



original article | UDC 551.58:633.174 | doi: 10.31210/visnyk2020.04.07

AGRO-ECOLOGICAL CONDITIONS OF SORGHUM PRODUCTIVITY FORMATION IN SOUTHERN REGIONS OF UKRAINE UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS


A. M. Polevoy

ORCID  [0000-0001-8395-0068](https://orcid.org/0000-0001-8395-0068)


L. E. Bozhko

ORCID  [0000-0002-8712-2099](https://orcid.org/0000-0002-8712-2099)

O. V. Volvach

ORCID  [0000-0002-6650-758X](https://orcid.org/0000-0002-6650-758X)

E. A. Barsukova*

ORCID  [0000-0002-9054-142X](https://orcid.org/0000-0002-9054-142X)

Odesa State Environmental University, 15, Lvivska Str., 65016 Odesa, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: lena5933@ukr.net

How to Cite

Polevoy, A. M., Bozhko, L. E., Volvach, O. V., & Barsukova, E. A. (2020). Agro-ecological conditions of sorghum productivity formation in southern regions of Ukraine under climate change conditions. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (4), 61–68. doi: 10.31210/visnyk2020.04.07

In the previous decade, sorghum has gained an important place among cereals. A great popularity of sorghum is caused by its hardiness to cultivation places, high vital characteristics, not requiring much care and giving high yields. Expanding sorghum areas of spreading requires a thorough justification of the environmental effect on the crop productivity. The study is based on the materials of long-term observations of sorghum yield and meteorological factors. The peculiarities of sorghum crop formation under different agro-meteorological conditions during the growing season according to observations from 1986 to 2015, as well as the dynamics of forming the yields of different agro-ecological categories for the future for the period from 2021 to 2050 have been considered. Expected meteorological indicators for the future were calculated using RCP2.6, RCP6.0, RCP4.5 and RCP8.5 climate change scenarios. As a research apparatus, the model for assessing agro-climatic conditions, developed by A. M. Polevoy, was used. Based on the calculations of average long-term agro-climatic indicators of forming agro-ecological categories of sorghum yield and calculations of climate change scenarios for the period from 2021 to 2050, it can be noted that according to scenario periods as compared with the actual ones during many-year period, significant changes in temperature and moisture supply of sorghum in growing period will be expected in case of implementing any of scenarios. It has been established that the deviations of temperature indicators will be insignificant, but these indicators have been determined for a long period, which contains the last years of the previous century and the beginning of this century, when temperature rise has already occurred. Therefore, further changes in temperature and moistening will not contribute to the creation of favorable conditions for sorghum cultivation. Better conditions for plant development and sorghum yield formation are expected in case of RCP2.6 and RCP6.0 scenarios. These conditions are almost the same in both scenarios, which will favor the increase in the expected sorghum grain yield. Under the implementation of RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, unfavorable agro-environmental conditions are expected for sorghum cultivation as a result of increased drought, which will lead to a decrease in yield as compared with many-year average yield by 3–4 hundredweight/ha. The most unfavorable conditions for the formation of sorghum productivity are expected in case of RCP8.5 scenario, under which grain yield will not exceed 88 % of many-year average one. It will be promising to grow sorghum to obtain green mass, which can be used both as animal feed and as a raw material for biofuel production.

Key words: sorghum, meteorological indicators, agro-ecological categories of yields, climate change.

АГРОЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО В ПІВДЕННИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

А. М. Польовий, Л. Ю. Божко, О. В. Вольвач, О. А. Барсукова
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна

