

УДК 633.282

СОРТОВИВЧЕННЯ ГІБРИДІВ СОРГО АМЕРИКАНСЬКОЇ СЕЛЕКЦІЇ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ СТЕПУ УКРАЇНИ

ХАРИТОНОВ¹ М.М.,
БАБЕНКО¹ М.Г.,
МАРТИНОВА² Н.В.,
РУЛА¹ І.В.,
ГУМЕНТИК³ М.Я.

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

³Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Вступ. Сорго — це перспективна, посухостійка рослина, що має низку корисних властивостей та великий потенціал для використання в різних сферах народного господарства. Сорго можна класифікувати за чотирма основними групами залежно від їх виробничих характеристик: зернове сорго, кормове, технічне та цукрове. Зерно сорго містить 70–73% крохмалю, 12–15% білка, 3,5–4,5% жиру. За кормовими властивостями зерно і зелена маса не поступаються кукурудзі. Зі спеціальних сортів сорго виготовляють крупу, яка за технологічними та органолептичними властивостями не поступається рису й пшону (Sorghum, 2000; Каражбей, 2012). Сік цукрового сорго може бути використаний для виробництва цукру, сиропу та етанолу. Багасса також використовується як корм або як сировина для паперової промисловості. Стебла соргових культур містять легкодоступні розчинні вуглеводи, тому ферментативне перетворення крохмалю в цукор не є необхідним, що надає сорго економічну перевагу над культурами на основі крохмалю (Taylor et al., 2006).

З 1970-х років активно вивчається потенціал сорго в якості альтернативної біоенергетичної сировини. Короткий цикл росту (близько чотирьох місяців) надає певні переваги для цієї культури для застосування у біоенергетиці: а) забезпечення високої ефективності використання води та поживних речовин; б) проведення подвійного зрізання (для отримання стовбурового цукру та крохмалю зерна); в) просте поширення з насіння; г) налагодження повністю механізованого виробництва (Reddy et al., 2005; Shoemaker et al., 2010; Rutto et al., 2013; Regassa & Wortmann, 2014).

Невибагливість сорго до умов навколишнього середовища окреслює перспективу вирощування цієї рослини на малопродуктивних та рекультивованих землях, що дозволить уникнути конфлікту між виробництвом продовольства та біо-

опалива (Ameen et al., 2017; Mehmood et al., 2017). Добір найбільш продуктивних гібридів і технології культивування сорго в таких умовах ще недостатньо вивчені, тому актуальним є необхідність проведення досліджень із цього напрямку.

Матеріали і методики досліджень. Дослідження проводилося на Покровському навчально-дослідному стаціонарі порушених земель Дніпровського державного аграрно-економічного університету, що розташований біля Нікопольського марганцеворудного кар'єру. Було вивчено 12 гібридів сорго американської селекції, а саме: чотири гібриди цукрового сорго (SS506, Sioux, Mohawk, G1990), шість гібридів зернового сорго (Kato, Ponki, Tzuni, Yuki, Milo W, Yutami) та два сорго-суданкових гібриди (Koso, Ute BMR). Насіння було висіяне на двох експериментальних ділянках із різними типами субстратів: фітомеліорований лесоподібний суглинок (ділянка 1) та насипний шар чорноземної маси (ділянка 2). Обидва субстрати малородючі, вміст гумусу в лесоподібному суглинку не перевищує 1,05%, в чорноземній масі — 3,3%. В ході дослідження внесення добрив не проводилося.

Біометричні показники, врожайність зеленої маси та зерна визначали за загальноприйнятими методиками. Висоту рослин вимірювали з використанням мірильної лінійки. Діаметр стебла був визначений із допомогою штангенциркуля шляхом випадкової вибірки на висоті 15 см від поверхні ґрунту. Також було досліджено термічні характеристики сухої біомаси сортів цукрового сорго. Аналіз був проведений на дериватографі Q — 1500D системи «F. Paulik — J. Paulik — L. Erdey» з реєстрацією аналітичного сигналу втрачання маси та теплових ефектів на папері самописця. Обробка даних проведена за допомогою пакету комп'ютерних програм, що постачаються разом із даним обладнанням. Зразки біомаси аналізували в динамічному режимі зі швидкістю

