

ЛЕКЦІЯ 2

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ І ПЕРЕРОБЛЕННЯ ЦУКРОВОГО СОРГО НА БІОПАЛИВО

План заняття

ВСТУП

1. Місце в сівозміні
2. Основний обробіток ґрунту
3. Весняний обробіток ґрунту
4. Сівба насіння
5. Догляд за посівами
6. Збирання
7. Перероблення біомаси цукрового сорго
8. Розрахунок виходу біопалива

ЛІТЕРАТУРА

1. Драненко І., Шепель М. і ін. «Верблюди степу» – сорго. «Маяк» Одеса, 1966. – 70 с.
2. Исаков Я. И. Сорго / Я. И. Исаков. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 134 с.
3. Кадыров С. В. Сорго / С. В. Кадыров, В. А. Федотов, А. З. Большаков и др. – Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2008. – 80 с.
4. Макаров Л. Х. Соргові культури: монографія / Л. Х. Макаров. – Херсон: Айлант, 2006. – 263 с.
5. Шепель Н. А. Сорго – интенсивная культура: Справ.изд. – Симферополь: Таврия, 1989. – 192 с.
6. Шорин П. М. Сахарное сорго / П. М. Шорин. – М.: Колос, 1976. – 80 с.
7. Олексенко Ю. Ф. Прогрессивная технология возделывания сорго. – К.: Урожай, 1986. – 80 с.
8. Шорин П. М. Технология возделывания и использования сахарного сорго / П. М. Шорин. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 87 с.
9. Шекун Г. М. Культура сорго в СССР и её биологические особенности / Г. М. Шекун. Москва: Колос, 1964. – 139 с.
10. Тараненко В. И. Сорго как кормовая культура / В. И. Тараненко. – Харьков, 1969. – 183 с.
11. Fachagentur nachwachsende rohstoffe e.v.: Basisdaten bioenergie deutschland (станом на серпень 2013 року).
12. Ганженко О. М. Вплив способів отримання соку зі стебел цукрового сорго на його вихід та якість / О. М. Ганженко, П. Ю. Зиков // Цукрові буряки. – 2014. – №5. – С. 14–16.
13. Ганженко О. М. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго / О. М. Ганженко, Н. О. Григоренко // Цукор України. – 2011. – №4. – С. 27–32.
14. Ганженко О. М. Вплив сортових особливостей та мінерального живлення на урожайність і вуглеводний склад цукрового сорго / О. М. Ганженко, Н. О. Григоренко, О. Б. Хіврич, Л. А. Герасименко, О. О. Марчук // Цукрові буряки. – 2011. – №5. – С.14–15.
15. EN ISO 17225-1:2014 Solid biofuels -- Fuel specifications and classes -- Part 1: General requirements

ВСТУП

Цукрове сорго (*Sorghum saccharatum*) є високоефективною сільсько-господарською культурою, здатною формувати стабільні високі врожаї навіть за несприятливих ґрунтово-кліматичних умов. Із одного гектара посівів цукрового сорго можна збирати 90...120 т/га цукромісткої біомаси з загальним вмістом цукрів у соці до 20%.

Важливою властивістю є те, що сорго за посухо- та солестійкістю займає перше місце серед сільськогосподарських культур у світі. На формування 1 кг сухої речовини сорго витрачає 300 кг води, тоді як кукурудза – 388 кг, пшениця – 515 кг, соняшник – 895 кг. Біологічні особливості цієї культури дозволяють отримувати стабільну врожайність зеленої маси вирощуючи на бідних ґрунтах та солончаках [1, 2].

Сорго відносять до родини злакових *Poaceae* або *Gramineae*. Рід сорго (*Sorghum Moench.*) об'єднує за різними даними від 34 до 50 видів, серед яких є дикі й культурні, однорічні та багаторічні. В Україні поширені два види культурного сорго: сорго звичайне (*S. vulgare Pers.*) і сорго трав'янисте, або суданська трава (*S. sudanense Pers.*). Рід сорго поєднує велику кількість різноманітних сортів і гібридів, які вирощуються в усіх частинах світу і відрізняються один від одного формою волоті, кольором, якістю зерна, висотою і товщиною стебел та періодом дозрівання [3, 4].