Культура сорго в останнє десятиріччя отримала важливе місце серед зернових культур. Велика популярність сорго зумовлена невибагливістю культури до місць вирощування, високими життєдіяльними показниками, невимогливістю до догляду і високою врожайністю. Для розширення ареалу розповсюдження сорго необхідне досконале обґрунтування впливу навколишнього середовища на продуктивність культури. В основі дослідження використані матеріали багаторічних спостережень за врожайністю сорго та метеорологічними факторами. Розглянуті особливості формування врожаїв сорго за різних агрометеорологічних умов упродовж вегетаційного періоду за даними спостережень за 1986 по 2015 рр., а також динаміка формування урожаїв різних агроекологічних категорій на майбутнє за період з 2021 по 2050 рр. Очікувані метеорологічні показники на майбутнє розраховувалися з використанням сценаріїв зміни клімату RCP2.6, RCP6.0, RCP4,5 та RCP8.5. Як апарат досліджень використовувалась модель оцінки агрокліматичних умов, розроблена А. М. Польовим. На підставі виконаних розрахунків середніх багаторічних агрокліматичних показників формування агроекологічних категорій врожайності сорго та розрахунків за сценаріями змін клімату на період 2021–2050 рр. можна відзначити, що за сценарні періоди порівняно з фактичним за багаторічний період очікуватимуться відчутні зміни в температурному режимі та вологозабезпеченості сорго упродовж вегетаційного періоду в разі реалізації будь-якого зі сценаріїв. Встановлено, що відхилення термічних показників будуть незначними, але ці показники визначені за багаторічний період, який включає останні роки минулого століття і початок поточного, коли зростання температури вже відбулося. Тому подальші зміни температурного режиму і режиму зволоження не сприятимуть створенню сприятливих умов для розвитку сорго. Кращі умови для розвитку рослин і формування врожаю сорго очікуються в разі реалізації сценаріїв RCP2.6 та RCP6.0. Ці умови майже однакові за обома сценаріями, що сприятиме збільшенню очікуваного врожаю зерна сорго. За умови реалізації сценаріїв RCP4,5 та RCP8.5 очікуються несприятливі агроекологічні умови для розвитку сорго через підвищення посушливості, яка призведе до зменшення врожаю порівняно із середнім багаторічним на 3–4 ц/га. Найбільш несприятливі умови для формування продуктивності сорго очікуються в разі реалізації сценарію RCP8.5, врожай зерна не перевищить 88 % від середнього багаторічного. Перспективним буде вирощування сорго для отримання зеленої маси, яка може використовуватись і як корм для тваринництва, і як сировина для виготовлення біопалива.

Ключові слова: сорго, метеорологічні показники, агроекологічні категорії врожаїв, зміна клімату.

Вступ

У зерні сорго вміщується 70 % крохмалю, 12 % білка та 3,5 % жиру. В деяких країнах Азії і Африки сорго – головна хлібна культура. Велика популярність його зумовлена невибагливістю культури до місць вирощування, високими життєдіяльними показниками, невимогливістю до догляду і високою врожайністю. Основна перевага сорго полягає у високій екологічній пластичності і здатності в посушливих умовах бути альтернативою іншим зерновим ярим культурам [1]. Доцільність вирощування сорго в посушливих і напівпосушливих районах зумовлюється його високою продуктивністю та універсальністю використання. За харчовими властивостями зерно сорго і зелена маса не поступаються кукурудзі. Середня урожайність зерна сорго коливається на рівні 4,7–5,6 т/га [2]. В Україні традиційно сорго вирощують у степових областях, у яких найкращі умови для вирощування культури, а в Лісостепу України – в Київській та Черкаській областях [3].

Останнім часом все більшої актуальності набуває питання вирощування енергетичних культур як альтернативи традиційним викопним джерелам палива [4–6]. Вітчизняні та зарубіжні дослідження у цьому напрямі [7–9] показали, що як культура, призначена для виробництва біопалива, сорго є вельми перспективною та заслуговує на пильну увагу.

На сьогодні питання можливості сорго для адаптивного землеробства досить добре вивчені [10–12]. Однак відомості стосовно впливу майбутніх змін клімату на умови вирощування і продуктив-

ність сорго у вітчизняній літературі натепер практично відсутні, хоча, зважаючи на посухостійкість культури, перспектива розширення її посівних площ в умовах глобальних змін клімату очевидна.

Результати актуальних світових досліджень стосовно впливу змін клімату на вирощування сорго стосуються насамперед аридних територій, зокрема Африканського континенту. Використання математичної моделі APSIM (Agricultural Production Systems Simulator) дало змогу авторам [13] визначити вплив очікуваних змін агроєкологічних умов вирощування на урожайність сорго на період 2030–2039 рр. порівняно із фактичними умовами 1991–2000 рр. для території Гани. Аналогічні дослідження з моделлю APSIM були проведені для території Нігерії та Малі з використанням декількох сценаріїв змін клімату на період до 2069 р. [14].

