навантаження на пелет через динамометр і спеціальну рейку

Результати та їх обговорення. Отримані результати приводили до площі зламу пелету, визначаючи відношення показника сили до площі

$$\text{зламу: } M = \frac{F}{S} \text{ [Н/м}^2\text{]}.$$

Вміст валових форм хімічних елементів та золи визначали у чотирикратній повторності. Статистичний аналіз одержаних результатів проводили за критерієм Стюдента при $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Вміст хімічних елементів у рослинній сировині представляє найбільший інтерес з точки зору технології спалювання та практичного використання енергетичних культур. Кількісні та якісні характеристики хімічних елементів залежать від ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки вирощування, режиму мінерального живлення і сортових особливостей (Марчук та ін., 2017; Данчук, 2015).

Цікавим аспектом вирощування енергетичних культур протягом тривалого періоду є їх вплив на агрохімічний потенціал ґрунту. Визначення виведення мінеральних елементів рослинами дає можливість з'ясувати ефективність вирощування енергетичних культур з урахуванням їх впливу на родючість ґрунтів. Виведення мінеральних елементів з біомасою вважається об'єктивним показником потреби рослин у живленні. Серед чинників, які визначають поглинання та виведення елементів, виділяють: *ґрунтовий* (едафічний) – це вихідна концентрація елементів живлення у ґрунті, та *біологічний* – розмір річного приросту біомаси рослин і виведення з нею елементів живлення, що зумовлено видовими/сортовими особливостями, віком, урожайністю тощо. Водночас для багатьох енергетичних культур питання, пов'язані з особливостями поглинання й виведення поживних мінеральних речовин, вивчені недостатньо (Гелетуха та ін., 2014б).

Нами проаналізовано валовий вміст Калію, Кальцію, Натрію у ґрунтах під енергетичними культурами. Виявлено зменшення вмісту Натрію у верхньому шарі ґрунту (0 – 20 см) після вирощування *M. × giganteus* порівняно з контрольними ділянками (рис. 4). Натомість виявлено збільшення вмісту Натрію в нижньому шарі ґрунту (20 – 40 см) дослідних ділянок порівняно з іншими дослідженими культурами. Водночас помічено, що вирощування с/г культур значно зменшує вміст цього макроелемента в орному шарі ґрунту (0 – 40 см).

Калій ґрунту представлений різними мінералами і солями. Вміст загального Калію в ґрунті залежить від його мінералогічного складу. За рахунок біологічних і хімічних процесів у ґрунтах відбувається розпад первинних мінералів. З їх вивітрюванням Калій надходить

Fig. 3. Increase in the load force on the pellets through with the help of dynamometer and a fixing rail

у ґрунтовий розчин. Але цей процес у часі дуже повільний. Тому для достатнього забезпечення рослин Калієм потрібно створити умови прискорення його вивільнення з необмінних у доступні форми (Кучер, 2013).

З'ясовано, що у ґрунтах контрольних ділянок спостерігався такий розподіл вмісту Калію: більший вміст у нижньому шарі (20 – 40 см), ніж у верхньому (0 – 20 см) (рис. 4). Вирощування *P. virgatum* сприяло перерозподілу вмісту цього елемента в шарах ґрунту: збільшенню у верхньому шарі (0 – 20 см) на тлі зниження у нижньому (20 – 40 см).

Найнижчий вміст цього елемента в обох шарах ґрунту помічено під сільськогосподарськими культурами.

Виявлено, що вміст Кальцію підвищувався у орному шарі ґрунту (0 – 40 см) під *M. × giganteus* порівняно з контрольними ділянками (рис. 4). Вміст Кальцію у ґрунтах під двома іншими дослідженими енергокультурами мав взаємопротилежний характер розподілу з глибиною: під *S. saccharatum* – зростав, а під *P. virgatum* – зменшувався. Також показана чітка диспропорція валового вмісту цього елемента у досліджених шарах ґрунту під с/г культурами – у верхньому шарі майже у два рази більше, ніж у нижньому.

Підсумовуючи результати дослідження зауважимо, що вирощування енергетичних культур збіднює ґрунт за вмістом мінеральних елементів значно менше порівняно з с/г культурами.

За показником КБП показано, що потреби енергетичних культур у Натрії майже не відрізняються (табл. 1). Сорго цукрове сприяло більшому виносу Калію з ґрунту (КБП=0,62) порівняно з іншими дослідженими енергетичними культурами (КБП=0,15-0,21) (табл. 1). Досліджені енергетичні культури виносять Кальцій з орного шару ґрунту, особливо просо лозовидне. Відмічено найвищий КБП (>5) для проса на тлі незначного вмісту Кальцію в ґрунті.

Отже, за показниками КБП видно, що досліджені енергокультури менше виносять Калій (0,15-0,62) і Натрій (0,55-0,78) з ґрунту, ніж Кальцій (1,14-5,87). При цьому більший винос Калію здійснює *S. saccharatum*, а Кальцію – *P. virgatum*.

