

УДК 633.62

Вплив елементів технології вирощування на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового у Центральному Лісостепу України

О. М. Ганженко

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110,
e-mail: ganzhenko74@gmail.com

Мета. Встановити вплив сортових особливостей, мінеральних добрив та строків сівби на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового. **Методи.** У дослідженні використані біологічні, розрахункові та статистичні методи. Біологічні методи включали проведення польових досліджень. Вихід біоетанолу визначали розрахунковим методом. Отримані результати опрацьовували із використанням статистичних методів – описової статистики та дисперсійного аналізу. **Результати.** Встановлено ступінь впливу сортових особливостей, мінеральних добрив, строків сівби і погодних умов на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового. Збільшення дози добрив NPK на 1 кг д.р. в діапазон від 0 до 80 кг д.р./га дозволило підвищити вихід біоетанолу в середньому на 14,1 кг/га, а ефективність добрив в діапазоні доз добрив NPK від 80 до 160 кг д.р./га становила лише 2,2 кг/га біоетанолу на 1 кг д.р. добрив. Вихід біоетанолу з гібрида 'Медовий' в середньому становив 2,82 т/га, що на 17,7% більше ніж з сорту 'Силосне 42' (2,32 т/га). Найвищий вихід біоетанолу (2,66–2,74 т/га) досягається за сівби насіння в I–II декадах травня. **Висновки.** Вихід біоетанолу з сорго цукрового найбільше залежить від погодних умов (39,0 %) та мінеральних добрив (28,5 %), ступінь впливу сортових особливостей і строків сівби насіння становив відповідно 5,2 та 2,7 %. В умовах сильної посухи (ГТК = 0,45) врожайність зеленої біомаси сорго цукрового зменшується на 30–32 %, цукристість соку – на 32–33 %, а вихід біоетанолу – удвічі порівняно із достатньо вологими погодними умовами (ГТК = 1,45). Внесення мінеральних добрив в дозі N₈₀P₈₀K₈₀ дозволило збільшити врожайність зеленої біомаси сорго цукрового на 24,9 т/га, цукристість соку на 1,5 % та вихід біоетанолу на 1,13 т/га. Збільшення дози добрив удвічі з N₈₀P₈₀K₈₀ до N₁₆₀P₁₆₀K₁₆₀ сприяло незначному підвищенню показників продуктивності та виходу біоетанолу. За вирощування гібрида 'Медовий' урожайність зеленої біомаси збільшується на 6,6 т/га, цукристість соку – на 1,3 %, вихід біоетанолу – на 0,5 т/га порівняно з сортом 'Силосне 42'. Ранні строки сівби насіння сорго цукрового (III декада квітня) зменшують врожайність його зеленої біомаси на 6,6 т/га, цукристість соку – на 0,5 %, вихід біоетанолу – на 0,34 т/га у порівнянні з оптимальними строками (I–II декади травня).

Ключові слова: урожайність; зелена біомаса; строки сівби; дози добрив; цукристість соку; сортові особливості.

Вступ

Завдяки високій продуктивності, невибагливості до умов вирощування сорго цукрове (*Sorghum saccharatum*) є однією з найбільш перспективних культур, сировина якої використовується як на харчові цілі та корми, так і для виробництва різних видів біопалив, особливо біоетанолу [1, 2]. Сорго цукрове належить до C₄ рослин, які більш ефективно використовують світло, воду і елементи живлення порівняно з C₃ рослинами [3], крім того сорго цукрове більш посухостійка культура ніж цукрова тростина (*Saccharum officinarum*) та кукурудза (*Zea mays*), які зараз використовуються для виробництва біопалива у світі [4]. Виробництво і використання біоетанолу, виготовленого з біомаси сорго цукрового дозволяє більше ніж на 70 % скоротити викиди парникових газів [5]. Тому актуальність вирощування сорго цукрового зростає у зв'язку зі змінами клімату, які супроводжуються підвищенням температури повітря та зменшенням кількості опадів [6].

Використання біомаси сорго цукрового на енергетичні цілі потребує удосконалення елементів технології його вирощування. Відомо, що застосування азотних добрив дозволяє підвищити вихід

біоетанолу. Збільшення доз азотних добрив дозволяло підвищити врожайність зеленої біомаси, не впливаючи суттєво на цукристість соку, при цьому вихід біоетанолу також зростає, однак основний ефект було отримано від внесення малих доз добрив [7, 8]. Встановлено, що суттєвий вплив на вихід біопалива мають строки сівби насіння сорго цукрового, при цьому ступінь впливу залежить від сортового складу. Найвищий вихід біоетанолу досягнуто за сівби насіння в травні місяці в умовах південно-західної частини США [6]. Іншими дослідженнями було встановлено, що ранні строки сівби насіння сорго цукрового дозволяють на 13 % збільшити вихід біоетанолу, при цьому дози добрив та норма висіву суттєво не впливали на вихід біопалива [9]. Разом з тим, рядом досліджень було відмічено суттєвий вплив доз добрив як на врожайність зеленої і сухої біомаси сорго цукрового, так і на цукристість його соку [10, 11].

Мета досліджень – встановити вплив сортових особливостей, строків сівби насіння та доз мінеральних добрив на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового у Центральному Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводились впродовж 2013–2015 рр. на полях Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Мала Вільшанка, Білоцерківський р-н, Київська обл.) за трифакторною схемою (табл. 1).

Таблиця 1

Схема досліджу

Фактор А: Сортові особливості:	Фактор В: Строки сівби насіння:	Фактор С: Дози добрив:
Сорт 'Силосне 42' Гібрид 'Медовий'	III декада квітня I декада травня II декада травня	без добрив N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀

Площа посівної ділянки 50 м², облікової – 30 м². Загальна площа досліджу – 0,45 га. Повторюваність дослідів – п'ятиразова. Насіння сорго цукрового висівали на глибину 4–6 см з шириною міжрядь 45 см, густотою 222 тис. шт./га (10 схожих насінин на 1 м рядка). В якості добрива використовували нітроаммофоску (N:P:K = 16:16:16), яку вносили відповідно до схеми досліджу.

