

БІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРИ СОРГО

Жатова Галина Олексіївна

кандидат сільськогосподарських наук, професор
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-8606-6750
gzhatova@ukr.net

Коваленко Марина Олександрівна

аспірантка
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-3678-5220
marinavlad0050@gmail.com

Глобальні тенденції зміни кліматичних умов протягом останніх десятиліть привертають увагу наукової спільноти до культур, які вирізняються пластичністю до абіотичних факторів середовища. Саме сорго є видом, якому притаманні такі властивості. Сорго – культура з надзвичайно великими потенційними можливостями за рівнем врожайності та універсальністю використання. Сорго зернове належить до культур, спроможних формувати високий рівень продуктивності за різноманітних умов вирощування, забезпечення вологою, ґрунтів, температурних режимів. Серед польових культур сорго є беззаперечним лідером за здатністю переносити тривалі посухи, високі температури повітря та ґрунту.

Зміна клімату в бік аридизації розширює потенційний регіон вирощування культури зернового сорго. Останніми роками, через глобальні зміни клімату в бік потепління, спостерігається підвищення ймовірності посух не лише у зоні Степу, а й Лісостепу України. Це обумовлює зростання потреби у розширенні посівів посухо- і жаростійких культур. Основним аргументом більш інтенсивного залучення до агроценозів регіону зернового сорго є висока екологічна пластичність культури, здатна у несприятливих за значенням гідротермічного коефіцієнту агросезони бути повноцінною альтернативою іншим яриям зерновим (ячменю, кукурудзі, соняшнику, просу). Базисні елементи зональної технології вирощування зернового сорго, з метою отримання високих і сталих урожаїв зерна, у південних регіонах України вивчалася багатьма науковцями. Проте технологічні елементи вирощування сорго зернового в умовах північно-східного регіону України потребують детального дослідження для забезпечення формування високих і сталих урожаїв. На сьогодні до арсеналу виробників надійшли нові сучасні сорти і гібриди цієї культури, реакція яких на фактори формування продуктивності (строки сієби, густина стояння рослин, елементи живлення тощо) вивчені фрагментарно. Перспективи подальших досліджень ґрунтуються на розробці наукових принципів забезпечення високої продуктивності зернового сорго з якісними показниками в умовах північно-східного Лісостепу України.

Ключові слова: сорго, абіотичні фактори, стійкість до стресу, domestикація, адаптація.

DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.2.2>

Вступ. Глобальні тенденції зміни кліматичних умов протягом останніх десятиліть привертають увагу наукової спільноти до культур, які вирізняються пластичністю до абіотичних факторів середовища (Bilozor, 2005; Shrestha et al., 2016; Tari et al., 2013). Саме сорго є видом, якому притаманні такі властивості. Сорго – культура з надзвичайно великими потенційними можливостями за рівнем врожайності та універсальністю використання (Rakhmetov et al., 2015; Rooney & Waniska, 2000).

Сорго використовується для харчування людини, для годівлі тварин, отримання цукрового сиропу та етанолу, а також як будівельний матеріал. Багатопланове використання стало основою популярності культури у багатьох країнах. Нині сорго є одним із лідерів серед злакових культур у світі, що посідає п'яте місце після кукурудзи, пшениці, рису та ячменю. У світі спостерігається тенденція до збільшення посівних площ та валових урожаїв сорго. Найбільші площі в Європі зайняті під культурою у Франції, Італії, РФ, Албанії (Berenji & Dahlberg, 2004; Henley & Dahlberg, 2012). Зростання виробництва сорго пов'язане зі збільшенням попиту на продовольство та енергоносії. Нещодавнє з'ясування послідовності геному покращить майбутнє виробництво та харчові якості цієї культури (Muraya, 2014; Paterson, 2008).

Зернове сорго є найбільш поширеним видом сорго у

світі. Насіння є потужним енергетичним джерелом, завдяки високому вмісту клітковини та крохмалю і містить більше жиру, ніж пшениця, а також такий же відсоток білку, як й інші зернові. Додатковою перевагою сорго є те, що насіння не містить глютену і безпечно для людей з целиакією (Awika & Rooney, 2004; Ciacci et al. 2007; Henley et al., 2010).

Сорго зернове належить до культур, спроможних формувати високий рівень продуктивності за різноманітних умов вирощування, забезпечення вологою, ґрунтів, температурних режимів (Cherenkov et al., 2011; Makarov, 2006; Fedorchuk et al., 2017; Ortiz, et al., 2017). Серед польових культур сорго є беззаперечним лідером за здатністю переносити тривалі посухи, високі температури повітря та ґрунту (Dzhulai, 2012). Універсальність сорго як у різних сферах використання, так і внаслідок широкої адаптації до мінливості умов навколишнього середовища робить його перспективною культурою для вирощування у нашій країні.

В Україні сорго вирощують здебільшого у степовій зоні. Серед факторів, що стримують розширення площі посівів сорго в інших регіонах країни, є нестача ефективних температур упродовж вегетаційного періоду. Проте зміна клімату у бік аридизації розширює потенційний регіон вирощування культури зернового сорго. Разом з тим, сучасні кліматичні трансформації змушують аграріїв переглядати концепції та

практичні підходи до формування асортименту культур агроценозів, спроможних забезпечувати отримання стабільних й економічно обґрунтованих урожаїв (Adamenko, 2003; Semenova, 2015).

1. Таксономія та походження культури сорго

1.1. Систематика

Роду сорго притаманна велика генетична різноманітність. Світові колекції генетичних ресурсів культури нараховують біля 42 тисяч зразків (Tesfaye et al., 2017; Aniskina et al., 2019).

Основи таксономії роду розробили J. D. Snoden (1936) та O. Stapf (1934). Під було поділено на дві секції: *Eu-Sorghum* Stapf emend. *Snowd ma Para-Sorghum* Snowd. Види, що вирощували на насіння, були включені до секції *Eu-Sorghum*, серії *Sativa* і об'єднані у шість підсерій. В подальшому систематика удосконалювалася E. Garber (1950), J. R. Harlan, & De Wet J. M. J. (1972).

Оскільки генетичні бар'єри між таксонами відсутні, всі форми сорго було об'єднано в один вид – *S. bicolor* (L.) Moench (De Wet & Huckabay, 1967). Нині вид поділяють на два підвиди – *S. bicolor ssp. bicolor* і *S. bicolor ssp. arundinaceum*. Всі види, що культивуються, належать до підвиду *S. bicolor ssp. bicolor*, в якому виділяють кілька рас. На сьогодні всі культурні форми сорго об'єднані у вид "сорго двокольорове" – *Sorghum bicolor* (L.) Moench і розглядаються як раси або різновиди (Wiersema & Dahlberg, 2007).

