

БІОПАЛИВО З ЦУКРОВОГО СОРГО

О. І. Мулярчук, к.с.-г.н., доцент, Подільський державний аграрно-технічний університет

Ю. Г. Міщенко, к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

І. М. Масик, к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

Г. А. Давиденко, к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

В статті наведені результати досліджень про ефективність елементів технології вирощування гібриду і сорту сорго цукрового – способу сівби і норми висіву, вплив цих елементів на вихід енергії та біопалива. Висівання сорго сорту Силосне 42 та гібриду Медове F1 з шириною міжряддя 45 см та нормою висіву 290 тис. шт./га сприяє отриманню найбільшої кількості зеленої маси - відповідно 67,8 і 69,5 т/га, збору цукру 5,1 і 5,9 т/га та біоетанолу – 1797 і 1815 л/га.

Ключові слова: сорго цукрове, спосіб сівби, норма висіву, вихід біопалива.

Постановка проблеми. Цукрове сорго (*Sorghum saccharatum*) є високоефективною сільськогосподарською культурою, здатною формувати стабільно високі врожаї навіть за несприятливих погодних умов. Із одного гектара посівів цукрового сорго можна збирати 90...120 т/га цукроносною біомаси з загальним вмістом у соку цукрів до 20 %.

Сік зі стебел цукрового сорго, отриманий вальцевим пресуванням за загальним вмістом цукрів не поступається цукровій тростині, але на відміну від останньої окрім сахарози містить значну частку глюкози, фруктози та розчинного крохмалю, який перешкоджає його кристалізації, тому із соку цукрового сорго виготовляють не кристалізований, а рідкий цукор (сироп), вміст сухої речовини у якому становить приблизно 75%. Вихід такого соку становить біля 20% від маси стебел.

Подальше видалення соку на екструдерах дозволяє отримати ще 40 % соку з підвищеним вмістом сухої речовини, який може використовуватись для виробництва біоетанолу. Після екструдювання вологість стебел цукрового сорго не перевищує 50 %, тому вони можуть бути сировиною для виробництва твердого біопалива (паливних гранул або брикетів), або їх можна використати у біогазових генераторах для отримання біогазу [1].

Мета досліджень – визначити вплив елементів технології вирощування сортів сорго на процеси фотосинтетичної діяльності в онтогенезі рослин, формування врожайності та її якісних показників.

Завдання досліджень:

- вивчити вплив умов вирощування на якісні показники зерна і маси сорго цукрового;
- встановити роль сорту в технології вирощування сорго цукрового через визначення екологічної стабільності та пластичності сортів;

- розробити елементи технології вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива в умовах західного Лісостепу України.

У біоенергетиці існує три напрями використання цукрового сорго: виробництво біоетанолу, твердого палива (брикети, пелети тощо) і біогазу. Вихід біоетанолу залежить від вмісту цукру в соку. Залежно від сортових особливостей і фази збирання в соку сорго може міститися до 8-20 % цукру. За середньої врожайності зеленої маси 40 т /га можна отримати 6-12 т/га спирту і 12-15 т побічної продукції (вичавок), які можуть бути використані в кормовиробництві або як тверде паливо. Найбільш доцільно з наукової точки зору в такій ситуації створити біоенергетичну сівозміну, в якій провідне місце відводиться цукровому сорго. В таких умовах не виникає суперечок відносно розподілу земель під виробництво зерна і вирощування сировини для біоенергетики.

Умови і методика досліджень.

Ґрунтдослідного поля – чорнозем вилугований, малогумусний, середньосуглинковий на лесовидних суглинках. Вміст гумусу (за Тюрнім) в шарі ґрунту 0 – 30 см становить 3,86 – 4,11 %.

Вміст сполук азоту, що легко гідролізуються (за Корнфілдом), становить 111 – 121 мг/кг (високий), рухомого фосфору (за Чіріковим) 90 мг/кг (середній) і обмінного калію (за Чіріковим)–179 мг/кг ґрунту (високий).

Клімат Лісостепу західного помірно теплий, з достатнім зволоженням. Середня температура січня коливається у межах мінус 4-6°С. Мінімальна температура мінус 31°С. Середня дата останнього весняного приморозку припадає на середину квітня, першого осіннього заморозку – на другу декаду жовтня. Середня тривалість безморозного періоду – 180-200 діб. Середня температура липня – 18-19°С. Максимальна температура в липні сягає 35°С. Початок вегетаційного періоду настає в кінці березня – на початку квітня і закінчується на початку листопада. Тривалість його становить 210 діб.

Перехід середньодобової температури повітря через 10° навесні припадає на третю декаду квітня. Закінчення цих температур спостерігається в першій декаді жовтня. Період із середньодобовою температурою вище 10°С триває в середньому 160-165 днів. Сума активних температур становить 2765°С.

