

## PRODUCTIVITY OF SILAGE CORN AND OUTPUT OF BIOGAS DEPENDING ON THE PLANTS DENSITY

**M. Grabovskyi**

*e-mail: nikgr1977@gmail.com*

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1, Soborna Square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine

*The results of corn productivity of hybrids which have different groups of maturity as well as biogas output depending on the plant density are shown. The research was conducted in 2011–2015 under the conditions of the Research and Production Centre of the Bila Tserkva National Agrarian University. Four corn hybrids Pivicha (FAO 180), Galatea (FAO 260), Monica 350 MV (FAO 380), Bystrytsia 400 MV (FAO 450) with four plant densities 90, 100, 110, 120 thsnd. pcs/ha were sown.*

*With increasing sowing density from 90 to 120 thsnd pcs/ha, cob weight in the hybrid Pivicha decreased on 17,1 %, in Galatea – on 23,0 %, in Monica 350 MV – on 21,3 %, in Bystrytsia 400 MV – on 26,1 %. The hybrid Bystrytsia 400 MV had the highest weight of one plant – 704,9–911,1 g.*

*The change in plant density of corn did not affect the content of dry matter. Depending on the hybrid, this index was 28,3–32,5 %. Maximum dry matter was in the hybrid Pivicha and Galatea in variants with a density 120 thsnd pcs/ha – 13,1 and 13,7 t/ha, and in hybrids Monica 350 MV and Bystrytsia 400 MV with a density 90 thsnd pcs/ha – 15,4 and 16,5 t/ha.*

*In the hybrids Pivicha and Galatea, the highest calculated biogas output was at 110 and 120 thsnd pcs/ha – 9,00–9,16 and 9,54–9,59 thsnd m<sup>3</sup>/ha. In the hybrids Monica 350 MV and Bystrytsia 400 MV, this maximum index was at density 90 thsnd pcs/ha – 10,81 and 11,52 thsnd m<sup>3</sup>/ha, and at density 100 thsnd pcs/ha it is observed a decrease on 5,91–7,12 %.*

*The level of corn density affects the formation of structure elements of the crop, the yield of green and dry mass and the estimated output of biogas. When increasing plant density from 90 to 120 thsnd pcs/ha, the weight of corn plants and their structural elements (leaves, stems and cobs) decreases on 13,1–26,7 %. There is a high correlation between the output of biogas per 1 ha and dry matter ( $r = 0,97$ ), as well as green mass ( $r = 0,86$ ). The optimum pre-harvest level of crop density, which provides the highest yield of green and dry mass, and calculated output of biogas: for the hybrids Pivicha and Galatea – 110–120 thsnd pcs/ha, for hybrids Monica 350 MV and Bystrytsia 400 MB – 90 thsnd pcs/ha.*

**Key words:** corn, crop density, biogas, yield structure, dry matter, yield.

## ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС ТА ВИХІД БІОГАЗУ ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН

**М. Б. Грабовський**

*e-mail: nikgr1977@gmail.com*

Білоцерківський національний аграрний університет

пл. Соборна 8/1, м. Біла Церква, Київська область, 09117, Україна

*Наведено результати вивчення продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості та виходу біогазу залежно від густоти стояння рослин. Дослідження проводили в 2011–2015 рр. в умовах Науково-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету. В досліді висівали чотири гібриди кукурудзи: ДП Пивиха (ФАО 180), ДП Галатея (ФАО 260), Моніка 350 МВ (ФАО 380), Бистриця 400 МВ (ФАО 450) за чотирьох густот стояння рослин: 90, 100, 110, 120 тис. шт./га.*

*При збільшенні густоти посіву від 90 до 120 тис. шт./га маса качана у гібриду ДП Пивиха зменшувалася на 17,1%, у ДП Галатея – на 23,0%, у Моніка 350 МВ – на 21,3%, а у Бистриця 400 МВ – на 26,1%. Гібрид Бистриця 400 МВ мав найбільші значення маси однієї рослини 704,9–911,1 г.*