нагріву 10°C/хв. в повітряній атмосфері. Маса проб — 100 мг. Еталонною речовиною був оксид алюмінію. В якості критерію оцінки термостійкості біомаси було визначено енергію активації термоокислювальної деструкції за методом подвійного логарифмування Бройдо (Broido, 1969; Прокопчук, 1983). Усі отримані результати були оброблені статистичними методами за допомогою комп'ютерного пакету програм StatGraphics Plus5 при рівні вірогідності — 0,95% (P<0,05).

Результати дослідження. В ході дослідження було виявлено, що висота всіх досліджених гібридів цукрового сорго була нижче потенційно середньої на 9–25% на чорноземній масі та на 22–37% — на лесоподібному суглинку. У сорту Sioux ростові показники були найгіршими, рослини на обох типах субстратів не перевищували 95–105 см при потенційній висоті 200–250 см (рис. 1).

Сорго-суданкові гібриди, навпаки, показали добрий ріст та мали висоту від 200 см до 250 см, що відповідає їх сертифікованим характеристикам. Більшість досліджених гібридів зернового сорго відносяться до низькорослих сортів із висотою 90–110 см. Лише гібрид Kato — середньорослий, 180–200 см. На чорноземній масі висота цих гібридів відповідала потенційно середній або перевищувала її на 11–24% (Yutami, Yuki, Tzuni). На лесоподібному суглинку рослини росли повільніше і, за винятком сортів Yutami та Tzuni, були нижчими на 5–34%.

Визначення діаметру пагонів показало, що на чорноземній масі більшість гібридів має більш міцні стебла, ніж на лесоподібному суглинку (табл. 1). Різниця складає від 6,5% до 27,3%. Винятком є гібриди Koso та G1990, у яких пагони на лесоподібному суглинку були товстішими на 14,4 та 28,1% відповідно.

Довжина волоті суттєво не відрізнялася на обох субстратах у сортів G1990, Kato, Ponki, Tzuni та Yuki. У гібридів

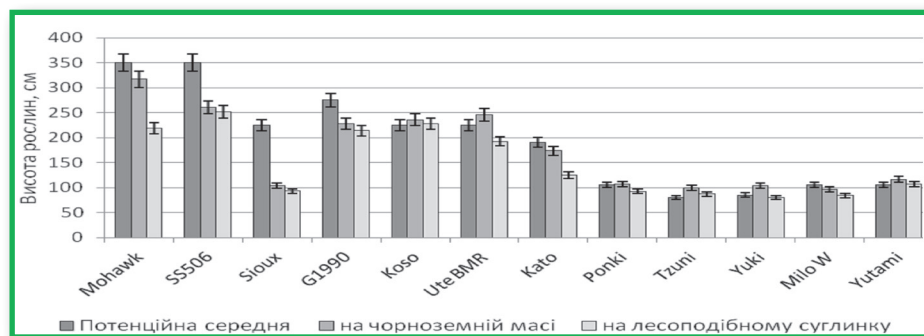


Рис. 1. Висота гібридів сорго на рекультивованих малопродуктивних ґрунтах.

Таблиця 1

Діаметр пагонів гібридів сорго, зростаючих на малопродуктивних ґрунтах

Гібрид	Діаметр пагонів, мм		Гібрид	Діаметр пагонів, мм	
	на чорноземній масі	на лесоподібному суглинку		на чорноземній масі	на лесоподібному суглинку
SS506	17,22±0,30	19,11±0,38	Kato	16,11±0,35	14,56±0,25
Sioux	15,67±0,41	11,67±0,31	Ponki	17,11±0,29	16,67±0,28
Mohawk	18,78±0,44	16,33±0,41	Tzuni	13,56±0,21	12,67±0,33
G1990	15,01±0,36	19,22±0,47	Yuki	14,22±0,26	10,33±0,23
Koso	11,56±0,39	13,22±0,30	Milo W	13,78±0,23	12,44±0,24
Ute BMR	14,33±0,21	14,00±0,27	Yutami	16,67±0,32	15,33±0,35

SS506, Koso, Ute BMR, Milo W та Yutami вона була на 14–21% більше, ніж у рослин, що зростали на лесоподібному суглинку, а у сортів Mohawk та Sioux, навпаки, менше на 10–12%.