Фундаментальні дослідження стосовно впливу змін клімату на посіви зернового сорго були проведені Ефіопськими інститутами сільськогосподарських досліджень (EIAR) для території північно-східної Ефіопії [15]. Цей регіон серйозно потерпає від несприятливого впливу змін клімату і екстремальних явищ, що під час посівного сезону призводить до зниження сільськогосподарського виробництва. Реакція посівів сорго на зміни клімату, що очікуються за сценаріями змін клімату групи RCP визначалася з використанням моделі CERES-sorghum. Дослідження проводили для часових періодів середини століття (2040–2069 рр.) та кінця століття (2070–2099 рр.). Результати дослідження показали, що майбутні кліматичні зміни матимуть суттєвий негативний вплив на врожайність сорго.

Усебічний аналіз стану виробництва зерна сорго в Україні свідчить про значний рівень невикористаного агробіологічного та виробничого потенціалу культури, хоча екологічні властивості сорго зернового повною мірою відповідають агроєкологічним умовам південних областей України.

Мета досліджень полягає в у вивченні впливу агрокліматичних умов на формування продуктивності сорго в південних областях України та визначенні впливу можливих змін клімату на майбутні урожаї.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження впливу змін клімату на режим агроєкологічних показників розвитку і формування продуктивності сорго в південних областях України виконувався шляхом порівняння середніх багаторічних величин продуктивності сорго, які визначені за фактичними спостереженнями за період 1986–2015 рр., та розрахованих показників в умовах змін клімату за різними кліматичними сценаріями RCP2,6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 за період з 2021 по 2050 рр. Ці чотири кліматичні сценарії містять різний рівень впливу викидів парникових газів [16]. Для розрахунків агрокліматичних показників за багаторічний період використовувалися методи статистичного аналізу, для розрахунків впливу змін клімату на майбутнє використовувалась базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів [17].

Результати досліджень та їх обговорення

Стаціонарний складник урожайності будь-якої сільськогосподарської культури є лінію тренду [18]. Аналіз динаміки врожайності сорго показав, що тенденція трендів у південних областях України має характер зростання з часом, але характер зростання врожаїв по областях різний. Наприклад, у Херсонській області відзначається найбільший щорічний приріст врожаю за трендом, він становить 0,4 ц/га, в Одеській – найменший – 0,13 ц/га. Коефіцієнти варіації кліматичного складника урожаїв мають найвище значення в Херсонській області – 28 %, найменше – в Миколаївській – 13 %. Значення коефіцієнтів кліматичного складника врожаїв свідчать про стійкість урожаїв сорго в південних областях України.

Аналіз агрометеорологічних показників у роки з високими і низькими врожаєми показав, що не зважаючи на високу посухостійкість сорго, зволоження впливає на величину його врожаю впродовж усього вегетаційного періоду. Негативну роль відіграє у формуванні продуктивності сорго і високий дефіцит насичення повітря вологою. Значення дефіциту насичення повітря в роки з низькими врожаєми перевищувало 9–11 мм, особливо в міжфазний період від викидання волоті до повної стиглості.

Були розраховані середні багаторічні агрометеорологічні показники розвитку сорго по областях за вегетаційний період (табл. 1). Дані табл. 1 свідчать про те, що сівба сорго в південних областях України відбувається наприкінці квітня – першій декаді травня. Воскова стиглість сорго в цьому регіоні України в середньому багаторічному наставала наприкінці серпня – в першій декаді вересня. Тривалість вегетаційного періоду коливалася від 110 до 130 днів і значною мірою залежала від комплексу агрометеорологічних умов. За період від сівби до воскової стиглості накопичувалася сума температур

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

від 2180 до 2800 °С. Сума опадів на території дослідження досить мінлива. Найменше опадів у Херсонській області. Коефіцієнт зволоження ГТК характеризує території всіх областей як посушливі. Найбільш посушливі умови у вегетаційний період спостерігаються в Херсонській області.