*Зміна густоти стояння рослин кукурудзи не впливала на вміст сухої речовини. В залежності від гібриду цей показник був в межах 28,3–32,5%. Максимальний збір сухої речовини відмічено у гібриду ДП Пивиха та ДП Галатея на варіантах з густрою 120 тис. шт./га – 13,1 і 13,7 т/га, а у гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ за густоти 90 тис. шт./га – 15,4 і 16,5 т/га.*

*У гібридів ДП Пивиха і ДП Галатея найвищі показники розрахункового виходу біогазу були на*

варіантах 110 і 120 тис. шт./га 9,00–9,16 і 9,54–9,59 тис. м<sup>3</sup>/га. У гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ максимальні значення цього показника відмічені за густоти 90 тис. шт./га – 10,81 і 11,52 тис. м<sup>3</sup>/га, а вже за густоти 100 тис. шт./га спостерігається його зменшення на 5,91–7,12%.

Рівень загушення посівів кукурудзи впливає на формування елементів структури врожаю, урожайність зеленої і сухої маси та розрахунковий вихід біогазу. При збільшенні густоти стояння рослин з 90 до 120 тис. шт./га, маса рослин кукурудзи та структурних елементів врожаю: листків, стебла та качана, зменшується на 13,1–26,7%. Спостерігається високий кореляційний зв'язок між виходом біогазу з 1 га і збором сухої речовини ( $r = 0,97$ ) та урожайністю зеленої маси ( $r = 0,86$ ). Оптимальним передзбиральним рівнем загущеності посівів, що забезпечує найвищу урожайність зеленої і сухої маси кукурудзи та розрахункового виходу біогазу для гібридів ДП Пивиха і ДП Галатія є 110–120 тис. шт./га, для гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ – 90 тис. шт./га.

**Ключові слова:** кукурудза, густина стояння, біогаз, структура врожаю, суха речовина, урожайність.

### Вступ

Енергетичні культури, що використовуються для виробництва біогазу, повинні мати просту технологію вирощування, а також забезпечувати високий вихід сухої р

е  
ч  
о  
в  
и

Для виробників біогазу вирішальне значення має, який вид рослин та сорт або гібрид забезпечує найвищий вихід метану з 1 гектару площі, оскільки це має вирішальний вплив на економічні показники роботи біогазової установки. Високоякісні середньо- та мізньостиглі гібриди кукурудзи, силосного напрямку, забезпечують вихід метану приблизно 1

Як елементи технології вирощування пуста стояння рослин і ширина міжрядь можуть сприяти збільшенню виробництва біомаси енергетичних культур. Густина стояння рослин, яка є нижчою за оптимальні значення, призводить до зниження врожайності і менш ефективного

в

Оскільки кукурудза не має властивості кущення, важливим є встановлення оптимальної

п

р

ц

т

Наразі день технологія вирощування кукурудзи на зерно та силос достатньо вивчена, в той же час потребують більш детальних досліджень елементи технології вирощування цієї культури як сировини для виробництва біогазу.

Внесення до Державного реєстру сортів рослин України останніми роками нових гібридів кукурудзи, які відрізняються між собою не тільки

ш

Серед енергетичних культур кукурудза (*Zea mays* L.) має великий потенціал для виробництва біомаси, яка може бути використана для різних енергетичних цілей. Силос кукурудзи вважається

за довжиною вегетаційного періоду, а й висотою, площею листової поверхні, реакцією на затінення, посуху, поживний режим ґрунту та інші фактори, обумовило появу сортової технології вирощування кукурудзи, де провідна роль належить визначенню оптимальної густоти стояння рослин [7].

Вимоги рослин кукурудзи до умов зовнішнього середовища непостійні. На початку вегетації (3–5 листка), коли кукурудза має ще не дуже розвинену кореневу систему і листову поверхню, рослини не потребують значної площі живлення. З подальшим ростом і розвитком рослин, площа їх листової поверхні використовується інтенсивніше. При недостатній площі живлення може наступити такий момент, коли ріст одних рослин починає негативно впливати на розвиток інших, що призводить до зниження їх продуктивності [8]. Найвища конкуренція рослин за елементи живлення та інші фактори життя спостерігається, коли вони ростуть дуже близько або контактують одна з одною [9].