Якість паливних пелетів оцінюють за еколого-енергетичними характеристиками, зокрема теплою згоряння, зольністю, щільністю та вмістом екологічно небезпечних домішок. В Україні досі не існує відповідних стандартів, тому виробники орієнтуються на європейські. Проте в Євросоюзі також немає єдиного стандарту, і в різних країнах вимоги відрізняються один від одного. Але всі вони регламентують якісні показники біопалива (Романчук та ін., 2014).

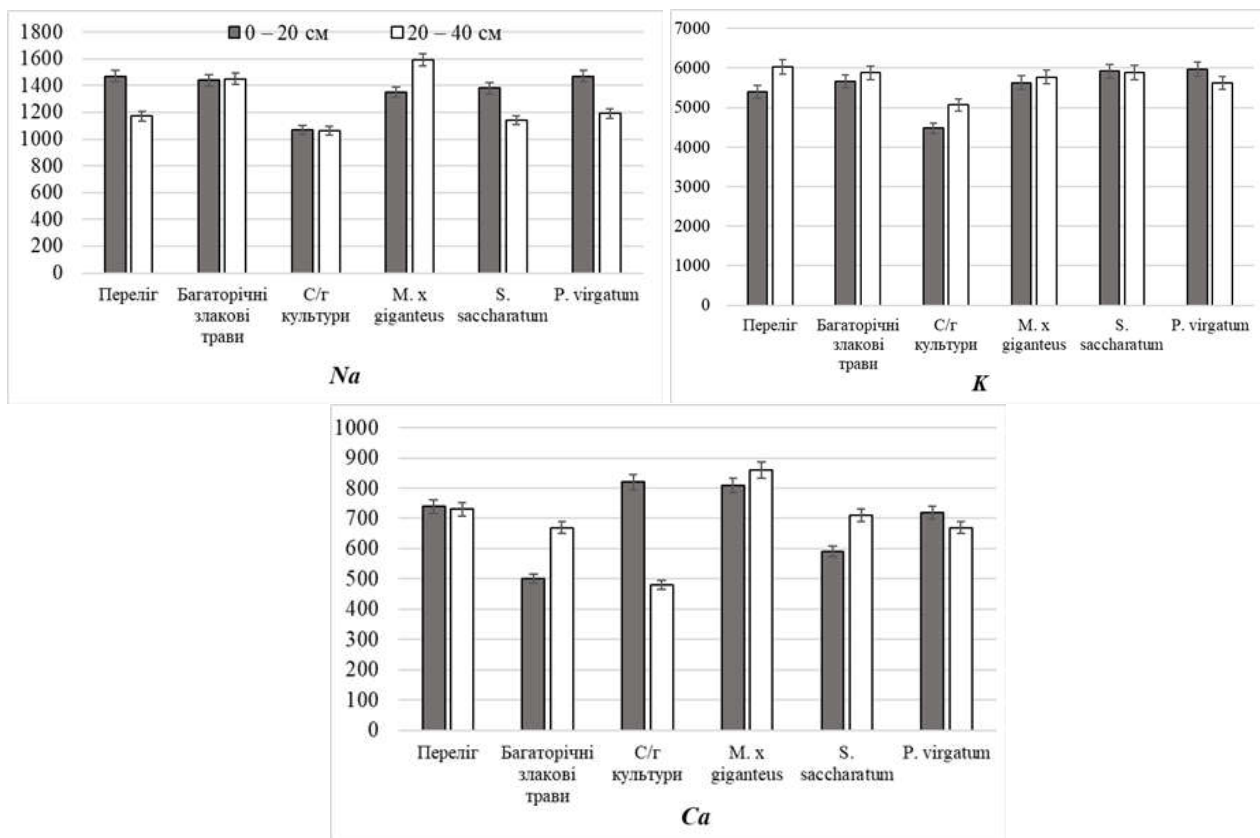


Рис. 4. Валовий вміст елементів у ґрунті під енергетичними культурами, мг/кг сухої маси

Fig. 4. Gross content of elements in the soil where energy crops were grown, mg/kg dry weight

Серед показників ефективності використання енергетичних культур заслуговують на увагу енергетична цінність і зольність (Баликіна, 2014). Теплоота згоряння рослинної біомаси, як і іншого твердого палива, залежить від негорючої його частини (баласту), якою в паливі є зола і волога. Їх реальні значення залежать від клімату, ґрунту, пори року заготівлі, умов транспортування, зберігання та переробки. Тому зольність, навіть окремих складових частин біомаси, різна (Скляренко, 2017).

