

АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ І ПРОДУКТИВНІСТЬ НАСАДЖЕНЬ МІСКАНТУСУ В ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ

Польовий А.М., Вольвач О.В., Божко Л.Ю., Барсукова О.А.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

apolevoy@te.net.ua, rada.d.4109001@gmail.com, bozko@i.ua, lena5933@ukr.net

Розвиток біоенергетики сприятиме посиленню енергонезалежності України в сучасних складних економічних умовах. Україна має виключні агрокліматичні та ґрунтові ресурси для отримання сталих і високих урожаїв біоенергетичних культур, зокрема й міскантусу. Тому необхідним є детальне вивчення агрокліматичних умов його вирощування на досліджуваній території з метою раціонального використання цих умов і найбільш оптимального розміщення посівів. Особливого значення набуває вирішення цього питання у зв'язку зі змінами клімату.

Метою дослідження є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні ресурси стосовно умов формування продуктивності гігантського міскантусу на прикладі однієї з областей Північного Степу України – Дніпропетровської. Для досягнення поставленої мети були розраховані основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу третього року життя за період із 2021 до 2050 рр. за сценаріями RCP6.0 та RCP 8.5. Для порівняльного аналізу сценарних і фактичних показників узято період із 1980 до 2010 роки. Також було визначено вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та врожайність міскантусу. Дослідження формування врожайності проводилося з використанням математичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур, адаптованої для культури міскантусу.

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що умови теплозабезпеченості посівів за умов змін клімату залишаться сприятливими для вирощування міскантусу. Показник вологозабезпеченості посівів за умов сценарію RCP6.0 залишиться на нинішньому рівні. За реалізації сценарію RCP8.5 умови зволоження досить суттєво погіршаться. Однак це погіршення компенсується властивістю міскантусу економічно використовувати вологу та помірною посухостійкістю. Урожай надземної маси міскантусу за базових умов становить 20,3 т/га. За умов сценарію RCP6.0 він становитиме 23,4 т/га, тобто 115% від базового. За умов сценарію RCP8.5 очікується врожай 19,4 т/га, тобто 96% від базового. Тому врожаї культури в умовах майбутніх змін клімату будуть стабільними. *Ключові слова:* міскантус, модель продуктивності, зміна клімату, агрокліматичні умови, урожай біомаси.

Agroecological assessment of the impact of climate change on growing conditions and productivity of miscanthus plantations in the Northern Steppe. Polevoy, A., Volvach, O., Bozhko, L., Barsukova, E.

The development of bioenergy will contribute to strengthening energy independence Ukraine in today's difficult economic conditions. Ukraine has exceptional agroclimatic and soil resources for sustainable and high yields bioenergy crops, in particular miscanthus. Therefore, detailed is necessary study of agro-climatic conditions of its cultivation on the studied territory in order to rationally use these conditions and most optimal placement of crops. Particular importance is the solution this issue in the face of climate change.

The purpose of this study is to assess the impact of climate change on agroclimatic resources in relation to the conditions of productivity formation giant miscanthus on the example of one of the areas of the Northern Steppe of Ukraine – Dnipropetrovsk. To achieve this goal were the main agroclimatic indicators of the miscanthus vegetation period are calculated of the third year of life for the period from 2021 to 2050 according to the scenarios RCP6.0 and RCP 8.5. For comparative analysis of scenario and actual indicators taken the period from 1980 to 2010. The impact was also identified possible climate change on photosynthetic productivity and yield miscanthus. The study of yield formation was conducted with using a mathematical model for assessing agro-climatic resources formation of crop productivity adapted for miscanthus culture.