Сівба кукурудзи на силос з високою густиною стояння рослин є привабливим підходом для фермерів з тваринницькими фермами. Але, при цьому, можуть існувати деякі проблеми. По-перше, висока густина стояння рослин кукурудзи може мати негативні наслідки у посушливих умовах, що призводить до зниження врожайності. По-друге, сівба кукурудзи з високою нормою висіву може зменшити енергетичні показники отриманого силосу внаслідок зменшення запилення качанів або

п

В умовах Південної Румунії оптимальне значення густоти стояння рослин кукурудзи становило для міжряддя 75 см – 100 000 шт./га, а для міжряддя 37,5 см – 120 000 шт./га. Урожайність зеленої та сухої біомаси в 16 варіантах становила 30,1 і 14,7 та 32,5 і 15,1 т/га. Вища урожайність біомаси зафіксована на

н

я

р

о

звужених міжрядях (37,5 см) – 30,7 т/га, порівняно з більш широкими міжряддями (75 см) – 28,4 т/га [11].

3

а

д

а

н

и

### Матеріали та методи

Метою досліджень було встановити вплив густоти стояння рослин кукурудзи на продуктивність та розрахунковий вихід біогазу.

Д Польові досліді проводили в 2011–2015 рр. в умовах Науково-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету, яке розміщене в Правобережному Лісостепу України. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумусний.

Дослідження проводили за наступною схемою: Фактор А. Гібриди: 1.ДП Пивиха (ФАО 180); 2.ДП Галатея (ФАО 260); 3.Моніка 350 МВ (ФАО 380); 4.Бистриця 400 МВ (ФАО 450). Фактор В. Густота стояння рослин, тис. шт./га: 90 (контроль); 100; 110; 120.

М Попередник у досліді – соя. Повторність у досліді – 4-разова. Площа ділянки – 19,6 м<sup>2</sup>,

ц

Таблиця 1. Зміна елементів структури урожаю гібридів кукурудзи залежно від рівня загущеності у фазу воскової стиглості зерна, середнє за 2011–2015 рр.

и

х

в

ч

е

н

и

х

[

1

2

не

ширини

речовини

лише

звуження

рослин.

Гібриди	Густота стояння, тис. шт./га	Маса, г			
		листіків	стебла	качанів	однієї рослини
ДП Пивиха	90 (к)	117,8	175,3	391,2	684,3
	100	112,2	169,2	372,0	653,4
	110	108,9	168,4	358,7	636,0
	120	105,4	164,7	324,5	594,6
ДП Галатея	90 (к)	125,6	210,4	405,6	741,6
	100	120,7	202,4	382,0	705,1
	110	118,4	198,4	351,2	668,0
	120	116,4	189,1	312,4	617,9
Моніка 350 МВ	90 (к)	138,6	245,5	450,8	834,9
	100	135,2	238,1	418,4	791,7
	110	124,5	229,7	389,4	743,6
	120	119,2	224,5	354,7	698,4
	90 (к)	146,5	277,0	487,6	911,1
	100	137,2	261,3	435,4	833,9
Бистриця 400 МВ	100	132,5	247,3	401,8	781,6
	110	132,5	247,3	401,8	781,6
	120	123,5	221,3	360,1	704,9

облікової – 9,8 м<sup>2</sup>, розміщення ділянок послідовне, методом систематичної рендомізації. Збирання врожаю відбувалося у фазі воскової стиглості зерна кукурудзи. Агротехніка в дослідях відповідала загальноприйнятій для центрального Лісостепу України. Методичною основою досліджень були “Основи наукових досліджень в агрономії” [13]. Збирання гібридів кукурудзи на силос проводили подільночно у фазі молочно-воскової стиглості зерна. Вихід біогазу отримано розрахунковим методом, згідно з методичними рекомендаціями [14].

