

DOI: 10.32636/01308521.2020-(68)-1-11

УДК 633.62:633.63

Л. М. ОЛЕКШІЙ, кандидат сільськогосподарських наук

І. М. БУРАК, завідувач наук.-технолог. відділу рослинництва і землеробства

Тернопільська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту кормів та сільського господарства Поділля

вул. Тролейбусна, 12, м. Тернопіль, 46027,

e-mail: ludmila.olekshiy@gmail.com

ЕЛЕМЕНТИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЦУКРОВОГО ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

Стаття присвячена актуальній проблемі пошуку шляхів використання альтернативних видів пального із відновлюваних джерел енергії, зокрема сорго цукрового для виробництва біоетанолу в умовах Західного Лісостепу України.

З огляду на погіршення стану навколишнього середовища більшої актуальності набуває пошук нових екологічно чистих джерел енергії з поновлювальної сировини. В Україні однією з найперспективніших біоенергетичних культур є сорго цукрове – посухостійка й непримхлива до ґрунтів культура. Вирощування високих і сталих врожаїв сорго цукрового ґрунтується на раціональному використанні біологічних особливостей сорту, фону живлення рослин. У зв'язку з цим вивчення впливу вказаних показників на продуктивність і вихід біоетанолу з рослин сорго цукрового в зоні Західного Лісостепу України упродовж вегетаційного періоду є важливим напрямом досліджень сучасності та становить мету дослідження.

Практичне значення отриманих результатів наукових досліджень полягає в підвищенні врожайності сорго цукрового, збільшенні виходу цукру та біопалива з посівної площі.

Вивчення технологічних процесів вирощування сорго цукрового на основі застосування «Лігногумату» та «Фреш» (добриво «Маджестик») дає змогу оцінити вплив цих препаратів на показники росту та розвитку культури.

Дослідженнями доведено, що застосування «Лігногумату» та «Фреш» (добриво «Маджестик») позакореневим способом позитивно вплинуло на ріст і розвиток рослин сорго цукрового.

Спостерігалась чітка закономірність впливу досліджуваних препаратів на показники росту рослин у висоту. Висота рослин у варіантах із рекомендованими та половинними дозами «Лігногумату» та «Фреш» (добриво «Маджестик») була відмічена на найвищій поділці – 3,00 м. Інші варіанти досліду дещо поступались за цим показником.

Діаметр стебел – це показник, який відіграє значну роль у стійкості рослин до вилягання, що значно зменшує втрати листостеблової маси при збиранні врожаю.

Найбільший приріст діаметра стебла, 1,6 см, відмічено у фазі повної стиглості, де застосовували «Лігногумат» дозою 1,0 л/га в баковій суміші з «Фреш» (добриво «Маджестик») 1,0 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку).

У результаті проведених досліджень встановлено, що препарати «Лігногумат» дозою застосування 1,0 л/га + «Фреш» (добриво «Маджестик») – 1,0 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку) забезпечили найбільші показники прибавки до контрольного варіанта: за урожайністю зеленої маси – 3,1 т/га, за вмістом цукрів у соці стебел – 1,0%. Вихід біоетанолу з 1 га площі – 6,114 т/га.

Результати досліджень актуальні для науки і виробництва біопалива з рослин сорго цукрового і можуть бути використані в умовах Західного Лісостепу України.

Ключові слова: сорго цукрове, біостимулятори, мікродобрива, продуктивність, біоетанол.

Olekshii L., Burak I.

Ternopil State Agricultural Research Station of Institute of Feed and Agriculture of Podillya

Technology elements of sugar sorghum growing for bioethanol production in the conditions of the western Forest-Steppe

The article is devoted to the topical problem of finding ways to use alternative fuels from renewable energy sources, in particular, sugar sorghum for ethanol fuel production.

Due to the deteriorated state of the environment, the search for new environmentally friendly clean energy sources from renewable raw materials becomes more and more relevant. Today in Ukraine one of the most promising bioenergy crops is sugar sorghum, – a drought-resistant and non-capricious crop. Growing high and stable yields of sugar sorghum is based on the rational use of biological characteristics of the sort, plant nutrition background. In this regard, the study of the impact of these indicators on the productivity and yield of bioethanol from sugar sorghum plants in the area of the Western Forest-Steppe of Ukraine during the growing season is an important area of modern research and is the purpose of the study.

The practical significance of the obtained results of scientific research is to increase the yield of sugar sorghum, increase the yield of sugar and biofuel from the sown area.

The study of technological processes of sugar sorghum cultivation based on the use of Lignohumate and Fresh (Majestic fertilizer) allows us to assess the impact of drugs on growth and development of the crop.

Studies have shown that the application of Lignohumate and Fresh (Majestic fertilizer) in the foliar way has a positive effect on the growth and development of sugar sorghum plants.

There was a clear pattern of the influence of the studied drugs on plant growth rates in height. The height of plants in the variants with the recommended and half doses of Lignohumate and Fresh (Majestic fertilizer) was noted on the highest division – 3,00 m. Other variants of the experiment were slightly inferior to this indicator.

Stem diameter is an indicator that plays a significant role in the resistance of plants to lodging, which significantly reduces the loss of leaf mass during harvest.

The largest increase in stem diameter was observed in the phase of full maturity where Lignohumate was applied at a dose of 1,0 l/ha in a tank mixture with Fresh (Majestic fertilizer) – 1,0 kg/ha (in the tillering and tube phase) – 1,6 cm.