Based on the results of calculations, we can conclude that the conditions of heat supply for crops under climate change will remain favorable for growing miscanthus. Moisture content of crops under RCP6.0 scenario conditions will remain at the current level. By implementing the RCP8.5 scenario humidification conditions will deteriorate significantly. However, it deterioration is compensated by the property of miscanthus economically use moisture and moderate drought resistance. Harvest aboveground the mass of miscanthus under basic conditions is 20.3 t / ha. Under the terms of the RCP6.0 scenario it will be 23.4 t / ha, i.e 115% of the baseline. Under the terms of the RCP8.5 scenario is expected to yield 19.4 t / ha, i.e 96% of the baseline. Therefore, the harvest crops in the context of future climate change will be stable. *Key words:* miscanthus, productivity model, climate change, agroclimatic conditions, biomass harvest.

Постановка проблеми. Функціонування сучасної енергетичної системи в Україні суттєво залежить від імпортової енергетичної сировини. За даними Державної служби статистики, найдорожчими статтями українського імпорту є нафтопродукти і вугілля, ціна на які постійно зростає. Тому для зменшення енер-

гетичної залежності та зміцнення енергетичної безпеки перед нашою державою постає дуже актуальне завдання – скорочення споживання імпортного палива. Цього можна досягнути за умов використання альтернативних відновлюваних джерел енергії, зокрема і створених на основі біоенергетичної сировини [1–5].

Актуальність дослідження. Біоенергетика нині є одним із найбільш перспективних складників світової економіки. Хоч біоенергетика вважається досить молодого галуззю народного господарства, однак розвивається вона дуже швидкими темпами. Поняття «біоенергетика» поєднує все, що будь-яким чином пов'язано з отриманням у промислових масштабах енергії з різних видів поновлюваної сировини біологічного походження. Така сировина та її похідні називаються біопаливом. Як біопаливо використовують різні види рослинної та органічної сировини.

Оскільки лісові деревні рослини є безцінним об'єктом природи, використання деревини (за винятком відходів деревообробки та сухоостою) як біопалива є найменш бажаним напрямом, то останніми роками значно збільшився інтерес до біопалива, що виробляється з високопродуктивних енергетичних культур.

Важливим аспектом, пов'язаним із використанням біопалива, є екологічна чистота викидів порівняно з викопними видами палива. Енергетичні рослини поглинають із повітря вуглекислий газ і разом з енергією сонця та водою перетворюють його в органічну речовину. У процесі спалювання вони виділяють таку ж кількість CO₂, яку споживають у процесі росту, тобто не сприяють виникненню парникового ефекту. Використання поновлюваної енергії, накопиченої рослинами в процесі фотосинтезу, заслуговує все більшої уваги у зв'язку зі змінами клімату у світі.

Другий важливий аспект вирощування енергетичних культур полягає у тому, що їх можна вирощувати на низькородючих, деградованих і забруднених ґрунтах («маргінальних»), що дозволяє їх відновлювати [6].

Перспективним джерелом для виробництва біопалива є міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*). Це рослина нового покоління енергетичних культур із підвищеною стійкістю, врожайністю і хімічним складом, вирощування якої дозволяє отримати високоякісний енергетичний продукт [2].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження відповідає основним напрямам Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 605-р від 18 серпня 2017 р. [7]. Саме цим документом підтверджується підтримка нашою державою курсу європейських країн на зменшення споживання невідновлюваних видів палива і надання переваги поновлюваним джерелам енергії. Також тематика досліджень відповідає основним напрямам наукової діяльності кафедри агрометеорології та агроекології Одеського державного екологічного університету, зокрема науково дослідній роботі на тему «Оцінка впливу змін клімату на поновлювальні та невичерпні природні ресурси України».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У таких країнах Європи, як Німеччина, Велика Британія, Італія, Франція, Іспанія, Польща, Чехія,

міскантус досліджують та вирощують як енергетичну рослину ще з 90-х років минулого століття. Для України ця культура є порівняно новою, але вже посіла провідне місце з-поміж злакових енергетичних культур як така, що має найбільший потенціал за врожайністю. Врожайність зеленої фітомаси становить від 60 до 150 т/га, сухої маси – 10–15 (до 32) т/га [8; 9].