### Результати досліджень та обговорення

За результатами наших досліджень маса рослин та структурних елементів врожаю: листків, стебла та качана, зменшувалися в міру загущення посівів (табл. 1).

Так, при збільшенні густоти посіву від 90 до 120 тис. шт./га маса качана у гібриду ДП Пивиха зменшувалася на 17,1%, у ДП Галатея – на 23,0%, у Моніка 350 МВ – на 21,3%, а у Бистриця 400 МВ – на 26,1%. Слід відмітити, що частка листків і стебел незначно змінювалася при загущенні посівів та становила 16,5–17,7% і 25,6–32,1% залежно від гібриду та густоти стояння рослин. Гібрид Бистриця 400 МВ мав найбільші значення маси однієї рослини 704,9–911,1 г.

400 МВ відзначався найбільшим вмістом сухої речовини 31,8–32,5% (табл. 2).

Загущення посівів від 90 до 120 тис. шт./га призводило до збільшення збору сухої речовини у гібридів ДП Пивиха і ДП Галатея на 1,5 і 0,8 т/га. У гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ збільшення густоти стояння рослин з 90 до 120 тис. шт./га, навпаки, зумовило зменшення збору сухої речовини на 2,9 і 3,8 т/га.

Максимальний збір сухої речовини відмічено у гібриду ДП Пивиха та ДП Галатея на варіантах з густотою 120 тис. шт./га – 13,1 і 13,7 т/га, а у гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ за густоти 90 тис. шт./га – 15,4 і 16,5 т/га.

Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи змінювалася під впливом біологічних особливостей форм, густоти стояння рослин і погодних умов років досліджень.

**Таблиця 2. Вміст та збір сухої речовини гібридами кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна, середнє за 2011–2015 рр.**

Гібриди	Густота стояння, тис. шт./га	Вміст сухої речовини, %	Збір сухої речовини, т/га
ДП Пивиха	90 (к)	28,3	11,6
	100	28,6	12,2
	110	29,0	12,9
	120	28,9	13,1
ДП Галатея	90 (к)	29,8	12,9
	100	29,6	13,5
	110	29,1	13,6
	120	29,5	13,7
Моніка 350 МВ	90 (к)	31,6	15,4
	100	31,3	14,5
	110	30,9	13,2
	120	31,4	12,5
Бистриця 400 МВ	90 (к)	32,5	16,5
	100	32,3	15,3
	110	31,8	13,6
	120	32,4	12,7

Ранньостиглий та середньоранній гібриди здатні забезпечувати високу продуктивність при збільшенні кількості рослин на площі. В середньому за роки досліджень максимальна врожайність зеленої маси у гібрида ДП Пивиха формувалася за густоти 120 тис. шт./га і становила 45,3 т/га, що вище контролю на 4,2 т/га.

При густоті 110 тис. шт./га врожайність зменшувалася на 1,0 т/га. У гібрида ДП Галатея найбільшу врожайність зеленої маси зафіксовано при густоті 110 тис. шт./га – 46,8 т/га, а при 120 тис. шт./га цей показник становив, – 46,5 т/га (рис. 1).