Нами досліджено вміст золи в надземній частині енергетичних культур. Виявлено відносно високу зольність біомаси *M. x giganteus* і *P. virgatum* порівняно із *S. saccharatum* (рис. 5). Так, вміст золи у біомасі міскантусу становила 6,8 %, проса – 5,67

% та сорго – 1,1 %. Аналіз доступних літературних джерел показав недостатню інформацію щодо досліджень вмісту золи в енергокультурах, а наявні результати різняться. Так, згідно В. В. Будаєвої та ін. зольність міскантусу коливається в діапазоні 3,9 – 5,6 % (Будаєва та ін., 2010), за Ю. О. Гісматуліною та ін. (Гісматуліна та ін., 2014) – в діапазоні 6,7 – 11,5 %, а за даними Л. С. Ястремської та ін. (Ястремська та ін., 2017) – зольність становить 2,7 %. Дослідженнями О.О. Марчук та ін. (Марчук та ін., 2017) виявлено, що вміст сирової золи в стеблах і листках сорго цукрового знаходиться на рівні 2,92 і 2,99 % відповідно. Показано, що вміст золи у світчграді становить 4-6 % (Яценко та ін., 2020).

Коефіцієнт біологічного поглинання елементів енергетичними культурами

Таблиця 1.

Coefficient of biological absorption of elements by energy crops

Table 1.

Енергетична культура	КБП					
	Наптії		Калій		Кальцій	
	Шар ґрунту					
	0 – 20 см	20 – 40 см	0 – 20 см	20 – 40 см	0 – 20 см	20 – 40 см
<i>M. x giganteus</i>	0,64	0,55	0,21	0,20	1,21	1,14
<i>S. saccharatum</i>	0,64	0,78	0,62	0,62	2,49	2,07
<i>P. virgatum</i>	0,61	0,76	0,15	0,16	5,46	5,87

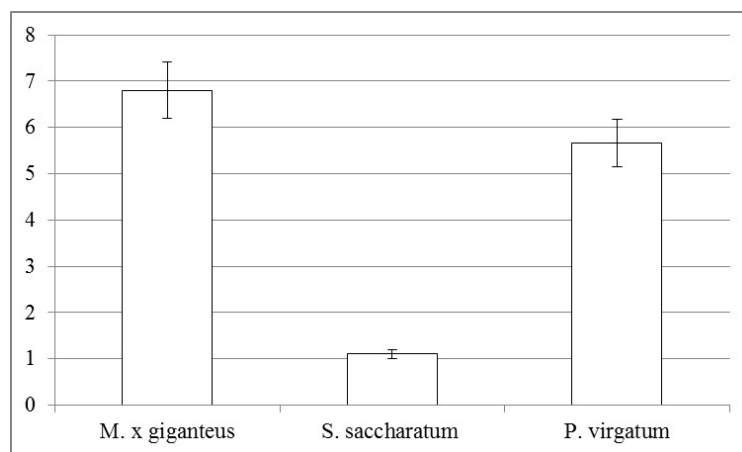


Рис. 5. Вміст золи в біомасі досліджених енергетичних культур, %

Fig. 5. The ash content in the biomass of the studied energy crops, %

Таке коливання вмісту золи пов'язано з основними складовими біомаси енергетичних культур – целюлози, геміцелюлози і лігніну, вміст яких впливає на частку золи. Зольність різних морфологічних частин рослин може відрізнятися завдяки розподілу цих компонентів у них. Так, авторами (Гисматуліна та ін., 2014; Гисматуліна, 2015) показано, що стебло міскантусу має меншу зольність, ніж листки через високий вміст нецелюлозних домішок. Целюлози більше міститься у стеблі, а золи, лігніну і пентози – в листках. Відносно високий вміст золи у свіччграсі також пояснюють високою часткою листяної маси (Яценко та ін., 2020). Як зазначають (Браніцький, Мазур, 2019) до складу біомаси проса лозовидного входить близько 50 % целюлози та 30 % лігніну. Зола проса лозовидного має низький вміст Калію та Натрію на тлі підвищеного вмісту Кальцію і Магнію, що сприяє високій температурі згоряння та зменшує імовірність утворення шлаків при спалюванні в твердопаливних котлах та узгоджується з нашими результатами щодо виносу даною культурою цих мінеральних елементів з ґрунту.

У наших дослідженнях ми аналізували вміст золи в стеблах і листках разом, оскільки для застосу-

вання в якості біопалива часто використовують суміш вегетативних органів рослин. Тому такий підвищений вміст золи в біомасі міскантусу та свіччграсу порівняно з сорго цукровим пояснюється значною часткою листяної маси.

Високоенергетичною сировиною для виробництва твердого біопалива є біомаса з низькою концентрацією зольних елементів та високим вмістом «горючих» елементів (целюлози, геміцелюлози та лігніну) (Мазур, 2017). Хімічний склад лігноцелюлози різних енергетичних культур істотно коливається і кожен з її компонентів має важливу роль у виробництві біопалива.

Відомо (Гисматуліна, 2016, Циганков, 2013), що хімічний склад та енергетична цінність біомаси трав'янистих енергетичних культур є не лише видо- і сортоспецифічними, але й залежать від умов районування, типу ґрунту, використовуваних поживних речовин, біокліматичних факторів протягом сезону вирощування, віку посадки, часу та способів збирання, а також від обраних методів аналізу. Тому дані щодо вмісту структурних компонентів лігноцелюлозної сировини досліджуваних енергетичних культур в різних літературних джерелах дещо відрізняються (табл. 2).