В Україні вивченню поширення міскантусу присвячена значна кількість наукових праць широкого кола фахівців, насамперед Інституту біоенергетичних культур та цукрових буряків Національної академії аграрних наук України (далі – НААН). Основними напрямками досліджень фахівців цієї установи стосовно культури міскантусу є інтродукція та селекція [10], розроблення технологій вирощування та захисту плантацій від бур'янів, шкідників та хвороб [11; 12]. Багаторічні напрацювання вчених з Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків (далі – ІБКіЦБ) щодо агротехнічних та екологічних основ технології вирощування високопродуктивних біоенергетичних культур, зокрема й міскантусу, узагальнені у двох сучасних монографіях [13; 14]. Також ІБКіЦБ є оригіном сорту міскантусу гігантського Осінній зорецьвіт.

Також дослідженню культури міскантусу присвячені численні праці вчених Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НААН [15; 16]. У результаті інтродукційної і селекційної роботи фахівців цієї установи було створено сорт міскантусу гігантського Гулівер.

Суттєвий внесок у розвиток біоенергетики в Україні роблять члени Біоенергетичної організації – UABIO. Це неприбуткова громадська спілка, яка об'єднує бізнес та експертів для розвитку української біоенергетики [17].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Натепер культура міскантусу вже досить добре вивчена як у морфологічному аспекті, так і в агротехнічному. Також розроблено технологію перероблення фітосировини та визначено показники якості твердого біопалива з міскантусу. Незважаючи на таке широке коло вивчених питань, відомості стосовно впливу майбутніх змін клімату на умови вирощування і продуктивність культури у вітчизняній літературі наразі майже відсутні.

Тому метою дослідження є вивчення впливу агрокліматичних умов на формування продуктивності міскантусу в Північному Степу (на прикладі Дніпропетровської області) та визначення впливу можливих змін клімату на майбутні врожаї культури.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження впливу змін клімату на режим агроекологічних показників розвитку і формування продуктивності міскантусу в Північному Степу України виконувалося шляхом порівняння показників за базових умов (період

1980–2010 рр.) та розрахованих показників в умовах змін клімату за двома з набору кліматичних сценаріїв RCP (Репрезентативні траєкторії концентрацій – Representative Concentration Pathways) – RCP6.0 та RCP8.5 (за період із 2021 до 2050 рр.).

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій усього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів. Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 6,0 Вт·м⁻² для сценарію RCP6.0 і 8,5 Вт·м⁻² для сценарію RCP8.5. Сценарій RCP6.0 вважається сценарієм стабілізації, а RCP8.5 – «жорстким» сценарієм із дуже високими рівнями викидів парникових газів [18].

Для розрахунків агрокліматичних показників вегетаційного періоду за багаторічний період застосована інформація з агрокліматичних довідників. Дослідження впливу змін клімату на майбутню продуктивність посівів міскантусу виконувались за базовою моделлю оцінки агрокліматичних ресурсів, запропонованою А.М. Польовим [19].

Уже зазначалося, що міскантус є порівняно новою культурою для України, тому наразі в агрометеорологів немає багаторічних матеріалів спостережень за культурою. Тому для визначення агрокліматичних показників розвитку міскантусу ми користувалися даними з літературних джерел [13–15]. Також слід зазначити, що посіви міскантусу першого року вирощування накопичують досить невелику біомасу, тому зазвичай його не скошують. Як правило, посіви починають експлуатувати з другого-третього року життя і вони щорічно протягом 15–20 років забезпечують стабільні врожаї сухої біомаси. Тому об'єктом дослідження було обрано посіви міскантусу третього року життя.

Виклад основного матеріалу. Основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу для Північного Степу представлено в табл. 1.