За зовнішнім виглядом, а саме своїм суцвіттям (волоттю), цукрове сорго нагадує просо, але на відміну від нього, сорго має великі, гладкі, прямостоячі, соковиті стебла заввишки до 5 метрів. Стебло складається з окремих міжвузлів, кількість і довжина яких залежать від групи рослин та їх скоростиглості. Серцевина стебла наповнена солодким соком з різним складом цукрів: сахарози, глюкози та фруктози.

Цукрове сорго має добре розвинену кореневу систему, яка проникає у ґрунт на глибину 2,0...2,5 м і розгалужується на 1,2...1,3 м, що обумовлює високу посухостійкість культури. Завдяки потужній кореневій системі цукрове сорго краще ніж інші культури росте на легких піщаних, важких глинистих та інших малопродуктивних ґрунтах, легко витримує близькість ґрунтових вод та засоленість ґрунту.

Зерно цукрового сорго плівчасте або злегка відкрите, волоть розлога. Після вимолочування воно залишається в плівках, тому за кормовими та харчовими якостями поступається зерновому сорго. Найбільш інтенсивно цукор в стеблах накопичується після цвітіння. Максимальна кількість цукрів рослина містить в фазі воскової і повної стиглості зерна [5, 6].

Цукрове сорго є універсальною культурою, сировина якої може використовуватись не тільки у кормовиробництві та харчовій промисловості, але й для виробництва біопалива (біоетанолу, біогазу, твердого біопалива).

1. МІСЦЕ В СІВОЗМІНІ

Комплекс агротехнічних заходів, пов'язаних з вирощуванням культури, повинен бути спрямований на підвищення врожаю та його якості, а також враховувати біологічні особливості культури, ґрунтово-кліматичні умови, сортове розмаїття, цільове призначення посівів та інші фактори. В отриманні високих і стабільних урожаїв важливе значення мають: вибір поля, застосування раціональної системи обробітку ґрунту та удобрення, оптимальні строки сівби, ефективні прийоми догляду за рослинами і збирання врожаю.

Сівозміна відіграє важливу роль у поліпшенні водного і поживного режимів ґрунту, забезпечуючи значне підвищення врожайності та якості сільськогосподарських культур. Цукрове сорго може вирощуватися після будь-яких попередників, однак рекомендованими для нього є ранньостиглі культури, після яких поля не забур'янені та мають значний запас ґрунтової вологи. Найкращими попередниками для цукрового сорго є зернобобові та озимі культури. Не рекомендується висівати цукрове сорго після проса, оскільки ці культури мають багато спільних хвороб та шкідників.

Цукрове сорго формує високі врожаї зеленої маси, а отже виносить з ґрунту велику кількість поживних речовин і вологи. Крім того воно відноситься до пізніх культур, після збирання яких залишаються поживні рештки, що ускладнюють проведення наступних обробіток ґрунту. Тому цукрове сорго є не найкращим попередником для інших сільськогосподарських культур [7, 8].

Разом з тим, дотримання рекомендованої технології вирощування (своєчасне проведення комплексу польових робіт, щорічне внесення розрахункових норм органічних і мінеральних добрив та пестицидів) дозволяє вирощувати цукрове сорго впродовж 5 років як беззмінну культуру.

2. ОСНОВНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ

Система основного обробітку ґрунту під цукрове сорго включає луцення дисковими робочими органами на глибину 6...8 см, внесення гербіциду суцільної дії для знищення сходів бур'янів та падалиці, оранку на глибину 25...27 см та вирівнювання поверхні поля.

Після збирання попередника у ґрунті залишається волога, витратам якої через випаровування можна запобігти своєчасним і якісним луценням стерні. Обробіток ґрунту луцильниками забезпечує його розпушування та часткове перемішування, а також підрізання бур'янів. Луцення провокує проростання бур'янів, які знищуються наступними обробітками.

Для виконання цього заходу використовують здебільшого дискові луцильники типу ЛДГ-10. На чистих або забур'яненних однорічними бур'янами площах луцення проводять на глибину 6...8 см у два сліди перехресним способом із кутом атаки дисків 30...35°. На полях, засмічених багаторічними коренепаростковими або кореневищними бур'янами, глибину луцення слід збільшити до 12 см. Швидкість руху агрегату – 8...12 км/год.

Через 2-3 тижні після лушення (в міру відростання бур'янів до 10...15 см) площу необхідно обробити гербіцидом суцільної дії.

