



І. І. Бойко,
кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник, завідувач спеціалізованої
контрольно-насінневої аналітико-технологічної лабораторії
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
E-mail: sknatla2019@ukr.net



В. О. Грищенко,
аспірант
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
E-mail: sknatla2019@ukr.net



Н. М. Климович,
викладач кафедри рослинництва імені О. І. Зінченка
Уманський національний університет садівництва
E-mail: nk8628948@gmail.com



А. В. Заболотна,
кандидат сільськогосподарських наук,
старший викладач кафедри біології та методики її навчання
Уманський педагогічний університет імені Павла Тичини
E-mail: z.alona@ukr.net

ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ ВЕГЕТАЦІЇ

Анотація. Результати досліджень свідчать, що в зразках рослин світчграсу з різними строками вегетації вміст сухої речовини змінювався від 52,40 % у листках 3-го року вегетації до 77,15 % у листках рослин 8-го року вегетації. У листках міскантусу вміст сухої речовини змінювався від 59,35 до 62,30 % залежно від тривалості вегетації. Цей показник у верби енергетичної був у межах 61,23–66,12 %.

Спостерігається загальна тенденція щодо вмісту сирої золи у різних органах рослин: більша кількість у листках і менша в стеблах у всіх досліджених рослин. Так, вміст золи у рослинах світчграсу знаходився в межах від 1,2 % у стеблах рослин 8-го року вегетації до 4,5 % у листках рослин 10-го року вегетації. Вміст золи у рослинах міскантусу був від 1,6 % до 3,0 %, а в зразках верби – у межах 1,9–3,5 %.

Накопичення геміцелюлози у біоенергетичних рослинах відбувається поступово в процесі вегетації. Зокрема, дещо більший вміст геміцелюлози спостерігався у стеблах біоенергетичних рослин, менший в листках. Так, у рослин світчграсу найбільший вміст геміцелюлози був у стеблах – 22,65 %, а в листках 22,75 %. У рослинах міскантусу вміст геміцелюлози у стеблах змінювався від 21,51 до 22,55 %, а в листках – від 21,49 до 22,30 %. Стосовно енергетичної верби то розподіл геміцелюлози у рослині змінювався подібно до світчграсу – менше в листках і більше в стеблах.

Накопичення і розподіл целюлози у біоенергетичних рослинах відбувався подібно до геміцелюлоз, в листках був менший порівняно з стеблами. У рослин світчграсу найбільший вміст целюлози був у стеблах – 42,03–45,49 %, а в листках – 42,08–45,33 % залежно від тривалості вегетації. Розподіл целюлози у рослинах світчграсу та верби енергетичної змінювався подібно.

У молодих рослин лігніну мало, проте з віком його кількість у тканинах значно підвищується. Найбільше лігніну рослини накопичують навесні і менше – восени. Накопичення лігніну в зразках біоенергетичних рослин відбувалось по іншому. Більший його вміст був у листках, а менший – у стеблах. Так, у рослин світчграсу найбільша кількість лігніну була в листках – 18,59 % (рослини 10-го року вегетації), найменша в листках – 15,92 % (рослини 3-го року вегетації), а в стеблах відповідно 18,02 і 15,90 %.

Ключові слова: міскантус, світчграс, верба енергетична, листки, стебло, біохімічна складова.

I. I. Boyko,

Phd of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Specialized Seed Analytical and Technological Laboratory of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets (Kyiv), Ukraine

V. O. Hryshchenko

Postgraduate student of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets (Kyiv), Ukraine

N. M. Klimovych

Lecturer, Department of Crop Production, Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

A. V. Zabolotna

Phd of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Department of Biology and Methods of Teaching, Pavlo Tychyna Uman

FORMATION OF QUALITY OF VEGETATIVE MASS OF ENERGY CROPS OF DIFFERENT VEGETATION DURATION

The research results show that in the samples of switchgrass plants with different vegetation periods the dry matter content varied from 52.40% in the leaves of the 3rd year of vegetation to 77.15% in the leaves of plants of the 8th year of vegetation. In the leaves of miscanthus, the dry matter content varied from 59.35 to 62.30% depending on the duration of the growing season. This figure for energy willow was in the range of 61.23–66.12%.