Відновлення вегетації плантацій міскантусу в Північному Степу починається за середніми багаторічними даними 18.04. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0 строки відновлення вегетації міскантусу в Північному Степу суттєво зміняться (порівняно з базовими). Відновлення вегетації очікується 11 квітня, тобто на 7 днів раніше ніж за базових умов. Сума активних температур, що накопичується за вегетаційний період, становить за базових умов 3114°C. За сценарними умовами вона буде набагато більшою і становитиме 3723°C. Відповідно, збільшується і середня температура за вегетацію: за базових умов вона становить 17,7°C, за сценарних очікується вище на 1,8–19,5°C. Можна сказати, що температурні умови вегетації за змін клімату дещо покращаться.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 очікується більш пізній термін відновлення вегетації міскантусу – 20 квітня. Таким чином, різниця в термінах у порівнянні з базовим варіантом становитиме лише 2 дні. Сума активних температур, що накопичується за вегетаційний період за умов цього сценарію, у порівнянні з базовою майже не зміниться і становитиме 3092°C. Середня за вегетаційний період температура повітря за умов реалізації сценарію RCP8.5 очікується майже така ж, як і базова: 18,0°C проти базових 17,7°C.

Оскільки головним джерелом поповнення запасів ґрунтової вологи є опади, ми порівняли декадні значення суми опадів за базовим та сценарним варіантами. За середньобагаторічними даними протягом вегетаційного періоду міскантусу в Північному Степу випадає 273 мм опадів. За сценарним варіантом RCP6.0 їх очікується майже стільки ж – 264 мм. Це лише на 9 мм, або 3%, менше за базовий варіант. За сценарієм RCP8.5 очікується набагато менша кількість опадів за вегетацію міскантусу, яка становитиме лише 202 мм, що менше за базову на 71 мм (або на 26%).

Таблиця 1

Порівняння середніх багаторічних показників формування врожаїв міскантусу з розрахованими за різними сценаріями зміни клімату

Сценарій, період	1980–2010	Сценарій RCP6.0			Сценарій RCP8.5		
		2021–2050	різниця	різниця, %	2021–2050	різниця	різниця, %
Дата відновлення вегетації	18.04	11.04	-7		20.04	2	
Середня температура повітря за період, °C	17,7	19,5	1,8		18,0	0,3	
Сума опадів за період, мм	273	264	-9	3	202	-71	26
Сумарне випаровування за період (E), мм	365	462	97	27	275	-90	25
Випаровуваність за період, (E ₀), мм	711	949	239	33	787	76	11
Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн. од.	50	49	-1		35	-15	
Середній за період ГТК, відн. од.	0,88	0,87	-0,01		0,65	-0,23	
Сума ФАР, кДж/см ² за період	160,4	203,3	42,9	27	183,3	22,9	14

Базова величина сумарного випаровування (фактичного вологоспоживання) міскантусу становить 365 мм, базове значення вологопотреби культури (випаровуваності) становить 711 мм. Базове значення дефіциту вологи (різниця випаровуваності E_0 та випаровування E) становить 346 мм. За умов реалізації сценарію RCP6.0 дефіцит вологи протягом вегетації становитиме 487 мм, тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 141 мм, або 41%. При цьому величина E збільшиться відповідно на 97 мм (27%) у порівнянні з базовою і становитиме 462 мм. Величина E_0 також збільшиться до значення 949 мм, що на 239 мм, або 33%, більше базового значення. Тобто величини E та E_0 за сценарієм RCP6.0 майже однаково збільшаться.

З огляду на таке суттєве й однакове збільшення обох складників, сценарна вологозабезпеченість вегетаційного періоду міскантусу майже не зміниться і становитиме 49% проти 50% базових. Залишиться без змін і величина гідротермічного коефіцієнта Г.Т. Селянинова (ГТК): з 0,88 до 0,87 відн. од.