1. Середні багаторічні агрометеорологічні показники за вегетаційний період сорго

Область	Дати		Тривалість вегетаційного періоду, дні	Сума активних температур, °С	Сума опадів, мм	ГТК, відн. од.
	сівби	воскової стигlosti				
Одеська	4.05	29.08	119	2777	221	0,85
Миколаївська	28.04	25.08	118	2319	228	0,85
Херсонська	30.04	28.08	123	2422	174	0,70
Запорізька	5.05	3.09	124	2390	181	0,76

Були розраховані статистичні залежності врожаїв сорго від різних агрометеорологічних показників. Аналіз коефіцієнтів кореляції показав, що спостерігається тісний зв'язок урожаїв з температурою повітря, дефіцитом насичення повітря вологою, сумою опадів за період від сходів до викидання волоті та висоти рослин на дату викидання волоті (табл. 2).

2. Рівняння зв'язку врожаїв сорго з різними метеорологічними величинами за період сходів – викидання волоті

Фактори	Рівняння зв'язку	Коефіцієнт кореляції
Середня температура повітря (t)	$Y = -11,65 t + 271,93$	$R = -0,64 \pm 0,16$
Нестача насичення повітря (d)	$Y = -4,01 d + 81,70$	$R = -0,55 \pm 0,15$
Сума опадів (r)	$Y = 0,25 R + 7,84$	$R = 0,64 \pm 0,14$
Висота рослин на дату викидання волоті (h)	$Y = 0,36 h + 4,17$	$R = 0,82 \pm 0,01$

Зважаючи на значення парних коефіцієнтів, розрахована статистична залежність урожаїв сорго від комплексу агроекологічних факторів, а саме: середньої температури повітря за період цвітіння – воскова стиглість (t), суми опадів від сходів до воскової стигlosti (r), висоти рослин на дату цвітіння (h):

$$Y = -2,16t + 0,1294r + 0,00810h + 82,70 \quad (1)$$

$$R = 0,68 \pm 0,05$$

Як відомо, врожайність сільськогосподарських культур залежить від багатьох факторів, провідними серед яких є біологічні властивості і клімат. Наприкінці минулого і початку поточного століття відбулося значне потепління клімату, яке вплинуло на всі галузі економіки України. Для виявлення впливу змін клімату на продуктивність сорго за період з 2021 по 2050 рр. використовувалося поняття агроекологічних категорій урожайності, запропоноване Х. Г. Тоомінгом: потенційна урожайність (ПУ), метеорологічно можлива урожайність (ММУ), дійсно можлива урожайність (ДМУ) та урожайність у виробництві (УВ) [19, 20].

У табл. 3 представлені показники агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сорго, розраховані в середньому по чотирьох областях: надходження фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми температур за вегетаційний період сорго, суми опадів, сумарне випаровування та випаровуваність, яка прирівнюється до вологопотребі культури, гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянинова, за яким оцінюється посушливість території (ГТК). У подальшому період з 1986 по 2015 характеризується як базовий період.

Середнє надходження фотосинтетично активної радіації (ФАР) за багаторічний вегетаційний період сорго становило 139,6 кДж/см². Розрахунки показали, що за усіма сценаріями відзначатиметься зростання надходження ФАР. Меншим це зростання буде в разі реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 і становитиме відповідно 158,3 та 156,7 кДж/см². За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 ФАР зросте майже однаково і становитиме відповідно 249,2 та 248,8 кДж/см², що вище середньої багаторічної величини відповідно на 109,6 та 109,2 кДж/см² (табл. 3).

За базовий період за вегетацію сорго накопичувалась сума активних температур повітря 3348 °С. Підвищення надходження ФАР сприятиме підвищенню сум температур у розрахунковий період за усіма сценаріями, окрім RCP6.0, де сума температур очікуватиметься майже на рівні суми базового періоду. Найвища сума температур 3665 °С очікуватиметься в разі реалізації сценарію RCP8.5.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