There is a general trend in the content of raw ash in various plant organs: more in the leaves and less in the stem in all variants of the studied plants. Thus, the ash content in switchgrass plants ranged from 1.2% in the stems of plants of the 8th year of vegetation to 4.5% in the leaves of plants of the 10th year of vegetation. The ash content in miscanthus plants ranged from 1.6% to 3.0%, and in willow samples - in the range of 1.9–3.5%.

The accumulation of hemicellulose in bioenergetics plants occurs gradually during the growing season. In particular, a slightly higher content of hemicellulose was observing in the stems of bioenergetics plants, less in the leaves. Thus, in switchgrass plants the highest content of hemicellulose was in the stem – 22.65%, and in the leaves 22.75%. In miscanthus plants, the hemicellulose content in the stem ranged from 21.51 to 22.55%, and in the leaves from 21.49 to 22.30%. With regard to energy willow, the distribution of hemicellulose in the plant varied like switchgrass – less in the leaves and more in the stems. The accumulation and distribution of cellulose in bioenergetics plants was similar to hemicelluloses, the leaves were smaller comparing to the stems. In switchgrass plants, the highest cellulose content was in the stems – 42.03–45.49%, and in the leaves – 42.08–45.33%, depending on the duration of the growing season. The distribution of cellulose in switchgrass and energy willow plants changed similarly.

Young plants have little lignin, but with age its amount in the tissues increases significantly. Plants accumulate the most lignin in the spring and less in the fall. The accumulation of lignin in samples of bioenergetics plants was different. Its greater content was in the leaves, and less in the stems. Thus, the plants of switchgrass had the highest amount of lignin in the leaves – 18.59% (plants of the 10th year of vegetation), the lowest in the leaves – 15.92% (plants of the 3rd year of vegetation), and in the stems, respectively, 18.02 and 15.90%.

Key words: miscanthus, switchgrass, energy willow, leaves, stem, biochemical component.

Постановка проблеми. У зв'язку зі зменшенням природних запасів нафти і сильним зростанням вартості традиційних видів палива актуальним є розширення використання біопалива, яке отримують з відновлюваної рослинної сировини, що зменшує залежність від нафти як джерела енергії [1]. Проведеними дослідженнями [2] підтверджено перспективність використання енергетичних культур для виробництва палива. Тому пошук сировини для виробництва біопалива є актуальним.

Ґрунтово-кліматичні умови України придатні для вирощування багаторічних енергетичних рослин. Це дозволяє культивувати енергетичні рослини на малопродуктивних землях [3]. До таких рослин належить міскантус (*Miscanthus*), просо прутоподібне або світчґрас (*Panicumvirgatum*). Серед дерев, біомаса яких може використовуватись на тверде біопаливо, найкраще підходять сорти швидкорослої верби прутовидної (*Salix viminalis*) [4]. Продуктивність енергетичних рослин істотно залежить від чинників навколишнього середовища як і решти основних сільськогосподарських культур [5, 6].

Аналіз останніх досліджень. Світчґрас і міскантус вирощують подібно до пасовищ. Агротехнологія верби енергетичної та збирання врожаю відрізняється. Ці культури здатні швидко забезпечити формування вегетативної маси. Проте дослідження свідчать, що взаємодія між генотипом і середовищем сильна, яку необхідно враховувати під час їх формування агротехнології [7]. Адаптація до навколишнього середовища зазвичай регулюється реакцією на тривалість дня і температуру [8]. Енергетичні культури здатні забезпечувати стабільно високу врожайність сухої біомаси (до 25 т/га) високої теплоємності (18 МДж/кг) [9]. Проте доведено, що продуктивність таких посівів значно змінюється залежно від значної кількості абіотичних і біотичних чинників [10]. Біохімічний склад рослин біоенергетичних культур впливає на навколишнє природне середовище [11], тому виникає необхідність його вивчення.