Дещо інакше ведуть себе показники зволоження вегетаційного періоду за умов реалізації сценарію RCP8.5. Величина E зменшиться в умовах зміни клімату на 90 мм (25%) у порівнянні з базовою і становитиме 275 мм. Величина E_0 збільшиться до значення 787 мм, що на 76 мм, або 11%, більше базового значення. Також суттєво збільшиться дефіцит вологи протягом вегетації. Він становитиме 512 мм замість базового 646 мм (тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 166 мм, або 48%). У зв'язку з тим, що сценарна величина випаровування дуже зменшиться, а сценарна величина випаровуваності не надто зросте, вологозабезпеченість вегетаційного періоду міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5 також поступово зменшиться (E/E_0) і коливатиметься в межах від 30 до 35%. Також очікується зменшення величини ГТК, що коливатиметься від 0,88 до 0,65 відн. од.

Загальний прихід ФАР за вегетаційний період за середніми багаторічними даними становить 160,4 кДж/см². За сценарієм RCP6.0 протягом 2021–2050 рр. прихід ФАР очікується набагато більше за базовий – 203,3 кДж/см², що на 42,9 кДж/см² більше. У відсотковому співвідношенні таке збільшення становить 27%.

Сума ФАР за вегетаційний період міскантусу за сценарієм RCP8.5 становить 183,3 кДж/см², що на 22,9 кДж/см² більше базової суми. У відсотковому співвідношенні таке збільшення є також досить суттєвим і становить 14%.

Розрахунки продуктивності посівів, як уже зазначалось, виконувались за допомогою математичної моделі А.М. Польового. Її алгоритм базується на принципах максимальної продуктивності посівів Х. Тоомінга [20]. Розглядалися такі агроєкологічні категорії врожайності: потенційна врожайність (далі – ПУ), яка за умов оптимальної забезпеченості рослин теплом, вологою та мінеральним живленням

визначається лише надходженням сонячної радіації; метеорологічно можлива врожайність (далі – ММУ), яка забезпечується температурним режимом та режимом зволоження досліджуваної території; дійсно можлива врожайність (далі – ДМУ), що забезпечується природною родючістю ґрунту. Останньою агроєкологічною категорією є господарська врожайність або врожайність у виробництві (далі – УВ). Рівень господарської врожайності загальної біомаси обмежується реальним рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив [19].

Зміни агрокліматичних умов вирощування у зв'язку з очікуваними змінами клімату в Північному Степу зумовлять і зміни показників фотосинтетичної продуктивності посадок міскантусу. Зміниться динаміка формування площі листової поверхні та величини фотосинтетичного потенціалу посівів (далі – ФСП), чистої продуктивності фотосинтезу та приростів біомаси. Зміна цих складників формування врожаю призведе до зміни величини загальної сухої біомаси врожаїв усіх агроєкологічних категорій.

На рис. 1 представлена динаміка середньодекадних приростів потенційної врожайності міскантусу залежно від добових сум ФАР за умов сценарію RCP6.0 у порівнянні з базовими. Відомо, що перебіг ФАР зумовлює прирости потенційної врожайності. Величини сум ФАР за базовим варіантом менші за сценарні, тому і базові значення приростів також менші.

Можна спостерігати, що майже всі величини базових приростів не перевищують 550 г/м²·дек, тоді як за сценарним варіантом максимальні прирости ПУ коливаються в межах 650–665 г/м²·дек. Виняток становить лише третя декада вегетації, коли величини базового і сценарного приростів майже однакові, але у цю декаду базові суми ФАР також майже дорівнюють сценарним, тому ця ситуація є цілком природною. До кінця вегетації приріст ПУ зменшується до 202 г/м²·дек за базових умов і до 268 г/м²·дек – за сценарних.