Для гібридів цукрового сорго, середньорослого зернового сорго Kato та сорго-суданкових гібридів було визначено врожайність зеленої маси. Встановле-

но, що ці гібриди здатні продукувати біомасу від 40 до 80 т/га на чорноземній масі та 30–65 т/га на лесоподібному суглинку (рис. 2). Серед гібридів цукрового сорго лише Sioux виявився слабо-продуктивним, врожайність якого була лише 37,5 т/га на чорноземі та 19 т/га на лесоподібному суглинку, що складає, відповідно, 35% та 17% від потенційної врожайно-

сті. Сорго-суданкові гібриди на обох типах ґрунтів показали трохи більше 50% свого потенціалу. Врожайність зернового сорго Kato на чорноземі складала 91% від теоретично очікуваного, а на лесоподібному суглинку — 50%.

Визначення врожайності зерна у гібридів зернового сорго показало, що слабка родючість рекультивованих ґрунтів не є перешкодою для отримання високих врожаїв у таких умовах. На чорноземній масі в гібридів Kato, Ponki, Tzuni та Yutami врожай зерна навіть перевищував теоретично очікуване на 12–40% (рис. 3). На лесоподібному суглинку сорти Tzuni та Yutami також виявилися високопродуктивними з перевищенням урожайності від потенційно середнього на 25% та 27% відповідно. Врожайність інших гібридів на цьому субстраті була нижче теоретичної від 8% (Kato) до 32% (Yuki). Серед досліджуваних гібридів найбільш продуктивним є гібрид Yutami.

Термогравіметричний аналіз сухої біомаси цукрового сорго показав, що в усіх досліджених гібридах процес термічної деградації відбувається схожим чином. Спостерігалось три основних етапи. На початковій стадії випаровування води та легких речовин, яка починається при температурі 40–50°C, втрата маси була невеликою й складала від 6,1% до 10,1% на чорноземній масі та від 6,9% до 7,5% на лесоподібному суглинку. Основний етап розкладання геміцелюлози, целюлози та лігніну відбувався у температурному діапазоні від 180–190°C до 380–390°C. Лише для біомаси рослин сорту Mohawk, що зростали на лесоподібному суглинку, цей період був більш довгим, від 160°C до 400°C. На даній стадії втрата маси була найбільшою й складала від 55 до 59%. У рослин, що зростали на лесоподібному суглинку, спостерігалось два піки швидкості втрати маси в цій зоні; у рослин, зростаючих на чорноземній масі — лише один. У гібрида Mohawk спостерігалась зворотна картина — два піки на чорноземі та один пік на лесоподібному суглинку (рис. 4).

При температурі вище 350°C починається основне розкладання лігніну, яке спочатку супроводжується утворенням хімічних зв'язків, а потім, у температурному інтервалі 400–500°C, їх руйнуванням із виділенням енергії (Игнатович и Утгоф, 2016). Також на цьому етапі відбувається вигорання карбонізованого залишку.

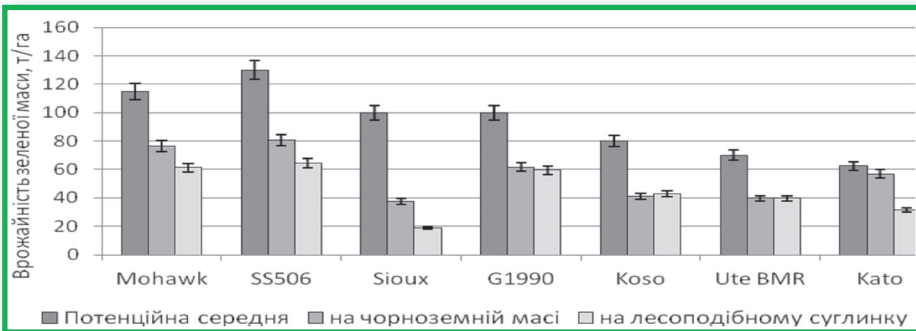


Рис. 2. Врожайність зеленої біомаси сорго на малопродуктивних ґрунтах.