Реальні дані про особливості формування біомаси та її якості, виробленої лігноцелюлозними біоенергетичними культурами, є важливими для визначення стійких джерел біоенергії [12]. Упродовж десятиліть проводились польові дослідження біоенергетичних культур, але лише невелика частина наявних результатів використовується для вивчення майбутніх сценаріїв використання ґрунту, що включають біоенергетичні культури [13]. Отже, необхідний глобальний набір даних про виробництво біомаси для ключових лігноцелюлозних біоенергетичних

культур, щоб ідентифікувати чинники, що впливають на виробництво біомаси у різних регіонах. Такий набір даних також буде корисним для розроблення соціально-економічних моделей комплексного оцінювання і глобальних моделей рослинності.

Метою статті – вивчити питання формування біохімічної складової рослин енергетичних культур залежно від тривалості вегетації.

Методика досліджень. Дослідження проводили упродовж 2016–2022 рр. з світчґрасом, енергетичною вербою та міскантусом гігантським на Ялтушківській дослідно-селекційній станції. Вона розташована в умовах нестійкого зволоження Західного Лісостепу України в північно-західній частині Вінницької області на території Барського району. Ґрунти станції світло-сірі і сірі опідзолені середньо-суглинкові. За даними агрохімічного обстеження вони характеризуються наступними показниками: бал родючості складає 56, а еколого-агрохімічний – 78, вміст гумусу є низьким і складає всього 1,87 %. Забезпеченість ґрунту азотом є дуже низькою і становить 81 мг на 1 кг ґрунту, що обумовлює необхідність першочергового його внесення як під основний, так і під передпосівний обробіток, а також за необхідності – проведення підживлення. Забезпеченість калієм та фосфором є підвищеною і складає відповідно 118 і 139 мг/кг ґрунту. За рівнем кислотності ґрунт є близьким до нейтрального, а бал родючості по гумусу складає всього 40, що є досить низьким порівняно з іншими типами ґрунтів.

Попередником для вирощування біоенергетичних культур була пшениця озима, а передпопередником – зайнятий кормовими культурами пар. Досліди закладалися відповідно до загальноприйнятих методик вирощування енергетичних культур [14]. Вміст целюлози визначали за ДСТУ 6865:2004, геміцелюлози – гідролізом 2%-м розчином соляної кислоти, вміст сухої речовини – термогравіметричним методом, вміст золи – методом озолення в муфельній печі. Зразки рослин відбирали із посівів наприкінці вегетаційного періоду (жовтень).

Розрахунки проводили за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення StatSoft, Microsoft Office 2021. Дисперсійним аналізом підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення коефіцієнта «р», який показував ймовірність відповідної гіпотези. У випадках коли $p < 0.05$ «нульова гіпотеза» спростовувалась, а вплив чинника був достовірним.

Результати досліджень. Результати досліджень свідчать, що в зразках рослин світчґрасу з різними стро-

Таблиця 1

Біохімічний склад вегетативної маси світчграсу різної тривалості вегетації, %

Вегетативна частина рослини	Показник					
	Суша речовина	Зола	Геміцелюлоза	Целюлоза	Лігнін	
3-й рік вегетації						
Листки	52,40	3,0	21,03	42,08	15,92	
Стебло	63,80	1,2	21,09	42,03	15,90	
5-й рік вегетації						
Листки	62,60	3,3	21,40	42,22	16,55	
Стебло	65,50	1,3	21,45	42,89	16,65	
6-й рік вегетації						
Листки	62,30	3,5	21,41	43,12	17,06	
Стебло	58,70	1,5	21,45	43,30	16,90	
7-й рік вегетації						
Листки	63,20	4,0	22,47	43,35	17,94	
Стебло	59,80	1,9	22,51	43,55	17,45	
8-й рік вегетації						
Листки	75,22	4,0	22,48	45,00	17,87	
Стебло	77,15	2,6	22,27	45,11	17,58	
10-й рік вегетації						
Листки	70,60	4,5	22,75	45,33	18,59	
Стебло	68,90	2,8	22,65	45,49	18,02	
НІР ₀₅	Листки	3,25	0,20	1,11	2,15	1,89
	Стебло	3,13	0,17	1,08	2,12	1,82