Таблиця 2.

Порівняльний аналіз структурних компонентів лігноцелюлозної сировини досліджуваних енергетичних культур

Table 2.

Comparative analysis of structural components of lignocellulosic raw material of the studied energy crops

Енергетична культура	Целюлоза, %	Геміцелюлоза, %	Пентози, %	Лігнін, %	Літературне джерело
<i>M. x giganteus</i>	50,34-52,13	24,83-25,76	–	12,02-12,58	Ястремська та ін., 2015
	42,9	23,4	–	24,4	Барбаш та ін., 2013
<i>S. saccharatum</i>	27-45	25 -31	–	11-21	Циганков та ін., 2013
<i>P. virgatum</i>	45	31,4	–	12	Шульга та ін, 2013
	50,9	–	–	6,3-10	Рахметов та ін., 2014
	39,7-46,7	23	–	13,8	Ткаченко та ін., 2018
	41,2	30,5	22,9	23,9	Madakadze et al., 2010

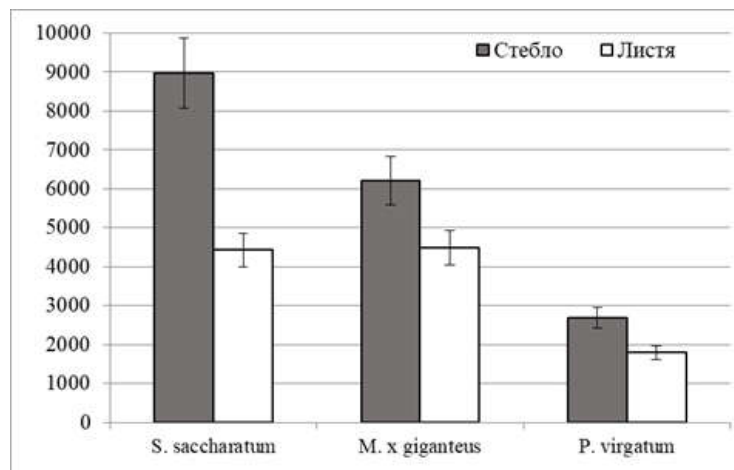


Рис. 6. Механічна міцність пелетів, виготовлених із стебла і листя різних енергетичних культур

Fig. 6. Mechanical strength of pellets made from the stem and leaves of various energy crops

За результатами наших досліджень для всіх енергетичних культур виявлено зниження механічної міцності пелетів, виготовлених з листя порівняно із пелетами зі стеблової частини (рис. 6).

Механічна міцність пелетів із листків сорго цукрового та міскантуса у два рази вища за міцність пелетів із лозовидного проса. За даними Ю. О. Гісматуліної (Гісматуліна, 2016), функція певної морфологічної частини рослини принципово визначає співвідношення вмісту трьох полімерів: целюлози, геміцелюлоз і лігніну. Так, для листків міскантуса характерне переважання лігніну, тоді як для стебла – целюлози та пентозанів. Тому стебло міскантуса характеризується меншою кількістю нецелюлозних компонентів (лігніну, золи), за виключенням пентозанів і більшим вмістом целюлози порівняно з листками.

Основним чинником, який визначає механічну міцність паливних пелетів є їх щільність: чим щільніші, тим вище показники їх якості. Вологість може суттєво знижувати щільність паливних пелетів: внаслідок випаровування виникають тріщини, що значно знижує їх міцність (Гайденко, 2014).

Деякі автори (Полянський та ін., 2018) вважають, що роль зв'язуючої речовини в пелетах виконує лігнін, який під дією тиску і температури сприяє з'єднанню та зміцненню частинок рослинної сировини в кінцевому продукті – пелетах.

Дослідженнями (Zeller et al., 1982) показано, що причиною клейкості лігноцелюлозної сировини є водорозчинні пентозани, які здатні поглинати воду (Dhaliwal et al., 1988). Таку властивість пентозанів можна розглядати як причину більшої міцності пелетів з більшим відсотком вказаного полімеру.

За результатами наших досліджень виявлено, що міцність пелетів із стеблової маси сорго цукрового у 1,5 рази вища порівняно з міскантусом,

тоді як для лозовидного проса, навпаки – у 2 рази нижча.

Згідно літературних даних (табл. 2) вміст геміцелюлози у біомасі сорго цукрового вищий, ніж у міскантуса. Оскільки вміст пентозанів корелює з вмістом геміцелюлоз, то більшу механічну міцність пелетів з сорго цукрового можна пояснити підвищенням поглинанням води водорозчинними пентозанами.