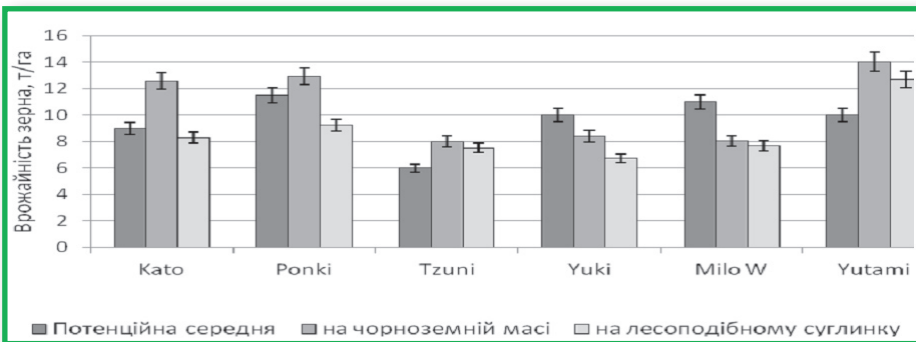
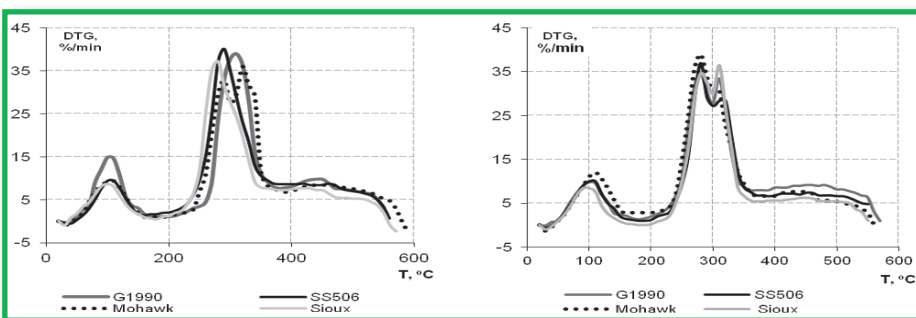


Рис. 3. Врожайність зерна гібридів сорго на малопродуктивних ґрунтах.



На чорноземній масі

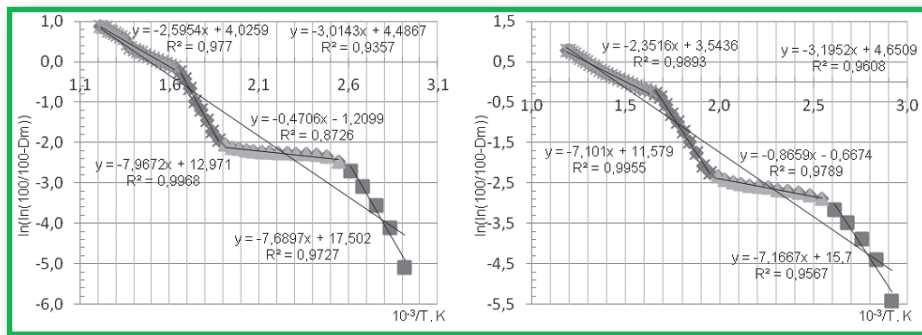
На лесоподібному суглинку

Рис. 4. Термограма зразків біомаси цукрового сорго при вироццуванні на малопродуктивних ґрунтах.

Процес термолізу біомаси сорго закінчувався при температурі 550–570°C. Втрата маси на останній стадії складала 24–29%. Частка залишкової маси становила 6,3–14,8%. Серед досліджених гібридів, зростаючих на чорноземній масі, найбільш повне розкладання біомаси спостерігалося в гібриду Моhawk з часткою залишкової маси 6,3%, а на лесоподібному суглинку — у гібрида SS506 (частка залишкової маси 7,3%). Найбільший відсоток неспаленого залишку притаманний біомасі гібриду Sioux (14,8% на чорноземі та 11,6% на лесоподібному суглинку).