Глибоку осінню оранку проводять через 2-3 тижні після внесення гербіциду оборотними плугами типу ПОН-3-35 на глибину 25...27 см. Швидкість агрегату на оранці – 5...6 км/год.

Для вирівнювання поверхні поля, знищення сходів бур'янів та створення сприятливих умов для накопичення ґрунтової вологи у осінньо-зимовий період після оранки необхідно провести суцільну культивуацію на глибину 5...7 см культиваторами типу КПС-4 за швидкості руху агрегату 10...12 км/год.

Цукрове сорго невибагливе до забезпечення елементами живлення, проте досить активно реагує на внесення органічних і мінеральних добрив. Під цукрове сорго, як біоенергетичну культуру, рекомендується вносити мінеральні добрива у нормі $N_{60...80}P_{60...80}K_{30}$.

3. ВЕСНЯНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ

Весняний обробіток ґрунту складається з комплексу заходів, спрямованих на підтримання поверхні поля в розпушеному вирівняному стані, збереження накопиченої ґрунтової вологи, контролювання чисельності бур'янів та створення сприятливих умов для проростання насіння цукрового сорго і включає ранньовесняне боронування ґрунту та дві культивації комбінованими агрегатами. Для цього, за настання фізичної стиглості ґрунту, проводять ранньовесняне боронування на глибину до 5 см впоперек або під кутом до напрямку оранки в один-два сліди важкими та середніми зубовими (типу БЗТС-1,0 та БЗСС-1) чи пружинними (типу БПВ-9) боронами. Швидкість руху агрегату при цьому становить 10...12 км/год.

Цукрове сорго належить до теплолюбних культур, насіння яких висівається наприкінці квітня-початку травня, тому має місце значний розрив у часі між закриттям вологи і сівбою насіння, що обумовлює необхідність у проведенні двох культивацій. Перша культивація проводиться через 2 тижні після закриття вологи на глибину до 6 см з обов'язковим наступним коткуванням ґрунту для збереження вологи та провокування проростання однорічних бур'янів, а також для знищення сходів падалиці попередників. Друга культивація (передпосівна) – проводиться безпосередньо перед сівбою і виконується на глибину загортання насіння [5].

4. СІВБА НАСІННЯ

Для вирощування цукрового сорго за інтенсивною технологією слід особливу увагу приділяти якості посівного матеріалу, а саме використовувати насіння зі схожістю не менше 90%, а також використовувати насіння, оброблене захисно-стимулюючими препаратами. Для ефективного хімічного контролювання чисельності бур'янів на ранніх етапах розвитку рослин слід використовувати насіння, оброблене антидотом.

Для забезпечення появи повних дружніх сходів для сівби слід підбирати насіння крупної або середньої фракції, маса 1000 насінин яких становить 25...30 та 20...24 г відповідно (рис. 1). Особливо негативно на схожість насіння цукрового сорго впливає термін його зберігання. Тому доцільно використовувати насіння, яке зберігалось не більше двох років (рис. 2).

