



**В. В. Любич,**  
доктор сільськогосподарських наук,  
професор кафедри харчових технологій  
Уманський національний університет садівництва  
(м. Умань, Україна)  
E-mail: LyubichV@gmail.com



**П. І. Пясецький,**  
директор  
Дослідна станція тютюництва  
Національного наукового центру  
«Інститут землеробства Національної академії  
аграрних наук України»  
(м. Умань, Україна)  
E-mail: udst@ukr.net



**А. В. Моргун,**  
кандидат сільськогосподарських наук,  
завідувач відділом селекції  
Дослідна станція тютюництва Національного наукового центру  
«Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України»  
(м. Умань, Україна)  
E-mail: avm-1955@ukr.net

## ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ БІОЕНЕРГЕТИКИ СОРТІВ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗА РІЗНИХ СТРОКІВ СІВБИ І ЗБИРАННЯ

У статті представлено результати дослідження формування параметрів біоенергетики (урожайність вегетативної маси, вихід біогазу, твердого палива, енергетична оцінка палива) сортів сорго цукрового за різних строків сівби і збирання. За збирання сорго цукрового в третій декаді серпня, в середньому за два роки досліджень, найвища загальна врожайність спостерігалась у сорту Довіста за другого строку сівби і склала 65,9 т/га, 56,2 т з якої урожайність стебел і 2,2 т – урожайність волоті. Дещо нижча врожайність відмічена в цього ж сорту за першого строку сівби – 63,7 т/га, де маса стебел була 54,0 т і 2,9 т – маса волоті. У сорту Присивашський 85 за цього ж строку збирання та за сівби у третій декаді квітня загальна врожайність становила 53,3 т/га, що на 2,2 т більше за врожайність порівняно з строком сівби у першій декаді травня. За другого строку збирання загальна врожайність у сорту Довіста за сівби у першій декаді травня становила 69,6 т/га (що є найвищим показником за всіма строками сівби та збирання), з яких 53,3 т – урожайність стебел і 4,4 т – урожайність волоті. На 1,5 т менше зафіксована врожайність цього ж сорту за сівби у третій декаді квітня – 68,1 т/га. Маса стебел та волоті склала відповідно 55,5 т та 3,7 т. У сорту Присивашський 85 загальна врожайність за сівби у третій декаді квітня була на 2,2 т вища порівняно з варіантом сівби у травні і склала 59,2 т/га. При цьому маса стебел становила 48,1 т, а маса волоті – 7,4 т. З отриманої зеленої маси сорту Довіста за сівби у третій декаді квітня можна отримати 5,4 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу та 8,5 т/га твердого біопалива. Вихід енергії з одиниці площі при цьому складатиме відповідно 118,3 і 136,5 ГДж/га. Із зеленої маси, що зібрана у другій декаді вересня в сорту Довіста за сівби у третій декаді квітня буде отримано 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу з виходом енергії 132,9 ГДж/га та 9,5 т/га твердого біопалива з виходом енергії 153,3 ГДж/га. Переробка зеленої маси цього ж сорту, що отримана за сівби у першій декаді травня дасть змогу отримати 5,8 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу та 8,3 т/га твердого біопалива. Для формування найвищих показників біоенергетики необхідно вирощувати сорт сорго цукрового Довіста. Вегетативну масу рослин можна збирати упродовж III декади серпня – II декади вересня. Оптимально сівбу сорго цукрового проводити у I декаді травня. За такого сценарію агротехнології вихід біогазу може становити 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га, твердого палива – 9,5–9,6 т/га.