За літературними даними вміст геміцелюлози (пентозанів) в сировині проса лозовидного та міскантуса відрізняється незначно (табл. 2). Отже, міцність пелетів не завжди корелює зі збільшенням вмісту пентозанів, які завдяки своїм водорозчинним властивостям проявляють клейкість і, як наслідок, збільшують щільність брикетів.

Висновки. Встановлено, що всі досліджені енергетичні культури менше виносять Натрій і Калій з ґрунту, ніж Кальцій. Більший винос Калію здійснює *S. saccharatum*, а Кальцію – *P. virgatum*. Показано, що біомаса надземної частини міскантуса та проса характеризується більшою зольністю порівняно з сорго цукровим, що пояснюється значною часткою листяної маси.

Виявлено, що для всіх досліджених енергетичних культур механічна міцність пелетів, виготовлених з листя менша порівняно зі стебловою частиною. За природними клейкими властивостями сировини досліджені енергетичні культури можна розмістити у наступний спадний ряд: *Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) → *Miscanthus* sp. → *Panicum virgatum* L.

Список літератури:

1. Баликіна В. В. Визначення господарсько-цінних показників сортів рослин енергетичного напрямку використання під час проведення державної експертизи. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2014. № 4. С. 4–8.
2. Барбаш В. А., Микитюк Т. С., Меньків Р. В., Трембус І. В. Одержання волокнистих напівфабрикатів із сте-

- бел міскантуса. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. 6 (6). С. 52–56.
3. Браніцький Ю.Ю., Мазур О.В. Кількісні показники рослин проса лозовидного за різних технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 12. С. 28–43
 4. Будаєва В. В., Митрофанов Р. Ю., Золотухин В. Н., Архипова О. С. Свойства целлюлозы из мискантуса. *Ползуновский вестник*. 2010. № 3. С. 240–245.
 5. Гайденко О. Тверде біопаливо: технологічні вимоги, властивості компонентів та технологія виробництва. *Агробізнес*. 2014. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopolyvo-tekhnologichni-vymohy-vlastyvosti-komponentiv-ta-tekhnologhiia-vyrobnytstva.html>.
 6. Гелетуа Г. Г., Железна Т. А., Кучерук П. П., Олійник Є. М. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 9. С.9–10.
 7. Гелетуа Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Київ, 2014. 33 с. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf>
 8. Гелетуа Г.Г., Железна Т.А, Трибой О.В., Баштовий А.І. Аналіз критеріїв сталого розвитку біоенергетики. *Промислова теплотехніка*. 2016. Т. 38, №6. С. 47–55.
 9. Гисматуліна Ю. А., Будаєва В. В., Вепрев С. Г. Особенности целлюлоз из различных морфологических частей мискантуса сорта Сорановский. *Вавилонский журнал генетики и селекции*. 2014. т. 18, № 3. С. 553–563.
 10. Гисматуліна Ю. А. Химический состав различных морфологических частей мискантуса урожая 2014 года. *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2 (ч. 22). С. 4897–4900.
 11. Гисматуліна Ю. А. Сравнительный химический состав пяти урожаев мискантуса сорта сорановский: растение в целом, лист, стебель. *Успехи современного естествознания*. 2016. № 4. С. 23–26.
 12. Данчук І. В. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі України : Проект ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні». 2015. С. 11–13. URL: <https://docplayer.net/82934996-Dokumentuvannya-naykrashchih-praktik-zastosuvannya-bioenergetichnih-tehnologiy-v-municipalnomu-sektori-v-ukrayini.html>
 13. ДСТУ ISO 10381-1:2004 Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 1 : Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT). К., 2006. 60 с.
 14. ДСТУ-П СЕН/TS 14775:2012. Метод визначення вмісту золи. [Введ. 2013–03–01]. Київ, 2013. 8 с.
 15. Кучер Л.І. Вплив ґрунтозахисних технологій на вміст сполук калію в ґрунті. *Вісник ХНАУ*. Сер. Ґрунтознавство. 2013. № 1. С. 81–84.
 16. Мазур В. А., Ганженко О. М., Шляхтуров Д. С. Стан і перспективи розвитку технологій вирощування біоенергетичних культур в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Т. 1, № 7. С. 6–18.
 17. Марчук О. О., Бойко І. І., Гончарук Г. С. Якісні характеристики енергетичних культур. *Цукрові буряки*. 2017. № 2. С. 11–12.
 18. Полянський О. С., Д'яконов В. І., Д'яконов О. В. Комплексна оцінка і аналіз енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, 2018, № 190, С. 192–202.
 19. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України /Г. Гелетуа, С. Драгнєв, П. Кучерук, Ю. Матвєєв. 2017. 70 с. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2017/12/Praktychnyj-posibnyk-dlya-predstavnykiv-agropromyslovogo-kompleksu-UNDP-2017-UA.pdf>
 20. Рахметов Д. Б., Щербакова Т. О., Рахметова С. О. Перспективні енергетичні рослини роду *Miscanthus Anderss.*, інтродуковані в Національному ботанічному саду ім. ММ Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2015. № 1. С. 3–18.
 21. Риженко Н.В., Прошалікіна А.М. Тенденції розвитку біоенергетики в Україні. *Вісник ЧНУ ім. Б. Хмельницького*. Серія «Економічні науки». 2019. № 4. С. 163–171. DOI: 10.31651/2076-5843-2019-4-163-171
 22. Романчук Л.Д., Зінченко В.О., Василюк Т.П. Особливості вирощування енергетичних культур в умовах Полісся України: з кн. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / відп. ред. О. В. Скидан. К.: Центр учбової літератури, 2014. С. 81–111.
 23. Скляренко Є. В. Створення піролізної технології та установки для термохімічної конверсії рослинної біомаси : дис. ...канд. техн. наук : 05.14.06 «технічна теплофізика та промислова теплоенергетика». Київ, 2017. 148 с.
 24. Стадницька О. В. Організаційно-економічні засади ефективного використання деградованих та малопродуктивних сільськогосподарських земель : дис. ... канд. економічних наук : 08.00.06 «Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища». Львівський національний аграрний університет. Львів, 2020. 261 с.
 25. Ткаченко Т. В., Євдокименко В. О., Каменських Д. С., Філоненко М. М., Вахрін В. В., Кашковський В. І. Переробка рослинних відходів різного походження. *Наука та інновації*. 2018. 14, № 2. С. 51–66. doi: 10.15407/scin14.02.051
 26. Циганков С. П., Володько О. І., Ємець А. І., Лантух Г. В., Литвин Д. І., Лукашевич К. М., Блюм Я. Б. Розроблення та випробування технології комплексного трансформування вуглеводного складу рослинної сировини у біоетанол. *Наука та інновації*. 2013. Т.9, № 4. С.55–69.
 27. Шульга С. М., Тігунова О. О., Блюм Я. Б. Лігноцелюлоза як альтернативна сировина для одержання біобутанолу. *Біотехнологія*. 2013. Т.6, № 2. С. 9–20.
 28. Ястремська Л. С., Пришляк Р. І., Федонюк Ю. В. Міскантус – енергетична культура для отримання біопалива. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2017. № 1. С. 1–16. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2017_1_3