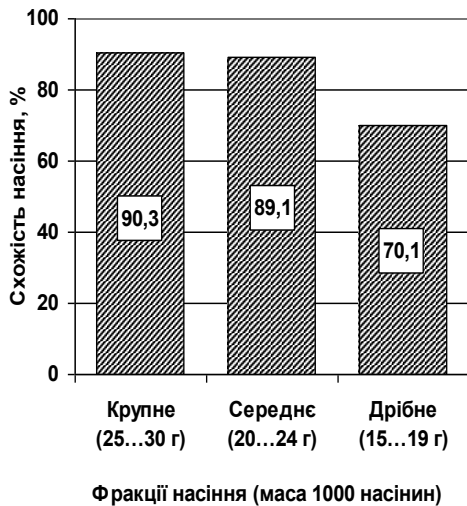


Рис. 1. Вплив розміру насіння на його схожість

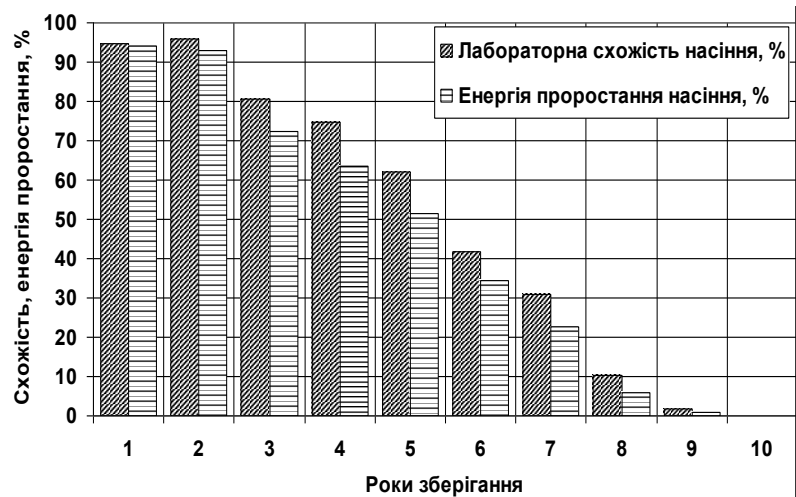


Рис. 2. Вплив терміну зберігання насіння цукрового сорго на його схожість

Щоб отримати ранні та дружні сходи, насіння цукрового сорго під час сівби має потрапити на тверде вологе насіннєве ложе та на оптимальну глибину. Для проростання насіння цукрового сорго необхідна менша кількість води порівняно з іншими культурами. Так, для набухання насіння цукрового сорго достатньо лише 35% води від маси самого насіння, тоді як для кукурудзи – 40%, пшениці – 60%. Однак, за мілкої сівби та посушливих весняних умов, насіння цукрового сорго, потрапляючи в суху землю, не дає сходів. Тому оптимальною для більшості регіонів України є глибина загортання насіння 4...6 см (рис. 3).

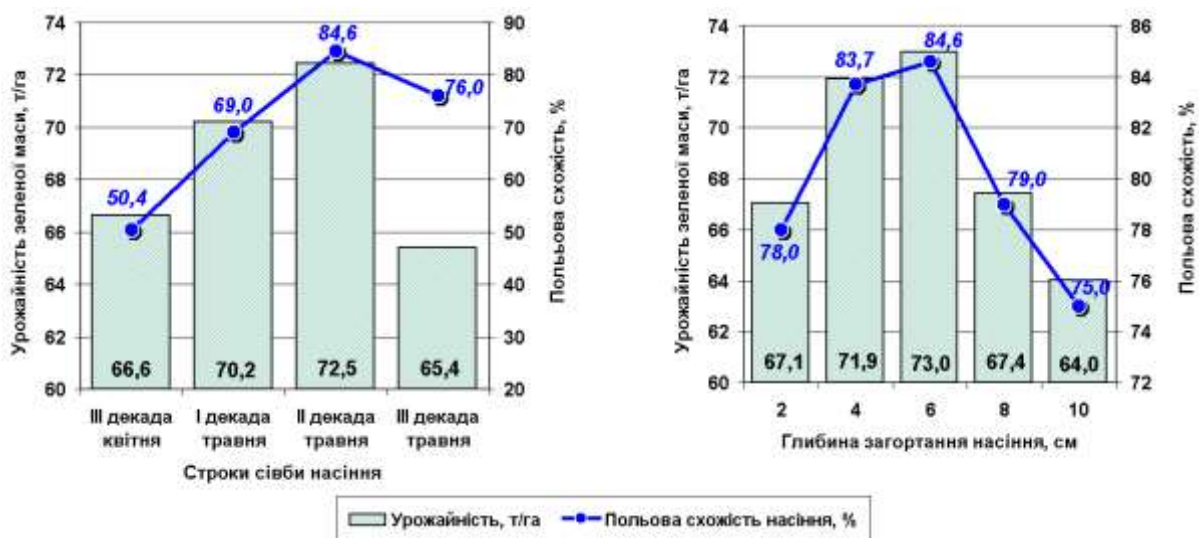


Рис. 3. Вплив строків сівби та глибини загортання насіння на польову схожість та врожайність зеленої маси цукрового сорго

Строки сівби мають важливе значення у водозабезпеченні рослин, а також в оптимізації світлового режиму. Вибір строку сівби залежить від кліматичних умов, стану ґрунту, біологічних особливостей сортів і гібридів. Розпочинати сівбу цукрового сорго слід за середньодобової температури ґрунту на глибині 10 см – 12...14°C. За такої температури сходи цукрового сорго з'являються на 10-12 добу. Для півдня України такі температури спостерігаються в період III декади квітня – II декади травня. За ранніх строків сівби у недостатньо прогрітій ґрунт (7...8°C) сходи з'являються на 30-35 добу, а польова схожість насіння знижується до 30%. Незначні заморозки до -2°C впродовж доби знищують сходи цукрового сорго.

