

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СИЛОСНОЇ КУКУРУДЗИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ОТРИМАННЯ ДИГЕСТАТУ

Паламарчук В.Д., доктор с.-г. наук, доцент
Скакун М.В., аспірант

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна

Вступ. На разі все більше уваги набуває в Україні вирощування саме силосної кукурудзи як субстрату для біогазової станції. У Європейських країнах вирощування силосної кукурудзи для біогазових станцій є поширеною практикою і довело свою ефективність, крім того вирощування силосної кукурудзи дозволить збільшити частку культур кормового клину. Можливість отримання дигестату у сільськогосподарських підприємствах потребує все більшої уваги, оскільки сьогодні спостерігається різке зростання цін на мінеральні (синтетичні) добрива і постає проблема раціонального використання системи удобрення.

Виробництво біогазу із зеленої маси кукурудзи здійснюється за допомогою процесу біогазового перетворення, відомого як анаеробний ферментаційний процес. Результатом цього процесу є утворення біогазу, який складається в основному з метану (CH_4) та вуглекислого газу (CO_2), а також невеликої кількості інших газів, таких як сірководень (H_2S). Вирощування кукурудзи для виробництва біогазу має кілька переваг, зокрема висока врожайність, значний вміст органічних речовин, що є важливим для процесу біогазового перетворення, високий вміст крохмалю, який є досить цінним компонентом для виробництва метану і налагоджена технологія вирощування врожаю [1].

Дигестат, який утворюється після біогазового процесу, є багатим на поживні речовини і може бути використаний як органічне добриво для підвищення родючості ґрунту та урожайності послідуєчих сільськогосподарських культур. І в країнах Євросоюзу щорічно отримується близько 180 млн. тон дигестату, левова частка якого використовується в якості органічного добрива [2, 3].

Органічна речовина силосу кукурудзи може бути представлена різними компонентами, такими як целюлоза, геміцелюлоза, лігнін, білки та інші органічні речовини [4]. Хімічний склад органічної речовини кукурудзи, у свою чергу, визначається рядом чинників, серед яких основними є кліматичні умови, ґрунтово-кліматична зона вирощування, біологічні особливості гібриду, тривалість вегетаційного періоду, а також застосовані технології вирощування і методи заготівлі, зокрема силосування [5, 6].

Матеріал та методи. Дослідження якості силосної кукурудзи та елементів технології її вирощування проводяться з 2020 року по сьогоднішній день в

умовах ТОВ «Органік-Д».

Ґрунт на ділянці проведення досліджень – сірий лісовий середньо-суглинковий за механічним складом. Технологія вирощування відповідала загальноприйнятим вимогам для цієї ґрунтово-кліматичної зони. Попередником була озима пшениця.

Дослід проводили з чотирикратною повторністю, при цьому варіанти розміщували за схемою рендомізованих блоків. Розмір ділянки варіанта 25 м², облікової ділянки 10,5 м², тобто чотири суміжні рядки довжиною 5 м.

Збирання та облік урожаю зеленої (силосної) маси кукурудзи здійснювали у фазах молочно-воскової та воскової стиглості зерна. Збір проводили вручну по 10 типових рослин з двох суміжних рядків кожного варіанту дослідів [7]. Визначення якості та хімічного складу зеленої (силосної) маси досліджуваних гібридів кукурудзи проводили в сертифікованій лабораторії Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН України.

Результати та обговорення. В процесі досліджень нами встановлений тісний залежність між якістю силосної маси кукурудзи та агротехнічними прийомами вирощування, ґрунтово-кліматичними умовами, групою стиглості та біологічними особливостями гібридів, а також строками проведення збиральних робіт (табл. 1-3).

Таблиця 1. Хімічний склад зеленої маси гібридів кукурудзи, %

Назва зразка (зелена маса кукурудзи)	Суша речовина	Сирий протеїн		Сира клітковина	
		у абсолютно сухій речовині	у натуральній речовині	у абсолютно сухій речовині	у натуральній речовині
Амарос (ФАО 230)	26,61	6,58	1,75	24,51	6,52
П9071 (ФАО 280)	22,21	7,43	1,65	24,77	5,50
П9170 (ФАО 320)	23,52	8,55	2,01	26,86	6,32
Буріто (ФАО 390)	22,87	8,22	1,88	28,68	6,56

Станом на 10-14 серпня вміст сухої речовини в зеленій масі кукурудзи становив: у групі середньоранніх гібридів – Амарос (ФАО 230) – 26,61 %, П9071 (ФАО 280) – 22,21 %; у групі середньостиглих – П9170 (ФАО 320) – 23,52 % та Буріто (ФАО 390) – 22,87 %. Виходячи із даних вмісту сухої речовини (див. табл. 1) можна відмітити, що найбільший вплив на даний показник здійснювали генетичні особливості гібриду, зокрема за вмістом сухої речовини на 10-14 серпня виділився середньоранній гібрид Амарос (26,61%) в порівнянні із іншими досліджуваними гібридами.