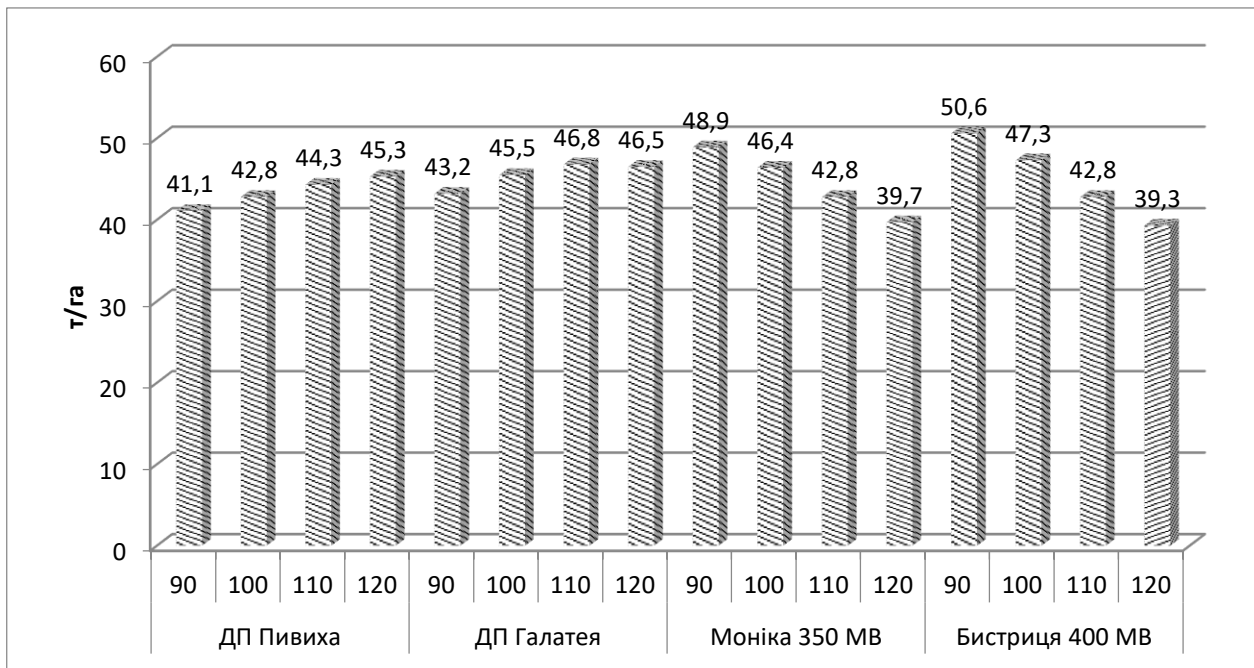


Рис. 3. Урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи у фазі воскової стиглості зерна, т/га, середнє за 2011–2015 рр.

У гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ найвища врожайність зеленої маси були за густоти стояння рослин 90 тис. шт./га (контроль) – 48,9 і 50,6 т/га. Подальше загушення посівів до 120 тис. шт./га призводило до суттєвого зниження

продуктивності на 9,2 і 11,3 т/га.

Відмічено вплив густоти стояння рослин кукурудзи на розрахунковий вихід біогазу (рис. 2).