1.2. Доместикація сорго

Доместикація рослин – це трансформація видів шляхом взаємодії з людиною та середовищем, і як наслідок – зростання репродуктивного успіху цих видів та їх продуктивності. В процесі доместикації відбуваються еволюційні зміни у морфології та фізіології, завдяки чому культурні рослини набувають здатності існувати у широкому географічному діапазоні у формі популяцій збільшеної чисельності (Ohadi et al., 2017).

Доместикація зернових – це сукупність генетичних та морфологічних пристосувань, які роблять дикорослу культуру більш придатною для вирощування, включаючи такі процеси як збирання, зберігання та сівбу (Fuller, 2007; Harris & Fuller, 2014). Ключовою зміною при доместикації є втрата природного способу поширення насіння шляхом руйнування волоті, що у дикій природі сприяє його розповсюдженню. Натомість одомашнені злаки зберігають зерно у волоті чи колосі і потребують обмолоту. Інші зміни, пов'язані з доместикацією, включають втрату насінням стану спокою та збільшення його розмірів (Dillon et al., 2007; Kahlheber & Neumann, 2007; Madella et al., 2014; Mercuri et al., 2018).

Еволюція доместикації зернових культур була складним процесом, що змінює тиск добору та періодичні епізоди інтрогресії. Вивчення геному *Sorghum bicolor* (Єгипет, Нубія) виявило стійке зниження у часові генетичного різноманіття у поєднанні з накопичувальним мутаційним навантаженням. Динамічний тиск добору діяв у напрямі габітусової й харчової доместикації, а також адаптації до умов місцевого середовища. Пізніше інтрогресія між расами сорго призвела до обміну адаптивними ознаками.

Доместикація сорго є моделлю одомашнення, при якій геномні адаптації відбувалися не на початкових стадіях, а впродовж всієї історії вирощування культури (Allaby, 2017; Winchell et al., 2018). Невеликий геном *Sorghum* (~730 Мб)

робить вид привабливою моделлю для функціональної геноміки виду та інших рослин C4-типу (Paterson et al., 2009).

Питання щодо часу та місця виникнення й одомашнення сорго дискутується впродовж тривалого часу. Дикоросле сорго перероблялося в Центральному Судані ще у п'ятому тисячолітті до нашої ери. Найдавніші відомості про одомашнене сорго датуються 2000 роком до н. е.

Сорго (*Sorghum bicolor*) складало невід'ємну частину харчування більшості населення неоліту та залізного віку в Сахельському регіоні та в інших регіонах Африки на південь від Сахари (Harlan, 1992). Останні археоботанічні дані вказують, що схід Судану та регіон між озером Чад і північно-західною Ефіопією є найбільш вірогідним центром доместикації сорго (Barich, 2016; Clark & Stemler, 1975; Fuller, 2013). Культурні традиції регіону та осідлість населення призвела до більш інтенсивного вирощування сорго, оскільки місцеві ресурси виснажувалися, ініціюючи процес доместикації (Clark & Stemler, 1975; Neumann, 2003; Beldados & Constantini, 2011).

Дослідники відзначають, що початок процесу доместикації сорго у східному Судані почався принаймні у четвертому тисячолітті до нашої ери і тривав аж до початку другого тисячоліття (Winchell et al., 2017; Beldados et al., 2018). Як вважали раніше (Beldados et al., 2011), а нещодавно цей факт було підтверджено (Winchell et al., 2017), екологічні та соціальні умови, наявні у зоні родючої савани на півдні Атбаю (східний Сахель, Судан), були оптимальними для одомашнення сорго. Це відповідає свідченням щодо доместикації інших злаків, таких як близькосхідна пшениця, ячмінь та китайський рис, тобто еволюція морфологічно доместикованого сорго була тривалим процесом (Fuller, 2003; Fuller et al., 2016; Stevens & Fuller, 2017).

Дослідження, проведені у кінці ХХ ст. стверджували, що пізня доместикація виду може бути наслідком перехресного запилення сорго у природному середовищі (Rowley Conwy et al., 1997). Проте нині вважають, що, як і у випадку з іншими зерновими культурами, які пройшли доместикацію в інших регіонах планети, інтенсивне вирощування призводить до еволюції морфологічних ознак, незалежно від виду запилення (наприклад, самозапилення пшениці та ячменю або перехресне запилення рису) (Allaby, 2010; Fuller, 2007; Fuller et al., 2009; Fuller et al., 2016).

Доместикація видів сільськогосподарських культур (завдяки відносно недавньому минулому (<12 000 років тому), є зручною моделлю для вивчення еволюційних процесів та їх ключової ролі у селекції, поширенні та диверсифікації. Нещодавні дослідження, зокрема – кількісне картографування локусів ознак, ресеквенування геному, виявили гени, пов'язані з початковою доместикацією та подальшою диверсифікацією культур. Ці дослідження розкривають функції генів, які беруть участь в еволюції культур, що перебувають у процесі доместикації, типи мутацій, що відбуваються під час цього процесу, і паралельність мутацій, що мають місце в одних і тих же білках, а також селективні фактори, які діють на ці мутації й пов'язані з географічною адаптацією видів сільськогосподарських культур (Meyer et al., 2013; Smith et al., 2019).

2. Абіотичні фактори і сорго

2.1. Фотоперіод

Сорго – рослина короткого дня, з вираженою реакцією на світловий період. Існують значні генотипові відмінності у фотоперіодичних потребах, особливо при переході від вегетативної до генеративної фаз розвитку. Пізньостиглі сорти

відзначаються високою чутливістю до фотоперіоду. Експерименти з сортами сорго, проведені уздовж широтного градієнта в Малі (Abdulai et al., 2012.) виявили, що навіть невелика різниця у тривалості дня спричиняла зміни вегетативної фази розвитку до 3 тижнів.

Вирощування сорго на зерно у регіонах з помірним кліматом ініціювало отримання мутантів, нечутливих до тривалості світлового дня, які можуть швидко зацвітати у довгі дні літнього періоду. Генотипи сорго дикого типу активно ростуть влітку, накопичують значну вегетативну біомасу і переходять до генеративної фази розвитку в короткі осінні дні. Таким чином, нечутливі до фотоперіоду мутанти вирощують для виробництва зерна, в той час як генотипи дикого типу, чутливі до фотоперіоду, вирощують для виробництва кормів і біомаси.

Однак молекулярний механізм фотоперіодичної реакції і перехід до утворення квіток у сорго вивчені недостатньо. Повідомляється про три гомологи FLOWERING LOCUS T (SbFT1, SbFT8 і SbFT10), які слугують кінцевими медіаторами відповіді на фотоперіод та переходу до фази цвітіння (Murphy et al., 2011; Wolabu et al., 2016; Yang et al., 2014).