Таблиця 2

Біохімічний склад вегетативної маси міскантусу різної тривалості вегетації, %

Вегетативна частина рослини	Показник					
	Суша речовина	Зола	Геміцелюлоза	Целюлоза	Лігнін	
2012 рік садіння						
Листки	62,30	3,0	22,30	43,01	16,02	
Стебло	60,00	1,9	22,55	43,50	15,99	
2016 рік садіння						
Листки	59,35	2,7	21,49	43,21	15,94	
Стебло	61,28	1,6	21,51	44,02	15,44	
НІР ₀₅	Листки	3,21	0,21	1,13	2,11	1,85
	Стебло	3,11	0,15	1,06	2,10	1,81

ками вегетації вміст сухої речовини змінювався від 52,40 % у листках 3-го року вегетації до 77,15 % у листках рослин 8-го року вегетації (табл. 1–3). У листках міскантусу вміст сухої речовини змінювався від 59,35 до 62,30 % залежно від тривалості вегетації. Цей показник у верби енергетичної був у межах 61,23–66,12 %.

Спостерігається загальна тенденція щодо вмісту золи у різних органах рослин: більша кількість у листках і менша в стеблі в усіх варіантах досліджених рослин. Так, вміст золи у рослинах світчграсу знаходився в межах від 1,2 % у стеблах рослин 8-го року вегетації до 4,5 % у листках рослин 10-го року вегетації. Вміст золи у рослинах міскантусу був від 1,6 % до 3,0 %, а в зразках верби – у межах 1,9–3,5 %.

Геміцелюлози широко поширені в рослинах – вони містяться у стінках клітин і є проміжним сполученням між целюлозою та крохмалем. Відіграють у рослинах подвійну роль – механічну і резервну речовину. Стійкість їх до дії кислот носить проміжний характер між стійкістю целюлози

і крохмалю – вони гідролізуються легше целюлози, проте важче крохмалю [15]. Внаслідок меншої, порівняно з целюлозою, стійкістю до гідролізу геміцелюлози відносяться до легкогідролізованих полісахаридів. Геміцелюлози листяних порід представлені переважно криланами. Інші нецелюлозні полісахариди (крохмаль, амілози, амілопектин) містяться в невеликих кількостях [16].

Накопичення геміцелюлози у біоенергетичних рослинах відбувається поступово в процесі вегетації. Зокрема, дещо більший вміст геміцелюлози спостерігався у стеблах біоенергетичних рослин, менший у листках. Так, у рослин світчграсу найбільший вміст геміцелюлози був у стеблі – 22,65 %, а в листках 22,75 %. У рослинах міскантусу вміст геміцелюлози у стеблі змінювався від 21,51 до 22,55 %, а в листках – від 21,49 до 22,30 %. Стосовно енергетичної верби розподіл геміцелюлози у рослині змінювався подібно до світчграсу – менше в листках і більше в стеблах.