3. Порівняння середніх багаторічних показників формування врожайів сорго з розрахованими за різними сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Сума температур за вегетаційний період, °С	Сума опадів за період, мм/%	Сумарне випаровування за період (E), мм	Випаровуваність за період, (вологопотреба) (E0), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E0), відн.од.	Середнє за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1986-2015	3348	273	390	886	0,44	0,53	139,6
RCP2.6							
2021–2050	3428	263/96	372	1047	0,41	0,68	249,2
Різниця	120	-10	-18	161	-0,03	0,15	109,6
RCP4.5							
2021–2050	3528	208/76	369	998	0,41	0,58	158,5
Різниця	180	-65	-21	112	-0,03	0,05	18,9
RCP6.0							
2021–2050	3321	276/101	368	1047	0,28	0,57	248,8
Різниця	-27	3	-22	161	-0,16	0,04	109,2
RCP8.5							
2021–2050	3665	184/67	483	973	0,32	0,54	156,7
Різниця	317	-89	93	87	-0,12	0,01	17,1

За середніми багаторічними даними сума опадів за вегетаційний період сорго становила 273 мм. Розрахунки за усіма досліджуваними сценаріями свідчать, що впродовж вегетаційного періоду сума опадів очікуватиметься за усіма сценаріями, окрім сценарію RCP6.0 меншою середньою багаторічною суми і становитиме від 67 до 76 % від середньої багаторічної. За кліматичним сценарієм RCP6.0 сума опадів очікуватиметься майже на рівні середньої багаторічної величини (96 %).

За умовами реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 за вегетаційний період сорго сумарне випаровування зменшиться порівняно із середньою багаторічною величиною на 18–22 мм і тільки в разі реалізації сценарію RCP8,5 сумарне випаровування зросте через зростання сум температур на 93 мм.

Підвищення температурного режиму призведе до підвищення випаровуваності, що спричинить погіршення умов вологозабезпеченості посівів. У середньобагаторічному випаровуваності (вологопотреба сорго) становила 886 мм. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 випаровуваність зросте до 1047 мм. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 очікується підвищення випаровуваності до 930 мм.

Очікувані зміни показників сумарного випаровування за різними сценаріями призведуть до зміни показників вологозабезпечення культури, яка за середніми багаторічними даними становить 0,44 відн. од. За розрахунками за усіма сценаріями вологозабезпеченість сорго зменшиться. Найвідчутніше зменшення відбудеться в разі реалізації сценаріїв RCP6.0 та RCP8.5, коли вологозабезпеченість посівів становитиме відповідно 0,28 та 0,32 відн. од., що складатиме 63 та 74 % від середньобагаторічної величини.

Середньобагаторічний ГТК становить 0,53 відн. од. За усіма сценаріями змін клімату очікується незначне підвищення значень ГТК, тільки за сценарієм RCP8.5 він залишиться майже на рівні середньої багаторічної величини (табл. 3).

Зміни в радіаційному і волого-температурному режимі, що очікуються в майбутньому за різних сценаріїв зміни клімату, спричинять і різні рівні формування агроекологічних категорій урожайності.

Одним із показників фотосинтетичної продуктивності сорго є площа асимілюючої поверхні рослин, тобто площа листя. Зміна показників надходження сумарної радіації і волого-температурного режиму спричинить зміну показників формування площі листя. За багаторічний період площа листя сорго в період максимального розвитку рослин була 5,1 м²/м² (рис. 1).

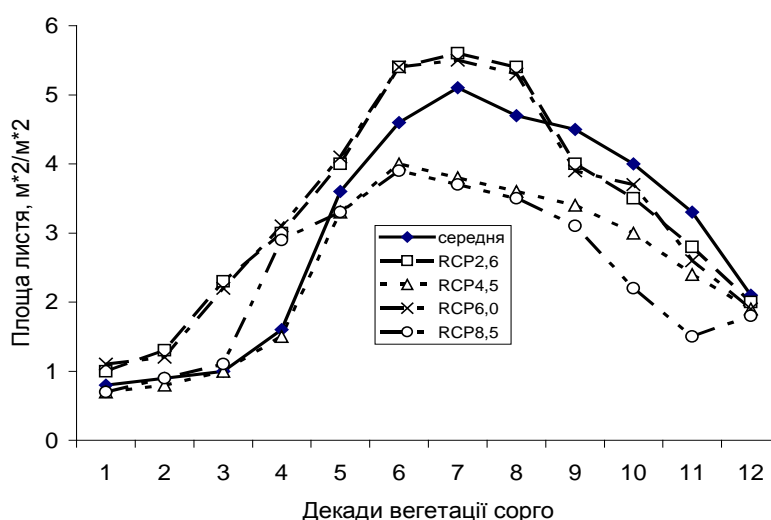


Рис. 1. Порівняння середньої багаторічної площі листя за вегетаційний період сорго та площі листя, розрахованої за період з 2021 по 2050 рр.