Проте початок генеративної фази – не єдина ознака, на яку впливає фотоперіод. Інші параметри розвитку, включаючи висоту рослини, товщину стебла та розмір листків, помітно відрізняються в умовах росту довгого та короткого світлового дня. В умовах короткого світлового дня вегетативний ріст значно зменшується, а перехід до фази цвітіння прискорюється (Wolabu et al., 2016).

2.2. Температура

Сорго – це теплолюбна культура, що потребує високих температур для росту та розвитку. За повідомленнями деяких авторів температурний оптимум становить 32–36 °C. Дефіцит у ґрунтовій воді та чутливість сортів до температурного стресу є головними факторами, що визначають строки сівби в посушливих регіонах (Teetor et al., 2011). Тривалий високо-температурний стрес затримує появу волоті та зменшує висоту рослин, негативно впливає на утворення насіння, його кількість та розмір, урожайність, параметри продуктивності. Короткі (10-денні) періоди високих температур під час цвітіння та за 10 днів до початку цвітіння спричиняють максимальне зниження утворення насіння та врожайності (Prasad et al., 2008). Високотемпературний стрес також може призвести до зменшення біомаси та виходу цукру. Фотосинтетична активність, світлові реакції та активність ферментів циклу Кальвіна є надзвичайно чутливими до теплового стресу (Yan et al., 2011; Yan et al., 2012). В зоні помірного клімату сівба сорго навесні стримується стресогенно низькими температурами. Сорго чутливе до холодів на всіх етапах онтогенезу. Насіння не може проростати нижче температури ґрунту 10 °C (Anda & Pinter, 1994). На формування посіву та ранній розвиток рослин негативно впливають температури повітря та ґрунту нижче 15 °C (Gill et al., 2003; Prasad, et al., 2008; Yu & Tuinstra, 2001).

Строки сівби визначають загальний вміст цукру та формування біомаси сорго: чим пізніші строки сівби, тим нижчою є врожайність вегетативної маси у посушливих умовах (Almodares & Mostafi Darany, 2006). Встановлено, що низькотемпературний стрес спричиняє значне зниження здатності рослин до фотосинтезу (Ercoli et al., 2004). Для одержання ліній сорго зі стабільною та високою холодостійкістю на початку

вегетації виявили молекулярні маркери із повторенням простих послідовностей (SSR), пов'язані з різними ознаками щодо ранньо-сезонної толерантності до холоду (Burgow et al., 2011).

Нещодавно було виявлено, що фотосинтетична активність залежить не тільки від денної температури, але і від температури у нічний період (Prasad Vasa and Djanaguiraman, 2011). Температури $\geq 36/26$ °C (денні/нічні) суттєво знижують продуктування пилку, його життєздатність, утворення насіння, урожай насіння та індекс врожаю, порівняно з температурами 32/22 °C (Prasad et al., 2006). Температури 38/21 °C значно прискорюють розвиток і зменшують висоту рослини та площу листка. Сорго, як і інші культури, чутливе до теплового стресу під час цвітіння через зменшення життєздатності пилку, що веде до зниження врожаю (Prasad et al., 2008; Prasad et al., 2015; Prasad et al., 2019). Високі температури негативно впливають на життєздатність пилку та зав'язування насіння. Встановлено, що пиляки та пилкові зерна сорго більш чутливі до дії високих температур, ніж структури маточки (Djanaguiraman et al., 2018; Nguyen et al., 2013). Високотемпературний стрес (40/30 °C денні/нічні температури) також знижує вміст хлорофілу, швидкість фотосинтезу та антиоксидантну активність ферментів, але збільшує продукцію оксидантів та веде до пошкодження мембран, порівняно з контрольними рослинами, що ростуть за оптимальних температур (32/22 °C).

2.3. Посуха

Періоди посухи можуть виникати на будь-якій стадії вегетації рослин. Посуха негативно впливає на площу листків, утворення біомаси, зерна, врожайність та на посів сорго у цілому. Здатність витримувати посуху та відновлюватися залежить від ступеня та інтенсивності посушливих періодів. Ефективність використання води та інші фізіологічні особливості сорго свідчать про те, що цей вид може успішно адаптуватися до посухи. Адаптації для уникнення посухи включають зменшення площі листової поверхні та її швидкий ріст, раннє дозрівання, ремобілізацію запасів стебла, скручування листків (завдяки наявності специфічних клітин) тощо.

Швидке відновлення рослин після посухи та подальше виживання є важливим фактором в умовах стресу. Потужна коренева система, у тому числі і поверхнева, допомагає швидко відновлюватися після стресу. Генотипи сорго з глибокою кореневою системою здатні до засвоєння навіть мінімальної кількості вологи з поверхневого шару ґрунту та повітря. З розвитком рослин здатність до відновлення після посухи зменшується.

За фенотиповими ознаками посухостійкі генотипи сорго мають, як правило, світло-зелені, прямостоячі, вузькі листки з блискучою поверхнею. Для рослин, чутливих до посухи, притаманні темно-зелені, широкі, пониклі листки з матовою поверхнею.

Дефіцит води може негативно впливати на проростання насіння та швидкість росту проростків у польових умовах, проте сорго добре пристосовується до напівзасушливих зон (Patan'è et al., 2013). У сорго є дві стратегії адаптації до дефіциту води: толерантність до зменшення водного потенціалу та уникнення водного стресу через глибоке та екстенсивне формування коренів. Посухостійкість сорго пояснюється не тільки морфологічними ознаками (щільна коренева система) (Mayaki et al., 1976), а й фізіологічними факторами (здатність регулювати продишову щільність, фотосинтез за низького потенціалу води, осмотичні адаптації) (Ludlow et al.

1990). Посухостійкі генотипи характеризуються відкладенням шару воску на поверхні листя, що підвищує відбивальну здатність листя та сприяє зниженню транспірації (Surwenshi et al., 2010). Пізньостиглі сорти можуть ефективніше переносити дефіцит води.

Посуха має стресовий вплив на фотосинтетичну активність, провідність продохів та транспірацію (Younis et al., 2000). Порівнюючи різні зразки сорго, було виявлено, що кореляції між LAI, NAR та RGR із вмістом сахарози та загального цукру були позитивними, тоді як для вмісту глюкози, фруктози, мальтози та ксилози ці зв'язки були негативними. З ростом рослин LAI, NAR та RGR збільшуються паралельно із накопиченням сахарози та зменшенням інвертованого цукру (Almodares et al., 2007).

Чутливість сорго до нестачі води залежить від стадії розвитку. Відмічається, що рослини дуже чутливі до посухи на вегетативній та ранньо-репродуктивній стадіях. У пізній репродуктивній фазі їх потреба у воді виявляється значно нижчою, але врожайність зменшується через термінальну посуху (Younis et al., 2000; Xie et al., 2010).