Вміст сирого протеїну у натуральній та абсолютно сухій речовині виявився найвищим у гібридів середньостиглої групи П 9170 – 2,01 та 8,55 % і Буріто – 1,88 % та 8,22 %, тоді як у групі середньоранніх гібридів він становив Амарос – 1,75 та 6,58 %, а у гібриду П 9071 – 1,65 та 7,43 %.

Вихід біогазу та кормова цінність силосної маси значною мірою залежать від вмісту сирової клітковини, яка визначалась як у натуральній, так і в абсолютно

сухій речовині. Найвищий вміст сирової клітковини серед досліджених гібридів відзначено у середньостиглого П9170 – 6,32 % у натуральній та 26,86 % в абсолютно сухій речовині. Це свідчить, що зі збільшенням групи стиглості гібридів спостерігається тенденція до підвищення вмісту клітковини. У решти гібридів ці показники склали: Амарос (ФАО 230) – 6,52 та 24,51 %, П9071 (ФАО 280) – 5,50 та 24,77 %, Буріто (ФАО 390) – 6,56 та 28,68 %, відповідно.

При цьому результатами наших досліджень встановлена відмінність вуглеводно-лігнінового комплексу зеленої маси досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від генетичних особливостей самого гібриду (табл. 2).

Таблиця 2. Вуглеводно-лігніновий комплекс в зеленій масі гібридів кукурудзи, % у натуральній речовині

Назва зразка (зелена маса кукурудзи)	Крохмаль	Цукор	Геміцелюлоза	Сума легкорозчинних вуглеводів	Целюлоза	Лігнін	Сума структурних вуглеводів
Амарос (ФАО 230)	0,63	5,04	6,66	12,69	6,33	1,35	14,34
П9071 (ФАО 280)	0,44	3,39	5,29	9,40	4,47	1,09	10,85
П9170 (ФАО 320)	0,37	2,15	6,83	9,71	6,61	1,25	14,69
Буріто (ФАО 390)	0,18	6,91	6,03	13,44	5,31	1,60	12,94

Станом на 10-14 серпня найвищий вміст крохмалю серед досліджуваних гібридів кукурудзи зафіксовано у гібрида Амарос – 0,63 %. У решти гібридів цей показник був нижчим: П9071 – 0,44 %, П9170 – 0,37 %, Буріто – 0,18 %. Вміст цукрів, навпаки, був найвищим у гібрида Буріто – 6,91 %, тоді як у Амароса – 5,04 %, П9071 – 3,39 %, а у П9170 – 2,15 %. Щодо суми легкорозчинних вуглеводів, то її максимальне значення виявлено у середньостиглого гібрида Буріто – 13,44 % і середньораннього Амароса – 12,69 %. У гібридів П9071 і П9170 ці показники склали 9,40 % та 9,71 % відповідно.

Геміцелюлоза, целюлоза та лігнін мають досить погану розчинність та високий їх вміст у рослинній біомасі може зменшувати вихід біогазу. Вміст даних речовин у досліджуваних гібридів коливався в межах геміцелюлоза – 5,29-6,83 %, целюлоза – 4,47-6,61 % та лігнін – 1,09-1,60 %. Найвищі показники вмісту геміцелюлози та целюлози відзначено у гібридів П9170 (ФАО 320) – 6,83 % та 6,61 % відповідно, а також Амарос (ФАО 230) – 6,66 % і 6,33 %. Щодо вмісту лігніну, то максимальні значення спостерігалися у середньостиглого гібриду Буріто – 1,60 %, а також у середньораннього гібриду Амарос – 1,35 %.

Аналогічний аналіз можна провести і за вуглеводно-лігніновим комплексом зеленої маси гібридів кукурудзи у перерахунку на абсолютно суху речовину (табл. 3).