Вихід біоетанолу розраховували згідно методичних рекомендацій [12] за формулою, де:

$$M = \frac{U \cdot n \cdot S \cdot b \cdot k}{100},$$

M – вихід біоетанолу з 1 га цукрового сорго, т/га;
 U – урожайність стебел, т/га;
 n – коефіцієнт виходу соку, $n = 0,5$;
 S – загальний вміст цукрів у соці, %;
 b – коефіцієнт виходу біоетанолу з сахарози, $b = 0,53$;
 k – коефіцієнт заводського виходу біоетанолу, $k = 0,9$.

Отримані результати опрацьовували із використанням статистичних методів – описової статистики та дисперсійного аналізу за допомогою програми Statistica 12.

Дослід розміщено на чорноземі типовому крупнопилуватому середньосуглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,9 %, що характерно для малогумусних чорноземів. Реакція ґрунтового розчину – близька до нейтральної (рН сольової витяжки становить 6,5). Ємність поглинання коливається від 24,8 до 25,4 мг-екв. на 100 г сухого ґрунту; лужногідролізованого азоту в орному шарі ґрунту – 13,4 мг (за Тюриним); рухомих форм фосфору – 16 мг (P₂O₅ за Кірсановим); обмінного калію – 9,6 мг на 100 г ґрунту (K₂O за Чиріковим).

Погодні умови у роки проведення досліджень були досить строкатими (рис. 1). У 2013 році середня температура повітря за період вегетації була на 1,3 °С вищою за багаторічні значення, а кількість опадів перевищувала на 75,4 мм багаторічні показники. У 2014 році температура повітря в середньому за вегетаційний період перевищувала багаторічні дані на 0,8 °С. Оподи у 2014 році були нерівномірними. Так, у квітні, травні та червні їх кількість перевищувала середні багаторічні показники, а у липні – була меншою. Найбільш несприятливим для вирощування сорго цукрового був 2015 рік, у якому середня температура повітря впродовж вегетативного періоду на 2,1 °С

перевищувала багаторічні значення. Крім того, цей рік був посушливим, так як кількість опадів була значно меншою за середні багаторічні дані.

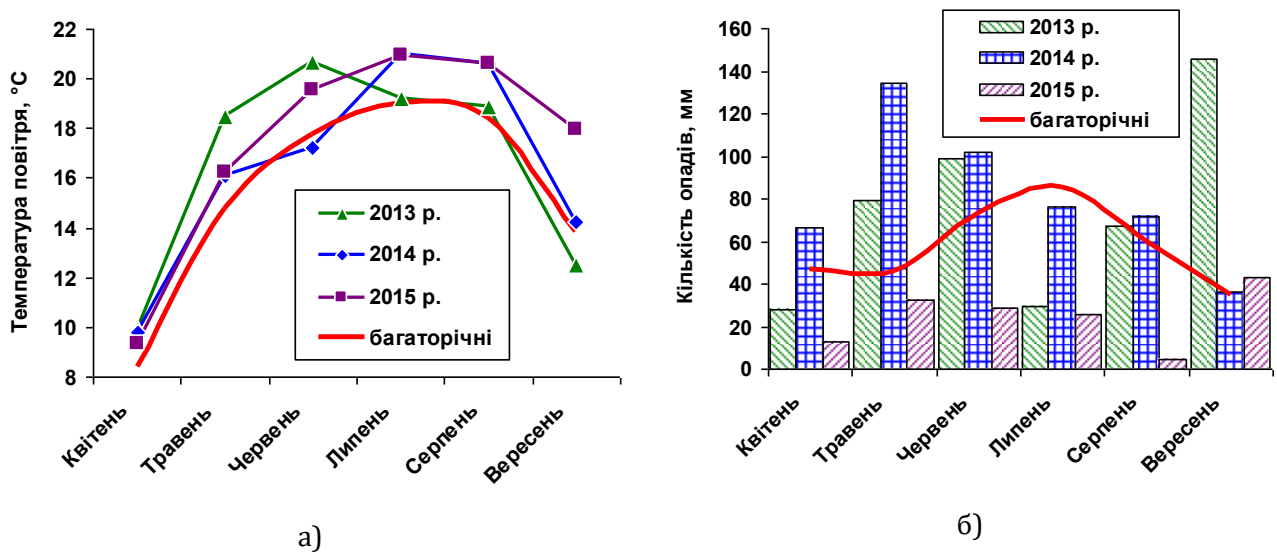


Рис. 1. Погодні умови за роки досліджень:
а) температура повітря; б) кількість опадів

Характеризуючи погодні умови в роки досліджень за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК), можна зазначити, що 2013 рік був достатньо вологим (ГТК = 1,45), 2014 рік – надмірно вологим (ГТК=1,56), а у 2015 році спостерігалась сильна посуха (ГТК = 0,45).

Результати досліджень

Результати досліджень свідчать, що врожайність зеленої біомаси сорго цукрового суттєво залежала від досліджуваних факторів (рис. 2), при цьому найбільший вплив мали погодні умови (39,0 %) та застосування мінеральних добрив (38,8 %). Вплив строків сівби насіння та сортових особливостей був значно меншим і становив відповідно 4,5 % та 3,0 %.

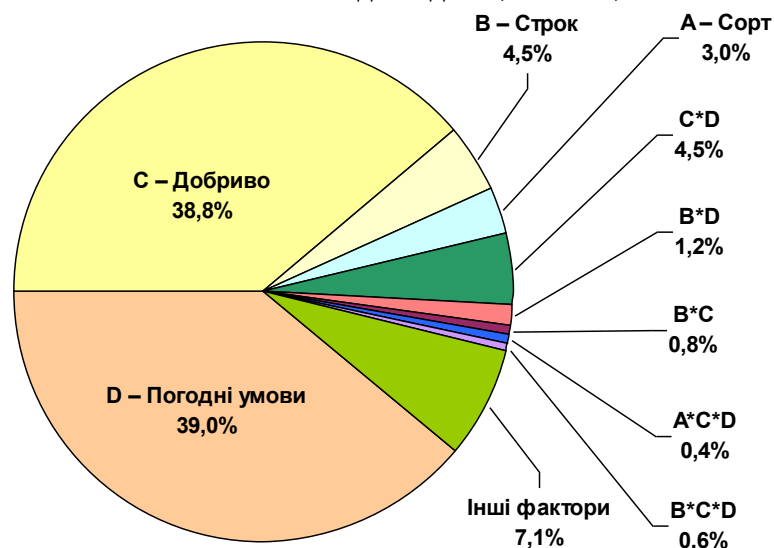


Рис. 2. Результати дисперсійного аналізу за урожайністю зеленої біомаси:

А – сортові особливості; В – строки сівби насіння; С – дози мінеральних добрив;
D – погодні умови в роки досліджень

Погодні умови 2013 року були найсприятливіші, що дозволило сформувати врожайність зеленої біомаси в середньому по досліді на рівні 80,5 т/га, дещо меншою була врожайність у 2014 році – 78,4 т/га (рис. 3а). Найнижча врожайність зеленої біомаси сорго цукрового (54,3 т/га) спостерігали у посушливому 2015 році. Впродовж усіх років досліджень врожайність зеленої біомаси сорго

цукрового гібрида 'Медовий' (74,4 т/га) була суттєво вищою ніж сорту 'Силосне 42' (67,8 т/га) (рис. 3б). Таким чином, не дивлячись на високий рівень посухостійкості сорго цукрового, врожайність його зеленої біомаси суттєво залежить від гідротермічних показників. Гостра нестача вологи в період вегетації рослин призводить до зниження врожайності зеленої біомаси на 30–32 %.

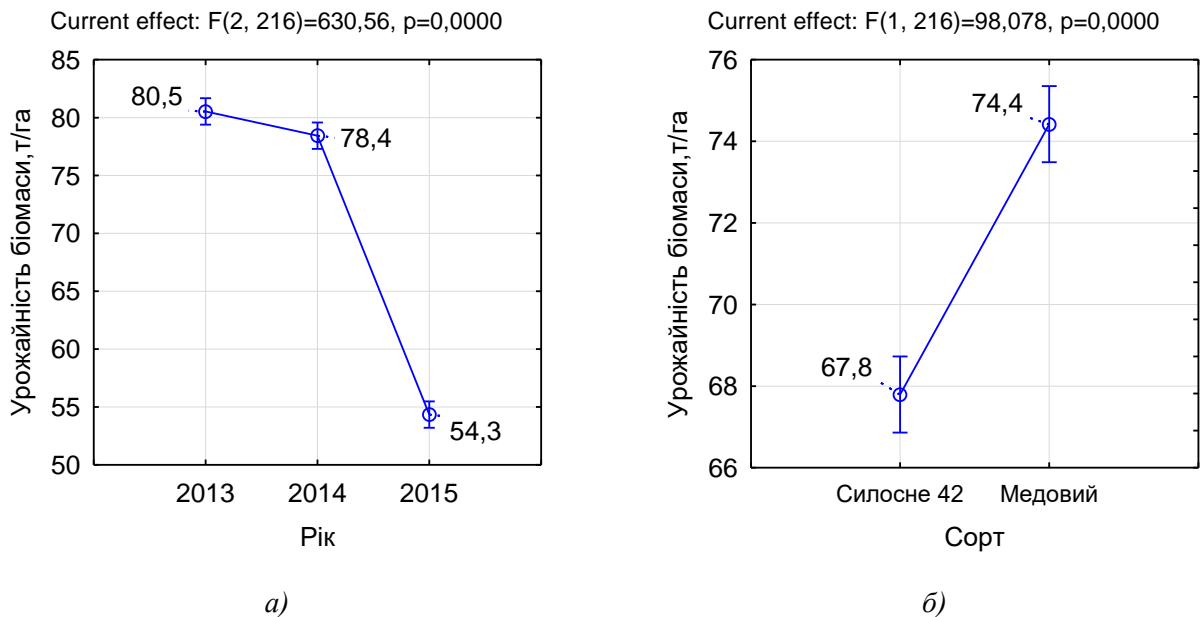


Рис. 3. Вплив погодних умов (а) та сортових особливостей (б) на урожайність зеленої біомаси сорго цукрового

На неудобреному фоні врожайність зеленої біомаси сорго цукрового становила 54,3 т/га (рис. 4а), що на 31,4 % менше порівняно із врожайністю, отриманою на фоні удобрення $N_{80}P_{80}K_{80}$ (79,2 т/га). Прибавка врожаю від внесення подвійної дози добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$) була не суттєвою. Таким чином, збільшення дози добрив від 0 до 80 кг.д.р. дозволило додатково отримати 311 кг зеленої біомаси сорго цукрового на 1 кг д.р. добрив, а збільшення дози від 80 до 160 кг д.р. забезпечило приріст зеленої біомаси лише на 7,5 кг на 1 кг д.р.

Ефективність застосування мінеральних добрив значно залежала від погодних умов. Так, на фоні без застосування мінеральних добрив врожайність зеленої біомаси сорго цукрового в засушливий 2015 рік становила 45,5 т/га (рис. 4б), що на 22–23 % менше порівняно із врожайністю на цьому ж фоні досягнутою у 2013 році (58,6 т/га) та 2014 році (59,0 т/га). За внесення одинарної дози добрив різниця за врожайністю у сприятливі на несприятливі роки зростає. Так, на фоні $N_{80}P_{80}K_{80}$ у засушливому 2015 році врожайність зеленої біомаси сорго цукрового становила 58,7 т/га, що на 33–35 % менше порівняно з показниками 2013–2014 років. Встановлено, що застосування одинарної дози мінеральних добрив ($N_{80}P_{80}K_{80}$) навіть за несприятливих погодних умов забезпечує врожайність зеленої біомаси сорго цукрового на рівні 58,7 т/га, що статистично не відрізняється від врожайності, досягнутої за сприятливих погодних умов на неудобреному фоні (див. рис. 4б).

Ранні строки сівби насіння сорго цукрового негативно впливали на його продуктивність. Так, за сівби насіння в III декаді квітня врожайність зеленої біомаси сорго цукрового у середньому за роки досліджень становила 65,7 т/га (рис. 5а), що на 9,1 % менше у порівнянні з сівбою в I декаді травня (72,3 т/га) та на 12,7 % менше порівняно із сівбою у II декаді травня (75,3 т/га).