As a result of the conducted researches it is established that Lignohumat with a dose of application of 1,0 l/ha + Fresh (Majestic fertilizer) – 1,0 kg/ha (in a phase of tillering and an exit in a tube), the greatest indicators of an increase to a control variant on productivity of green weight are received – 3,1 t/ha, the content of sugars in the juice of the stems – 1,0%. The yield of bioethanol from 1 hectare was 6,114 t/ha.

The presented research results are relevant for science and production of biofuels from sugar sorghum plants and can be used in the Western Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: sugar sorghum, biostimulants, microfertilizers, productivity, bioethanol.

Вступ. Постійне підвищення цін на енергоресурси та погіршення екологічного стану довкілля внаслідок активного споживання викопних палив з кожним роком все більше турбують суспільство всіх країн світу. Задля зменшення залежності від імпорتنих енергоносіїв дедалі більшу увагу у світі, в тому числі в Україні, приділяють пошуку шляхів використання альтернативних видів пального з відновлюваних джерел енергії.

Перспективним у цьому плані є використання енергії фотосинтетичної діяльності рослин у вигляді біоетанолу, обсяги виробництва якого за останнє десятиліття зросли більше ніж утричі [18, 28].

Пошук перспективної сировини для виробництва біогазу, біодизеля, біоетанолу, бутанолу та твердого біопалива є актуальним завданням сьогодення [3].

Енергетична залежність України, зниження врожайності основних сільськогосподарських культур унаслідок поступового глобального потепління зумовлюють необхідність підбору нових культур, які вирізняються високою урожайністю, посухостійкістю та невибагливістю до умов вирощування.

До перспективних злакових енергетичних культур належать міскантус, свічграс, сорго та ін. Головними вимогами до культур, які використовуються в біоенергетиці, є собівартість продукції та забезпечення стабільної сировинної бази. Забезпечити біоенергетику сировиною для всіх її галузей на всьому просторі України спроможне сорго цукрове [12, 15, 32].

Сорго цукрове формує стабільно високі врожаї навіть за несприятливих погодних умов. З 1 га посівів сорго можна збирати 90–120 т/га цукроносної біомаси із загальним вмістом у соці цукрів до 20%. У 100 кг зеленої маси цукрового сорго міститься 24–25 кормових одиниць, що робить його цінною кормовою культурою. Цукрове сорго, як і цукрові буряки, є універсальною культурою, сировину якої використовують не тільки в кормовиробництві, а й у харчовій промисловості [11, 24, 33].

Сорго – це високоросла пряmostояча рослина заввишки до 3,0–4,0 м (у тропічних країнах може сягати 5,0–6,0 м) із гладкою поверхнею стебла бурштиново-зеленого кольору, вкритою восковим нальотом. Сорго добре кушиться (одна рослина дає два-три стебла), але це залежить від сортових особливостей, погодних умов під час вегетації та агротехніки вирощування [14].

За напрямками використання культурні види сорго розподіляють на зернові, цукрові, вінікові, трав'янисті (суданська трава). Для використання в цукровій та енергетичній промисловості найбільший інтерес викликає сорго цукрове – *Sorghum saccharatum Pers.*, що належить до роду *Sorghum (L.) Moench.* родини тонконогових – *Poaceae*. Характерною особливістю цукрового сорго є те, що в соку стебел рослин містяться вуглеводи (10–20%), які на 60–80% складаються із цукрози і на 20–40% – з фруктози та глюкози. Вегетаційний період сорго триває приблизно 90–115 днів [7, 17].

Сорго цукрове – це теплолюбна культура. Мінімальна температура проростання для нього становить 9–10°C. При температурі ґрунту 7°C насіння не проростає, пліснявіє і гине [1, 20].

Ще одна унікальна особливість сорго – здатність «завмирати», тобто зупиняти ростові процеси в несприятливих умовах (посуха), і «оживати» при поліпшенні погодних умов [5].

Рослини сорго надзвичайно економно витрачають воду. Так, витрата води в частках від частки сухої речовини, що виділяється рослиною, у сорго в три рази менша, ніж, наприклад, у соняшнику, і в два рази менша, ніж у вівса. Н. І. Вавилов за цю рекордну економію води назвав сорго верблюдом рослинного світу [16, 19, 31].

Сорго – світлолюбна рослина короткого дня [22, 37], що обумовлено його пристосуванням до високого сонцестояння і пов'язано з великою вимогливістю до короткохвильової радіації.

Заходами агротехніки можна поліпшувати умови освітлення культур. Цього досягають вибором способу сівби та густоти висіву, а також спрямуванням рядків з півночі на південь [4, 21].

Сорго невимогливе до ґрунту і здатне добре рости на чорноземах і каштанових ґрунтах різного механічного складу. Краще воно почуває себе на родючих середньосуглинистих карбонатних чорноземах. Оптимальною для нього вважають кислотність на рівні рН 5,5–7,5 [9, 35].

Незважаючи на унікальні властивості сорго цукрового як високопродуктивної енергетичної культури, досі відсутня цілісна технологія його вирощування в умовах Західного Лісостепу України. Тому актуальним є визначення продуктивності сорго цукрового залежно від елементів технології вирощування як сировини для виробництва біопалива, що має велике наукове та народногосподарське значення.