Погодні умови регіону характеризується сумою активних температур (більше +10°С) 2620-2780°С, тривалістю вегетаційного періоду 200-205 днів, безморозного періоду – 155-165 діб. Сума опадів за рік складає від 550 до 670 мм.

Три факторний польовий дослід: “Вплив сорту, способу сівби і норми висіву на продуктивність сорго цукрового ” проводився за схемою:

Фактор А. Сорт та гібрид: 1. Сорт Силосне 4. 2. Гібрид Медове F1.

Спосіб сівби широкорядний з міжряддями. Фактор Б: 3. 45 см. 4. 70 см.

Норма висіву, тис. рослин /га – фактор В: 1. 170; 2. 290; 3. 320.

Площа посівної ділянки 50,4 м² (0,6*6*14 м) і 50,4 м² (0,45*8*14) облікової ділянки – 36 м² (0,6*6*10 м) і 36 м² (0,45*8*10), повторність – чотириразова [2, 3].

Технологія вирощування сорго цукрового, за виключенням досліджуваних варіантів, загально прийнята для регіону. Попередником була пшениця озима.

Результати досліджень. Згідно отриманих даних оптимальним строком сівби сорго цукрового була перша-друга декада травня, коли ґрунт на глибині 10 см прогрівався до 12...14°С. Польова схожість насіння за сівби в цей час становила 76-87% (табл. 1).

Таблиця 1

Польова схожість насіння сорго цукрового, %

Сорт, гібрид	Ширина міжрядь, см	Норма висіву, тис. насінин /га		
		170	290	320
Силосне 42	45	76	79	80
	70	78	80	81
Медове F1	45	82	84	85
	70	84	86	87

Серед досліджуваних сорту і гібриду сорго цукрового кращою польовою схожістю виділявся гібрид Медове F1, він за польовою схожістю перевищував сорт Силосне 42 на 4-7%.

З розширенням міжрядь з 45 до 70 см за однакової норми висіву густота розміщення насінин збільшується, що сприяє кращому проростанню насіння і появі сходів.

Найбільш ефективною фотосинтетичною діяльністю характеризувалися широкорядні посіви з міжряддями 0,45 і 0,70 м з нормою висіву 290 тис. схожих насінин/га, де площа листової поверхні становила 24-25 тис. м /га.

Величина ФП теж більшою була за широкорядного способу сівби з міжряддями 45 см і нормою висіву 290 тис. насінин/га (1480 тис. м² діб /га).

Біомаса є відновлюваним, екологічно чистим паливом за умови екологічно раціонального виробництва та використання, оскільки вона є СО₂-нейтральним паливом, то її використання не призводить до підсилення глобального парникового ефекту. За урожайністю маси серед досліджуваних сорту й гібриду виділявся гібрид сорго Медове F1: він переважав сорт Силосне 42 в середньому на 2,7 т/га.

Кращим способом сівби для сорту Силосне 42 і гібриду Медове F1 виявився широкорядний з міжряддями 45см; в цьому варіанті способу сівби

врожайність маси становила відповідно 67,8 і 69,5 т/га. У варіанті з міжряддями 70 см

відбувалося істотне зниження врожайності – відповідно на 2,07 і 0,97 т/га (НІР₀₅=0,68; табл. 2).

Таблиця 2

Урожайність маси сорго цукрового, т/га

Сорт, гібрид	Ширина міжрядь, см	Норма висіву, тис. насінин /га			Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,68	Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,68
		170	290	320				
Силосне 42	45	66,8	69,2	67,4	67,8	–	67,0	–
	70	64,2	67,7	65,3	65,7	-2,07		
Медове F1	45	69,6	71,2	67,6	69,5	–	69,7	2,7
	70	68,4	69,5	67,6	68,5	-0,97		
Середня норма висіву		67,3	69,4	67,0				
Різниця, НІР ₀₅ =0,84		–	2,1	-0,3				

Оптимальною нормою висіву для досліджуваних сорту й гібриду була 290 тис. насінин /га. За висіву 170 тис. насінин /га недобір маси порівняно із нормою 290 тис. насінин /га становив у середньому 2,1 т /га. Збільшення норми висіву до 320 тис. насінин /га вже було не ефективним.

Частки впливу досліджуваних факторів на врожайність маси сорго цукрового розподілялися таким чином: сорту й гібриду 29,8%, способу сівби 15,0%, норми висіву 20,7% і інших 34,4%.

Отримана маса характеризується такими елементами структури. Кількість міжвузлів і листків у сорту й гібриду коливалася відповідно в межах 10-12 і 10-11. Із збільшенням густоти рослин в межах рядка з міжряддями 70 см за варіантами вищих норм висіву суттєво

зменшувалися діаметр і висота стебла та довжина волоті.

За умов виходу із стебел сорго цукрового соку на рівні 60% збір його за варіантами елементів технології вирощування різнився (табл. 3).