**Ключові слова:** сорго цукрове, сорт, біогаз, тверде паливо, вихід енергії.

**V. V. Liubych,**

Doctor of Agricultural Sciences,  
Professor at the Department of Food Technologies  
Uman National University of Horticulture (Uman, Ukraine)

**P. I. Piassetzkyi,**

Director  
Tobacco Research Station of the National Scientific Centre  
"Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine" (Uman, Ukraine)

**A. V. Morhun,**

PhD,  
Head of the Laboratory of Selection  
Tobacco Research Station of the National Scientific Centre  
"Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine" (Uman, Ukraine)

**BIOENERGETICS FORMATION OF SUGAR SORGHUM VARIETIES DURING DIFFERENT SOWING AND HARVESTING PERIODS**

*The article presents the research results on bioenergy parameters formation (green mass yield, biogas output, solid fuel, energy evaluation of fuel) of sugar sorghum varieties at different sowing and harvesting times.*

*When harvesting sugar sorghum in the third decade of August, on average over two years of research, the highest total yield was observed in Dovista variety during the second sowing period and amounted to 65.9 t/ha, 56.2 t of which is stem yield and 2.2 t – panicle yield. A slightly lower yield was noted in the same variety during the first sowing period – 63.7 t/ha, where stem weight was 54.0 t and 2.9 t – panicle weight. In Prysivashskiyi 85 variety, for the same harvesting period and for sowing in the third decade of April, the total yield was 53.3 t/ha, which is 2.2 t more compared to the sowing period in the first decade of May.*

*During the second harvesting period, the total yield of Dovista variety when sown in the first decade of May was 69.6 t/ha (which is the highest indicator for all sowing and harvesting periods), of which 53.3 t was stem yield and 4.4 t – panicle yield. The recorded yield of the same variety for sowing in the third decade of April is 1.5 t less – 68.1 t/ha. Stem and panicle weight was 55.5 t and 3.7 t, respectively. In Prysivashskiyi 85 variety, the total yield for sowing in the third decade of April was 2.2 t higher compared to the sowing option in May and amounted to 59.2 t/ha. In addition to the above, stem weight was 48.1 tons, and the panicle one – 7.4 tons.*

*5.4 thousand m<sup>3</sup>/ha of biogas and 8.5 t/ha of solid biofuel can be obtained from Dovista variety green mass for sowing in the third decade of April. Meanwhile, the energy output per area unit will be 118.3 and 136.5 GJ/ha, respectively. From the green mass collected in the second decade of September from Dovista variety for sowing in the third decade of April, 6.1 thousand m<sup>3</sup>/ha of biogas with an energy output of 132.9 GJ/ha and 9.5 t/ha of solid biofuel with an energy output of 153.3 GJ/ha. Green mass processing of the same variety obtained during sowing in the first decade of May will make it possible to obtain 5.8 thousand m<sup>3</sup>/ha of biogas and 8.3 t/ha of solid biofuel.*

*To form the highest indicators of bioenergy, it is necessary to grow Dovista sugar sorghum variety. The green mass of plants can be collected during the third decade of August – the second decade of September. It is optimal to sow sugar sorghum in the first decade of May. Under such an agricultural technology scenario, biogas output can be 6.1 thousand m<sup>3</sup>/ha, solid fuel – 9.5–9.6 t/ha.*

**Key words:** sugar sorghum, variety, biogas, solid fuel, energy output.

**Постановка проблеми.** Фітоенергетика є перспективним способом вирішення проблем, що пов'язані з енергетичною кризою. Все більше розвинених країн розглядають біопаливо як альтернативне джерело енергії. Тому пошук та виявлення високопродуктивних культур для забезпечення альтернативної відновлюваної енергетики є досить актуальним [1].

Сучасна біоенергетика заснована на використанні енергії біомаси, що отримують з різних сільськогосподарських культур, для виробництва біогазу, біодизелю, біоетанолу та брикетів [2].

Серед широкого спектру біоенергетичних рослин для виробництва альтернативних видів палива одним з найбільш перспективним є сорго цукрове [3]. До недавнього часу основне призначення цукрового сорго було кормове [4]. Проте багатьма дослідженнями встановлено, що досить перспективним є використання соку цієї культури як вихідної сировини для цукрової і біоенергетичної галузей [5]. Висока біологічна продуктивність і акумуляція цукрів у сорго пов'язана з C<sub>4</sub> типом фотосинтезу, що дозволяє ефективно асимілювати вуглекислий газ атмосфери [6]. Це культура багатоцільового використання, що відрізняється високими і стабільними урожаєм в умовах кліматичних змін [7, 8].