Целюлоза (клітковина) – один з основних

Біохімічний склад вегетативної маси верби енергетичної різної тривалості вегетації, %

Вегетативна частина рослини	Показник					
	Суша речовина	Зола	Геміцелюлоза	Целюлоза	Лігнін	
2012 ріксадіння						
Листки	61,23	3,0	22,28	41,20	15,85	
Стебло	60,33	1,9	22,25	42,63	15,60	
2016 ріксадіння						
Листки	66,12	3,5	21,50	42,20	15,95	
Стебло	65,21	2,0	21,39	43,85	15,89	
НІР ₀₅	Листки	3,17	0,19	1,11	2,07	1,81
	Стебло	3,07	0,12	1,04	2,11	1,80

полісахаридів клітинних стінок, вміст якого складає 40–60 % від маси клітинних стінок. Слід відзначити, що вміст цієї речовини залежить від віку рослини. Зі збільшенням віку вміст целюлози зростає. Целюлоза не піддається впливові слабких розчинів кислот, лугів, солей, органічних розчинників. Вона гідролізується до глюкози тільки ферментами і сильними кислотами, характеризується високою механічною міцністю і твердістю завдяки з'єднанню молекул у пучки або волокна, скріплених ще водневими зв'язками, під час нагрівання у воді не розчиняється [17].

Накопичення і розподіл целюлози у біоенергетичних рослинах відбувався подібно до геміцелюлоз, в листках був менший порівняно з стеблами. У рослин світчграсу найбільший вміст целюлози був у стеблах – 42,03–45,49 %, а в листках – 42,08–45,33 % залежно від тривалості вегетації. Розподіл целюлози у рослинах світчграсу та верби енергетичної змінювався подібно.

Одним з основних складників деревини є лігнін, що містить більше вуглецю і менше кисню, ніж целюлоза. Він вважається інкрустувальною речовиною, що надає клітинним стінкам більшу міцність. Лігнін – суміш полімерів схожої будови, в основі яких лежать ароматичні речовини, які є похідними пірокатехіну і пірогаллола. Кількість лігніну в клітинній оболонці складає близько 30 % [18].

У молодих рослин лігніну мало, проте з віком його кількість у тканинах значно підвищується. Найбільше лігніну рослини накопичують навесні і менше – восени. Накопичення лігніну в зразках біоенергетичних рослин відбувалось по іншому. Більший його вміст був у листках, а менший в стеблах. Так, у рослин світчграсу найбільша кількість лігніну була в листках – 18,59 % (рослини 10-го року вегетації), найменша в листках – 15,92 % (рослини 3-го року вегетації), а в стеблах відповідно 18,02 і 15,90 %.

Вагомим аргументом для розвитку зеленої енергетики є те, що енергетичні культури здатні рости на ґрунтах з низькою родючістю, а також на землях, які виведені з сільськогосподарського використання, та формувати за таких умов велику кількість біомаси. Енергетичні плантації біомаси запобігають ерозії ґрунту, поліпшують його якісні показники і стан навколишнього природного середовища [19].

Висновки

Встановлено, що за вирощування світчграсу та верби енергетичної вміст біохімічних складових (суха речовина, зола, геміцелюлоза, целюлоза, лігнін) достовірно зростає за тривалішої вегетації насаджень. У рослинах міскантусу вміст біохімічних складових або на змінювався, або знижувався. Для листків світчграсу властивий вищий вміст сухої речовини, а в міскантусу та верби енергетичної він був майже однаковим. Крім цього, для листків енергетичних культур властивий вищий вміст золи – у 1,8–2,5 рази порівняно з стеблами. Вміст геміцелюлози, целюлози і лігніну майже був однаковим.

Література

1. Господаренко Г. М., Любич В. В., Листопад Ф. К. Вихід біотанолу з урожаю зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних

добрив. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2017. Вип. 94. С. 74–85.

2. Любич В. В. Вплив абіотичних та біотичних чинників на продуктивність сортів і ліній пшениці спельти. Вісник Полтавської ДАА. 2017. №3. С. 18–24.

3. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В., Доронін В. В. Формування садивного матеріалу міскантусу в другому році вегетації залежно від елементів технології його вирощування. Біоенергетика. 2018. № 2. (12). С. 28–31.

4. Гументик М. Я., Бондар В. С. Економічна і енергетична ефективність вирощування біоенергетичних культур на біопаливо Біоенергетика 2019. №1 (11). С. 16–19.