Як показують розрахунки і видно з рис. 1, найменша площа листя впродовж вегетаційного періоду сформується в разі реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 порівняно із середньобагаторічним періодом і складатиме відповідно 4,0 та 3,9 м²/м². За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 площа листя сформується вищою від середньої багаторічної, буде майже однакою за обома сценаріями і становитиме в період максимального розвитку 5,6 та 5,5 м²/м².

Фотосинтетичний потенціал (ФП) на кінець вегетації сорго за базовий період сформувався на рівні 313,3 м²/м². За сценарієм RCP2.6 та RCP6.0 він зросте відповідно до 370,4 та 368,7 м²/м². За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 ФП зросте несуттєво порівняно із середньою багаторічною величиною і становитиме відповідно 324,8 та 318,7 м²/м² (табл. 4).

4. Порівняння середніх багаторічних агроекологічних урожаїв сухої маси сорго з розрахованими за різними сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Вся суха маса, г/м ² дек			Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Баланс гумусу, т/га	Урожай сорго (вологість 14 %), ц/га
	ПУ	ММУ	ДМУ			
1980-2010	2105	878	580	311,3	0,067	24,9
RCP2.6						
2021–2050	2233	860	567	370,4	0,033	26,4
RCP4.5						
2021–2050	2346	835	569	324,8	0,067	23,1
RCP6.0						
2021–2050	2246	859	569	368,7	0,033	26,5
RCP8.5						
2021–2050	2310	846	569	318,6	0,069	23,0

Фотосинтетичний потенціал сприяє формуванню врожаю насіння сорго. Урожай сорго за 14 %-ї вологості зерна при середніх багаторічних умовах становив 24,9 ц/га. За умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 урожай сорго зменшиться відповідно до 23,1 та 23,0 ц/га. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 урожай сорго зросте і очікуватиметься на рівні 26 ц/га. Зміна фотосинтетичного потенціалу спричинить зміни у приростах усіх агроекологічних категорій урожаїв.

Потенційний урожай сухої маси сорго в середньому за базовий період становив 2105 г/м² дек. Оскільки приріст ПУ залежить від надходження сонячної радіації, а вона за розрахунками за усіма сценаріями підвищиться, то і ПУ сухої маси зросте, але за різними сценаріями даними зростання буде неоднаковим. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 зростання ПУ сухої маси очікуватиметься майже на одному рівні – відповідно до 2233 та 2246 г/м²дек, що становитиме 107 та 108 % від середньої ба-

гаторічної величини. За сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 ПУ очікуватимуться вищими і становитимуть відповідно 2346 та 2310 г/м²дек, що складатиме 113 та 111 % від середньої багаторічної величини.

За розрахунками за усіма сценаріями змін клімату на період до 2050 року ММУ і ДМУ всієї сухої маси сорго, а отже і зерна, очікуватимуться нижчими за середні багаторічні величини (рис. 2).