Вплив строків сівби насіння сорго цукрового на його продуктивність значно відрізнявся за роками досліджень. Характер залежності врожайності зеленої біомаси від строків сівби насіння сорго цукрового для 2014 та 2015 років були схожі (рис. 5б). Так, за першого строку сівби насіння (III декада квітня) врожайність біомаси була найменшою (50,1 т/га у 2015 році та 73,1 т/га у 2014 році), перенесення строків сівби на I декаду травня забезпечило істотне підвищення врожайності зеленої біомаси (56,7 т/га у 2015 році та 81,2 т/га у 2014 році), а подальше перенесення строків сівби на II декаду травня призвело до незначного зниження врожайності зеленої біомаси сорго

цукрового (56,2 т/га у 2015 році та 80,9 т/га у 2014 році). Це пояснюється тим, що, не зважаючи на різні умови зволоження, які склалися у 2014 та 2015 роках, температурні показники у квітні та травні місяці у ці роки були схожими (див. рис. 1а).

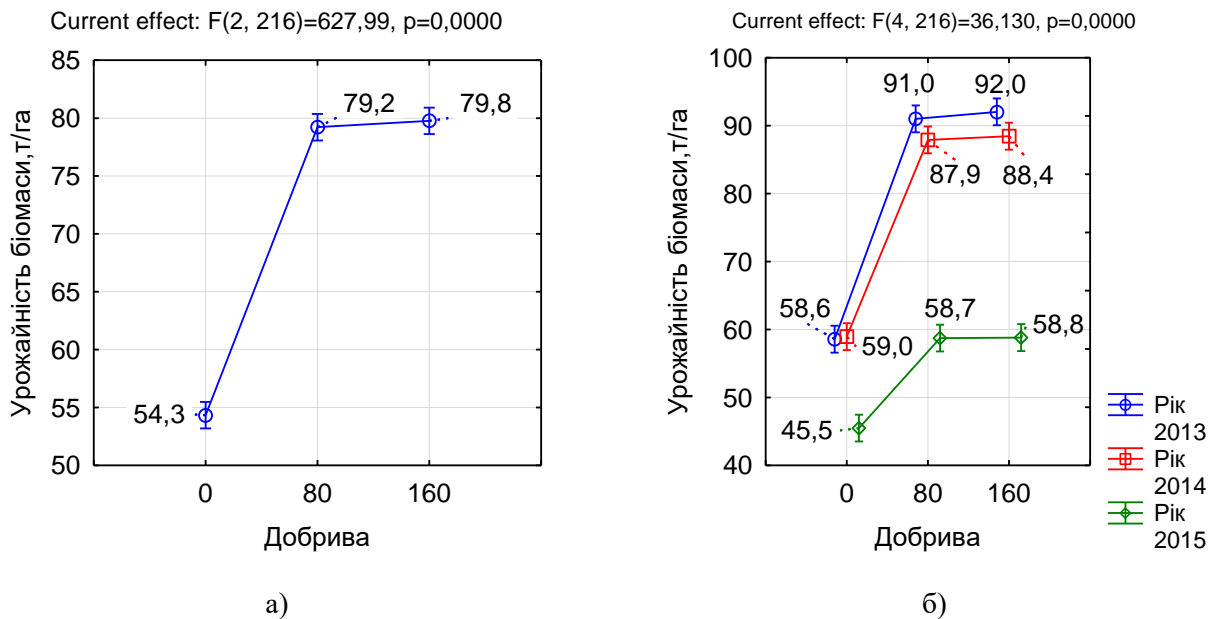


Рис. 4. Вплив доз добрив та умов вегетації на урожайність зеленої біомаси сорго цукрового:
а) в середньому за роки досліджень; б) окремо за роками досліджень

У сприятливому 2013 році найвищу врожайність зеленої біомаси було досягнуто за сівби насіння у II декаді травня 88,8 т/га, що свідчить про те, що за наявності достатньої кількості ґрунтової вологи пізні строки сівби насіння є більш виправданими, оскільки при цьому забезпечується кращий температурний режим на початкових етапах росту і розвитку рослин сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України.

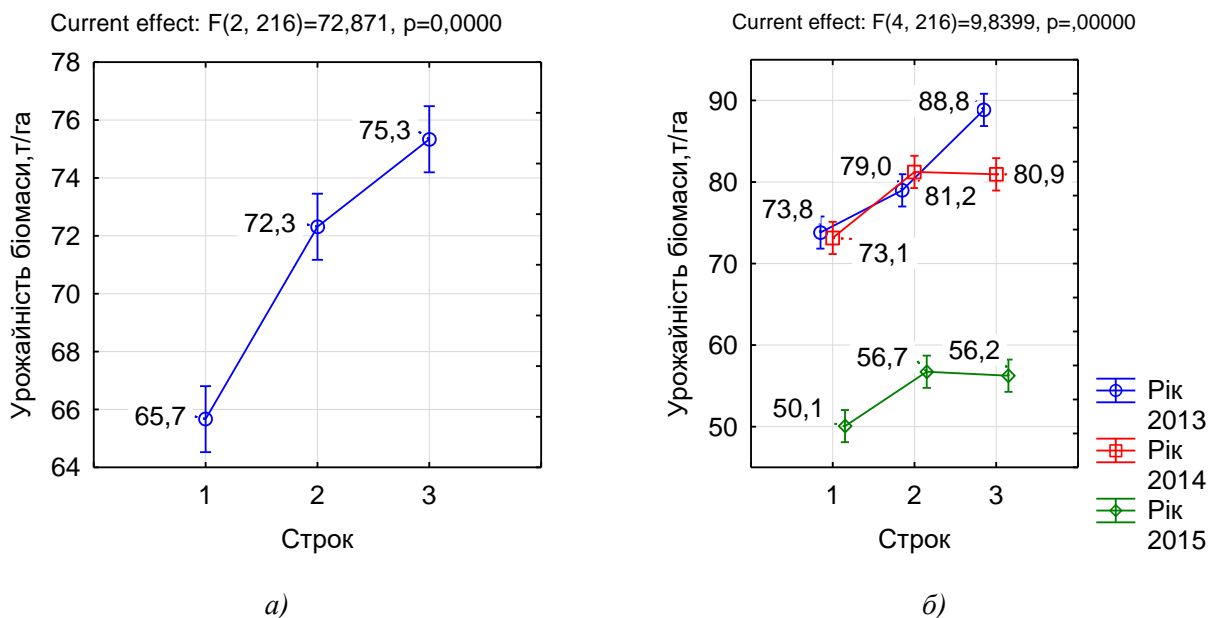


Рис. 5. Залежність урожайності зеленої біомаси сорго цукрового від строків сівби насіння:
а) в середньому за роки досліджень; б) окремо за роками досліджень

Цукристість соку сорго цукрового також суттєво залежала від досліджуваних факторів. Зі збільшенням дози добрив цукристість соку також зростала незалежно від сортових особливостей та строків сівби насіння (рис. 6). Середній за дослідом вміст цукрів у соці гібрида 'Медовий'

становив 15,3 %, а у соці сорту 'Силосне 42' – 14,0 %. Цукристість соку у посушливому 2015 році була значно нижчою і становила в середньому 12,0% проти 15,9–16,0 % у достатньо вологих 2013–2014 роках. Вплив строків сівби на цукристість соку був майже не суттєвим ($p=0,04$), при цьому спостерігалась тенденція до збільшення цукристості соку сорту 'Силосне 42' за сівби насіння в I декаді травня, а у гібрида 'Медовий' – у II декаді травня.