29. Яценко А.С., Балюк А.В., Єсіпов О.В. Світчграс як енергоємна сировина для виробництва біопалива «Молодь і технічний прогрес в АПВ»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. 2020. С.54–55.
30. Dhaliwal A. S., Mares D. J., Marshall D. R., Skerritt J. H. Protein composition and pentosan content in relation to dough stickiness of 1B/1R translocation wheats. *Cereal Chemistry*. 1988. 65(2). P. 143–149.
31. Madakadze I. C., Masamvu T. M., Radiotis T., Li J., Smith D. L. Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2010. 4(7). P. 465–470.
32. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, March, 1987. URL: <http://www.un-documents.net/our-commotn-fuure.pdf>
33. Zeller F.J. Gunzel G., Fischbeck G., Gerstenkorn P., Weipert D. Veranderungen der Backeigenschaften des Weizens durch die Weizen-Roggen chromosomen-translokation 1B/1R. *Getreide Mehl Brot*. 1982.36. P. 141.
- References:**
1. Balykina, V.V. Vyznachennia hospodarsko-tsinykh pokaznykiv sortiv roslyn enerhetychnoho napriamu vykorystannia pid chas provedennia derzhavnoi ekspertyzy. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn*. 2014; 4: 4–8. (in Ukrainian)
 2. Barbash, V.A., Mykytiuk T.S., Menkiv, R.V., Trembus, I.V. Oderzhannia voloknystykh napivfabrykativ iz stebel miskantusa. *Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy*. 2013; (6 (6)): 52–56. (in Ukrainian)
 3. Branitskyi, Yu.Yu., Mazur, O.V. Kilkisni pokaznyky roslyn prosa lozovydnoho za riznykh tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2019; 12: 28–43. (in Ukrainian)
 4. Budaeva, V.V., Mitrofanov, R.Yu., Zolotuhin, V.N., Arhipova, O.S. Svoystva tsellyulozy iz miskantusa. *Polzunovskiy vestnik*. 2010. № 3. S.240-245. (in Russian)
 5. Haidenko, O. Tverde biopalyvo: tekhnolohichni vymohy, vlastyvoli komponentiv ta tekhnolohiia vyrobnytstva. *Ahrobiznes*. 2014. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopalyvo-tekhnolohichni-vymohy-vlastyvoli-komponentiv-ta-tekhnolohiia-vyrobnytstva.html>. (in Ukrainian)
 6. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., Kucheruk, P.P., Oliinyk, Ye.M. Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. *Analychna zapyska BAU*. 2014; 9: 9–10. (in Ukrainian)
 7. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., Tryboi, O.V. Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini. Kyiv; 2014. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf> (in Ukrainian)
 8. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., Tryboi, O.V., Bashtovyi, A.I. Analiz kryteriiv staloho rozvytku bioenerhetyky. *Promyslova teplotekhnika*. 2016; 38 (6): 47–55. (in Ukrainian)
 9. Gismatulina, Ju.A., Budaeva, V.V., Veprev, S.G. Osobennosti celljuloz iz razlichnykh morfologicheskikh chastej miskantusa sorta Soranovskij. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2014; 18 (3): 553–563. (in Russian)
 10. Gismatulina, Ju.A. Himicheskij sostav razlichnykh morfologicheskikh chastej miskantusa urozhaja 2014 goda. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015; 2 (ch. 22): 4897–4900. (in Russian)
 11. Gismatulina, Ju.A. Sravnitel'nyj himicheskij sostav pjati urozhav miskantusa sorta soranovskij: rastenie v celom, list, stebel'. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016; 4: 23–26. (in Russian)
 12. Danchuk, I.V. Dokumentuvannia naikrashchykh praktyk zastosuvannia bioenerhetychnykh tekhnolohii v munitsypalnomu sektori Ukrainy : Proekt PROON/HEF «Rozvytok ta komertsializatsiia bioenerhetychnykh tekhnolohii v munitsypalnomu sektori v Ukraini». 2015; 11–13. URL: <https://docplayer.net/82934996-Dokumentuvannya-naykrashchih-praktik-zastosuvannya-bioenergetichnih-tehnologiy-v-municipalnomu-sektori-v-ukrayini.html> (in Ukrainian)
 13. DSTU ISO 10381-1:2004 Yakist gruntu. Vidbir prob. Chastyna 1 : Nastanovy shchodo skladannia prohram vidbyrannia prob (ISO 10381-1:2002, IDT). K., 2006: 60. (in Ukrainian)
 14. DSTU-P SEN/TS 14775:2012. Metod vyznachennia vmistu zoly. K., 2013: 8. (in Ukrainian)
 15. Kucher, L.I. Vplyv gruntozakhysnykh tekhnolohii na vmist spoluk kaliuu v grunti. *Visnyk KhNAU*. Ser. Gruntoznavstvo. 2013; 1: 81–84. (in Ukrainian)
 16. Mazur, V.A., Hanzhenko, O.M., Shliakhturov, D.S. Stan i perspektyvy rozvytku tekhnolohii vyroshchuvannia bioenerhetychnykh kultur v Ukraini. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2017; 1 (7): 6–18. (in Ukrainian)
 17. Marchuk, O.O., Boiko, I.I., Honcharuk, H.S. Yakisni kharakterystyky enerhetychnykh kultur. *Tsukrovi buriaky*. 2017; 2: 11–12. (in Ukrainian)
 18. Polianskyi, O.S., D'iakonov, V.I., Diakonov, O.V. Kompleksna otsinka i analiz enerhetychnykh pokaznykiv isnuichykh tekhnolohii pererobky roslynnykh vidkhodiv u palyvni brykety. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*. 2018; 190: 192–202.
 19. Praktychni posibnyk z vykorystannia biomasy v yakosti palyva u munitsypalnomu sektori Ukrainy /H. Heletukha, S. Drahniev, P. Kucheruk, Yu. Matvieiev. 2017. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2017/12/Praktychnyj-posibnyk-dlya-predstavnykiv-agropromyslovogo-kompleksu-UNDP-2017-UA.pdf> (in Ukrainian)
 20. Rakhmetov, D.B., Shcherbakova, T.O., Rakhmetova, S.O. Perspektyvni enerhetychni roslyny rodu *Miscanthus Anderss.*, introdokovani v Natsionalnomu botanichnomu sadu im. MM Hryshka NAN Ukrainy. *Introduktsiia roslyn*. 2015; 1: 3–18. (in Ukrainian)
 21. Ryzhenko, N.V., Proshchalykina, A.M. Tendentsii rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. *Visnyk ChNU im. B. Khmelnytskoho*. Seriya «Ekonomichni nauky». 2019; 4: 163–171. (in Ukrainian) DOI: 10.31651/2076-5843-2019-4-163-171
 22. Romanchuk, L.D., Zinchenko, V.O., Vasyliuk, T.P. Osoblyvosti vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh Polissia Ukrainy: z kn. *Perspektyvy rozvytku alternatyvnoi enerhetyky na Polissi Ukrainy / vidp. red.*