**Аналіз останніх досліджень.** З однорічних культур сорго цукрове – найбільш високо-

енергетична та економічно ефективна культура з урахуванням таких показників як високий фотосинтетичний потенціал, низька потреба у водоспоживанні, стійкість до посухи, висока врожайність зеленої маси і низька норма висіву насіння [9]. Невибгливість сорго цукрового до родючості ґрунту та умов зволоження дає можливість задіювати низькопродуктивні та непродуктивні землі під вирощування цієї культури [10].

Дані наукової літератури щодо оптимальних умов збирання сорго цукрового на енергетичні цілі значно відрізняються. Так, найбільший вихід біопалива та енергії (до 791,8 ГДж/га) сорго цукрового отримано за умови збирання біомаси у фазу повної стиглості зерна (початок жовтня). При цьому збирання біомаси на біогаз доцільно розпочинати не раніше викидання волоті в рослин. Для забезпечення максимального виходу твердого біопалива рослини необхідно збирати не раніше фази воскової стиглості зерна. У дослідженнях на формування врожаю зеленої біомаси сорго цукрового найбільше впливали погодні умови (48 %). При цьому меншим був вплив чинників «сорт» (18 %) і «строк збирання» (13 %). На вихід енергії найбільший вплив мав строк збирання біомаси (37 %) [11].

Результати досліджень [12] підтверджують незначний вплив погодних умов на вихід біогазу з урожаю сорго цукрового. При цьому врожайність

біомаси змінювалась від 70,5 до 79,8 т/га залежно від сорту.

Дослідження інших вчених [13, 14] свідчать, що збирати вегетативну масу сорго цукрового на біоенергетичні цілі можна вже на 104 добу після сходів. У дослідженнях найвищі параметри біоенергетики забезпечувало збирання сорго у фазу молочно-воскової стиглості зерна. Так, вихід біогазу змінювався від 9,90 до 14,46 тис. м<sup>3</sup>/га залежно від сорту. Крім цього, на формування врожайності сорго цукрового значно впливають строки сівби, що змінює параметри біоенергетики [16].

Отже, з урахуванням вище названих характеристик, сорго цукрове – перспективна культура для наукових досліджень і впровадження в агро-виробництво Правобережного Лісостепу України як сировини для біоенергетики. Необхідно зазначити, що оптимальний строк збирання сорго цукрового значно змінюється, що потребує уточнення цієї складової агротехнології для конкретного сорту.

**Мета статті** – визначення формування параметрів біоенергетики сортів сорго цукрового за різних строків сівби і збирання.

**Методика досліджень.** Дослідження проводили на полях Дослідної станції тютюництва ННЦ «ІЗ НААН» (м. Умань, Черкаська обл.) у 2017–2018 рр.

Схема досліду включала вирощування сортів сорго цукрового Довіста та Присивашський 85 (рис. 1). Сівбу проводили у третій декаді квітня та першій декаді травня на глибину 4–6 см з міжряддям 45 см. Густота стояння рослин 222 тис. шт/га. Кількість повторень чотириразова. Площа посівної ділянки – 21,6 м<sup>2</sup>, площа облікової ділянки – 10,8 м<sup>2</sup>. Збирання врожаю проводили у третій декаді серпня та другій декаді вересня поділяючи. Вихід біопалива та енергії розраховували відповідно до методики [17], біогазу – в перерахунку на 60%-й вміст біометану.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за методом дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерного програмного забезпечення Excel.