Рис. 6. Залежність цукристості соку сорго цукрового від сортових особливостей, строків сівби насіння та доз добрив:

1 – Без добрив; 2 – $N_{80}P_{80}K_{80}$; 3 – $N_{160}P_{160}K_{160}$

Усі фактори дослідження суттєво впливали на вихід біоетанолу (рис. 7), при цьому домінуючим був вплив погодних умов (39,0 %) та мінеральних добрив (28,5 %). Ступінь впливу сортових особливостей і строків сівби був значно меншим і становив відповідно 5,2 та 2,7 %. Суттєвим також був вплив спільної дії двох факторів, одним з яких були погодні умови. Так, ступінь впливу на вихід біоетанолу спільної дії добрив і погодних умов (C^*D) складав 4,8 %, сортових особливостей і погодних умов (A^*D) – 3,1 %, строків сівби насіння і погодних умов (B^*D) – 3,6 %. Таким чином, вирішальний вплив (понад 80 %) на вихід біоетанолу з одиниці площі посівів сорго цукрового мають погодні умови в період вегетації рослин та дози мінеральних добрив.

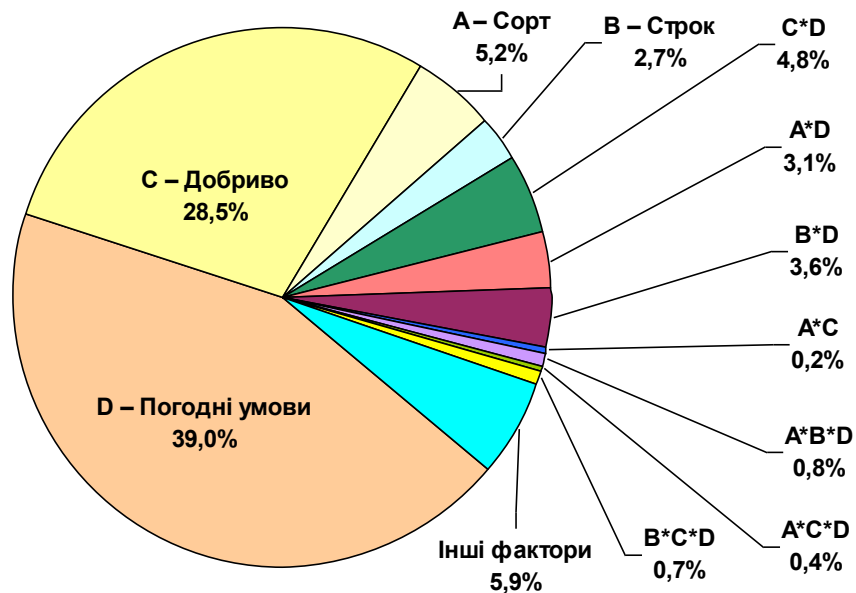


Рис. 7. Результати дисперсійного аналізу за виходом біоетанолу:

A – сортові особливості; B – строки сівби насіння;

C – дози мінеральних добрив; D – погодні умови в роки досліджень

За найбільш несприятливих погодних умов на неудобреному фоні вихід біоетанолу був найменшим і становив 1,12 т/га (рис. 8а). Внесення одинарної дози добрив ($N_{80}P_{80}K_{80}$) сприяло

збільшенню виходу біоетанолу в 2015 році до 1,68 т/га, а подвійної ($N_{160}P_{160}K_{160}$) – до 1,77 т/га. За сприятливих погодних умов вихід біоетанолу був значно вищим. Так, у 2013 та 2014 роках на неудобреному фоні вихід біоетанолу становив 2,03 т/га, а за внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ вихід біоетанолу зріс до 3,40 і 3,59 т/га відповідно. Застосування подвійної дози добрив сприяло несуттєвому підвищенню виходу біоетанолу до 3,76 т/га у 2013 році та до 3,67 т/га у 2014 році.

Найменший середній за роки досліджень вихід біоетанолу (1,76 т/га) було отримано на варіанті без внесення мінеральних добрив (рис. 8 б). Внесення одинарної дози добрив ($N_{80}P_{80}K_{80}$) сприяло збільшенню виходу біоетанолу на 64,2 % (до 2,89 т/га). Таким чином, збільшення дози добрив на 1 кг д.р. в діапазон від 0 до 80 кг.д.р./га дозволило підвищити вихід біоетанолу в середньому на 14,1 кг/га. За рахунок застосування подвійної дози добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$) також спостерігалось істотне підвищення виходу біоетанолу до 3,07 т/га, однак ефективність добрив в діапазоні від 80 до 160 кг д.р./га становила лише 2,2 кг/га біоетанолу на 1 кг д.р. добрив.

Отже, під час вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу на малогумусних чорноземах центрального Лісостепу України доцільно вносити мінеральні добрива у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$.