- O. V. Skydan. K.: Tsentr uchbovoi literatury; 2014: 81–111. (in Ukrainian)
23. Skliarenko, Ye.V. Stvorennia piroliznoi tekhnologii ta ustanovky dlia termokhimichnoi konversii roslynnoi biomasy : dys. ...kand. tekhn. nauk : 05.14.06 «tekhnichna teplofizyka ta promyslova teploenerhetyka». Kyiv, 2017: 148. (in Ukrainian)
 24. Stadnytska, O.V. Orhanizatsiino-ekonomichni zasady efektyvnoho vykorystannia dehradovanykh ta maloproduktyvnykh silskohospodarskykh zemel : ... kand. ekonomichnykh nauk : 08.00.06 «Ekonomika pryrodokorystuvannia ta okhorony navkolyshnoho seredovyshcha». Lvivskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet. Lviv, 2020: 261. (in Ukrainian)
 25. Tkachenko, T.V., Yevdokymenko, V.O., Kamenskykh, D.S., Filonenko, M.M., Vakhrin, V.V., Kashkovskiy, V.I. Pererobka roslynnykh vidkhodiv riznogo pokhodzhennia. *Nauka ta innovatsii*. 2018; 14 (2): 51–66. (in Ukrainian) doi: 10.15407/scin14.02.051
 26. Tsyhankov, S.P., Volodko, O.I., Yemets, A.I., Lantukh, H.V., Lytvyn, D.I., Lukashevych, K.M., Blium, Ya.B. Rozroblennia ta vyprobuvannia tekhnologii kompleksnoho transformuvannia vuhlevodnoho skladu roslynnoi syrovyny u bioetanol. *Nauka ta innovatsii*. 2013; 9 (4): 55–69. (in Ukrainian)
 27. Shulha, S.M., Tihunova, O.O., Blium, Ya.B. Lihnotseliuloza yak alternatyvna syrovyna dlia oderzhannia biobutanolu. *Biotekhnohiiia*. 2013; 6 (2): 9–20. (in Ukrainian)
 28. Yastremska, L.S., Pryshliak, R.I., Fedoniuk, Yu.V. Miskantus – enerhetychna kultura dlia otrymannia biopalyva. *Problemy ekolohichnoi biotekhnohii*. 2017; 1: 1–16. (in Ukrainian)
 29. Yatsenko, A.S., Baliuk, A.V., Yesipov, O.V. Svitchhras yak enerhoiemna syrovyna dlia vyrobnytstva biopalyva «Molod i tekhnichniy prohres v APV»: materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii. 2020: 54–55.
 30. Dhaliwal, A.S., Mares, D J., Marshall, D R., Skerritt, J H. Protein composition and pentosan content in relation to dough stickiness of 1B/1R translocation wheats. *Cereal Chemistry*. 1988; 65(2): 143–149.
 31. Madakadze, I. C., Masamvu, T. M., Radiotis, T., Li, J., & Smith, D. L. Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2010; 4(7): 465-470.
 32. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, March, 1987. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
 33. Zeller, F.J. Gunzel, G., Fischbeck, G., Gerstenkorn, P., Weipert, D. Veranderungen der Backeigenschaften des Weizens durch die Weizen-Roggen chromosomen-translokation 1B/1R. *Getreide Mehl Brot* 1982; 36: 141.