Технологія вирощування високих і сталих врожаїв сорго цукрового ґрунтується на раціональному використанні біологічних особливостей сорту, фону живлення, густоти стояння рослин і вологи [36].

Більшість ґрунтів, де сіють сорго, здатні забезпечувати лише половину потрібних елементів живлення, тому решту необхідно поповнювати за рахунок добрив. З урахуванням агрохімічного аналізу ґрунту і рівня запланованої врожайності визначають загальну норму добрив і їх розподіл як основного добрива і позакореневого підживлення [26, 27].

Для нормального росту й розвитку рослин сорго цукрового, крім азоту, фосфору й калію, необхідні залізо (Fe), мідь (Cu), молібден (Mo), марганець (Mn), цинк (Zn), бор (B), сірка (S) та інші елементи, які беруть активну участь в усіх фізіологічних процесах життєдіяльності рослин, підвищують ефективність багатьох ферментів у рослинному організмі, покращують засвоєння рослинами елементів живлення з ґрунту [13].

Кількість добрив, необхідних для отримання запланованої урожайності, розраховують на основі агрохімічного аналізу ґрунту для кожного конкретного поля. В середньому для зони Лісостепу України доза добрив становить $N_{60}P_{60}K_{60}$ [34].

Встановлено, що азотно-фосфорні добрива позитивно впливають на проростання насіння, збільшуючи польову схожість на 10–12% [23, 39].

Загалом добрива не тільки підвищують урожайність, а й покращують якість продукції (збільшується вміст протеїну, жиру, зерна в кормовій масі, а також сухої речовини і кормових одиниць) [38].

Одним із важливих агротехнічних заходів підвищення урожайності і покращення якості продукції рослинництва є використання природних або синтетичних регуляторів росту, які в малих концентраціях здатні істотно посилювати інтенсивність фізіологічних процесів і покращувати динаміку росту і розвитку рослин [8, 30].

Рослини сорго слабо пошкоджуються шкідниками [6]. Суттєвої шкоди їм завдають тільки злакові попелиці, дротяники і підгризаючі совки. Для боротьби з дротяниками проводять обробку насіння протруйниками: «Космос 500», т. к. с., 500 г/л, «Круїзер 350 FS», т. к. с., 6 л/т.

Підгризаючі совки пошкоджують кореневу систему рослин [29]. Для знищення цих шкідників посіви сорго обприскують дозволеними інсектицидами.

Про стійкість сорго проти грибкових захворювань повідомляють багато дослідників. Проте часто зернові, цукрові та віничні сорти, а також гібриди сорго уражуються найпоширенішою в Степу України хворобою – сажкою. Летюча сажка вражає сорго, кукурудзу, зрідка і суданську траву. В уражених рослин замість нормальної волоті з'являється маса спор, вкритих спочатку сіруватою оболонкою, яка потім тріскається, і спори розлітаються [25].

З профілактичних заходів боротьби із сажковими хворобами сорго рекомендується насамперед заготовляти насіння, не уражене спорами сажки, а також вирощувати сорти і гібриди сорго, стійкі до цієї хвороби; з агротехнічних велике значення мають: правильне дотримання сівозмін, глибоке заорювання післяжнивних решток, внесення добрив, сівба високоякісним насінням, уникнення змішування врожаю здорового зерна із зерном, ураженим хворобою.

Підбір сортів сорго цукрового до конкретних умов вирощування – важлива умова отримання високих врожаїв. З огляду на погоднокліматичні умови України селекціонери створили сорти сорго з високими показниками пластичності, тобто сорти, здатні давати задовільні та стабільні врожаї не тільки в сприятливі роки, а й за тривалої посухи [2]. Для отримання високих і стабільних врожаїв у конкретній зоні важливо висівати сорти та гібриди сорго цукрового, рекомендовані саме для цієї ґрунтово-кліматичної зони.

Головними вимогами до культур, які використовуються в біоенергетиці, є собівартість продукції та забезпечення стабільної сировинної бази. Для використання в біоенергетичних цілях підходять всі види сорго, здатні накопичувати в соці стебел велику кількість розчинних вуглеводів та формувати високий урожай біомаси [10].

Отже, актуальним є вивчення, обґрунтування і впровадження у виробництво нових елементів технології вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу.

Матеріали і методи. Дослідження з вивчення впливу біостимулятора «Регоплант» та мікродобрива «Максимус» на продуктивність цукрового сорго за обприскування вегетуючих рослин проводили в 2016–2018 рр. на дослідних полях Тернопільської дослідної станції державної сільськогосподарської ІКСГП НААН в Гусятинському районі Тернопільської області. У наукових дослідженнях застосовували сорт сорго цукрового Мамонт.

У дослідженнях використовували такі методи: польовий – спостереження за ростом та розвитком рослин на різних етапах вегетації, формування урожайності; лабораторний – визначення вуглеводної складової соку стебел сорго цукрового; агрохімічна характеристика ґрунту; аналітичне узагальнення експериментальних даних; математично-статистичний – для оцінки достовірності отриманих даних; порівняльно-розрахунковий – для визначення економічної ефективності розробок.

Дослідження проводили за такою схемою:

- 1) контроль – без застосування препаратів;
- 2) «Регоплант» – 50 мл/га (у фазі кушення та виходу в трубку);
- 3) «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення);
- 4) «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку);
- 5) «Регоплант» – 25 мл/га + «Максимус» – 2,25 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку).