Сівбу насіння рекомендується проводити сівалками точного висіву типу УПС-12 з шириною міжрядь 45 см або типу СУПН-8 з шириною міжрядь 70 см. Оптимальна густина стояння рослин цукрового сорго для зони достатнього зволоження України становить 220...270 тис.шт./га, нестійкого зволоження – 180...220 тис.шт./га, недостатнього зволоження – 140...180 тис.шт./га. Під час встановлення норми висіву слід враховувати, що польова схожість насіння на 20...25% менша за лабораторну [5, 9].

Після інтенсивних опадів за настання сонячної погоди може утворюватися ґрунтова кірка, яка перешкоджає появі та нормальному розвитку сходів. Якщо ґрунтова кірка утворилась до появи сходів, її руйнують середніми та легкими боронами або культиваторами типу УСМК-5,4 з ротаційними робочими органами.

5. ДОГЛЯД ЗА ПОСІВАМИ

Головна мета догляду за посівами цукрового сорго полягає в підтриманні посівів у чистому від бур'янів стані, а також у створенні сприятливих ґрунтових умов для розвитку рослин. Цукрове сорго повільно росте на початку вегетаційного періоду, тому сходи бур'янів, які в цей період ростуть швидше, пригнічують сходи рослин сорго. Рихлення ґрунту в міжряддях у посівах цукрового сорго має не менше значення, ніж знищення бур'янів, оскільки рослини сорго погано переносять переущільнення ґрунту.

Агротехнічними заходами догляду за посівами цукрового сорго є: післяпосівне прикочування, досходове боронування, міжрядні культивації, підживлення добривами, захист посівів від бур'янів, хвороб і шкідників.

Післяпосівне прикочування збільшує контакт насіння з ґрунтом, підтягує капілярну вологу із нижніх більш вологих шарів ґрунту і вирівнює його поверхню. Прикочування також сприяє швидкому і дружньому проростанню насіння бур'янів, які потім можуть бути знищені досходовим боронуванням впоперек рядків. Прикочування виконують кільчасто-шпоровими котками, які утворюють ребристу поверхню ґрунту, що перешкоджає утворенню ґрунтової кірки.

Досходове боронування, яке проводиться на 4-6-й день після сівби, дозволяє знищити до 80 % бур'янів. Важливо своєчасно проводити цей агрозахід, так як запізнення може призвести до пошкодження проростків, а як наслідок до зрідження посівів цукрового сорго.

Для знищення бур'янів і розпушування ґрунту проводять 1-2 (до 3) міжрядні обробітки. Перший міжрядний обробіток ґрунту здійснюють на глибину 3...5 см культиваторами типу УСМК-5,4, що оснащені лапами бритвами та ротаційними голчастими батареями. В міру відростання бур'янів здійснюють другий міжрядний обробіток ґрунту в фазі 5-7 листків у рослин цукрового сорго. Для цього використовують лапи бритви та стрілчаті лапи, які встановлюють на глибину 7...9 см для більш ефективного знищення бур'янів у міжряддях. За необхідності через 14 днів після другого проводиться третій міжрядний обробіток ґрунту з присипанням бур'янів у рядках та підживленням. Третій обробіток здійснюють за висоти рослин цукрового сорго 35...40 см (8-10 листків). Для цього культиватор комплектують спеціальними підгортачами.

Ширина захисної зони, до появи вузлових коренів другого і третього ярусу, може становити 16...20 см, у наступних міжрядних обробітках ґрунту захисну зону слід збільшити до 20...24 см [2, 5].

Цукрове сорго – світлолюбна рослина, яка у перший період свого розвитку росте досить повільно, тому поступається бур'янам у конкурентній боротьбі за сонячне світло. У зв'язку з цим, контролювання забур'яненості повинно здійснюватися на ранніх етапах розвитку рослин з використанням ґрунтових гербіцидів. Щоб уникнути пригнічення рослин цукрового сорго гербіцидами, його насіння обов'язково має бути оброблене антидотом типу Концеп III 960 ЕС, що забезпечує стійкість рослин сорго до дії S-метолахлору, який входить до складу таких гербіцидів, як Дуал Голд 960 ЕС та Примекстра Голд 720 SC.