Рис. 1 Загальний вигляд дослідів з сорго цукровим за різних строків сівби і збирання

**Основні результати досліджень.** Встановлено, що показник урожайності сорго цукрового за збирання у третій декаді серпня, в середньому за два роки досліджень, був найвищим у сорту Довіста за другого строку сівби і складав 65,9 т/га, з якої врожайність стебел – 56,2 і 2,2 т/га – урожайність волоті (табл. 1). Деяко нижча врожайність була відмічена в цього ж сорту за першого строку сівби – 63,7 т/га, де маса стебел була 54,0 т і 2,9 т/га – маса волоті. У сорту Присивашський 85 за цього ж строку збирання та сівби у третій декаді квітня загальна врожайність становила 53,3 т/га, що на 2,2 т більше за врожайність порівняно зі строком сівби у першій декаді травня. Маса стебел і волоті складала відповідно 40,0 і 8,8 т/га. За сівби у першій декаді травня загальна врожайність цього сорту складала 51,1 т/га, з якої 38,5 т – маса стебел і 7,4 т – маса волоті.

Необхідно зазначити, що в сорту Присивашський 85 показник урожайності волоті за обома строками сівби вищі (відповідно на 5,9 т і 4,5 т) за показники сорту Довіста. Це можна пояснити тим, що сорт Присивашський 85 є ранньостиглим

Таблиця 1

**Урожайність вегетативної маси гібридів сорго цукрового за різних строків сівби і збирання (2017–2018 рр.), т/га**

Сорт	Строк сівби	Урожайність			
		загальна	стебел	листіків	волоті
Строк збирання – III декада серпня					
Довіста	III декада квітня	63,7	54,0	6,8	2,9
	I декада травня	65,9	56,2	7,5	2,2
Присивашський 85	III декада квітня	53,3	40,0	4,5	8,8
	I декада травня	51,1	38,5	5,2	7,4
Строк збирання – II декада вересня					
Довіста	III декада квітня	68,1	55,5	8,9	3,7
	I декада травня	69,6	53,3	11,9	4,4
Присивашський 85	III декада квітня	59,2	48,1	3,7	7,4
	I декада травня	57,0	45,9	3,0	8,1
НІР <sub>05</sub>	2017	2,7	2,2	0,4	0,5
	2018	2,6	2,1	0,2	0,3

і тому зерно у волоті досягає повністю, а Довіста є середньопізним сортом, тому на період збирання зеленої маси переважна більшість зерна не досягає. Проте сорт Довіста домінує за біометричними показниками порівняно з сортом Присивашський 85 і тому його загальна врожайність вища.

За другого строку збирання загальна врожайність у сорту Довіста за сівби у першій декаді травня становила 69,6 т/га, що є найвищим показником за всіма строками сівби і збирання, з яких 53,3 т – врожайність стебел і 4,4 т – врожайність волоті. На 1,5 т менше зафіксована врожайність цього ж сорту за сівби у третій декаді квітня – 68,1 т/га. Маса стебел та волоті склала відповідно 55,5 т та 3,7 т. У сорту Присивашський 85 загальна врожайність за сівби у третій декаді квітня була на 2,2 т вища порівняно з варіантом сівби у травні і склала 59,2 т/га. При цьому маса стебел становила 48,1 т, а маса волоті – 7,4 т. За сівби у першій декаді травня загальна врожайність зеленої маси становила 57,0 т/га, з яких 45,9 т – маса стебел та 8,1 т – маса волоті.

Необхідно зазначити, що за сівби у III декаді квітня обох сортів врожайність листків була найбільшою. При цьому в сорту Довіста цей показник за збирання у II декаді вересня збільшувався, а в сорту Присивашський 85 зменшувався.

У структурі біомаси сорго цукрового частка стебел була найвищою – 85 % у сорту Довіста та 75 % – у сорту Присивашський 85 за збирання у III декаді серпня. При цьому частка листків становила 11 % у сорту Довіста, а в сорту Присивашський 85 – 8 % за першого строку сівби і 10 % – за другого. Частка волоті в біомасі сорту Довіста була на рівні 3–5 %, а в сорту Присивашський 85 – 15–17 % залежно від строку сівби.