Проте ряд дослідників виявили (Oliveira Neto et al., 2009), що рослини були найбільш чутливими до посухи на стадії дозрівання, що, мабуть, було пов'язано з їх більш високими показниками транспірації. В умовах водного стресу відбувається накопичення розчинних вуглеводів, сахарози, глюкози та фруктози у тканинах листків під час вегетативно-репродуктивної стадії.

Як стрес-стійкі, так і чутливі до посухи рослини накопичують сахарозу і крохмаль після цвітіння у стеблах. Однак при дозріванні рослин спостерігається зниження цих параметрів. Це свідчить про те, що рослини були здатні осмотично адаптуватися за рахунок прискороженого розкладання крохмалю і утворення розчинних цукрів на вегетативній та початку репродуктивної стадії розвитку.

Добрива, що містять кремній (Si) покращують ріст сорго в умовах водного дефіциту, збільшують поглинання коренем води та зменшують осмотичний потенціал у клітинах кореня, що вказує на осмотичну регуляцію. Під тиском посухи кремнезем відкладається в епідермі кореня і запобігає руйнуванню тканин. Біохімічний аналіз показав, що після застосування Si розчинні цукри та амінокислоти (аланін та глутамінова кислота) накопичуються у тканинах кореня (Sonobe et al., 2010). У рослин також спостерігали вищу транспіраційну активність продохів та швидкість фотосинтезу (Sonobe et al., 2009).

2.4. Живлення

Добрива сприяють процесу формування біомаси сорго. Рослини добре реагують як на органічні, так і на неорганічні добрива (Akwası et al., 2017; Amuyojegbe et al., 2007; Aune et al., 2007).

Азот є важливим елементом для синтезу білку, росту листків, біомаси та врожайності. Нестача азоту може значно пригнітити ріст та продуктивність рослин сорго. Однак ефект дії азотних добрив виявився суперечливим. Збільшення надходження азоту у вигляді компостованих речовин сприяє росту та живленню рослин. Компост посилює утворення біомаси целюлози у рослинах сорго у середній фазі вегетації. Проте надмірне азотне живлення є небажаним (Barbanti et al., 2011). Підживлення азотом збільшує вміст сухої речовини у стеблах, не збільшуючи вмісту цукру в тканинах (Samarendra Barik et al., 2017; Samuel Saaka et al., 2012).

Було виявлено, що stay-green фенотипи сорго виявляють більш високу інтенсивність використання та поглинання азоту (Addy et al., 2010; Borrell & Hammer, 2000). Неорганічний азот також обумовлює накопичення сухої речовини у рослинах. Дослідження показали, що концентрація азоту від 3,0 до 5,1 % у пагонах молодих рослин (фаза утворення 8-го листка) та від 1,9 до 4,0 % у верхніх листках (фаза цвітіння та наливання зерна) є достатніми для росту зернового сорго. Оптиміальне азотне живлення підвищує інтенсивність фотосинтезу, позитивно впливає на транспіраційну активність (Cechin, 2004; Cosentino, et al., 2012).

Після надходження азоту в рослину через кореневу систему, важливим етапом є його розподіл в рослині та мобілізація у насінні. В процесі формування насіння можливі два джерела надходження азоту: як результат мінерального живлення за рахунок транспіраційного потоку (від кореневої системи до волоті) та використання попередньо накопиченого азоту у стеблах та листках як продуктів фотосинтезу. За відсутності оптимального азотного живлення наливання насіння відбувається при значному зменшенні загального азоту як у листках, так і у коренях (Gebrelibanos Gebremariam & Dereje Assefa, 2015).

Азотний стрес має значний вплив на компоненти врожайності (кількість насіння) та концентрацію у ньому азоту. Продемонстровано, що рослини, які зазнали дефіциту азоту між сівбою та початком утворення квітки, формували невелику волоть із меншою кількістю пагонів, ніж контрольні рослини. Нестача азоту призвела до відмирання від 16 до 30 % утворених квіток (Zhao et al., 2005).

Щодо інших елементів живлення, підвищення рівню калію суттєво покращує показники врожайності та його якості. Зі збільшенням надходження калію зростає ефект від застошування цинку (Curtis et al., 2015). Фосфорне живлення сорго залежить від концентрації P-форм, доступних для рослини у ґрунті. Надходження фосфору впливає на фотосинтетичні показники, синтез крохмалю та транспорт цукрів через мембрану хлоропласту, а отже на ріст та врожайність рослин. Дефіцит фосфору веде до зниження біомаси рослин сорго, знижує швидкість фотосинтезу, ефективність карбоксилювання, вироблення АТФ та швидкість регенерації рибульози-1,5-біфосфату (Abida et al., 2007; Khorasgani et al., 2009; Ramadan, 2003; Ripley et al., 2004).

Фотосинтетична активність рослин визначається не тільки наявністю макроелементів, але й мікроелементами, такими як Mg, Mn, Fe. Критичні рівні Mn необхідні для розщеплення води в рослинах C3 та C4-типів (Issa Piri, 2012; Choudhary et al., 2015). Сорго чутливе до дефіциту заліза. При дефіциті Fe фотосинтетичний апарат сорго серйозно пошкоджується (Mikami et al., 2011). Бор також відіграє важливу роль у життєвих процесах рослини, включаючи активність меристеми, метаболізм цукрів, вуглеводнів та їх транспорт, утворення та перенесення РНК та цитокініну, формування пилку та утворення насіння (Dakshinamurthy & Rao, 2008).

Висновки. З глобальним потеплінням спостерігається тенденція передислокації посівів сорго у напрямку півночі. Унікальні особливості культури, здатність до морфолого-фізіологічних адаптацій, висока стійкість до стресогенних факторів сприяють цьому процесу. Сорго як високоенергетична культура, що використовує менше ресурсів для отримання енергії та живлення, а також є ідеальною для посушливих або маргінальних умов, може бути альтернативою

ярим зерновим.

Врожайний потенціал сорго зернового не реалізований, проте з залученням сучасних сортів та гібридів та удосконаленими агротехнологіями існують реальні можливості для досягнення високого рівня продуктивності. Перспективи

подальших досліджень ґрунтуються на розробці наукових принципів забезпечення високої продуктивності зернового сорго, з метою стабілізації економічної та екологічної ситуації в агроценозах північно-східного Лісостепу України.