Дослід із сорго цукровим закладали рандомізовано, повторність триразова. Площа посівної ділянки становила 50 м² (21,0 × 2,4 м), облікової – 25 м² (21,0 × 1,2 м).

При настанні фізичної стиглості ґрунту проводили закриття вологи на глибину 3–4 см. Перед сівбою провели передпосівну культивуацію. Насіння сіяли сівалкою СЗТ-3,6 на глибину 5 см із шириною міжрядь 30 см і густотою рослин 300 тис. шт./га. Попередник – пшениця озима.

У боротьбі з бур'янами застосовували триразове ручне прополювання рослин.

Оброблення дослідних ділянок препаратами «Регоплант» і «Максимус» провели у фазах розвитку (кушення та виходу в трубку) ручним обприскувачем.

Результати та обговорення. Грунт, на якому проводили дослідження, – чорнозем глибокий малогумусний, середньосуглинкового гранулометричного складу.

Агрохімічна характеристика ґрунту: вміст гумусу в шарі 0–30 см – 3,3%, реакція ґрунтового розчину – слабокисла (рН 6,0), гідролітична кислотність становить 1,14 мг-екв/100 г ґрунту. Грунт середньо забезпечений лужногідролізованим азотом, калієм та фосфором. Грунти, на яких проводили дослідження, за своїми водно-фізичними властивостями та агрохімічною характеристикою придатні для вирощування сорго цукрового.

Клімат на території (дослідні поля) Тернопільської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кормів та сільського господарства Поділля помірно континентальний. За багаторічними даними Хоростківського метеорологічного метеопункту, який функціонує з 1955 р., середньобагаторічна температура повітря в зоні діяльності станції становить +7,1°C. На території Тернопільської дослідної станції тривалість вегетаційного періоду – 165–190 днів, сума позитивних температур вище 10°C – 1203°C, що створює сприятливі умови для росту та розвитку рослин сорго цукрового.

Погодні умови 2016 р. загалом були задовільними для вирощування сорго цукрового, хоча спостерігалися аномальні відхилення. Погодні умови 2017 р. були сприятливими для вирощування сорго. Тривалість вегетаційного періоду становила 136 днів. Погодні умови 2018 р. характеризувались підвищеним температурним режимом та істотним недобором опадів.

Дослідженнями доведено, що інтенсивність розвитку рослин сорго цукрового значно підвищувалась у разі застосування біостимулювального препарату «Регоплант» та мікродобрива «Максимус». Середні дані за 3 роки доводять, що композиція «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кущення та виходу в трубку) забезпечила найбільші показники наростання стебел у діаметрі до викидання волоті (1,2 см) та у період повної стиглості (1,8 см), що перевищило варіант без застосування препаратів на 0,5 і 0,4 см (табл. 1).

У варіанті з половинною дозою препаратів показники наростання діаметра стебла були нижчими.

Спостерігалась чітка закономірність впливу біостимулятора та мікродобрива на показники висоти рослин сорго. В середньому за роки досліджень на період повної стиглості кращими вони були у варіанті з повною нормою досліджуваних препаратів (табл. 2).

Висота рослин у варіанті № 4 відмічена на поділці 3,31 м, на контролі – 2,84 м. Інші варіанти досліду дещо поступались за цим показником.

1. Діаметр стебла сорго цукрового залежно від застосування препаратів «Регоплант» і «Максимум»

| № з/п | Діаметр стебла, см | | | | | | | |
|-------|---------------------|------|------|-----------------|-----------------|------|------|-----------------|
| | до викидання волоті | | | середнє за роки | повна стиглість | | | середнє за роки |
| | 2016 | 2017 | 2018 | | 2016 | 2017 | 2018 | |
| 1 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,4 |
| 2 | 0,8 | 0,9 | 0,5 | 0,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,4 |
| 3 | 1,0 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | 1,8 | 1,6 | 1,9 | 1,7 |
| 4 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,8 |
| 5 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,7 | 1,8 | 1,5 | 1,6 |

НІР₀₅, см 0,11 0,11 0,12 0,11 0,14 0,8

Примітки. 1. Контроль – без застосування препаратів. 2. «Регоплант» – 50 мг/га (у фазі кушення та виходу в трубку). 3. «Регоплант» – 50 мг/га + «Максимум» – 4,5 кг/га (у фазі кушення). 4. «Регоплант» – 50 мг/га + «Максимум» – 4,5 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку). 5. «Регоплант» – 25 мг/га + «Максимум» – 2,25 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку).

2. Висота рослин сорго цукрового залежно від застосування препаратів, м

| № з/п | Варіант досліду | Висота рослини, м | | | |
|-------|--|-------------------|------|------|-----------------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | Середнє за роки |
| 1 | Контроль – без застосування препаратів | 2,80 | 2,50 | 3,24 | 2,84 |
| 2 | «Регоплант» – 50 мг/га (у фазі кушення та виходу в трубку) | 2,90 | 2,62 | 3,25 | 2,92 |
| 3 | «Регоплант» – 50 мг/га + «Максимум» – 4,5 кг/га (у фазі кушення) | 3,00 | 2,81 | 3,50 | 3,10 |
| 4 | «Регоплант» – 50 мг/га + «Максимум» – 4,5 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку) | 3,50 | 3,00 | 3,44 | 3,31 |
| 5 | «Регоплант» – 25 мг/га + «Максимум» – 2,25 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку) | 3,48 | 2,93 | 3,44 | 3,27 |

НІР₀₅, м

0,17 0,10 0,13

Доведено, що потенційна урожайність зеленої маси цукрового сорго залежала від висоти рослин та товщини стебел.