За збирання сорго цукрового в II декаді вересня частка стебел знижувалась до 77–82 %, а частка листків і волоті зростала відповідно до 13–17 і 5–6 % у сорту Довіста. Встановлено, що в сорту Присивашський 85 частка стебел при цьому зростала, листків – знижувалась, а частка

волоті залишалась без змін. Очевидно, що різні тенденції формування вегетативної маси рослин сорго цукрового визначались селекційно-генетичними особливостями сорту.

Переробка отриманої біомаси сорго цукрового різними способами дає можливість отримати такі цінні види палива як біогаз і тверде біопаливо. Так, з отриманої зеленої маси сорту Довіста за сівби у третій декаді квітня можна отримати 5,4 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу та 8,5 т/га твердого біопалива (табл. 2). Вихід енергії з одиниці площі при цьому складатиме відповідно 118,3 і 136,5 ГДж/га. Урожайність зеленої маси цього ж сорту за сівби у першій декаді квітня і наступній переробці дає можливість отримати 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу та 9,6 т/га твердого біопалива. При цьому вихід енергії при використанні біогазу становить 133,7 ГДж/га, а твердого біопалива – 154,2 ГДж/га. Деяко нижчі показники виходу біопалива зафіксовано у сорту Присивашський 85. За подальшої переробки зеленої маси даного сорту можна отримати 4,9 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу та 8,4 т/га твердого біопалива, при цьому вихід енергії складатиме відповідно 117,5 і 135,5 ГДж/га. Із зеленої маси, що отримана за сівби у першій декаді квітня буде отримано 4,5 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу, вихід енергії за його використання складатиме 100,1 ГДж/га. Також подальша переробка біомаси дасть змогу отримати 7,2 т/га твердого біопалива з виходом енергії 115,5 ГДж/га.

Із зеленої маси, що була зібрана у другій декаді вересня в сорту Довіста за сівби у третій декаді квітня буде отримано 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу з виходом енергії 132,9 ГДж/га та 9,5 т/га твердого біопалива з виходом енергії 153,3 ГДж/га. Переробка зеленої маси цього ж сорту, що отримана за сівби у першій декаді травня дасть змогу отримати 5,8 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу та 8,3 т/га твердого біопалива. Вихід енергії при цьому складатиме відповідно 115,9 ГДж/га та 133,7 ГДж/га. Зелена маса сорту Присивашський 85 за сівби у третій декаді квітня дає вихід біогазу 5,3 ГДж/га

Таблиця 2

**Формування біоенергетики гібридів сорго цукрового за різних строків сівби і збирання, 2017–2018 рр.**

Сорт	Строк сівби	Вихід		Вихід енергії (ГДж/га) з	
		біогазу, тис. м <sup>3</sup> /га	твердого біопалива, т/га	біогазу	твердого біопалива
Строк збирання – III декада серпня					
Довіста	III декада квітня	5,4	8,5	118,3	136,5
	I декада травня	6,1	9,6	133,7	154,2
Присивашський 85	III декада квітня	4,9	8,4	117,5	135,5
	I декада травня	4,5	7,2	100,1	115,5
Строк збирання – II декада вересня					
Довіста	III декада квітня	5,8	9,1	127,3	146,8
	I декада травня	6,1	9,5	132,9	153,3
Присивашський 85	III декада квітня	5,3	8,3	115,9	133,7
	I декада травня	4,7	7,4	103,7	119,6

і твердого біопалива 8,3 т/га. Вихід енергії при цьому складає 115,9 і 133,7 ГДж/га. За сівби цього ж сорту в першій декаді травня подальша переробка зеленої маси дає 4,7 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу з виходом енергії 103,7 ГДж/га та 7,4 т/га твердого біопалива з виходом енергії 119,6 ГДж/га.