Ґрунтовий гербіцид Дуал Голд 960 ЕС у нормі 1,6 л/га забезпечує захист рослин сорго впродовж 8-10 тижнів від однорічних злакових бур'янів (мишій, просоподібні) та деяких однорічних дводольних (шириця, грицики та ін.). Його можна вносити під передпосівну культивацію або під час сівби.

Значно ширший спектр дводольних бур'янів контролюють гербіциди комбінованої дії Примекстра Голд 720 SC в нормі 3,0...3,5 л/га та Примекстра TZ Голд 500 SC в нормі 4,0...4,5 л/га. Ці препарати можна вносити як до сівби, так і після появи сходів.

У 2015 році компанія Монсанто зареєструвала новий гербіцид Гвардіан-Тетра, який використовується у посівах кукурудзи та сорго. Гвардіан-Тетра це препарат, що забезпечує високу ефективність контролювання однорічних однодольних та дводольних бур'янів і може застосовуватись як на досходовій, так і на ранній післясходовій стадіях.

За застосування хімічних способів контролювання забур'яненості механічні рихлення ґрунту в міжряддях проводяться тільки за потреби для

Цукрове сорго краще ніж інші сільськогосподарські культури протистоїть впливу шкідників та хвороб, проте і воно уражується патогенами, чисельність яких слід контролювати старанним виконанням основних агротехнічних заходів та хімічними засобами.

Щоб запобігти ураженню сорго сажкою, а також червоним бактеріозом та гелмінтоспоріозом, його насіння протруюють гранозаном (1,0...1,5 кг/т) або меркураном (1,5...2,0 кг/т) в розрахунку на тону посівного матеріалу. Протруювання здійснюють у день сівби, оскільки оброблене насіння під впливом

діючої речовини втрачає схожість. Проти плямистостей у період вегетації застосовують Бірекс КС (за умови прояву) – 0,5 л/га та Тітул Дуо – 0,25 л/га.

Найпоширеніший шкідник цукрового сорго – попелиця, яка уражує в основному молоді рослини, висмоктуючи з їх листя й стебел сік, у результаті чого ріст рослин уповільнюється, а іноді молоді рослини сорго у фазі до 4-5 листочків навіть гинуть. Для захисту посівів цукрового сорго в період вегетації від попелиці застосовують Енжіо 247 SC (0,18 л/га).

У період викидання волотей, рослини цукрового сорго іноді пошкоджує кукурудзяний метелик. Для контролювання чисельності цього шкідника застосовують Децис, 2,5% к.е. (0,5...0,7 л/га), Децис Форте, 12,5% к.е. (0,05...0,08 л/га), Карате 050 ЕС, к.е. (0,2 л/га), Карате Зеон 050 CS, м.к.с. (0,2 л/га), Штефесін, 2,5% к.е. (0,5–0,7 л/га). Але ефект від використання інсектицидів залежить від точності визначення строків обробок. Найвища ефективність досягається за внесення препаратів під час проникнення перших гусениць шкідника у стебла, тобто через 2-3 тижні після початку льоту метелика або під час масового льоту [5].

6. ЗБИРАННЯ

Строки та спосіб збирання біомаси цукрового сорго залежать від подальшого її використання: для виробництва біогазу, біоетанолу та твердого біопалива.

Якщо біомаса використовується як сировина для виробництва біогазу, то цукрове сорго слід збирати у період максимальної врожайності зеленої маси, яка досягається у фазі формування і наливу зернівки. У цей період суха речовина біомаси становить 20...25%, що є оптимальним для виробництва біогазу.

У зоні достатнього зволоження, з метою отримання більшої кількості біомаси для біогазу з одиниці площі цукрове сорго можна збирати двічі: наприкінці липня (у період інтенсивного росту) та на початку жовтня. У цьому випадку загальна кількість отриманої зеленої біомаси цукрового сорго сягатиме 150 т/га.