Енергія активації термоокислювальної деструкції — універсальний чутливий критерій оцінки термічної стабільності біомаси. Виходячи з розрахунків значень енергії термічної деструкції основних компонентів біомаси і ТГ кривих виявлено, що термічна стабільність зразків різних гібридів сорго дещо відрізняється. На чорноземній масі найвищі значення енергії активації були отримані для гібриду G1990 (66,24 кДж/моль), а найменші — для гібридів SS506 (57,52 кДж/моль). Вирощування сорго на лесоподібному суглинку показало, що термічна стабільність біомаси, взятої з рослин цієї ділянки, знижується (рис. 5). Для гібридів Моhawk та Sioux це зменшення складо 5,5–56%, для гібриду G1990–10%. У сорту SS506 на обох субстратах суттєвих відмінностей у значеннях енергії активації не спостерігалося.

Висновки. Гібриди сорго американської селекції показали добрий потенці-



На чорноземній масі

На лесоподібному суглинку

Рис. 5. Логарифмічна залежність втрати маси (Δm) від температури T при термічній деструкції біомаси цукрового сорго, вирощеного на різних типах субстратів. На прикладі гібриду G1990.

ал вирощування на малопродуктивних рекультивованих землях. Гібриди цукрового сорго та сорго-суданкові гібриди можуть продукувати врожай зеленої маси від 30 до 80 т/га, що складає 60–90% від потенціальної продуктивності. Лише гібрид Sioux показав погані ростові характеристики й не може бути рекомендованим для отримання даного типу продукції на малопродуктивних ґрунтах.

Врожайність зерна гібридів зернового сорго була високою та навіть перевищувала теоретичне очікуване на 12–40%. Найбільш продуктивними виявилися гібриди Tzunі та Yutami.

Термічне розкладання сухої біомаси різних гібридів сорго проходить схо-

жим чином, тобто генетична складова суттєво не впливає на характер даного процесу. Специфічні компоненти ґрунтів, на яких зростають рослини, мають більший вплив на теплові характеристики біомаси. Порівняно з чорноземною масою, у рослин, що вирощені на лесоподібному суглинку, термічна деструкція геміцелюлози зсувається в область більш низьких температур, що призводить до появи двох піків швидкості втрати маси на другій стадії термолізу. За виключенням гібриду SS506, енергія активації термоокислювальної деструкції основних компонентів біомаси на лесоподібному суглинку знижується на 5–10%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ameen A., Yang X., Chen F., Tang C., Du F., Fahad S., Xie G. H. 2017. Bioenergy Research. Vol. 10(2). P. 363–376. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9804-5>
2. Broido A. A simple, sensitive graphical method of treating thermogravimetric analysis data. J. Polymer of Science. 1969. Vol. 7. No. 3. P. 1761–1763. <https://doi.org/10.1002/pol.1969.160071012>
3. Mehmood M.F., M. Ibrahim, Rashid U., Nawaz M., Ali S., Hussain A., Gull G. 2017. Biomass production for bioenergy using marginal lands. Sustainable Production and Consumption. Vol.9. P. 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003>
4. Reddy B. V. S., Ramesh S., Reddy P. S., Ramaiah B., Salimath P. M., Rajashekar K. Sweet Sorghum –A Potential Alternate Raw Material for Bio-Ethanol and Bioenergy. International Sorghum and Millets Newsletter, Vol. 46, 2005, pp. 79–86. URL:00b4952bd0439abc7e000000.pdf
5. Regassa T.H., Wortmann C. S. Sweet sorghum as a bioenergy crop: literature review. Biomass Bioenergy. 2014;64:348–355. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.052>
6. Rutto L.K., Xu Y., Brandt M., Ren Sh., Kering M. K. (2013). Juice, Ethanol, and Grain Yield Potential of Five Sweet Sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) Cultivars. Journal of Sustainable Bioenergy Systems, vol.3, pp.113–118. <http://dx.doi.org/10.4236/jsbs.2013.32016>
7. Shoemaker C., Bransby DI: The role of sorghum as a bioenergy feedstock. In Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six US regions. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society; 2010:149–159.
8. Sorghum. Origin, History, Technology and Production / Editors C. W. Smith, R. A. Frederiksen. 2000. USA: John Wiley & Sons, Inc. 820p. ISBN0-417-24237-3.
9. Taylor J.R.N., Schober T. J., Bean S. R. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. Review. Journal of Cereal Science. Vol. 44(3). P. 252–271. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.009>
10. Игнатювич Л.В., Утгоф С. С. 2016. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи. Труды БГТУ. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. 2(184). С. 192–195.
11. Каражбей Г.М. 2012. Стан і перспективи сорго зернового в Україні. Селекція і насінництво. 2012. Випуск 101. С. 150–155. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59749>
12. Прокопчук Н. Р. Определение энергии активации деструкции полимеров по данным термогравиметрии // Пластические массы. 1983. № 10. С. 24–25.