Бібліографічні посилання:

1. Bilozor, L. V. (2005). Osoblyvosti formuvannia rynku innovatsiinoi produktsii v ahramnii sferi [Features of formation of the market of innovative production in agrarian spheres]. *Ekonomika APK*, 2, 106–111 (in Ukrainian). doi: 10.31548/dopovidi2019.02.011
2. Shrestha, A., Cox, R., Wu, Y., Robles, O., Larocca de Souza, L., Wright, S. & Dahlberg, J. (2016). Moisture and Salt Tolerance of a Forage and Grain Sorghum Hybrid during Germination and Establishment. *Journal of Crop Improvement*, 30(6), 668–683. doi: 10.1080/15427528.2016.1219895
3. Tari, I., Laskay, G., Takacs, Z., & Poor, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *J. Agron. Crop. Sci.*, 199, 264–274. doi: 10.1111/jac.12017
4. Rakhmetov, D. B., Korablova, O. A., Stadnichuk, N. O., Andrushchenko, O. L., Kovtun-Vodyanytska, S. M., Revunova, L. G., & Bondarchuk, O. P. (2015). Kataloh roslyn viddilu novykh kultur [Catalogue of plants of New Culture Department]. Kyiv, Fitiotsiotsentr. (in Ukrainian). doi: 10.21498/2518-1017.16.3.2020.214927
5. Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2000). Sorghum food and industrial utilization. In: C. W. Smith, and R. A. Frederiksen (eds), *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*, 689–729. John Wiley & Sons Inc., New York. doi: 10.1080/17429140701722770
6. Berenji, J. & Dahlberg, J. (2004). Perspectives of Sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 190. 332–338. doi: 10.1111/j.1439-037X.2004.00102.x
7. Henley, E. C & Dahlberg, J. (2012). Sorghum: An Ancient Grain with Present-Day Benefits. *Food technology*, 66, 19–19.
8. Muraya, M. M. (2014). Sorghum genetic diversity. *Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum*; Wang, Y.-H., Upadhyaya, H. D., Kole, C., Eds.; CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 114–140.
9. Paterson, A. H. (2008). Genomics of sorghum. *Int. J. Plant Genomics*, 2008, article ID 362451. doi:10.1155/2008/36245
10. Awika, J. M. & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199–1221. doi: 10.1016/j.phytochem.2004.04.001
11. Ciacci, C., Maiuri, L., Caporaso, N., Bucci, C., Giudice, L. D., Massardo, D. R., Pontieri, P., Fonzo, N. D., Bean, S. R., Ioerger, B. & Londei, M. (2007). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199–1221.
12. Henley, E. C., Taylor, J. R. N. & Obukosia, S. (2010). The importance of dietary protein in human health: Combating protein deficiency in Sub-Saharan Africa through transgenic biofortified sorghum. *Adv in Food and Nutr Res.*, 60, 21–52.
13. Cherenkov, A. V., Shevchenko, M. S., Dziubetskyi, B. V., Cherchel, V. Yu., Bodenko, N. A., Yalanskyi, O. V. & Benda, R. V. (2011). Sorhovi kultury: tekhnolohiia, vykorystannia, hibrydy ta sorty [Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties]. Dnipropetrovsk, Royal Print (in Ukrainian).
14. Makarov, L. Kh. (2006) Sorhovi kultury [Sorghum crops]. Kherson, Ailant, 264. (in Ukrainian). doi: 10.47414/na.7.2019.204818
15. Fedorchuk, M. I., Kokovikhin, S. V. & Kalenska, S. M. (2017). Naukovo-teoretychni zasady ta praktychni aspekty formuvannia ekolooho-bezpechnykh tekhnolohii vyroshchuvannia ta pererobky sorho v stepovii zoni Ukrainy [Scientific and theoretical principles and practical aspects of the formation of environmentally friendly technologies for growing and processing sorghum in the steppe zone of Ukraine]. Kherson, 208 (in Ukrainian).
16. Ortiz, D., Hu, J., & Salas Fernandez, M. G. (2017). Genetic architecture of photosynthesis in Sorghum bicolor under non-stress and cold stress conditions. *J. Exp. Bot.*, 68, 4545–4557. doi: 10.1186/s12870-015-0477-6
17. Dzhulai, N. P. (2012). Popovnennia rynku sortiv roslyn Ukrainy: sorho zvychaine (dvokolorove) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). [Replenishment of the market of plant varieties of Ukraine: Sorghum bicolor (L.) Moench.] *Plant Var. Stud. Prot.*, 3, 45–51 (in Ukrainian). doi: 10.21498/2518-1017.3(17).2012.58830
18. Adamenko, T. (2003). Pohoda i posivy. [Weather and crops]. *Ahronom*, 11, 6 (in Ukrainian).
19. Semenova, I. H. (2015). Prostorovo-chasovyi rozpodil posukh v Ukraini v umovakh maibutnoi zminy klimatu. [Spatio-temporal distribution of droughts in Ukraine in the conditions of future climate change]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia*, 1, 144–150 (in Ukrainian).
20. Tesfaye, K. (2017). Genetic diversity study of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes, Ethiopia. *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*, 9(1), 44–54. doi: 10.1515/ausae-2017-0004
21. Aniskina, Yu. V., Malinovskaya, E. V., Miczurova, V. S., Velishaeva, N. S., Kolobova, O. S. & Shilov, I. A. (2019). Issledovanie geneticheskogo raznoobraziya sorogo s ispol'zovaniem tekhnologii mul'tipleksnogo mikrosatelitnogo analiza. *Biotekhnologiya i selektsiya rastenij* [The study of the sorghum genetic diversity using the multiplex microsatellite analysis]. *Plant Biotechnology and Breeding*, 2(3), 20–29 (in Russian). doi: 10.30901/2658-6266-2019-3
22. Snowden, J. D. (1936). Cultivated races of sorghum. London, Adlard and Sons.
23. Stapf, O. (1934). Gramineae, sorghum. D. Praln (ed.). *Flora of Tropical Africa*, 9. London, 104–154.
24. Garber, E. D. (1950). Cytotaxonomic studies in the genus Sorghum. Berkeley: University of California Press. University of

California publications in botany, 23(6), 361.

25. De Wet, J.M.J. & Huckabay, J. P. (1967) The origin of *Sorghum bicolor*. II. Distribution and domestication. *Evolution*, 21(4), 787–802. doi: 10.1111/j.1558-5646.1967.tb03434

26. Harlan, J. R., & De Wet, J. M. J. (1972). A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science*, 12(2), 172–176. doi: 10.2135/cropsci1972.0011183x001200020005x

27. Wiersema, J. H. & Dahlberg, J. (2007). The nomenclature of *Sorghum bicolor* (L.) Moench (*Gramineae*). *Taxon*, 56(3), 941–946. doi: 10.2307/25065876

28. Ohadi, S., Hodnett, G., Rooney, W. & Bagavathiannan, M. (2017). Gene flow and its consequences in *Sorghum* spp. *Crit. Rev. Plant Sci.* 36, 367–385. doi: 10.1080/07352689.2018.1446813

29. Fuller, D. Q. (2007). Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: Recent archaeobotanical insights from the Old World. *Annals of Botany*, 100, 903–924. doi: 10.1093/aob/mcm048

30. Harris, D. R., & Fuller, D. Q. (2014). Agriculture: Definition and overview. In C. Smith (Ed.), *Encyclopedia of global archaeology*, New York. Springer, 104–113.