Дані, наведені в таблиці 3, підтверджують закономірність, що урожайність сорго цукрового сорту Мамонт змінюється залежно від доз та періодів внесення на посіви біостимулятора «Регоплант» та мікродобрива «Максимус».

В середньому за три роки найсприятливішими виявилися умови при застосуванні «Регопланту» дозою 50 мл/га, «Максимусу» – 4,5 кг/га у фазах 6–8 листків та змикання листків у міжряддях. За таких умов відбувалося швидке нарощування вегетативної маси рослин. При максимальній висоті рослини в цьому варіанті 3,31 м урожайність зеленої маси становила 86,0 т/га, що дало прибавку до контролю (без застосування препаратів) 4,2 т/га, або 5,1%.

3. Вплив препаратів «Регоплант» і «Максимус» на урожайність зеленої маси сорго цукрового

| № з/п | 2016 | 2017 | 2018 | Середнє за роки | ± до контролю | |
|-------|------|------|------|-----------------|---------------|------|
| | | | | | т/га | % |
| 1 | 85,6 | 72,9 | 87,1 | 81,8 | – | – |
| 2 | 85,4 | 73,6 | 88,4 | 82,4 | +0,6 | +0,7 |
| 3 | 88,4 | 76,8 | 90,1 | 85,1 | +3,3 | +4,0 |
| 4 | 90,0 | 78,6 | 89,5 | 86,0 | +4,2 | +5,1 |
| 5 | 90,1 | 77,4 | 89,9 | 85,8 | +4,0 | +4,9 |

НІР₀₅, т/га 2,9 2,5 3,0

Примітки. 1. Контроль – без застосування препаратів. 2. «Регоплант» – 50 мл/га (у фазі кушення та виходу в трубку). 3. «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення). 4. «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку). 5. «Регоплант» – 25 мл/га + «Максимус» – 2,25 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку).

Встановлено, що досліджувані препарати підвищували загальний вміст цукрів у соці стебел рослин сорго цукрового відносно контролю на 0,7–1,0% (табл. 4).

Доведено, що за роки досліджень найвищий вихід біостанолу з 1 га отримано за внесення регулюючого препарату «Регоплант» – 50 мл/га та добрива «Максимус» – 4,5 кг/га у фазі кушення та виходу в трубку – 5,809 т/га (табл. 5). Приріст до контрольного варіанта без застосування препаратів склав 0,641 т/га.

4. Вміст цукрів у соці стебел рослин сорго цукрового залежно від застосування препаратів «Регоплант» і «Максимус», %

| № з/п | Варіант досліджу | Середнє за роки | ± до контролю |
|-------|--|-----------------|---------------|
| 1 | Контроль – без застосування препаратів | 16,6 | – |
| 2 | «Регоплант» – 50 мл/га (у фазі кушення та виходу в трубку) | 17,4 | +0,8 |
| 3 | «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення) | 17,4 | +0,8 |
| 4 | «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку) | 17,6 | +1,0 |
| 5 | «Регоплант» – 25 мл/га + «Максимус» – 2,25 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку) | 17,3 | +0,7 |

5. Показники виходу біоетанолу залежно від застосування препаратів «Регоплант» і «Максимус», т/га

| № з/п | Роки досліджень | | | Середнє за роки | ± до контролю |
|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|---------------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | | |
| 1 | 3,429 | 5,521 | 6,556 | 5,168 | – |
| 2 | 3,972 | 5,405 | 6,694 | 5,357 | +0,189 |
| 3 | 3,689 | 6,133 | 7,154 | 5,658 | +0,490 |
| 4 | 3,717 | 5,988 | 7,723 | 5,809 | +0,641 |
| 5 | 3,821 | 5,684 | 7,427 | 5,644 | +0,476 |

НІР₀₅, т/га 0,14 0,07 0,14

Примітки. 1. Контроль – без застосування препаратів. 2. «Регоплант» – 50 мл/га (у фазі кушення та виходу в трубку). 3. «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення). 4. «Регоплант» – 50 мл/га + «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку). 5. «Регоплант» – 25 мл/га + «Максимус» – 2,25 кг/га (у фазі кушення та виходу в трубку).

Отже, науковими дослідженнями встановлено, що застосування біостимулятора «Регоплант» у поєднанні з мікродобривом «Максимус» (у фазах кушення та виходу в трубку) є необхідним елементом технології вирощування сорго цукрового в умовах Західного Лісостепу України.

Висновки. Результатами досліджень, проведених у 2016–2018 рр., доведено, що завдяки застосуванню препарату «Регоплант» – 50 мл/га в баковій суміші з мікродобривом «Максимус» – 4,5 кг/га (у

фазах кушення та виходу в трубку) при урожайності зеленої маси 86,0 т/га отримано найбільші показники прибавки до контрольного варіанта за вмістом цукрів у соці стебел – 1,0%, за виходом біостанолу з 1 га площі – 0,641 т.