Серед досліджуваних сорту й гібриду виділявся гібрид Медове F1, який переважав сорт Силосне 42 в середньому на 1,6 т/га.

Кращим способом сівби для сорту Силосне 42 і гібриду Медове F1 був широкорядний з міжряддями 45 см; в цьому варіанті вихід соку становив відповідно 40,7 і 41,7 т/га. У варіанті з міжряддями 70 см відбувалося істотне зниження його виходу – відповідно на 39,4 і 41,1 т/га (НІР₀₅=0,3).

Таблиця 3

Збір соку із стебел сорго цукрового, т/га

Сорт, гібрид	Ширина міжрядь, см	Норма висіву, тис. насінин /га			Середнє	Різниця, НІР ₀₅ =0,3	Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,3
		170	290	320				
Силосне 42	45	40,1	41,5	40,4	40,7	-	40,2	-
	70	38,5	40,6	39,2	39,4	-1,24		
Медове F1	45	41,8	42,7	40,6	41,7	-	41,8	1,6

	70	41,0	41,7	40,6	41,1	-0,58		
Середня норма висіву		40,4	41,6	40,2				
Різниця, НІР ₀₅ =0,4		–	1,2	-0,2				

Оптимальною нормою висіву для досліджуваних сорту й гібриду за збором соку була 290 тис. насінин/га. За висіву 170 тис. насінин /га недобір маси порівняно із нормою 290 тис. насінин /га становив у середньому 1,2 т/га. Із збільшенням норми висіву до 320 тис. насінин /га збір соку не зростав.

За середньої цукристості соку сорту Силосне 42 і гібриду Медове F1 відповідно 12,5 і 14,1% збір рідкого цукру за варіантами дослідів коливався в межах 4,8-6,0 т/га (табл. 4).

Середній збір рідкого цукру із стебел соргодосліджуваних сорту Силосне 42 й гібриду Медове F1 становив відповідно 5,0 і 5,9 т/га.

Кращим способом сівби для сорту Силосне 42 і гібриду Медове F1 був широкорядний з міжряддями 45 см; в цьому варіанті вихід соку становив відповідно 5,1 і 5,9 т/га. За сівби сорго з міжряддями 70 см спостерігалася тенденція до зниження виходу соку відповідно на 0,16 і 0,08 т/га (НІР₀₅=0,2).

Таблиця 4

Збір рідкого цукру із стебел сорго цукрового, т/га

Сорт, гібрид	Ширина міжрядь, см	Норма висіву, тис. насінин /га			Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,2	Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,2
		170	290	320				
Силосне 42	45	5,0	5,2	5,1	5,1	–	5,0	–
	70	4,8	5,1	4,9	4,9	-0,16		
Медове F1	45	5,9	6,0	5,7	5,9	–	5,9	0,9
	70	5,8	5,9	5,7	5,8	-0,08		
Середня норма висіву		5,4	5,5	5,3				
Різниця, НІР ₀₅ =0,1		–	0,2	0,1				

Оптимальною нормою висіву для сорту й гібриду за збором рідкого цукру була 290 тис. насінин/га. За висіву 170 тис. насінин/га недобір маси порівняно із нормою 290 тис. насінин /га становив у середньому 0,2 т/га. Із збільшенням норми висіву до 320 тис. насінин/га збір соку зростав не істотно.

За одиницю умовного палива прийняте паливо, теплота згорання якого дорівнює 29,35 МДж /кг, або 7000 кКал/кг, або 8120 кВтчас.

Вихід біогазу з рослин сорго цукрового становить 106 м³/т. Для цього використовують масу з вмістом сухої речовини в межах 23-28% і подрібненням її на 10-20 мм. Вміст сирої фази в біомасі визначає час перебування субстрату в реакторі й залежить від фази росту й розвитку

рослин. Щоб забезпечити максимальний вихід метану з газу, потрібно оптимізувати час скошування. Пізнє збирання дає високий вихід біомаси з гектару, а раннє - низький. Тому можливий питомий вихід метану з біомаси на гектар площі вирощеної біомаси може коливатись у значних межах.

Аналіз технологій виробництва біогазу з рослинної сировини свідчить, що найбільш поширеними є технологічні процеси, які характеризуються наступними параметрами:

- мезофільний режим зброджування за температури 38-42°C;
- час зброджування - не менш ніж 40 днів;
- добове завантаження ферментера – не більш як 3 кг органічної сухої речовини на 1 м³ об'єму ферментера [4].

За середнього вмісту сухої речовини в масі сорго цукрового на час збирання 25% загальний

збір сухої речовини становив 16,7-17,8 т/га (табл. 5).