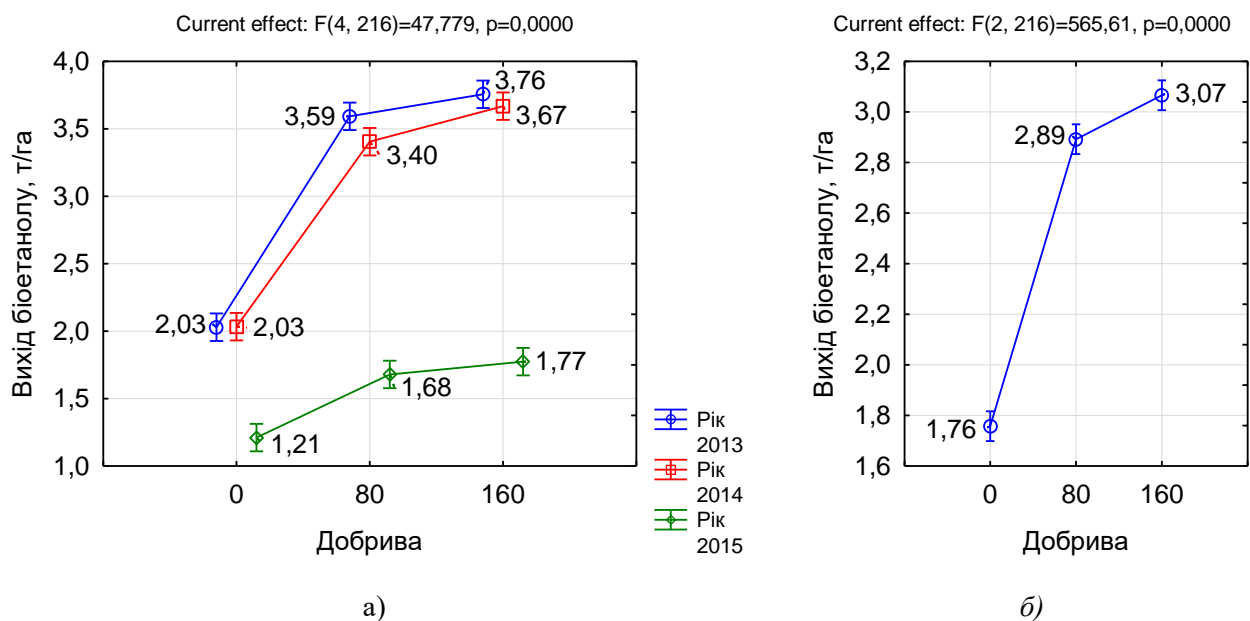


Рис. 8. Залежність виходу біоетанолу з сорго цукрового від доз добрив:
а) окремо за роками досліджень; б) у середньому за роки досліджень

Оскільки гібрид 'Медовий' як за врожайністю зеленої біомаси, так і за цукристістю соку перевищував сорт 'Силосне 42', тому і розрахунковий вихід біоетанолу з рослин гібриду 'Медовий' в середньому за роки досліджень був значно вищим і становив 2,82 т/га, а з рослин сорту 'Силосне 42' лише 2,32 т/га (рис. 9а). Таким чином, вихід біоетанолу з рослин гібриду 'Медовий' був на 0,5 т/га вищим ніж з рослин сорту 'Силосне 42'.

Встановлено, що найвищий вихід біоетанолу (2,66–2,74 т/га) досягається за сівби насіння сорго цукрового в I–II декадах травня (рис. 9 б). Сівба насіння сорго цукрового у більш ранній строк (III декада квітня) в умовах центрального Лісостепу України спричинює зменшення виходу біоетанолу на 14–18 %.

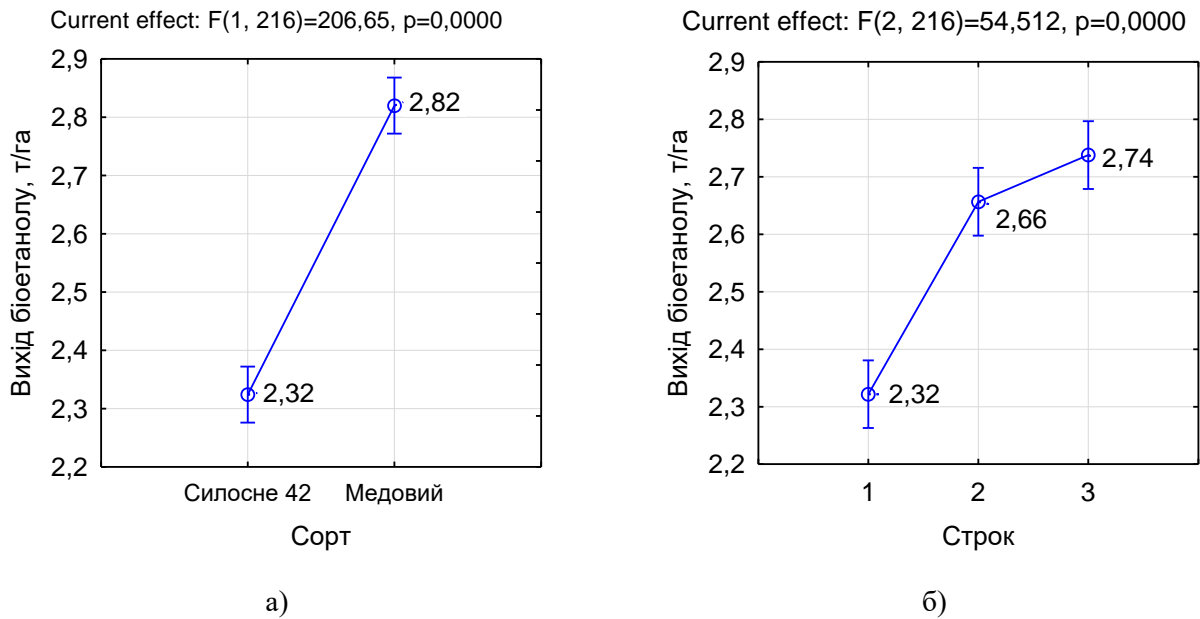


Рис. 9. Вплив сортових особливостей (а) та строків сівби насіння (б) сорго цукрового на вихід біоетанолу

Висновки

1. Вихід біоетанолу з сорго цукрового найбільше залежить від погодних умов (39,0 %) та мінеральних добрив (28,5 %), ступінь впливу сортових особливостей і строків сівби насіння був значно меншим і становив відповідно 5,2 та 2,7 %.

2. В умовах сильної посухи (ГТК = 0,45) врожайність зеленої біомаси сорго цукрового зменшується на 30–32 %, цукристість соку – на 32–33 %, а вихід біоетанолу – удвічі порівняно із достатньо вологими погодними умовами (ГТК = 1,45).

3. Внесення мінеральних добрив в дозі N80P80K80 дозволило збільшити врожайність зеленої біомаси сорго цукрового на 24,9 т/га, цукристість соку на 1,5 % та вихід біоетанолу на 1,13 т/га. Збільшення дози добрив удвічі з N₈₀P₈₀K₈₀ до N₁₆₀P₁₆₀K₁₆₀ сприяло незначному підвищенню показників продуктивності та виходу біоетанолу.