5. Калантир В. В., Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Железна В. В. Індекси продуктивності пшениці твердої озимої за різних систем удобрення в сівозимі. Таврійський науковий вісник. 2021. Вип. 122. С. 34–40.

6. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениці залежно від абіотичних і біотичних чинників. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2017. Вип. 95. С. 146–161.

7. Сінченко В. М., Ткаченко А. М. Інвестиційна привабливість проектів з вирощування біомаси. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2017. № 10. С. 24–34.

8. Господаренко Г. М., Рябовол Я. С., Черно О. Д., Любич В. В., Крижанівський В. Г. Ріст і розвиток пшениці озимої у веснянолітній період вегетації залежно від умов мінерального живлення в Правобережному Лісостепу України. Вісник Уманського НУС. 2020. № 2. С. 3–8.

9. Роїк М. В., Ягольник О. Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. Біоенергетика. 2015. № 2. С. 4–7.

10. Зінченко В. О. Міскантус – джерело енергетичної біомаси. Новини агротехніки. 2008. № 3(63). С. 40–41.

11. Квак В. М. Вплив строків садіння та глибини загортання ризомів на його польову схожість. Цукрові буряки. 2012. № 6. С. 15–17.

12. Пшениця спельта. Г. М. Господаренко, П. В. Костогриз, В. В. Любич, Ф. М. Парій, С. П. Полторецький, І. О. Полянецька, Л. О. Рябовол, Я. С. Рябовол, О. Г. Сухолюд. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2016. 312 с.

13. Bullard M.J., Heath M.C., Nixon P.V. Shoot growth, radiation interception and dry matter production and partitioning in *Miscanthus sinensis giganteus* grown at two densities in the UK during the establishment phase. *Annals of Applied Biology*. 1995. P. 365–368.

14. Курило В. Л., Гументик М. Я., Гончарук Г. С. та ін. Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітків ґрунту і сівби проса лозовидного. Київ: ІБКЦБ, 2012. 28 с.

15. Любич В. В., Сторожик Л. І., Войтовська В. І., Терещенко І. С., Лосева А. І. Агробіологічні параметри різних сортів і гібридів сорго цукрового. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 3. С. 193–198.

16. Li W., Ciais P., Makowski D., Peng S. A global yield dataset for major lignocellulosic bioenergy crops based on

field measurements. *Sci Data*. 2018. Vol. 5. Article number 180169.

17. Fournel S., Marcos B., Godbout S., Heitz M. Predicting gaseous emissions from small-scale combustion of agricultural biomass fuels. *Bioresour Technol*. 2015. Vol. 179. P. 165–172.

18. Taylor G., Donnison I.S., Murphy-Bokern D., Morgante M., Bogeat-Triboulot M.B., Bhalerao R., et al. Sustainable bioenergy for climate mitigation: developing drought-tolerant trees and grasses. *Ann Bot*. 2019. Vol. 124(4). P. 513–520.

19. Господаренко Г. М., Любич В. В. Алелопатія рослинних решток на посівні властивості зерна пшениці м'якої озимої. *Збірник Уманського НУС*. 2021. Вип. 97. С. 246–254.

References

1. Gospodarenko, G.M., Lyubich, V.V., Listopad, F.K. (2017). Yield of bioethanol from grain harvest of winter wheat varieties depending on types, norms and terms of nitrogen fertilizers application. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia [Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Coast]*, 94, 74–85.

2. Liubych, V. V. (2017). The influence of abiotic and biotic factors on the productivity of varieties and spelled wheat lines. *Visnyk Poltavskoyi DAA [Bulletin of Poltava SAA]*, 3, 18–24. (in Ukrainian).

3. Doronin, V.A. Kravchenko, Yu. A., Dryga, V.V. Doronin, V.V. (2018). Formation of miscanthus planting material in the second year of vegetation depending on elements of technology of its cultivation. *Bioenerhetyka [Bioenergy]*, 2. (12), 28–31.