THE ASPECTS OF GROWING AND USE OF DIFFERENT ENERGY CROPS

T. V. Fylypchuk, O. I. Sytnikova, V. I. Burkut

*This article analyses some aspects of use of selected energy crops: *Miscanthus x giganteus* J.M. Greef et Deuter ex Hodkinson et Renvoize, *Panicum virgatum* L., *Sorghum saccharatum* (L.) Pers. (Switchgrass). The first stage of the research was to determine the content of mineral elements (potassium, sodium, calcium) in biomass of aboveground part of energy crops as well as in soil after energy crops' growing. The fallow soils and areas where perennial grasses (test area) and cereal agricultural crops are grown were taken for comparison purposes. The soil samples were taken on a 10 × 10 m plot from two levels of tith top soil with a soil depth of 0–20 and 20–40 cm. The yield of the abovementioned mineral elements caused by the energy crops was evaluated by the biological absorption coefficient (BAC). The ash content in the biomass of the studied energy crops was determined. The second stage of the study was to test the methodology of self-made pellets production without using any binders from the biomass of the studied energy crops. The mechanical strength of the pellets was measured by fixing the force required to break the pellets. The results obtained were divided by area of pellet breakdown by determining the ratio of the force index to the breakdown area. The total contents of the analyzed elements in soil and biomass of energy crops was determined by atomic absorption spectrometry method, ash content was determined by calculating the mass of the residue after slow ashing of the sample in a muffle furnace. It was found that all the studied energy crops absorb less sodium and potassium removal from the soil than Calcium. *S. saccharatum* absorbs more potassium and *P. virgatum* absorbs more calcium. It was shown that biomass of aboveground part of *M. x giganteus* and *P. virgatum* is characterized by higher ash content in comparison with *S. saccharatum* which is explained by significant leaf mass proportion. It was revealed that for all of the studied energy crops the mechanical strength of the pellets made from the leaves is lower compared to the stem part. According to the natural adhesive properties of the raw materials, the studied energy crops can be placed in the following descending row: *Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) → *Miscanthus* sp. → *Panicum virgatum* L.*

Key words: Sorghum saccharatum (L.) Pers., Miscanthus sp., Panicum virgatum L., mineral elements, biological absorption coefficient, ash content, mechanical strength of pellets.

Отримано редколегією 13.05.2021р.