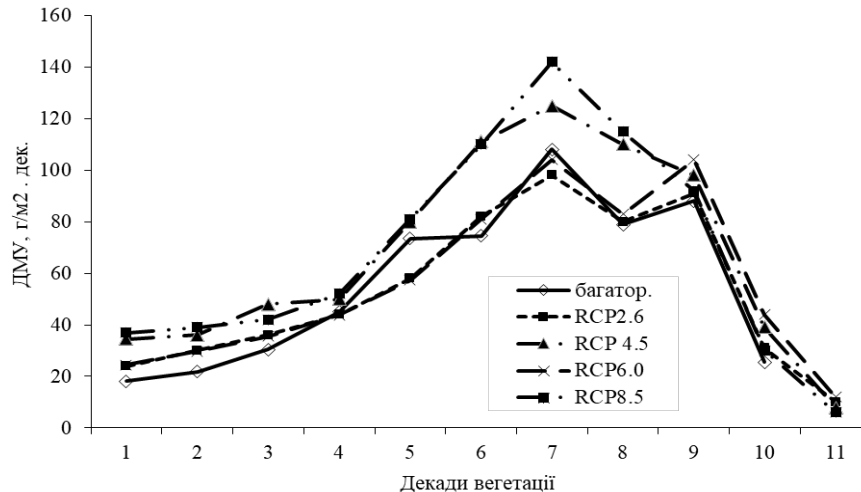


Рис. 2. Динаміка декадних приростів ДМУ сорго за вегетаційний період порівняно із середніми багаторічними та сценарними даними за 2021–2050 рр.

Висновки

Виконані розрахунки середніх багаторічних агрокліматичних показників формування продуктивності сорго та розрахунки агроекологічних категорій урожайності за сценаріями змін клімату на період 2021–2050 рр. дозволяють зробити висновки, що основними кліматичними складовими, які визначають рівень урожайності сорго в південних районах України, є показники тепла і вологозабезпеченості посівів. Порівняння значень таких показників за минулий період із розрахованими за різними сценаріями змін клімату на майбутнє дають змогу відзначити, що в температурному режимі та в режимі вологозабезпечення в разі реалізації будь-якого зі сценаріїв відбудуться відчутні зміни. Відхилення термічних показників на майбутнє будуть несуттєвими, але ці показники визначені за багаторічний період, який містить останні роки минулого століття і початок поточного, коли зростання температури вже відбулося. Тому подальші зміни температурного режиму, навіть за умов незначного підвищення, не створять сприятливих умов для розвитку сорго. Кращі умови для розвитку рослин і формування врожаю сорго за умовами зволоження і майже однакові за обома сценаріями будуть у разі реалізації сценаріїв RCP2.6 та RCP6.0, що сприятиме збільшенню очікуваного врожаю зерна сорго. За умови реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 через зменшення сум опадів у літній період та їхній нерівномірний розподіл по території складуться несприятливі агроекологічні умови для розвитку сорго. Це спричинить зростання посушливості, що призведе до зменшення врожаю порівняно із середнім багаторічним на 3–4 ц/га. В деяких джерелах звертається увага, що в умовах посушливості врожаї сорго значно перевищують урожаї кукурудзи. Особливо несприятливі умови для формування продуктивності сорго будуть у разі зміни клімату за сценарієм RCP8.5, очікується врожай зерна, що становитиме 88 % від середнього багаторічного. Незважаючи на підвищену посухостійкість і жаростійкість сорго, підвищення температурного режиму і зменшення кількості опадів упродовж вегетаційного періоду, це не сприятиме в майбутньому підвищенню врожаїв зерна сорго.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним буде вирощування сорго для отримання зеленої маси, яка може використовуватись і як корм для тваринництва, і як сировина для виготовлення біопалива.

References

1. Bazalij, V. V., Wojko, M. O., Almashova, V. S., & Onyshhenko, S. O. (2015). Roslynnycjki aspekty ta aghroekologichni zasady vyroshhuvannja sorgho zernovogho na Pivdni Ukrajinu. *Tavrijskij Naukovyj Visnyk*, 91, 3–6 [In Ukrainian].
2. Prisyazhnyuk, O. I. (2020). Osoblivosti identyfikaciji etapiv rostu sorgho zernovogo. *Naukovi Praci*

Institutu Bioenergetichnih Kultur i Cukrovih Buryakiv, 28, 102–112 [In Ukrainian].

3. Prysiazhniuk, O. I., Storozhyk, L. I., & Zavhorodnia, S. V. (2019). Ecological plasticity of grain sorghum. *Novitni Agrotehnologii*, 7. Retrieved from: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/204818> [In Ukrainian]

4. Nosko, V. L., Bojko, I. Ye., Kamishanov, V. V., & Leshuk, Yu. I. (2015). Perspektiva rozvitku energetichnih kultur v Ukrayini. *Biologichni Sistemi: Teoriya ta Innovaciyi*, 214, 216–221 [In Ukrainian].

5. Chaika, T. O., & Yasnolob, I. O. (2017). Ekologo-socio-ekonomichni perevagi viroshuvannya energetichnih kultur. *Ekonomika APK*, 12, 28–34 [In Ukrainian].