Список використаної літератури

1. Аветисян А. Т. Воздєльваніє сорго сахарного в чистых и смешанных посевах в зоне Лесостепи Красноярского края. *Вестник КрасГАУ*. 2011. № 5 (56). С. 38–41.
2. Атлас морфологічних ознак сорго двокольорового *Sorghum bicolor* L. Київ : Український інститут експертизи сортів рослин, 2017. С. 37.
3. Балан В., Сторожик Л. Вирощування цукрового сорго як біоенергетичної культури. *Цукрові буряки*. 2010. № 5. С. 14–15.
4. Безручко О. В. Сорго набуває популярності. *Agroexpert*. 2012. № 5. С. 36–38.
5. Бойко М. О. Обґрунтування агротехнічних прийомів вирощування сорго зернового в умовах Півдня України. *Sciences of Europe: Global science center LP*. 2016. Vol. 4. No. 5 (5). P. 62–65.
6. Ганженко О. М., Грироренко Н. О. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго. *Цукор України*. 2011. № 4. С. 27–32.
7. Гирасименко Л. А. Оптимізація елементів технології вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива в умовах Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2013. 20 с.
8. Грабовський М. Б. Вплив рівня мінерального живлення на формування біометричних показників сорго цукрового. *Сучасні агробіотехнології та землекористування в Україні* : тези доп. держ. наук.-практ. конф. (м. Біла Церква, 23 листоп. 2017 р.). Біла Церква, 2015. С. 8–9.
9. Грабовський М. Б. Формування продуктивності сорго цукрового як

References

1. Avetyasian A. T. Cultivation of sugar sorghum in pure and mixed crops in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory. *Vestnyk KrasHAU*. 2011. No 5. P. 38–41.
2. Atlas of morphological definition of two-color variety *Sorghum bicolor* L. Kyiv : Ukrainskyi instytut ekspertyzy sortiv roslin, 2017. P. 37.
3. Balan V., Storozhuk L. Growing sugar varieties as a bioenergy crop. *Tsukrovi buriaky*. 2010. No 5. P. 14–15.
4. Bezruchko O. V. Sorghum is gaining popularity. *Agroexpert*. 2012. No 5. P. 36–38.
5. Boyko M. O. Substantiation of agrotechnical methods of grain sorghum production in Southern Ukraine. *Sciences of Europe: Global science center LP*. 2016. Vol. 4. No 5 (5). P. 62–65.
6. Hanzhenko O. M., Hryorenko N. O. Dependence of productivity and carbohydrate compound from varietal peculiarities and mineral feeding of sugar sorghum. *Tsukor Ukrainy*. 2011. No 4. P. 27–32.
7. Hyrasymenko L. A. Optimization of technology elements of sugar sorghum growing for the production of biofuels in the forest-steppe of Ukraine : thesis of cand. dis. in agriculture science : 06.01.09. Kyiv, 2013. P. 20.
8. Hrabovskyi M. B. Influence of mineral nutrition level on the biometric indicators of the sugar sorghum. *Modern agrobiotechnologies and land use in Ukraine* : these additions. state scientific-practical conf. Bila Tserkva, 2015. P. 8–9.
9. Hrabovskyi M. B. The formation of the productivity of the sugar sorghum as a bioenergy crop depending on the level of mineral nutrition. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. Kherson, 2018. Issue 99. P. 30–39.
10. Hryhorenko N. O. Sugar sorghum

біоенергетичної культури залежно від рівня мінерального живлення. *Таврійський наук. вісник*. Херсон, 2018. Вип. 99. С. 30–39.

10. Григоренко Н. О. Цукрове сорго дає високі й стабільні врожаї зерна та зеленої маси за складних кліматичних умов. *Зерно і хліб*. 2011. № 3. С. 48–49.

11. Гунчак Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно-Західного Лісостепу України. *Наук. пр. Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. 2014. Вип. 21. С. 240–244.

12. Дремлюк Г. К., Гамадій В. Л., Гамадій І. В. Основні елементи технології вирощування сорго. *Посібник українського хлібороба*. 2013. № 3. С. 274–277.

13. Енергетичні культури для виробництва біопалива / М. В. Роїк, В. Л. Курило, М. Я. Гументик та ін. *Наук. пр. Полтавської держ. аграр. акад.* 2010. Т. 7 (26). С. 12–15.

14. Іваніна В. В., Сипко А. О. Біоенергетична продуктивність цукрового сорго залежно від умов азотного живлення. *Біоенергетика*. Київ, 2014. № 2. С. 25–27.

15. Івашенко О. О., Рудник-Івашенко О. І. Перспективи вирощування кукурудзи і сорго. *Хімія. Агрономія. Сервіс*. 2011. № 12. С. 38–41.

16. Каленська С. М., Гринюк І. П. Вплив доз мінеральних добрив та сортових особливостей на вихід цукру та біоетанолу із сорго цукрового в умовах Правобережного Лісостепу України. *Зб. наук. пр. ІБКЦБ*. Київ, 2012. Вип. 15. С. 202–206.

17. Коваленко А. С. Технологія для сорго. *Farmer* : щомісячник. Київ : АГП Медіа, 2014. № 3(51). С. 72–74.

18. Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О. Залежність фотосинтетичної здатності рослин сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* pers.) від його сортових особливостей та норм мінерального живлення. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2012. № 2. С. 38–41.

gives high and stable yield of grain and green mass in difficult climatic situations. *Zerno i khlib*. 2011. No 3. P. 48–49.

11. Hunchak T. I. The peculiarities of sugar sorghum cultivation as the raw material for biofuel production in the south-western forest-steppe of Ukraine. *Nauk. pr. In-tu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv NAAN*. 2014. Issue. 21. P. 240–244.