4. За вирощування гібрида 'Медовий' урожайність зеленої біомаси збільшується на 6,6 т/га, цукристість соку – на 1,3 %, вихід біоетанолу – на 0,5 т/га порівняно з сортом 'Силосне 42'.

5. Ранні строки сівби насіння сорго цукрового (III декада квітня) зменшують врожайність його зеленої біомаси на 6,6 т/га, цукристість соку – на 0,5 %, вихід біоетанолу – на 0,34 т/га у порівнянні з оптимальними строками (I–II декади травня).

Використана література

1. Prasad S., Singh A., Jain N., Joshi H. C. Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energ. Fuel*. 2007. Vol. 21, Iss. 4. P. 2415–2420. doi: 10.1021/ef060328z
2. Wang M. X., Chen Y. H., Xia X. F. et al. Energy efficiency and environmental performance of bioethanol production from sweet sorghum stem based on life cycle analysis. *Bioresour. Technol.* 2014. Vol. 163. P. 74–81. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.014
3. 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. *J. Integr. Plant Biol.* 2011. Vol. 53, Iss. 2. P. 120–135. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01023.x
4. Almodares A., Hadi M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *Afr. J. Agric. Res.* 2009. Vol. 4 Iss. 9. P. 772–780.
5. Cai H., Dunn J. B., Wang Z. C. et al. Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnol. Biofuels*. 2013. Vol. 6. 141. doi: 10.1186/1754-6834-6-141
6. Teetor V. H., Duclos D. V., Wittenberg E. T. et al. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Ind. Crop Prod.* 2011. Vol. 34, Iss. 2. P. 1293–1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010

7. Han K. J., Pitman W. D., Alison M. W. et al. Agronomic Considerations for Sweet Sorghum Biofuel Production in the South-Central USA. *Bioenergy Res.* 2012. Vol. 5, Iss. 3. P. 748–758. doi: 10.1007/s12155-012-9185-3
8. Maw M. J. W., Houx J. H., Fritschi F. B. Nitrogen Content and Use Efficiency of Sweet Sorghum Grown in the Lower Midwest. *Agron. J.* 2019. Vol. 111, No. 6. P. 2920–2928. doi: 10.2134/agronj2018.08.0489
9. Lueschen W. E., Putnam D. H., Kanne B. K., Hoverstad T. R. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *J. Prod. Agric.* 1991. Vol. 4, Iss. 4. P. 619–625. doi: 10.2134/jpa1991.0619
10. Holou R. A. Y., Stevens G. Juice, sugar, and bagasse response of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. M81E) to N fertilization and soil type. *Glob. Change Biol. Bioenergy.* 2012. Vol. 4, Iss. 3, P. 302–310. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01126.x
11. Thivierge M. N., Chantigny M. H., Belanger G. et al. Response to Nitrogen of Sweet Pearl Millet and Sweet Sorghum Grown for Ethanol in Eastern Canada. *Bioenergy Res.* 2015. Vol. 8, Iss. 2. P. 807–820. doi: 10.1007/s12155-014-9558-x
12. Ганженко О. М., Курило В. Л., Герасименко Л. А. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива. Київ : Компринт, 2017. 24 с.

References

1. Prasad, S., Singh, A., Jain, N., & Joshi, H. C. (2007). Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energ. Fuel*, 21(4), 2415–2420. doi: 10.1021/ef060328z
2. Wang, M. X., Chen, Y. H., Xia, X. F., Li, J., & Liu, J. (2014). Energy efficiency and environmental performance of bioethanol production from sweet sorghum stem based on life cycle analysis. *Bioresour. Technol.*, 163, 74–81. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.014
3. 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. *J. Integr. Plant Biol.*, 53(2), 120–135. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01023.x
4. Almodares, A., & Hadi, M. R. (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *Afr. J. Agric. Res.*, 4(9), 772–780.
5. Cai, H., Dunn, J. B., Wang, Z. C., Han, J., & Wang, M. Q. (2013). Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnol. Biofuels*, 6(1), 141. doi: 10.1186/1754-6834-6-141
6. Teetor, V. H., Duclos, D. V., Wittenberg, E. T., Young, K. M., Chawhuaymak, J., Riley, M. R., & Raya, D. T. (2011). Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Ind. Crop Prod.*, 34(2), 1293–1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010
7. Han, K. J., Pitman, W. D., Alison, M. W., Harrell, D. L., Viator, H. P., McCormick, M. E., Gravois, K. A., Kim, M., & Day, D. F. (2012). Agronomic Considerations for Sweet Sorghum Biofuel Production in the South-Central USA. *Bioenergy Res.*, 5(3), 748–758. doi: 10.1007/s12155-012-9185-3
8. Maw, M. J. W., Houx, J. H., & Fritschi, F. B. (2019). Nitrogen Content and Use Efficiency of Sweet Sorghum Grown in the Lower Midwest. *Agron. J.*, 111(6), 2920–2928. doi: 10.2134/agronj2018.08.0489
9. Lueschen, W. E., Putnam, D. H., Kanne, B. K., & Hoverstad, T. R. (1991). Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *J. Prod. Agric.*, 4(4), 619–625. doi: 10.2134/jpa1991.0619
10. Holou, R. A. Y., & Stevens, G. (2012). Juice, sugar, and bagasse response of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. M81E) to N fertilization and soil type. *Glob. Change Biol. Bioenergy*, 4(3), 302–310. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01126.x
11. Thivierge, M. N., Chantigny, M. H., Belanger, G., Seguin, P., Bertrand, A., & Vanasse, A. (2015). Response to Nitrogen of Sweet Pearl Millet and Sweet Sorghum Grown for Ethanol in Eastern Canada. *Bioenergy Res.*, 8(2), 807–820. doi: 10.1007/s12155-014-9558-x
12. Hanzhenko, O. M., Kurylo, V. L., Herasymenko, L. A., Zykov, P. Yu., Hivrych, O. B., Honcharuk, H. S., & Ivanova, O. H. (2017). *Metodychni rekomendatsii z tekhnologii vyroshchuvannia i pererobliannia tsukrovoho sorho yak syrovyny dlia vyrobnytstva biopalyva* [Guidelines for the technology of cultivation and processing of sugar sorghum as a raw material for biofuel production]. Kyiv: Komprynt. [in Ukrainian]

УДК 633.62

Ганженко А. Н. Влияние элементов технологии выращивания на производительность и выход биоэтанола из сорго сахарного в Центральной Лесостепи Украины // Новітні агротехнології. 2019. № 7. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/204794>.