6. Geletukha, G. G., Zheliezna, T. A., Bashtovyi, A. I., & Geletukha, G. I. (2017). Review of best practices of biofuel market operation in the eu countries. *Industrial Heat Engineering*, 39 (5), 108–112. doi: 10.31472/ihe.5.2017.18

7. Karazhbej, G. M. (2011). Bioenergetichna cinnist sorgo zernovogo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) v Ukrayini. *Sortovivchennya Ta Ohorona Prav na Sorti Roslin*. 2 (14), 42–45. doi: 10.21498/2518-1017.2(14).2011.60372 [In Ukrainian].

8. Mehmood, M. A., Ibrahim, M., Rashid, U., Nawaz, M., Ali, S., Hussain, A., & Gull, M. (2017). Bio-mass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 3–21. doi: 10.1016/j.spc.2016.08.003

9. Kalenska, S., Rakhmetov, J., Kalenskiy, V., Iunyuk, A., Kachura, I., Grynyuk, I., Makareviciene, V., & Sendzikiene, E. (2013). Prospects of sorghum (*Sorghum Moench*) bioenergetic potential in Ukraine. In *Proceedings of the International Scientific Conference «Rural Development 2013: Innovations and Sustainability»*, 6 (3) Kaunas.

10. Sherbakov, V. Ya. (1983). *Zernovoe sorgo*. Kiev – Odessa: Vysshaya shkola [In Russian].

11. Bojko, M. O. (2017). Formuvannya asimilyacijnogo aparatu gibridiv sorgo zernovogo v zalezhnosti vid strokiv sivbi ta gustoti posiviv. *Tavrijskij Naukovij Visnik*, 97, 18–22 [In Ukrainian].

12. Bikin, A. V., Antal, T. V., & Najdenko, V. M. (2019). Fenologichni osoblivosti sorgo zernovogo zalezho vid vplivu elementiv tehnologiyi viroshuvannya. *Tavrijskij Naukovij Visnik*, 107, 12–21. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107 [In Ukrainian].

13. Maccarthy, D. S., & Vlek, P. L. G. (2012). Impact of climate change on sorghum production under different nutrient and crop residue management in semi-arid region of Ghana: a modeling perspective. *African Crop Science Journal*, 20 (s2). 243–259.

14. Akinseye, F. M., Ajeigbe, H. A., Traore, P. C. S., Agele, S. O., Zemadim, B., & Whitbread, A. (2020). Improving sorghum productivity under changing climatic conditions: A modelling approach. *Field Crops Research*, 246, 107685. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107685

15. Eshetu, Z., Gebre, H., & Lisanework, N. (2020). Impacts of climate change on sorghum production in North Eastern Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 14 (2), 49–63. doi: 10.5897/ajest2019.2803

16. Stepanenko, S. M., & Pol'oviy, A. M. (2018). *Klimatichni riziki funkcionuvannya galuzej ekonomiki Ukrayini v umovah zmini*. Odesa: TES [In Ukrainian].

17. Polevoj, A. N. (2004). Bazovaya model ocenki agroklimaticheskikh resursov formirovaniya produktivnosti selskohozyajstvennykh kultur. *Meteorologiya, Klimatologiya i Gidrologiya*, 48, 195–205 [In Russian].

18. Manellya, A. I. (1972). *Dinamika urozhajnosti selskohozyajstvennykh kultur*. Moskva: Statistika [In Russian].

19. Tooming, H. G. (1977). *Solnechnaya radiaciya i formirovanie urozhaya*. Leningrad: Gidrometeoizdat [In Russian].

20. Tooming, H. G. (1984). *Ekologicheskie principy maksimalnoj produktivnosti posevov*. Leningrad: Gidrometeoizdat [In Russian].

Стаття надійшла до редакції 15.10.2020 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В., Барсукова О. А. Агроекологічні умови формування продуктивності сорго в південних областях України в умовах змін клімату. *Вісник ПДАА*. 2020. № 4. С. 61–68.

© Польовий Анатолій Миколайович, Божко Людмила Юхимівна, Вольвач Оксана Василівна, Барсукова Олена Анатоліївна, 2020