АНОТАЦІЯ

СОРТОВИЩЕННЯ ГІБРИДІВ СОРГО АМЕРИКАНСЬКОЇ СЕЛЕКЦІЇ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ СТЕПУ УКРАЇНИ
ХАРИТОНОВ М.М., БАБЕНКО М.Г., МАРТИНОВА Н.В., РУЛА І.В., ГУМЕНТИК М.Я.

Variety testing of American sorghum hybrids under the conditions of technogenic landscapes of the steppes of Ukraine
Kharytonov M. M., Babenko M. H., Martynova N. V., Rula I. V., Humentyk M. Ya.

Досліджено потенціал гібридів цукрового, зернового та суданкового сорго американської селекції на малопродуктивних рекультивованих ґрунтах степу України. Врожайність зеленої маси цукрового сорго та сорго-суданкових гібридів на насипній чорноземній масі та лесоподібному суглинку сягає 30–80 т/га, що складає 60–90% від потенціальної продуктивності. Врожайність зерна гібридів зернового сорго була високою: 8–14 т/га на чорноземі та 6,7–12,7 т/га на лесоподібному суглинку. Найбільш продуктивними виявилися гібриди Tzunі та Yutami. Специфічні компоненти ґрунтів, на яких зростають рослини, мають вплив на теплові характеристики біомаси. Порівняно з чорноземною масою, у рослин, що вирощені на лесоподібному суглинку, термічна деструкція геміцелюлози зсувається в область більш низьких температур, що призводить до появи двох піків швидкості втрати маси на другій стадії термолізу. За виключенням гібриду SS506, енергія активації термоокислювальної деструкції основних компонентів біомаси на лесоподібному суглинку знижується на 5–10%.

ABSTRACT

Variety testing of American sorghum hybrids under the conditions of technogenic landscapes of the steppes of Ukraine

Kharytonov M. M., Babenko M. H., Martynova N. V., Rula I. V., Humentyk M. Ya.

The potential of sugar, grain and Sudanese hybrid sorghum of the American breeding grown on unproductive reclaimed soils in the steppe zone of Ukraine has been studied. The green mass yield of sugar sorghum and sorghum-Sudanese hybrids on the chernozem and loess-like loamy soils reaches 30–80 t/ha, which is 60–90% of the calculated productivity. The grain yield of grain sorghum hybrids was high: 8–14 t/ha on chernozem and 6.7–12.7 t/ha on loess-like loamy soil. The most productive were 'Tzunі' and 'Yutami' cultivars. The specific components of the soil on which plants grow affect the thermal characteristics of biomass. Compared to chernozem, in plants grown on loess-like loamy soil, the thermal destruction of hemicellulose shifts to lower temperatures region, which leads to the appearance of two peaks in the rate of mass loss in the second stage of thermolysis. With the exception for SS506 cultivar, the activation energy of thermo-oxidative destruction of the main components of biomass on loess loamy soil drops by 5–10%.