Таблиця 3. Вуглеводно-лігніновий комплекс зеленої маси гібридів кукурудзи, % у абсолютно сухій речовині

Назва зразка (зелена маса кукурудзи)	Крохмаль	Цукор	Сума легкорозчинних вуглеводів	Геміцелюлоза	Целюлоза	Лігнін	Сума структурних вуглеводів
Амарос (ФАО 230)	2,38	18,95	47,68	25,04	23,78	5,08	53,90
П9071 (ФАО 280)	1,98	15,26	42,31	23,81	20,12	4,89	48,82
П9170 (ФАО 320)	1,58	9,16	41,31	29,04	28,09	5,32	62,45
Буріто (ФАО 390)	0,79	30,21	58,77	26,38	23,22	7,00	56,60

Із даних таблиці 3 видно, що найвищий вміст крохмалю був у гібридів Амарос (ФАО 230) – 2,38 % та П 9071 (ФАО 280) – 1,98 %, тоді як у інших гібридів він становив – П 9170 (ФАО 320) – 1,58 % та Буріто (ФАО 390) – 0,79 %. Вміст цукру виявився найвищим у гібриду Буріто (ФАО 390) – 30,21 %, тоді як у інших гібридів він становив Амарос (ФАО 230) – 18,95 %, П 9071 (ФАО 280) – 15,26 % та П 9170 (ФАО 320) – 9,16 %. Сума структурних вуглеводів (целюлози, геміцелюлози та лігніну) найвище значення мала у середньостиглих гібридів кукурудзи П 9170 – 62,45 % та Буріто – 56,60 %. У групі середньоранніх гібридів даний показник складав Амарос – 53,90 % та П 9071 – 48,82 %.

Значення вуглеводнево-лігнінового комплексу та хімічного складу істотно залежало від строків проведення збиральних робіт зеленої маси досліджуваних гібридів кукурудзи. Так, зокрема за збирання зеленої маси 20-24 вересня на початок фази воскової стиглості хімічний склад зеленої маси та вуглеводно-лігніновий комплекс у абсолютно сухій речовині приведені в таблиці 4-5.

Таблиця 4. Хімічний склад зеленої маси гібридів кукурудзи, % у абсолютно сухій речовині

Назва зразка (зелена маса кукурудзи)	Сирий протеїн	Сира клітковина
Амарос (ФАО 230)	6,45	19,63
П9071 (ФАО 280)	7,22	14,72
П9170 (ФАО 320)	7,19	15,67
Буріто (ФАО 390)	9,49	14,04

За збирання зеленої маси 20-24 вересня найвищий вміст сирого протеїну був у середньостиглого гібриду кукурудзи Буріто – 9,49 %. Тоді як у інших досліджуваних гібридів він становив П9071 (ФАО 280) – 7,22 %, П9170 (ФАО 320) – 7,19 % та Амарос (ФАО 230) – 6,45 %. Вміст сирієї клітковини був найвищим у гібридів кукурудзи Амарос (ФАО 230) – 19,63 % та П9170 (ФАО 320) – 15,67 %.

Характеристику вуглеводно-лігнінового комплексу зеленої маси гібридів кукурудзи зібраної 20-24 вересня у абсолютно сухій речовині наведено в таблиці 5.

Таблиця 5. Вуглеводно-лігніновий комплекс зеленої маси гібридів кукурудзи, % у абсолютно сухій речовині

Назва зразка (зелена маса кукурудзи)	Крохмаль	Цукор	Сума легкокорозчинних вуглеводів	Геміцелюлоза	Целюлоза	Лігнін	Сума структурних вуглеводів
Амарос (ФАО 230)	27,76	5,05	48,94	15,47	14,14	3,53	33,14
П9071 (ФАО 280)	39,70	4,49	57,19	13,02	13,02	3,63	29,67
П9170 (ФАО 320)	38,10	4,09	54,97	12,78	10,44	3,56	26,78
Буріто (ФАО 390)	33,25	4,81	59,29	16,23	15,48	3,88	35,59

У цей період вміст крохмалю зріс на 25,38-27,72 % у порівнянні з показниками від 10-14 серпня і становив 39,70 % у гібриду П 9071 (ФАО 280), 38,10 % – у П 9170 (ФАО 320), 33,25 % – у Буріто (ФАО 390) та 27,76 % – у Амарос (ФАО 230). Водночас рівень цукру в зеленій масі знизився на 5,07-25,40 % порівняно з періодом 10-14 серпня й складав 5,05 % у Амарос (ФАО 230), 4,81 % – у Буріто (ФАО 390), 4,49 % – у П 9071 (ФАО 280) та 4,09 % – у П 9170 (ФАО 320). Найбільшу суму легкокорозчинних вуглеводів відзначено у середньостиглого гібриду Буріто (59,29 %) та середньораннього П 9071 (57,19 %). Загальний вміст структурних вуглеводів (геміцелюлоза, целюлоза, лігнін) був найвищим у гібриді Буріто – 35,59 % та у Амарос – 33,14 %.