31. Dillon, S. L., Shapter, F. M., Henry, R. J., Cordeiro, G., Izquierdo, L. & Lee, L. S. (2007). Domestication to crop improvement: genetic resources for sorghum and saccharum (*Andropogoneae*). *Ann Bot.*, 100(5), 975–989. doi: 10.1093/aob/mcm192

32. Kahlheber, S. & Neumann, K. (2007). The development of plant cultivation in semiarid West Africa. In T. Denham, J. Iriarte, & L. Vrydaghs (Eds.), *Rethinking agriculture: Archaeological and ethnoarchaeological perspectives*. Walnut Creek, Left Coast Press, 320–345.

33. Madella, M., García-Granero, J., Out, W., Ryan, P., & Usai, D. (2014). Microbotanical evidence of domestic cereals in Africa 7000 years ago. *PLoS One*, 9(10). doi: 10.1371/journal.pone.0110177

34. Mercuri, A. M., Fornaciari, R., Gallinaro, M., Vanin, S., & Di Lernia, S. (2018). Plant behaviour from human imprints and the cultivation of wild cereals in Holocene Sahara. *Nature Plants*, 4(2), 71–81. doi: 10.1038/s41477-017-0098-1

35. Allaby, R., G., Lucas, S.C., Leilani, M. O. & Fuller, D. Q. (2017). Geographic mosaics and changing rates of cereal domestication. *Phil. Trans. R. Soc. B*37220160429. doi: 10.1098/rstb.2016.0429

36. Winchell, F., Stevens, C., Murphy, C., Champion, L. & Fuller, D. Q. (2017). Evidence for sorghum domestication in Fourth Millennium BC eastern Sudan: Spikelet morphology from ceramic impressions of the Butana Group. *Current Anthropology*, 58(5). doi: 10.1086/693898.

37. Paterson, A., Bowers, J., Bruggmann, R., & Rokhsar, D. S. (2009). The *Sorghum bicolor* genome and the diversification of grasses. *Nature*, 457, 551–556. doi: 10.1038/nature07723

38. Harlan, R. J., de Wett, J. M. J., & Price, E. (1973). Comparative evolution of cereals. *Evolution*, 27(2), 311–325. doi: 10.1111/j.1558-5646.1973.tb00676.x

39. Barich, B. (2016). The introduction of Neolithic resources to North Africa: A discussion in light of the Holocene research between Egypt and Libya. *Quaternary International*, 410, 198–216. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.138

40. Clark, J., & Stemler, A. (1975). Early domestication of sorghum from Central Sudan. *Nature*, 254, 588–591. doi: 10.1038/254588a0

41. Fuller, D. Q. (2013). Earliest sorghum in Sudan [blog post]. February 2013. [Electronic resource]. Access mode: <http://archaeobotanist.blogspot.co.uk>

42. Neumann, K. (2003). The late emergence of agriculture in subSaharan Africa: Archaeobotanical evidence and ecological considerations. In K. Neumann, A. Butler, & S. Kahlheber (Eds.), *Fuel, foods and fields: Progress in African archaeobotany*. *Africa Praehistorica*, 15, Köln: Heinrich-Barth Institute, 71–92.

43. Beldados, A., & Constantini, L. (2011). Sorghum exploitation at Kassala and its environs, north eastern Sudan in the second and first millennium B.C. *Nyame Akuma*, 75, 33–39.

44. Beldados, A., Manzo, A., Murphy, C., Stevens, C. J., & Fuller, D. Q. (2018). Evidence of sorghum cultivation and possible pearl millet in the second millennium BCE at Kassala, Eastern Sudan. In A. M. Mercuri, A. Hohn, & A. C. D'Andrea (Eds.). *Plants and people, Progress in African archaeobotany*. New York, Springer.

45. Fuller, D. Q. (2003). African crops in prehistoric South Asia: A critical review. In K. Neumann, A. Butler, & S. Kahlheber (Eds.), *Food, fuel, and fields: Progress in African archaeobotany*. Cologne, Heinrich-Barth Institute, 239–271.

46. Fuller, D. Q., Stevens, C., Lucas, L., Murphy, C., & Qin, L. (2016). Entanglements and entrapment on the pathway toward domestication. In L. Der & F. Fernadini (Eds.), *Archaeology of entanglement* Walnut Creek: Left Coast Press, 151–172.

47. Stevens, C., & Fuller, D. Q. (2017). The spread of agriculture in Eastern Asia: Archaeological bases for hypothetical farmer/language dispersals. *Language Dynamics and Change*, 7. doi: 10.1163/22105832-00702001

48. Rowley-Conwy, P. A., Deakin, W. J., & Shaw, C. H. (1997). Ancient DNA from archaeological sorghum (*Sorghum bicolor*) from Qasr Ibrim, Nubia: implications for domestication and evolution and a review of archaeological evidence. *Sahara*, 9, 23–36.

49. Allaby, R. (2010). Integrating the processes in the evolutionary system of domestication. *Journal of Experimental Botany*, 61, 935–944. doi: 10.1093/jxb/erp382

50. Fuller, D. Q., Qin, L., Zheng, Y., Zhao, Z., Chen, X., Hosoya, L., & Sun, G. (2009). The domestication process and domestication rate in rice: Spikelet bases from the Lower Yangtze. *Science*, 323, 1607–1610. doi: 10.1126/science.1166605

51. Meyer, R. & Purugganan, M. (2013). Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. *Nat Rev Genet*, 14, 840–852. doi: 10.1038/nrg3605

52. Smith, O., Nicholson, W.V. & Kistler, L. (2019). A domestication history of dynamic adaptation and genomic deterioration in Sorghum. *Nat. Plants*, 5, 369–379. doi: 10.1038/s41477-019-0397-9