**Висновки.** Для формування найвищих показників біоенергетики у Правобережному Лісостепу необхідно вирощувати сорт сорго цукрового Довіста з сівбою у I декаді травня. Вегетативну масу рослин можна збирати упродовж III декади серпня – II декади вересня. За такої агротехнології вихід біогазу може становити 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га, твердого палива – 9,5–9,6 т/га.

### Література

1. Almodares A., Hadi M.R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 2009. Vol. 4, Issue 9. P. 772–780.

2. Byrt C.S., Grof C.P.L., Furbank R.T. C-4 Plants as Biofuel Feedstocks: Optimising Biomass Production and Feedstock Quality from a Lignocellulosic Perspective. *Journal of integrative plant biology*. 2011. Vol. 53, Issue 2, P. 120–135.

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

4. Cai H. et al. Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnology for biofuels*. 2013, Vol. 6, Article number: 141.

5. Леонова К. П., Моргун А. В., Коваленко А. М., Любич В. В. Технологічні параметри біоенергетики гібридів сорго цукрового за різної густоти стояння рослин у Правобережному Лісостепу. *Аграрні інновації*. 2022. №14. С. 72–77.

6. Олекшій Л. М., Буряк І. М. Елементи технології вирощування сорго цукрового для виробництва біоетанолу в умовах Західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Вип. 68 (I). С. 146–161.

7. Любич В. В., Войтовська В. І., Крижанівський В. Г., Третьякова С. О. Формування біохімічної складової борошна із зерна різних гібридів соризи. *Вісник Уманського НУС*. 2021. №1. С. 66–70.

8. Войтовська В. І., Любич В. В., Третьякова С. О., Приходько В. О. Технологічна якість крохмалю різних гібридів кукурудзи і сортів сорго зернового за його біохімічною складовою. *Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 76–80.

9. Gisse C., Prade T., Kreuger E. et al. Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Biomass and bioenergy*. 2014. No. 64. P. 199–210.

10. Voitovska V. I., Storozhyk L. I., Liubych V. V., Yalanskyi O. V. Evaluation of productivity of different varieties of sorghum (*Sorghum oryzoidum*). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Vol. 18(1). P. 50–56.

11. Ганженко О.М. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового у Центральному Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2019. № 7.

12. Грабовський М. Б. Формування продуктивності сорго цукрового як біоенергетичної культури залежно від рівня мінерального живлення. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 99. С. 30–39.

13. Hassan M.U. et al. Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 84–91.

14. Oyier M.O. et al. Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*. 2017. Article ID: 8249532.

15. Чернелівська О.О., Дзюбенко І.М., Кормові культури як сировина для виробництва біопалива. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. С. 172–180.

16. Ratnavathi C. et al. Effect of Time of Planting on Cane Yield and Quality Characters in Sweet Sorghum. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2012. Vol. 2, Issue 1. P. 1–9.

17. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Вінниця : Нітлан-ЛТД, 2021. 300 с.

### References

1. Almodares, A., Hadi, M.R. (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 2009, no. 4(9), pp. 772–780.

2. Byrt, C.S., Grof, C.P.L., Furbank, R.T. (2011). C-4 Plants as Biofuel Feedstocks: Optimising Biomass Production and Feedstock Quality from a Lignocellulosic Perspective. *Journal of integrative plant biology*, 2011, no. 53(2), pp. 120–135.

3. Lyubich, V.V., Storozhyk, L.I., Voitovska, V.I., Tereshchenko, I.S., Loseva, A.I. (2021). *Ahrobiolohichni parametry riznykh sortiv i hibrydiv sorho tsukrovoho* [Agrobiological parameters of different varieties and hybrids of sugar sorghum]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 2021, no. 17(3), pp. 193–198. [in Ukrainian].

4. Cai, H. et al. (2013). Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnology for biofuels*, 2013, no. 6, Article number: 141.