Для визначення виходу біогазу важливо не лише знати вміст сухих речовин та хімічний склад зеленої маси гібридів кукурудзи, але і вихід сухої маси із одиниці площі. Рівень урожайності зеленої (силосної) маси досліджуваних гібридів кукурудзи зібраних 14 серпня 2020 року наведено в таблиці 6.

Таблиця 6. Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи, (за 2020 р.)

Гібрид кукурудзи	Суша речовина, %	Вихід сухої речовини на 1 га, т	Урожайність, т/га
Амарос (ФАО 230)	26,61	14,72	55,3
П9071 (ФАО 280)	22,21	15,30	68,9
П9170 (ФАО 320)	23,52	17,19	73,1
Буріто (ФАО 390)	22,87	17,86	78,1
НІР _{0,5} , т/га		1,30	4,82

Із даних таблиці 6 видно, що найвищу врожайність показали середньостиглі гібриди: Буріто – 78,1 т/га та П 9170 – 73,1 т/га. Середньоранні гібриди продемонстрували менші показники: Амарос – 55,3 т/га та П 9071 – 68,9 т/га. Аналогічна тенденція простежується і щодо виходу сухої речовини з одиниці площі, де найкращі результати мали середньостиглі гібриди Буріто – 17,86 т/га та П 9170 – 17,19 т/га.

Висновки. Відмічене зростання кількості органічної речовини та вмісту крохмалю (на 25,38-27,72 %) від фази молочно-воскової до воскової стиглості

зерна. Крім того характеристика хімічного складу та вуглеводно-лігнінового комплексу зеленої маси істотно залежала від генетичних особливостей гібридів та групи їх стиглості. Урожайність зеленої маси та вихід сухих речовин у досліджуваних гібридів кукурудзи суттєво залежали від групи стиглості. Найвищі показники були зафіксовані у середньостиглих гібридів: Буріто – 78,1 т/га зеленої маси та 17,86 т/га сухої речовини, і П 9170 – 73,1 т/га та 17,19 т/га відповідно. Для гібридів середньоранньої групи ці показники були нижчими, і становили: Амарос – 55,3 т/га та 14,72 т/га, П 9071 – 68,9 т/га та 15,30 т/га відповідно.

Отже, для використання як субстрату у біогазових установках найкраще підходять силосні гібриди кукурудзи середньостиглої групи – П 9170 (ФАО 320) та Буріто (ФАО 390). Вони відзначаються найвищою врожайністю та виходом сухої речовини з одиниці площі, а також мають оптимальний вуглеводно-лігніновий комплекс і сприятливий хімічний склад зеленої маси.

Література

1. Theuerl S., Herrmann C., Heiermann M., Grundmann P., Landwehr N., Kreidenweis U. et al. The future agricultural biogas plant in Germany: A vision. *Energies*. 2019. 12 (3), 396. doi: 10.3390/en12030396.
2. Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю., Рудська Н. О., Колісник О. М. Новітні технології вирощування овочевих культур та кукурудзи за використання дигестату біогазових станцій: монографія. Вінниця: Друкарня «Друк», 2023. 296 с.
3. Corden C., Bougas K., Cunningham E., Tyrer D., Kreißig J., Crookes M. *Digestate and Compost as Fertilisers: Risk Assessment and Risk Management Options*; Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited: Aberdeen, UK, 2019. pp. 121-128. Available online: https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/40039DigestateandCompostRMOA-Finalreporti2_20190208.pdf.
4. Bartuševics J., Gaile Z. Effect of silaging on chemical composition of maize substrate for biogas production. *Annual 16th International Scientific Conference Proceedings, "Research for rural development 2010"*, Jelgava, Latvia, 19-21 May 2010. Vol. 1. P. 42-47.
5. Грабовський М. Б. Потенціал виробництва біогазу із силосної маси сорго цукрового та кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 106. С. 26-32.
6. Логоша Р. В., Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю. Економічна та біоенергетична ефективність використання дигестату біогазових станцій при вирощуванні сільськогосподарських та овочевих культур в умовах євроінтеграції України. *Бізнес Інформ*. 2022. № 9. С. 40-52. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-9-40-52>
7. Вовкодав В. В. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові). К., 2001. 64 с.