53. Abdulai, A. L., M. Kouressy, M. Vaksmann, F. Asch, M. Giese & Holger, B. (2012). Latitude and date of sowing influences phenology of photoperiod-sensitive sorghums. *J. Agric. Crop Sci.*, 198, 340–348. doi: 10.1111/j.1439-037X.2012.00523.x
54. Wolabu, T. W. & Million, T. (2016). Photoperiod response and floral transition in sorghum. *Plant Signaling & Behavior*, 11, 12. doi: 10.1080/15592324.2016.1261232
55. Yang, S., Murphy, R., Morishige, D., Klein, P. & Rooney, W. (2014). Sorghum phytochrome B inhibits flowering in long days by activating expression of SbPRR37 and SbGHD7, repressors of SbEHD1, SbCN8 and SbCN12. *PLoS ONE*, 9:e105352. doi: 10.1371/journal.pone.0105352
56. Murphy, R., Klein, R. R., Morishige, D. T., Brady, J. A., Rooney, W. L., Miller, F. R., Dugas, D.V., Klein, P. E. & Mullet, J. E. (2011). Coincident light and clock regulation of pseudoresponse regulator protein 37 (PRR37) controls photoperiodic flowering in sorghum. *Proc Natl Acad Sci USA*, 108, 16469–16474. doi: 10.1073/pnas.1106212108
57. Wolabu, T. W., Zhang, F., Niu, L., Kalve, S., Bhatnagar-Mathur, P., Muszynski, M.G. & Tadege, M. (2016). Three FLOWERING LOCUS T-like genes function as potential florigens and mediate photoperiod response in sorghum. *New Phytol*, 210, 946–959. doi: 10.1111/nph.13834
58. Teetor, V. H., Duclos, D. V., Wittenberg, E. T., Young, K. M., Chawhuaymak, J., Riley, M. R. & Ray, D. T. (2011). Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Ind. Crops Prod.*, 34, 1293–1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010
59. Anda, A. & Pinter, L. (1994). Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content. *Agronomy Journal - AGRON J.*, 86. doi: 10.2134/agronj1994.00021962008600040008x
60. Yu, J. & Tuinstra, M. (2001). Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum seedlings. *Crop Sci.*, 41, 1438–1443. doi: 10.2135/cropsci2001.4151438x
61. Prasad, P. V. Vara, Pisipati, S., Mutava, R., & Tuinstra, M. (2008). Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. *Crop Science*, 48, 1911–1917. doi: 10.2135/cropsci2008.01.0036
62. Prasad, P. V. V., Boote, K. & Allen, L. (2006). Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 237–251. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.07.003
63. Nguyen, C., Singh, V., Oosterom, E., Chapman, S., Jordan, D., & Hammer, G. (2013). Genetic variability in high temperature effects on seed-set in sorghum. *Functional Plant Biology*, 40, 439. doi: 10.1071/FP12264
64. Djanaguiraman, M., Perumal, R., Jagadish, S.V.K., Ciampitti, I. A., Welti, R., & Prasad, P. V. V. (2018). Sensitivity of sorghum pollen and pistil to high-temperature stress. *Plant Cell Environ.*, 41(5), 1065–1082. doi: 10.1111/pce.13089
65. Prasad, P. V. Vara, Maduraimuthu, D., Jagadish, K., & Ciampitti, I. (2019). Drought and high temperature stress and traits associated with tolerance. doi: 10.2134/agronmonogr58.c11
66. Prasad, P. V. Vara, Maduraimuthu, D., Perumal, R., & Ciampitti, I. (2015). Impact of high temperature stress on floret fertility and individual grain weight of grain sorghum: Sensitive stages and thresholds for temperature and duration. *Frontiers in Plant Science*, 6, 820. doi: 10.3389/fpls.2015.00820
67. Gill, P. K., Sharma, A. D., Singh, P., & Bhullar, S. S. (2003). Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regul.*, 40, 157–162. doi: 10.1023/a:102425222376
68. Almodares, A. & Mostafi Darany, S. M. (2006). Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum. *J. Environ. Biol.*, 27, 601–605.
69. Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A. & Arduini, I. (2004). Growth responses of sorghum plants to chilling temperature and duration of exposure. *Eur. J. Agron.*, 2, 93–103. doi: 10.1016/s1161-0301(03)00093-5
70. Burrow, G., Burke, J. J., Xin, Z. & Franks, C. D. (2011). Genetic dissection of early-season cold tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Mol. Breeding*, 28, 391–402. doi: 10.1007/s11032-010-9491-4
71. Yan, K., Chen, P., Shao, H., Zhang, L. & Xu, G. (2011). Effects of short-term high temperature on photosynthesis and photosystem II performance in sorghum. *J. Agron. Crop Sci.*, 197, 400–408. doi: 10.1111/j.1439-037X.2011.00469.x
72. Yan, K., Chen, P., Shao, H., Zhao, S., Zhang, L., Xu, G. & Yun, S. (2012). Responses of photosynthesis and photosystem II to higher temperature and salt stress in sorghum. *J. Agron. Crop Sci.*, 198, 218–226. doi: 10.1111/j.1439-037X.2011.00498.x
73. Pavli, O. I., Ghikas, D. V., Katsiotis, A. & Skaracis, G. N. (2011). Differential expression of heat shock protein genes in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes under heat stress. *Austr. J. Crop Sci.*, 5, 511–515. doi: 10.1007/s13562-012-0156-8
74. Patan'e, C., Saita, A. & Sortino, O. (2013). Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(1), 30–37. doi: 10.1111/j.1439-037X.2012.00531.x
75. Mayaki, W. C., Stone, L. R. & Teare, I. D. (1976). Irrigated and non-irrigated soybean, corn and grain sorghum roots systems. *Agron. J.*, 68, 532–534.
76. Ludlow, M. M., Santamaria, J. M. & Fukai, S. (1990). Contribution of osmotic adjustment to grain yield of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. II. Post-anthesis water stress. *Aust. J. Agric. Res.*, 41, 67–78. doi: 10.1071/ar9900067
77. Surwenshi, A., Chimmad, V. P., Jalageri, B. R., Kumar, V., Ganapathi, M. & Nakul, H. T. (2010). Characterization of sorghum genotypes for physiological parameters and yield under receding soil moisture conditions. *Res. J. Agric. Sci.*, 1, 242–244.
78. Younis, M. E., El-Shahaby, O. A., Abo-Hamed, S. A. & Ibrahim, A. H. (2000). Effects of water stress on growth, pigments and ¹⁴CO₂ assimilation in three sorghum cultivars. *J. Agron. Crop Sci.*, 185, 73–82. doi: 10.1046/j.1439-037x.2000.00400.x
79. Almodares, A., Taheri, R. & Adeli, S. (2007). Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of

sweet sorghum cultivars and lines. J. Environ. Biol., 28, 527–531.

80. Xie, T., Su, P. & Shan, L. (2010). Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. Pak. J. Bot., 42, 3981–3994.

81. Neto, Oliveira C.F., Lobato, A., Gonçalves-Vidigal, C., Costa, R.C.L., Filho, B., Alves, G.A.R., Maia, W.J.D.M.E.S., Cruz, F., Neves, H. K. B., & Lopes, M. J. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. J. Food Agric. Environ., 7, 588–593.

82. Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K. & Inanaga, S. (2010). Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. J. Plant Nutr., 34, 71–82. doi: 10.1080/01904167.2011.531360

83. Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, E., Tanaka, K. & Inanaga, S. (2009). Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in sorghum grown with or without silicon under water stress. J. Plant Nutr., 32, 433–442. doi: 10.1080/01904160802660743

84. Akwasi A. Abunyewa, Ferguson, R. B., Wortmann, C. S. & Mason, S. C. (2017). Grain sorghum nitrogen use as affected by planting practice and nitrogen rate J. Soil Sci. Plant Nutr., 17(1). doi: 10.4067/S0718-95162017005000012

85. Amuyojegbe, B. J., Opabode, J. T. & Olayinka, A. (2007). Effect of organic and inorganic fertilizer on yield and chlorophyll content of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Afr. J. Biotechnol., 6, 1869–1873. doi: 10.5897/ajb2007.000-2278

86. Aune, J.B., Doumbia, M. & Berthe, A. (2007). Microfertilizing Sorghum and Pearl Millet in Mali: Agronomic, Economic and Social Feasibility. Outlook on Agriculture., 36(3), 199–203. doi: 10.5367/000000007781891504

87. Barbanti, L., Grigatti, M. & Ciavatta, C. (2011). Nitrogen release from a (15) N-labeled compost in a sorghum growth experiment. J. Plant Nutr. Soil Sci., 174, 240–248. doi: 10.1002/jpln.200900364

88. Barik, S., Roy, P. & Satakshi Basu. (2017). Effect of fertilizer nitrogen & potassium on difference cultivars of sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in North-24-Parganas, West Bengal. International Journal of Applied Agricultural Research., 12(2), 199–210.

89. Samuel Saaka Jeduah Buah, Kombiok, James M. & Luke, N. Abatania (2012). Grain sorghum response to NPK fertilizer in the Guinea Savanna of Ghana, Journal of Crop Improvement, 26(1), 101–115. doi: 10.1080/15427528.2011.616625

90. Addy, S., Niedziela, C. E. Jr & Reddy, M. P. (2010). Effect of nitrogen fertilization on stay-green and senescent sorghum hybrids in sand culture. J. Plant Nutr., 33, 185–199. doi: 10.1080/01904160903434253

91. Borrell, A. K., & Hammer, G. L. (2000). Nitrogen dynamics and physiological basis of stay-green in sorghum. Crop Sci., 40, 1295–1307. doi: 10.2135/cropsci2000.4051295x

92. Cechin, I. (2004). Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in two hybrids of sorghum under different nitrogen and water regimes. Photosynthetica, 35, 233–240. doi: 10.1023/a:1006910823378

93. Cosentino, S. L., Mantineo, M. & Testa, G. (2012). Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* Moench (L) cv. Keller under semi-arid conditions. Industrial Crops and Products, 36, 329–342. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.10.028

94. Gebrelibanos, Gebremariam & Dereje, Assefa (2015). Nitrogen fertilization effect on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield, yield components and witchweed (*Striga hermonthica* (Del.) Benth) infestation in Northern Ethiopia. International Journal of Agricultural Research, 10, 14–23. doi: 10.3923/ijar.2015.14.23

95. Zhao, D., Reddy, K. R., Kakani, V. G. & Reddy, V. R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis and hyperspectral reflectance properties of sorghum. Eur J Agron., 22, 391–403. doi: 10.1016/j.eja.2004.06.005

96. Curtis A., Erickson, J. & Singh, M. (2015). Investigation and synthesis of sweet sorghum crop responses to nitrogen and potassium fertilization. Field Crops Research, 178, 1–7. doi: 10.1016/j.fcr.2015.03.014

97. Abida, A., Mussarrat, F., Safdar, A., Ghulam, J. & Rehana, A. (2007). Growth, yield and nutrients uptake of sorghum in response to integrated phosphorus and potassium management Pak. J. Bot., 39(4), 1083–1087.

98. Khorasgani, M. N., Shariatmadari, H. & Atarodi, B. (2009). Interrelation of inorganic phosphorus fractions and sorghum available phosphorus in calcareous soils of Southern Khora-san. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 40, 2460–2473. doi: 10.1080/00103620903111343

99. Ramadan, B. S. H. (2003). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on growth, yield and quality of sweet sorghum Proc. 10 Conf. Agron. Suez Canal Univ. Fac. Environ. Agric. Sci. EL-Arish, Egypt.

100. Issa, P. (2012). Effect of fertilizer and micronutrient foliar application on sorghum yield. Annals of Biological Research, 3, 3998–4001.

101. Ripley, B. S., Redfern, S. P. & Dames, J. (2004). Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient *Sorghum* by means of chlorophyll-a fluorescence. S. Afr. J. Sci., 100, 615–618.

102. Choudhary, S. K., Mathur, A. K. & Singh, P. (2015). Effect of micronutrient fertilization and methods of application on yield and quality of sorghum (*Sorghum bicolor*) in subhumid southern plains zone. Research on Crops., 16(1), 59–63. doi: 10.5958/2348-7542.2015.00008.x

103. Mikami, Y., Saito, A., Miwa, E. & Higuchi, K. (2011). Allocation of Fe and ferric chelate reductase activities in mesophyll cells of barley and sorghum under Fe-deficient conditions. Plant Physiol. Biochem., 49, 513–519. doi: 10.1016/j.plaphy.2011.01.009

104. Dakshinamurthy, K. M. & Rao, U. (2008). Effect of organically bound micronutrients on growth and yield of rice. Journal of Ecofriendly Agriculture, 3, 86–87.

Zhatova H.O., PhD (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Kovalenko M.O., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SORGHUM CROP

Nowadays global trends in climate change have drawn attention of the scientific community to crops with wide range of plasticity to abiotic environmental factors. Sorghum crop is a species with properties like these. Moreover it is a crop with great potential of yield and versatility of use. Grain sorghum belongs to the plants with ability to form the high level of productivity under various growing conditions, providing moisture, soil, and temperature regimes. Sorghum is the undisputed leader among field crops in its ability to withstand to prolonged droughts, high air and soil temperatures.

Aridization as the result of climate change causes in expanding the potential region for grain sorghum growing. In recent years, due to global climate change towards warming, there is an increase in the likelihood of droughts not only in the Steppe zone, but in the Forest-Steppe of Ukraine as well. This causes the inclusion of drought- and heat-resistant species in the crop range. The main argument for more intensive involvement of grain sorghum in the region agroecosystems - its high ecological plasticity, which can be a full-fledged alternative to other spring grains (such as barley, corn, sunflower, millet) in unfavorable terms of hydrothermal coefficient of the growing season. The basic technology elements of grain sorghum cultivation for ensuring high and stable yields in the southern regions of Ukraine have been studied in many researchers. However, the technological elements of grain sorghum cultivation in the North-Eastern region of Ukraine require detailed research to guarantee the high level of yields. The breeders established new modern varieties and hybrids of this crop, their reaction to the factors of the yield formation (sowing time and plant density, nutrients, etc.) were studied fragmentarily. The relevance of these problems, the insufficient level of their scientific substantiation, determined the scientific feasibility, practical significance of the study of the peculiarities of growing grain sorghum in the conditions of the North-Eastern region of Ukraine. Prospects for further research are based on the development of scientific principles for ensuring high productivity of grain sorghum with high quality indicators in the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: sorghum, abiotic factors, stress resistance, domestication, adaptation

Дата надходження до редакції: 25.10.2019 р.