Інститут біоенергетических культур и сахарной свеклы НААН України, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03110, Украина, e-mail: ganzhenko74@gmail.com

Цель. Установить влияние сортовых особенностей, минеральных удобрений и сроков посева на производительность и выход биоэтанола из сорго сахарного. **Методы.** В исследовании использованы биологические, расчетные и статистические методы. Биологические методы включали проведение полевых исследований. Выход биоэтанола определяли расчетным методом. Полученные результаты обрабатывали с использованием статистических методов – описательной статистики и дисперсионного анализа. **Результаты.** Установлена степень влияния сортовых особенностей, минеральных удобрений, сроков посева и погодных условий на производительность и выход биоэтанола из сорго сахарного. Увеличение дозы удобрений NPK на 1 кг д.в. в диапазон от 0 до 80 кг д.в./га позволило повысить выход биоэтанола в среднем на 14,1 кг/га, при этом эффективность удобрений в диапазоне доз NPK от 80 до 160 кг д.в./га составляла лишь 2,2 кг/га биоэтанола на 1 кг д.в. удобрений. Выход биоэтанола с гибрида 'Медовий' в среднем составил 2,82 т/га, что на 17,7 % больше чем из сорта 'Силосний 42' (2,32 т/га). Самый высокий выход биоэтанола (2,66–2,74 т/га) достигается при посеве семян в I–II декадах мая. **Выводы.** Выход биоэтанола из сорго сахарного в основном зависит от погодных условий (39,0 %) и минеральных удобрений (28,5 %), влияние сортовых особенностей и сроков посева семян составило соответственно 5,2 и 2,7 %. В условиях сильной засухи (ГТК = 0,45) урожайность зеленой биомассы сорго сахарного уменьшается на 30–32 %, сахаристость сока – на 32–33 %, а выход биоэтанола – в 2 раза по сравнению с достаточно влажными погодными условиями (ГТК = 1,45). Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{80}P_{80}K_{80}$ позволило увеличить урожайность зеленой биомассы сорго сахарного на 24,9 т/га, сахаристость сока на 1,5 % и выход биоэтанола на 1,13 т/га. Увеличение дозы удобрений вдвое с $N_{80}P_{80}K_{80}$ до $N_{160}P_{160}K_{160}$ способствовало незначительному повышению показателей производительности растений и выхода биоэтанола. Выращивание гибрида 'Медовий' позволяет увеличить урожайность зеленой биомассы на 6,6 т/га, сахаристость сока – на 1,3 %, выход биоэтанола – на 0,5 т/га по сравнению с сортом 'Силосне 42'. Ранние сроки посева семян сорго сахарного (III декада апреля) уменьшают урожайность его зеленой биомассы на 6,6 т/га, сахаристость сока – на 0,5 %, выход биоэтанола – на 0,34 т/га по сравнению с оптимальными сроками (I–II декады мая).

Ключевые слова: урожайность; зеленая биомасса; сроки посева; дозы удобрений; сахаристость сока; сортовые особенности.

UDC 620.952

Hanzhenko, O. M. (2019). Effect of the elements of cultivation technology on the productivity and ethanol yield from sugar sorghum in the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Novitni Agrotehnologii* [Advanced Agritechologies], 7. Retrieved from <http://jna.bio.gov.ua/article/view/204794>. [in Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: ganzhenko74@gmail.com

Purpose. To establish the effect of elements of cultivation technology on the productivity and ethanol yield from sugar sorghum. **Methods.** The biological, calculation and statistical methods were used in the research. Biological methods included conducting field experiment. The bioethanol yield was determined by the calculation method. The obtained results were processed by statistical methods: descriptive statistics and analysis of variance ANOVA. **Results.** The degree of effect of varietal characteristics, fertilizers, sowing date and weather conditions on the productivity and bioethanol yield from sugar sorghum was established. Fertilizer dose increase by 1 kg a.i. (NPK) in the range from 0 to 80 kg/ha allowed to increase the bioethanol yield by an average of 14.1 kg/ha, but the fertilizer efficiency in the NPK fertilizer dosage range from 80 to 160 kg/ha was only 2.2 kg/ha of bioethanol per 1 kg a.d. (NPK) fertilizer. The bioethanol yield from the 'Medovyi' hybrid averaged 2.82 t/ha, which is 17.7 % more than from the 'Sylosne 42' variety (2.32 t/ha). The highest bioethanol yield (2.66–2.74 t/ha) was achieved by sowing seeds in the early and middle of May. **Conclusions.** The bioethanol yield from sugar sorghum was the most affected by weather conditions (39.0 %) and fertilizers (28.5 %), the degree of influence of varietal characteristics and sowing date were 5.2 and 2.7 %, respectively. Under the conditions of severe drought (hydrothermal index (by Selianinov) 0.45), the yield of green biomass of sugar sorghum decreases by 30–32 %, the sugar content of juice by 32–33 %, and the bioethanol yield 2 times in comparison with sufficiently humid weather conditions. (hydrothermal index of 1.45). Fertilizer application $N_{80}P_{80}K_{80}$ allowed to increase the yield of green biomass of sugar sorghum by 24.9 t/ha, the sugar content of juice by 1.5 % and the bioethanol yield by 1.13 t/ha. Increasing the fertilizer dose by half from $N_{80}P_{80}K_{80}$ to $N_{160}P_{160}K_{160}$ contributed to a slight increase in the productivity and bioethanol yield. In 'Medovyi', the yield of green biomass increased by 6.6 t/ha, the sugar content of the juice by 1.3%, the bioethanol yield by 0.5 t/ha compared with 'Sylosne 42'. Early sowing of sugar sorghum (late April) reduces the yield of green biomass by 6.6 t/ha, juice sugars by 0.5 %, bioethanol yield by 0.34 t/ha compared to optimal terms (early and middle May).

Keywords: yield; green biomass; sowing date; doses of fertilizers; sugar content; varietal features.

Надійшла / Received 04.11.2018
Погоджено до друку / Accepted 08.12.2018