Для виробництва біогазу можна використовувати всю біомасу цукрового сорго (стебла, листя та волоті), тому збирання цукрового сорго здійснюється звичайними силосозбиральними комбайнами КСК-100А, КСК-250, Дон-750, Jaguar 900, Jaguar 870, Mammut 8790, John Deere 7200, John Deere 7300 і інші.

У випадку використання біомаси цукрового сорго в якості сировини для виробництва біоетанолу та твердого біопалива збирання врожаю слід розпочинати у період максимального накопичення цукрів у соці стебел. Як правило це відбувається наприкінці вересня у фазі повної стиглості зерна.

Під час збирання біомаси на біоетанол слід відокремлювати стебла від листя та волотей, оскільки їх наявність негативно впливатиме на вихід біоетанолу. При цьому, стебла цукрового сорго не слід інтенсивно подрібнювати, так як це призводитиме до втрат цукромісткого соку під час транспортування та зберігання біомаси. Розмір подрібнених частин стебла не повинен бути меншим 15...25 см. Збирання стебел цукрового сорго на біоетанол

здійснюють комбайнами для збирання цукрової тростини, такими як Case IH 3500, Case A8000, Claas Ventor та іншими.

Комбайн для збирання цукрового сорго на біоетанол працює наступним чином: волоті рослин відокремлюються різальним апаратом 1 та залишаються на полі, стебла за допомогою стеблорізачів 2 подаються на ріжучий апарат 3. Зрізані стебла транспортуються до двоножового барабанного подрібнювача 4, після чого подрібнені стебла разом з листям потрапляють у перший пневмосепаратор 5, на якому відбувається попередній етап очистки маси від листя. У кінцевій частині елеватора для навантаження біомаси 6 встановлено другий пневмосепаратор 7, за допомогою якого відбувається остаточний етап відокремлення листя від стеблової біомаси. Відокремлене на першому та другому етапах листя залишається на поверхні поля, а очищена стеблова біомаса цукрового сорго подається до транспортного засобу, яким вона доставляється до місця перероблення. Зібрану в такий спосіб біомасу цукрового сорго можна зберігати не більше 2-3 діб.

7. ПЕРЕРОБЛЕННЯ БІОМАСИ ЦУКРОВОГО СОРГО

Цукрове сорго – універсальна культура, сировина якої може використовуватись як у кормовиробництві та харчовій промисловості, так і для виробництва біопалива [10]. Сік зі стебел цукрового сорго, 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 кристалізації. Тому із соку цукрового сорго виготовляють не кристалізований, а рідкий цукор – сироп.

Завдяки високому вмісту цукрів сік цукрового сорго використовується для виробництва біоетанолу. Сучасні вітчизняні високопродуктивні гібриди цукрового сорго дозволяють отримати до 4,5 т/га біоетанолу, що еквівалентно 112,5 ГДж/га (26,9 Гкал/га) енергії. Після видалення соку вологість стебел цукрового сорго не перевищує 40%, тому вони можуть бути сировиною для виробництва твердого біопалива (паливних гранул або брикетів). Сухої біомаси цукрового сорго, зібраної з 1 га достатньо для виробництва 25 т твердого біопалива, під час згоряння якого виділяється 400 ГДж (95,3 Гкал) теплової енергії. Таким чином, загальний вихід енергії, яку можна отримати з 1 га посівів цукрового сорго перевищує 500 ГДж, що свідчить про перспективність використання цієї культури для біоенергетики.

Біомаса цукрового сорго може використовуватись для виробництва біогазу. Завдяки високій продуктивності цукрове сорго забезпечує найбільший серед інших сільськогосподарських рослин вихід біогазу з одиниці площі – до 17,6 тис.м³/га з вмістом метану 60%. Залишки біогазової ферментації містять значну кількість легкодоступного для рослин азоту, фосфору, калію та мікроелементів і можуть використовуватись в якості добрив, які за своєю дією схожі на мінеральні добрива [11].

Як компонент біомаси для виробництва біогазу подрібнена зелена маса цукрового сорго подається або безпосередньо від кормозбирального комбайна, або у вигляді попередньо заготовленого силосу.

Для більш ефективного використання біогазових установок зібрану біомасу цукрового сорго слід засилосувати. Збирання цукрового сорго на біогаз відбувається у фазу формування і наливу зернівки, для якої характерно низький вміст сухої речовини. Внаслідок цього під час силосування, відбувається витікання частини соку та активне бродіння з утворенням великої кількості кислот і спиртів, що негативно впливає на якість силосу та зменшення кількості отриманого з нього біогазу. Щоб цього уникнути, під час силосування до цукрового сорго слід додавати інші, більш сухі компоненти, наприклад соломку.