12. Dremliuk H. K., Hamadii V. L., Hamadii I. V. The main elements of the sorghum cultivation technology. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba*. 2013. No 3. P. 274–277.

13. Roik M. V., Kurylo V. L., Humentyk M. Ia. Energy crops for biofuel production. *Nauk. pr. Poltavskoi derzh. ahrar. akademii*. 2010. Vol. 7 (26). P. 12–15.

14. Ivanina V. V., Sypko A. O. Bioenergetic productivity of sugar sorghum depending from nitrogen nutrition. *Bioenerhetyka*. Kyiv, 2014. No 2. P. 25–27.

15. Ivashchenko O. O., Rudnyk-Ivashchenko O. I. Perspectives of corn and sorghum cultivation. *Khimiia. Ahronomiia. Servis*. 2011. No 12. P. 38–41.

16. Kalenska S. M., Hryniuk I. P. Influence of mineral fertilizers doses and varietal peculiarities on the sugar and bioethanol output from sugar sorghum in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Zb. nauk. pr. IBKITsB*. Issue 15. Kyiv, 2012. P. 202–206.

17. Kovalenko A. S. Technology for sorghum. *Farmer* : shchomisiachnyk. Kyiv : AHP Media, 2014. No 3 (51). P. 72–74.

18. Kurylo V. L., Hryhorenko N. O., Marchuk O. O. Dependence of photosynthetic ability of sugar sorghum (*Sorghum saccharatum* pers.) from its varietal peculiarities and norms of mineral nutrition. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sortyroslyn*. 2012. No 2. P. 38–41.

19. Kurylo V. L., Hryhorenko N. O., Marchuk O. O. Sugar sorghum – a promising raw material for complex use. *Bioenerhetyka: vyroshchuvannia bioenerhetychnykh kultur, vyrobnytstvo ta vykorystannia biopalyva* : Persha mizhnarod. nauk.-prakt. konf. Kyiv, 2011.

19. Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О. Цукрове сорго – перспективна сировина для комплексного використання. *Біоенергетика: вирощування біоенергетичних культур, виробництво та використання біопалива* : Перша міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 25–26 жовтня 2011 р.). Київ, 2011. С. 130–134.
20. Курило В. Л., Марчук О. О. Урожайность зеленой массы и содержание общих сахаров разных сортов и гибридов сорго сахарного в зависимости от агротехники выращивания. *Земляробство і ахова раслін*. Минск, 2015. № 3 (100). С. 22–24.
21. Луцький Г. І., Каранда Т. Сорго – відповідь екстремальній посусі. *Пропозиція*. 2013. № 1. С. 44–46.
22. Марчук О. О. Вміст розчинних вуглеводів в соку стебел сорго цукрового залежно від агротехніки вирощування. *Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених (м. Київ, 24 квітня 2015 р.). Київ, 2015. С. 50–53.
23. Маслак О. Ринок сорго в Україні і світі. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 11. С. 14–18.
24. Мулярчук О. І., Кобернюк О. Т. Вплив мінерального живлення на вихід біоетанолу сорго цукрового. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Кам'янець-Подільський, 2017. № 26. Ч. 1. С. 94–101.
25. Мулярчук О. І. Технологія вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива. *Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харків. обл. Харків*, 2016. № 20. С. 54–60.
26. Нове застосування цукрового сорго / Л. В. Кириченко, В. П. Роженко, Л. І. Філоненко та ін. *Агробізнес сьогодні*. 2011. № 23 (222). С. 25–26.
27. Соргові культури: технологія, використання, гібриди та сорти / А. В. Черенков, М. С. Шевченко, Б. В. Дзюбецький та ін. Дніпропетровськ : Роял Принт, 2011. 64 с.
28. Сторожик Л. І. Перспективи вирощування сорго цукрового як
- Р. 130–134.
20. Kurylo V. L., Marchuk O. O. Yield of green mass and content of common sugars of different varieties and hybrids of sugar sorghum depending on agricultural cultivation techniques. *Zemliarobstvo i akhovarasin*. Minsk, 2015. No 3 (100). P. 22–24.
21. Lutskiy H. I., Karanda T. Sorghum – the answer to extreme drought. *Propozitsiia*. 2013. No 1. P. 44–46.
22. Marchuk O. O. The content of soluble carbohydrates in the juice of sugar sorghum stems depending from agricultural production techniques. *Novimi tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur* : materialy IV Mizhnarod. nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh (Kyiv, April 24, 2015). Kyiv, 2015. P. 50–53.
23. Maslak O. Sorghum market in Ukraine and in the world. *Ahrobiznes siodni*. 2012. No 11. P. 14–18.
24. Muliarchuk O. I., Koberniuk O. T. Influence of mineral nutrition on the yield of bioethanol of sugar sorghum. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. Kamianets-Podilskyi, 2017. No 26. Ch. 1. P. 94–101.
25. Mulyarchuk O. I. Technology of growing sugar sorghum for biofuel production. *Visnyk tsentru naukovoho zabezpechennia APV Kharkivskii oblasti*. Kharkiv, 2016. No 20. P. 54–60.
26. New application of sugar sorghum / L. V. Kyrychenko, V. P. Rozhenko, L. I. Filonenko and others. *Ahrobiznes siodni*. 2011. No 23 (222). P. 25–26.
27. Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties / A. V. Cherenkov, M. S. Shevchenko, B. V. Dziubetskiy and others. Dnipropetrovsk : Royal Prynnt, 2011. P. 64.
28. Storozhyk L. I. Prospects for growing sugar sorghum as alternative energy source. *Tsukrovi buriaky*. 2011. No 2. P. 20–21.
29. Sugar sorghum – a promising raw material for the bioethanol production / S. P. Tsyhankov., O. I. Volodko, A. H. Novak, M. M. Aharkov. *Zb Nauk. pr. VNAU*. Vinnytsia, 2010. Issue 42, Vol. 2. P. 88–91.