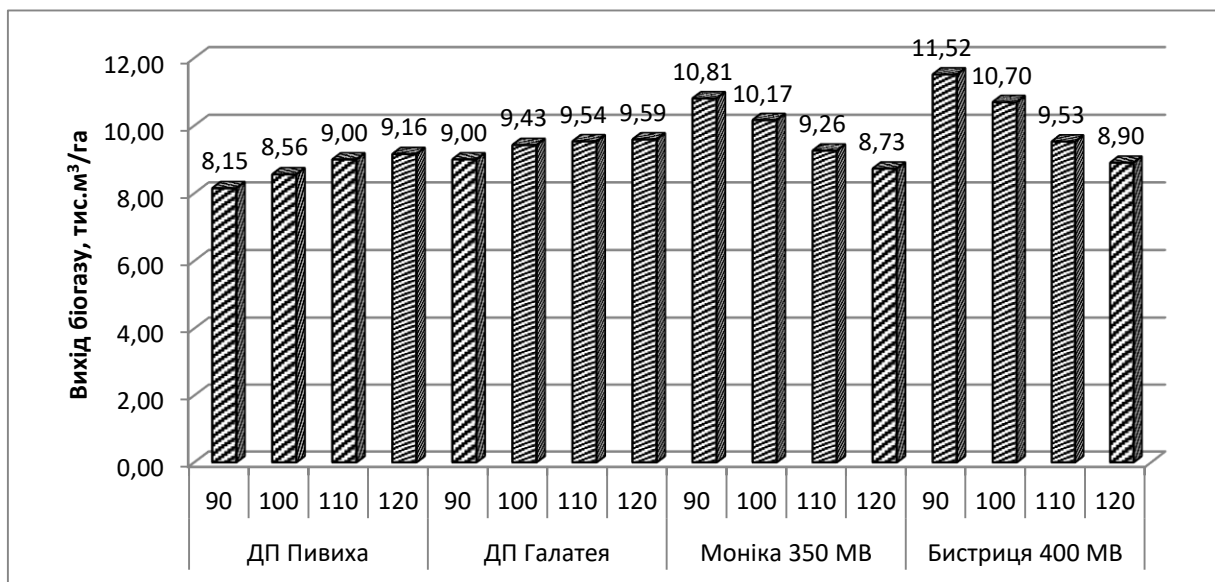


Рис. 2. Розрахунковий вихід біогазу залежно від густоти стояння рослин, тис.м³/га, середнє за 2011–2015 рр.

У гібридів ДП Пивиха і ДП Галатя найвищі показники розрахункового виходу біогазу були на варіантах 110 і 120 тис. шт./га – 9,00–9,16 і 9,54–9,59 тис. м³/га. У гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ максимальні значення цього

показника відмічені за густоти 90 тис. шт./га – 10,81 і 11,52 тис.м³/га, а вже за густоти 100 тис. шт./га спостерігається його зменшення на 5,91–7,12%.

Математичні методи являють невід'ємну

частину процесу обробки і інтерпретації результатів досліджень і спостережень. Ці методи дозволяють здобути максимум інформації з отриманих даних, оцінити, наскільки істотні, реальні розходження між варіантами, установити коефіцієнти рівнянь регресії виробничих функцій математичних моделей урожайності, якості

продукції й інших показників [15].

Кореляційний зв'язок між урожайністю, елементами структури врожайності та розрахунковим виходом біогазу залежно від густоти стояння рослин гібридів кукурудзи наведено в таблиці 3.

**Таблиця 3. Розрахунок кореляційної залежності між урожайністю, елементами її структури та розрахунковим виходом біогазу у гібридів кукурудзи**

Показники	Маса рослин кукурудзи	Вміст сухої речовини	Збір сухої речовини	Урожайність зеленої маси	Вихід біогазу
Маса рослин кукурудзи	1,00	0,38	0,47	0,78	0,78
Вміст сухої речовини	0,38	1,00	0,84	0,16	0,64
Збір сухої речовини	0,47	0,84	1,00	0,86	0,97
Урожайність зеленої маси	0,78	0,16	0,86	1,00	0,86
Вихід біогазу	0,78	0,64	0,97	0,86	1,00

Спостерігається високий кореляційний зв'язок між виходом біогазу з 1 га і збором сухої речовини ( $r = 0,97$ ) та урожайністю зеленої маси ( $r = 0,86$ ). Досить сильна залежність спостерігається між виходом біогазу та масою рослин кукурудзи ( $r = 0,78$ ) і вмістом сухої речовини ( $r = 0,64$ ). Тобто вихід біогазу з одиниці площі залежить від основних елементів структури врожаю кукурудзи.

Маса рослин кукурудзи відповідно до врожайності зеленої маси має високу кореляційну залежність  $r = 0,78$ , та середній з вмістом ( $r = 0,38$ ) та збором ( $r = 0,47$ ) сухої речовини.

Розрахунок кореляційної оцінки, дає можливість зробити висновок, що основними найсуттєвішими показниками, які впливають на вихід біогазу з 1 га, є урожайність зеленої та сухої маси кукурудзи.

### Висновки

Рівень загушення посівів кукурудзи впливає на формування елементів структури врожаю, урожайність зеленої і сухої маси та розрахунковий вихід біогазу. При збільшенні густоти стояння рослин з 90 до 120 тис. шт./га, маса рослин кукурудзи та структурних елементів врожаю: листків, стебла та качана, зменшується на 13,1–26,7%. Зміна густоти стояння рослин кукурудзи не впливає на вміст сухої речовини і цей показник, в залежності від гібриду, був у межах 28,3–32,5%. Спостерігається високий

кореляційний зв'язок між виходом біогазу з 1 га і збором сухої речовини ( $r = 0,97$ ) та урожайністю зеленої маси ( $r = 0,86$ ). Оптимальним передзбиральним рівнем загущеності посівів, що забезпечує найвищу урожайність зеленої і сухої маси кукурудзи та розрахункового виходу біогазу для гібридів ДП Пивиха і ДП Галатея, є 110–120 тис. шт./га, для гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ – 90 тис. шт./га.