Перед подачею зеленої маси чи силосу цукрового сорго до біогазового реактора (метантенка) її слід подрібнити, щоб інтенсифікувати процес метанного зброджування та уникнути забивання рухомих елементів біогазового заводу рослинними залишками.

Для виробництва біоетанолу використовують стебла цукрового сорго порізані на частини завдовжки 15...25 см і очищені від листків. Це досягається за рахунок використання комбайнів для збирання цукрової тростини. Зібрана в такий спосіб біомаса доставляється до місця перероблення або безпосередньо від збирального комбайна, або з місця тимчасового зберігання.

Свіжий, не пастеризований сік цукрового сорго може зберігатись не більше 2...3 годин, тому розрив у часі між видавлюванням соку і його подальшою переробкою на біоетанол повинен бути мінімальним. Застосування хімічних консерваторів погіршує процес отримання етанолу, а термічна обробка соку негативно впливає на собівартість та енергоємність готової продукції [12].

8. РОЗРАХУНОК ВИХОДУ БІОПАЛИВА

Інтегральним показником, який характеризує ефективність вирощування цукрового сорго на енергетичні цілі, є вихід біопалива (біоетанолу, біогазу, твердого біопалива) та вихід енергії.

За літературними джерелами [5], а також результатами досліджень, проведеними в ІБКіЦБ [13, 14] встановлено, що сік зі стебел цукрового сорго містить в середньому близько 15% сухої речовини, з якої 13% – сахароза, 1% – моноцукрів та 1% інших сухих речовин (крохмаль, мінеральні речовини).

Таким чином, біоетанол із соку цукрового сорго виробляється переважно із сахарози. Вихід біоетанолу можна розрахувати за формулою (1):

$$M = \frac{U \cdot n \cdot S \cdot b \cdot k}{100}, \quad (1)$$

де, 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, $k=0,9$.

Для розрахунку виходу біоетанолу використовуємо формулу спиртового бродіння: $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = 4C_2H_5OH + 4CO_2$. Згідно з формулою вихід біоетанолу з сахарози становить 53%, решта 47% – вуглекислий газ. Отже коефіцієнт b , який характеризує вихід біоетанолу з сахарози, яка домінує у соці стебел цукрового сорго, становить 0,53. Сучасні заводи допускають втрати біоетанолу на рівні 9...15%, тому коефіцієнт заводського виходу k приймаємо 0,9.

Сік зі стебел цукрового сорго отримують переважно за допомогою вальцевих пресів. Вихід соку при цьому становить близько 50% від урожаю стебел, або 75% від наявної у стеблах вологи. Дослідженнями, проведеними у відділі технологій вирощування біоенергетичних культур ІБКіЦБ, встановлено, що вихід соку залежить від сортових особливостей цукрового сорго та від способу попередньої підготовки біомаси і коливається в значних межах – від 33 до 75% від маси стебел [14]. Тому для розрахунку виходу біоетанолу приймаємо вихід соку 50%, тобто $n=0,5$.

Щоб визначити вихід енергії з біоетанолу, отриманого з одного гектара посівів цукрового сорго, необхідно масу отриманого біоетанолу помножити на його енергоємність: $E_M = M \cdot e_M$, де E_M – вихід енергії, ГДж/га; M – вихід біоетанолу з 1 га цукрового сорго, т/га; e_M – енергоємність біоетанолу, ГДж/т (25 ГДж/т).

Приклад розрахунку:

Урожайність стебел цукрового сорго становить 80 т/га, цукристість соку – 16%. За формулою (1) маємо: $M = 80 * 0,6 * 16 * 0,53 * 0,9 / 100 = 3,05$ т/га біоетанолу. За формулою розраховуємо кількість енергії, яку можна отримати від спалювання 3,05 т біоетанолу: $E_M = 3,05 * 25 = 76,25$ ГДж/га.

Отже, з 1 га посівів цукрового сорго за врожайності стебел 80 т/га та цукристості соку 16% можна отримати 3,05 т біоетанолу, що еквівалентно 76,25 ГДж енергії.