4. Gumentyk, M. Ya., Bondar, V.S. (2019). Economic and energy efficiency of growing bioenergy crops on biofuels. *Bioenerhetyka [Bioenergy]*, 1 (11), 16–19.

5. Kalantyr, V.V., Gospodarenko, G.M., Lyubich, V.V., Polyanetska, I.O., Zhelezna, V.V. (2021). Productivity indices of winter durum wheat under different fertilizer systems in crop rotation. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Bulletin]*, 122, 34–40.

6. Liubych, V. V. (2017). Productivity of varieties and lines of wheat depending on abiotic and biotic factors. *Visnyk agrarnoyi nauky Prychornomor'ya [Ukrainian Black Sea region agrarian science]*, 95, 146–161. (in Ukrainian).

7. Sinchenko, V.M., Tkachenko, A. M. (2017). Investment attractiveness of biomass cultivation projects. *Economy. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky [Finances. Management: current issues of science and practice]*, 10, 24–34.

8. Gospodarenko, G.M., Ryabovol, Ya. S., Chernov,

O.D., Lyubich, V.V., Kryzhanivsky, V.G. (2020). Growth and development of winter wheat in the spring growing season depending on the conditions of mineral nutrition in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk Umanskoho NUS [Bulletin of Uman NUS]*, 2, 3–8.

9. Roik, M.V., Yagolnik, O.G. (2015). Agro-industrial energy plantations are the future of Ukraine. *Bioenerhetyka [Bioenergy]*, 2, 4–7.

10. Zinchenko, V.O. (2008). Miscanthus is a source of energy biomass. *Novyny ahrotekhniki [Agricultural news]*, 3 (63), 40–41.

11. Kwak, W.M. (2012). Influence of planting dates and depth of rhizome wrapping on its field germination. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 6, 15–17.

12. Hospodarenko, G.M., Kostogryz, V.P., Liubych, V.V. (2016). Wheat spelt. Kyiv: Sik group Ukraine. (in Ukrainian).

13. Bullard, M.J., Heath, M.C., Nixon, P.V. (1995). Shoot growth, radiation interception and dry matter production and partitioning in *Miscanthus sinensis giganteus* grown at two densities in the UK during the establishment phase. *Annals of Applied Biology*, 365–368.

14. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Honcharuk, H. S., Smirnykh, V. M., Horobets, A. M., Kaskiv, V. V., Maksymenko, O. V., & Mandrovska, S. M. (2012). *Metodychni rekomendatsii z provedennia osnovnoho ta peredposivnoho obrobitkiv gruntu i sivby prosa lozovydnoho [Methodical recommendations for the main and pre-sowing tillage and sowing of vine millet]*. Kyiv: IBKiTsB. [in Ukrainian]

15. Lyubich, V.V., Storozhyk, L.I., Voitovska, V.I., Tereshchenko, I.S., Loseva, A.I. (2021). Agrobiological parameters of different varieties and hybrids of sugar sorghum. *Plant Varieties Studying and Protection [Plant Varieties Studying and Protection]*, 17(3), 193–198.

16. Li, W., Ciais, P., Makowski, D., Peng, S. (2018). A global yield dataset for major lignocellulosic bioenergy crops based on field measurements. *Sci Data*, 5. Article number 180169.

17. Fournel S., Marcos B., Godbout S., Heitz M. (2015). Predicting gaseous emissions from small-scale combustion of agricultural biomass fuels. *Bioresour Technol*, 179, 165–172.

18. Taylor G., Donnison I.S., Murphy-Bokern D., Morgante M., Bogeat-Triboulot M.B., Bhalerao R., et al. (2019). Sustainable bioenergy for climate mitigation: developing drought-tolerant trees and grasses. *Ann Bot.*, 124(4), 513–520.

19. Gospodarenko, G.M., Lyubich, V.V. (2021). Allelopathy of plant residues on sowing properties of soft winter wheat grain. *Zbirnyk Umanskoho NUS [Collection of Uman NUS]*, 97, 246–254.