У зв'язку з біологічними особливостями гібридів кукурудзи різних груп стиглості та індивідуальною реакцією на загушення посівів є необхідним подальше вивчення нових гібридів кукурудзи за різної густоти стояння рослин.

### References

1. Dubrovskis, V., Plume, I., Bartusevics, Ja. & Kotelenecs, V. (2010). Biogas production from fresh maize biomass. *Proceeding of 9 th International Scientific Conference Engineering for Rural Development* (pp. 220–225). Jelgava (Latvia).
2. Băşa, A.Gh., Ion, V., Dicu, G., State, D., Epure, L.I. & Ştefan V. (2013). Above-ground Biomass at Different Hybrids of Maize (*Zea mays* L.) cultivated in South Romania in Drought Conditions. *Scientific Papers. Ser. A, Agronomy*, 56, 177–184.
3. Oechsner, H., Lemmer, A. & Neuberger, C. (2003). Crops as a Digestion Substrate in Biogas Plants. *Landtechnik*, 2, 146–147.
4. Ion, V., Basa, A. Gh., Dicu, G., Dumbrava, M., Epure, L.I. & State, D. (2015, October 15–18).

- Biomass yield at maize under different sowing and growing conditions. *Sixth International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2015»*: book of Proceedings (pp. 285–290). Jahorina (Bosnia and Herzegovina).
5. Azam, S., Ali, M., Amin, M., Bibi, S. & Arif, M. (2007). Effect of plant population on maize hybrids. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2 (1), 13–20.
6. Murányi, E. (2015). Effect of plant density and row spacing on maize (*Zea mays* L.) grain yield in different crop year. *Columella - Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2 (1), 57–63.
7. Pashchenko, Yu. M. (Ed.). (2006). Enerhozberezhni i resursooshchadni tekhnologii vyroshchuvannia kukurudzy [Energy saving and resource-saving technologies for corn cultivation: Recommendations]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
8. Veretenikov, G. V. (1996). Hustota stoianiya rastenyi y semennaia produktyvnost rodytelskykh form [Planting density and seed productivity of parental forms.]. *Kukuruza i sorgo*, 4, 15–16 [in Russian].
9. Wade, L. J. & Douglas, A. C. L. (1990). Effect of plant density on grain yield and yield stability of sorghum hybrids differing in maturity. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30, 257–264.
10. Boomsma, C. R., Santini, J. B., Tollenaar, M. & Vyn, T. J. (2009). Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agron. J.*, 101, 1426–1452.
11. Dicu, G., Ion, V., Horhocea, D., State, D. & Ion, N. (2016). Results regarding biomass yield at maize under different plant density and row spacing conditions. *AgroLife Scientific Journal*, 5 (2), 59–61.
12. Mahmood, A., Hussain, A. R., Shahzad, A. N. & Honermeier, B. (2015). Biomass and biogas yielding potential of sorghum as affected by planting density, sowing time and cultivar. *Pak. J. Bot.*, 7 (6), 2401–2408.
13. Yeshhenko, V. O. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of Scientific Research in Agronomy]. Kiev: Diya [in Ukrainian].
14. Ganzhenko, O. M., Kurilo, V. L., Gerasimenko, L. A., Zikov, P. Yu., Hivrich, O. V., Goncharuk, H. S. Ivanova O. G. (2017). Metodychni rekomendatsii z tekhnologii vyroshchuvannia ta pererobliannia tsukrovoho sorho yak syrovyny dlia vyrobnytstva biopalyva [Methodical recommendations of technology cultivation and processing of sorghum as material for biofuel production]. Kiev [in Ukrainian].
- Dospekhov, B. A. (1985). Metodyka polevoho opita [Field experience]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].