5. Leonova, K.P., Morgun, A.V., Kovalenko, A.M., Lyubich, V. V. (2022). *Tekhnolohichni parametry bioenerhetyky hibrydiv sorho tsukrovoho za riznoi hustoty stoyannia roslyn u Pravoberezhnomu Lisostepu* [Technological parameters of bioenergetics of sugar sorghum hybrids at different plant densities in the Right Bank Forest Steppe]. *Agrarian innovations*, 2022, no. 14, pp. 72–77. [in Ukrainian].

6. Olekshiy, L.M., Buryak, I.M. (2020). *Elementy tekhnolohii vyroshchuvannia sorho tsukrovoho dlia vyrobnytstva bioetanolu v umovakh*

*Zakhidnoho Lisostepu* [Elements of the technology of growing sugar sorghum for the production of bioethanol in the conditions of the Western Forest Steppe]. *Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*, 2020, no. 68 (I), pp. 146–161. [in Ukrainian].

7. Lyubich, V. V., Voitovska, V. I., Kryzhanivskiy, V. G., Tretyakova, S. O. (2021). *Formuvannia biokhimichnoi skladovoi boroshna iz zerna riznykh hibrydiv soryzu* [Formation of the biochemical component of flour from the grain of different hybrids of sorghum]. *Bulletin of the Uman State University*, 2021, no. 1, pp. 66–70. [in Ukrainian].

8. Voitovska, V. I., Lyubich, V. V., Tretyakova, S. O., Prykhodko, V. O. (2022). *Tekhnolohichna yakist krokhmalu riznykh hibrydiv kukurudzy i sortiv sorho zernovoho za yoho biokhimichnoiu skladovoiu* [Technological quality of starch of different corn hybrids and grain sorghum varieties according to its biochemical composition]. *Bulletin of the Uman State University*, 2022, no. 1, pp. 76–80. [in Ukrainian].

9. Gisse, C., Prade, T., Kreuger, E. et al. (2014). Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Biomass and bioenergy*, 2014, no. 64, pp. 199–210.

10. Voitovska, V. I., Storozhyk, L. I., Liubych, V. V., Yalanskyi, O. V. (2022). Evaluation of productivity of different varieties of sorghum (*Sorghum oryoidum*). *Plant Varieties Studying and Protection*, 2022, no. 18(1), pp. 50–56.

11. Ganzhenko, O. M. (2019). *Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na produktyvnist ta vykhid bioetanolu z sorho tsukrovoho u Tsentralnomu*

*Lisostepu Ukrainy* [The influence of elements of cultivation technology on the productivity and yield of bioethanol from sugar sorghum in the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *The Latest Agricultural Technologies*, 2019, no. 7. [in Ukrainian].

12. Grabovsky, M. V. (2018). *Formuvannia produktyvnosti sorho tsukrovoho yak bioenerhetychnoi kultury zalezno vid rivnia mineralnogo zhyvlennia* [Formation of the productivity of sugar sorghum as a bioenergy crop depending on the level of mineral nutrition]. *Taurian Scientific Bulletin*, 2018, no. 99, pp. 30–39. [in Ukrainian].

13. Hassan, M. U. et al. (2019). Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*, 2019, no. 132, pp. 84–91.

14. Oyier, M. O. et al. (2017). Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*, 2017, Article ID: 8249532.

15. Chernelivska, O. O., Dzyubenko, I. M. (2020). *Kormovi kultury yak syrovyna dlia vyrobnytstva biopalyva* [Forage crops as raw materials for biofuel production]. *Fodder and fodder production*, 2020, no. 89, pp. 172–180. [in Ukrainian].

16. Ratnavathi, C. et al. (2012). Effect of Time of Planting on Cane Yield and Quality Characters in Sweet Sorghum. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 2012, no. 2(1), pp. 1–9.

17. Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., & Polunina, O. V. (2021). *Methodology and organization of research in agriculture and food technology*. Vinnytsia: Nitlan-LTD. [in Ukrainian].