Таблиця 5

Збір сухої речовини сухою масою сорго цукрового, т/га

Сорт, гібрид	Ширина міжрядь, см	Норма висіву, тис. насінин /га			Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,3	Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 0,3
		170	290	320				
Силосне 42	45	16,7	17,3	16,9	17,0	-	16,9	-
	70	16,1	16,9	16,3	16,4	-0,6		
Медове F1	45	17,4	17,8	16,9	17,4	-	17,1	0,2
	70	17,1	17,4	16,9	17,1	-0,3		
Середня норма висіву		16,8	17,4	16,7				
Різниця, НІР ₀₅ =0,4		-	0,6	-0,1				

За середнього виробництва біоетанолу з сухої речовини маси сорго цукрового 106 л/т

загальний збір його був у межах 1770-1887 кг/га (табл. 6).

Таблиця 6

Збір біоетанолу після перероблення сухої речовини сорго цукрового, л/га

Сорт, гібрид	Ширина міжрядь, см	Норма висіву, тис. насінин /га			Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 52	Середнє	Різниця, НІР ₀₅ = 52
		170	290	320				
Силосне 42	45	1770	1834	1786	1797	-	1791	-
	70	1701	1794	1730	1742	-55		
Медове F1	45	1844	1887	1791	1841	-	1816	25
	70	1813	1842	1791	1815	-26		
Середня норма висіву		1782	1839	1775				
Різниця, НІР ₀₅ =38		-	57	-7				

Вихід біоетанолу після перероблення сухої речовини сорго цукрового серед досліджуваних сорту і гібриду за досліджуваними варіантами розподілявся таким чином: у сорту Силосне 42 більший вихід був у варіанті з широкорядним способом сівби на 45 см нормою висіву 290 тис. насінин/га – 1834 л/га, гібриду Медове F1 за сівби широкорядними способами на 45 і 70 см нормою висіву 290 тис. насінин/га – відповідно 1887 і 1842 л/га.

ширині міжрядь 45 см та нормі висіву 290 тис. шт./га забезпечує отримання найбільшого врожаю зеленої маси – відповідно 69,2 і 71,2 т/га та збору біоетанолу після переробки сухої речовини - 1834 і 1887 л/га.

Висновок. Вирощування сорго цукрового сорту Силосне 42 та гібриду Медове F1 при

Список використаної літератури:

1. Кириченко Л. В. Нове застосування цукрового сорго / Л. В. Кириченко, В. П. Роженко, Л.І. Філоненко [та ін.] // Агробізнес сьогодні. – 2011. - №23(222). – С. 25-26.
2. Методика державного випробування сортів сільськогосподарських культур. Методи визначення показників якості продукції рослинництва (Державна служба з охорони прав на сорти рослин. Український інститут експертизи сортів рослин). – К.: Арефа, 2000. - Вид. 2, вип. 7. - 152 с.
3. Методика проведення експертизи сортів на відмінність, однорідність та стабільність (зернових, круп'яних та зернобобових культур) : офіційний бюлетень "Охорона прав на сорти рослин" / Під ред. Волкодава В.В. (Державна служба з охорони прав на сорти рослин). - – К., 2003. - №2, част. 3. - 182 с.
4. Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть / Під ред. В. В. Моргун. – К., 2001. - Т. 1. – 435 с.

БИОТОПЛИВО ИЗ САХАРНОГО СОРГО

А.И. Мулярчук, Ю.Г. Мищенко, И.Н. Масик, Г.А. Давыденко

В статье приведены результаты исследований эффективности элементов технологии выращивания гибрида и сорта сорго сахарного – способа посева и нормы высева, а также влияние этих элементов на выход энергии и биологического топлива с единицы площади. Посев сорго сахарного сорта Силосное 42 и гибрида Медовое F1 с шириной междурядья 45 см и нормой высева 290 тыс. шт./га способствует получению наибольшего количества зеленой массы - соответственно 67,8 и 69,5 т/га, сбора сахара 5,1 и 5,9 т/га и биоэтанола - 1797 и 1815 л/га.

Ключевые слова: сорго сахарное, способ посева, норма высева, выход биологического топлива.

SWEET SORGHUM BIOFUEL

A.I.Mulyarchuk, Y.G.Mishchenko, I.M. Masik, G.A. Davydenko

The effectiveness of elements of cultivation technology of sweet sorghum hybrids and varieties, sowing ways and seed rates, the impact of these elements on the output of energy and bio-fuel were established. The sowing of sweet sorghum Silage 42 variety and Honey F1 hybrid with row spacing of 45 cm and a seeding rate of 290 seeds/ha promotes of maximum quantity of green mass formation - 67.8 and 69.5 t/ha respectively, and sugar yield of 5,1- 5,9 t/ha and bioethanol - 1797 and 1815 l/ha.

Keywords: sorghum, sowing way, seeding rate, the yield of biofuel.

Дата надходження до редакції: 01.04.2014 р.

Рецензенти: А.В. Мельник