альтернативного джерела енергії. *Цукрові буряки*. 2011. № 2. С. 20–21.

29. Цукрове сорго – перспективна сировина для виробництва біоетанолу / С. П. Циганков, О. І. Володько, А. Г. Новак, М. М. Агарков. *Зб. наук. пр. ВНАУ*. Вінниця, 2010. Вип. 42. Т. 2. С. 88–91.

30. Формування продуктивності сорго цукрового під впливом строків сівби / М. Б. Грабовський, Т. О. Грабовська, Л. А. Козак та ін. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. Т. 7(4). С. 500–505.

31. Яланський О. В., Остапенко С. М., Серeda В. І. Перспективи впровадження високопродуктивних гібридів цукрового сорго у біоенергетику. *Наук. пр. Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. 2013. Вип. 19. С. 124–127.

32. Ahmed M., Fayyaz-ul-Hassan, Asif M. Amelioration of drought in sorghum by Silicon. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 2014. Vol. 45. No. 4. P. 470–486.

33. Bajwa A. A. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Protection*. 2014. Vol. 65. P. 105–113.

34. Boiko M. O. The impact of crop density and sow in gtimeon the yieldstructureofgra in sorghumhybrids / *Наук. вісник Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер.: Агрономія* / редкол. : С. М. Николаенко (відп. ред.) та ін. Київ : ВЦНУБІП України, 2016. Вип. 235. С. 33–39.

35. Camacho M. E., Cabalceta A. G., Molina R. E. Efecto de las enmiendas líquidas en un ultisol cultivado con sorgo. *Agron. Mesoamer*. 2015. Vol. 26. No. 2. P. 291–292.

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

37. Delchev G., Barakova T. Efficacy of herbicides and herbicide combinations at sorghum (*Sorghum bicolor* Moench.). *Bulg.*

30. Formation of sugar sorghum productivity under influence of sowing dates / M. B. Hrabovskiy, T. O. Hrabovska, L. A. Kozak ta in. *Ukrainian journal ecology*. 2017. Vol. 7 (4). P. 500–505.

31. Yalanskyi O. V., Ostapenko S. M., Sereda V. I. Prospects for the introduction of high productive hybrids of sugar sorghum in bioenergy. *Nauk. pr. In-tu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv NAAN*. 2013. Issue 19. P. 124–127.

32. Ahmed M., Fayyaz-ul-Hassan, Asif M. Amelioration of drought in sorghum by Silicon. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 2014. Vol. 45. No 4. P. 470–486.

33. Bajwa A. A. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Protection*. 2014. Vol. 65. P. 105–113.

34. The impact of crop density and sow on the yield structure of sorghum hybrids. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia «Ahronomiia» / redkol. : S. M. Nikolaienko (vidp. red.) ta in. Kyiv : VTsNUBiP Ukrainy, 2016. Issue 235. P. 33–39.*

35. Camacho M. E., Cabalceta A. G., Molina R. E. Effect of liquids in an ultisol cultivated with sorghum. *Agron. Mesoamer*. 2015. Vol. 26. No 2. P. 291–292.

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

37. Delchev G., Barakova T. Efficacy of herbicides and herbicide combinations at sorghum (*Sorghum bicolor* Moench.). *Bulg. J. Agric. Sci.* 2018. No 24 (Suppl. 1). P. 33–39.

38. Kurilo V., Marchuk A., Ivanovs S. Impact of agrotechnical methods up on the energetic productivity of sweet sorghum. *Journal of research and applications in agricultural engineering – Poznan*. 2015. No 60 (2). P. 50–53.

39. Sweet sorghum biomass production for biofuel and the effects of soil

J. Agric. Sci. 2018. № 24 (Suppl. 1). P. 33–39.

38. Kurilo V., Marchuk A., Ivanovs S. Impact of agrotechnical methods up on the energetic productivity of sweet sorghum. *Journal of research and applications in agricultural engineering – Poznan*. 2015. No. 60 (2). P. 50–53.

39. Sweet sorghum biomass production for biofuel and the effects of soil types and nitrogen fertilization / R. A. Holou, W. Stevens, M. Rhine, J. Heiser. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 2014. Vol. 45. № 21. P. 2778–2793.

40. Tang C., Sun C., Du F. Effect of plant density on sweet and biomass sorghum production on semiarid marginal land. *Sugar Tech.* 2018. No. 20 (3). P. 312–322.

types on nitrogen fertilization / R. A. Hollow, W. Stevens, M. Rhine, J. Heiser. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 2014. Vol. 45. No 21. P. 2778–2793.

Tang C., Sun C., Du F. Effect of plant density on biomass sweet sorghum production on semiarid marginal land. *Sugar Tech.* 2018. № 20 (3). P. 312–322.

Отримано 22.07.2020