На рис. 2 представлені результати аналогічних розрахунків за сценарієм RCP8.5. Можна побачити, що протягом 3–5 декад вегетації величини ФАР базові і сценарні відрізняються найменше, тому різниця між приростами ПУ базовими і сценарними також несуттєва. Найбільш активно росте ПУ міскантусу протягом 6–11 декад вегетації, коли базові прирости коливаються в межах 490–620 г/м²·дек, а сценарні – у межах 580–635 г/м²·дек. Із дванадцятої декади спостерігається зменшення приростів, які на кінець вегетації становлять 200 г/м²·дек за базових умов і 320 г/м²·дек – за сценарних.

На основі кількісних значень фактичних та сценарних урожаїв міскантусу різних агроєкологічних рівнів ми виконали оцінку узагальнювальних характеристик ґрунтових та агрокліматичних умов формування продуктивності її плантацій. Рівень родючості ґрунтів Дніпропетровської області нами прийнято за 0,69 відн. од.

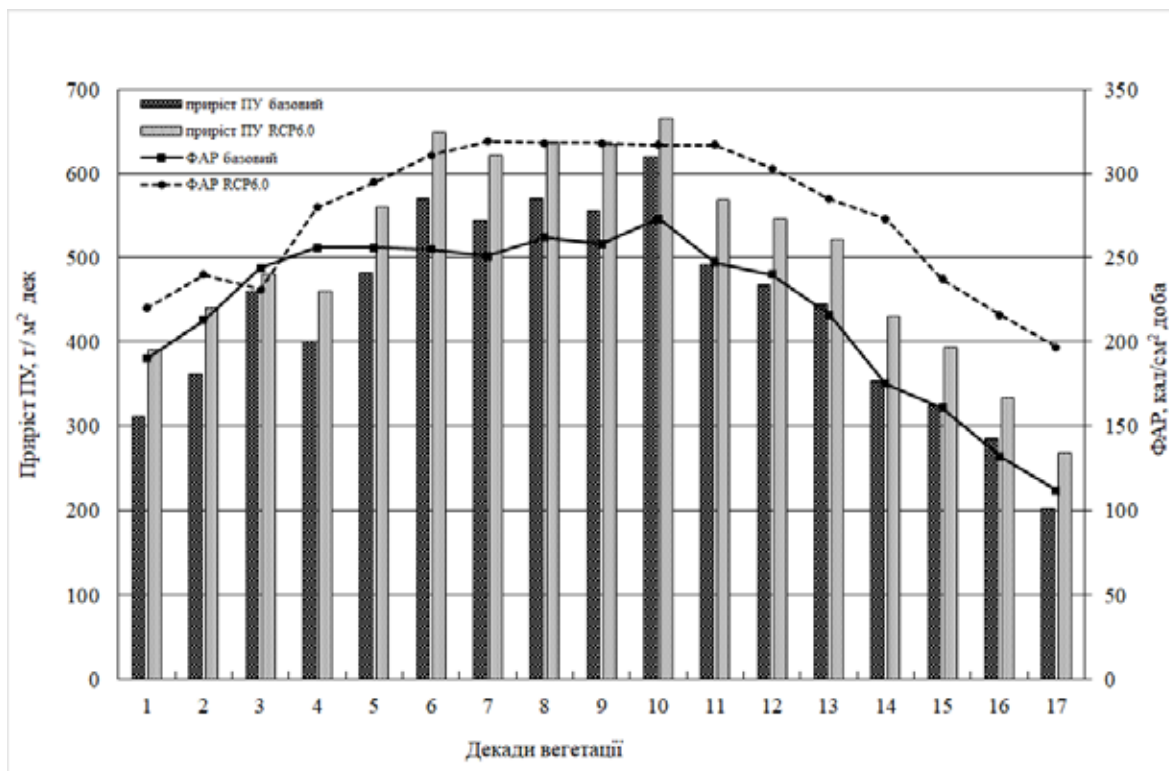


Рис. 1. Динаміка середньодекадних приростів потенційної врожайності міскантусу за сценарієм RCP6.0 порівняно з базовими умовами

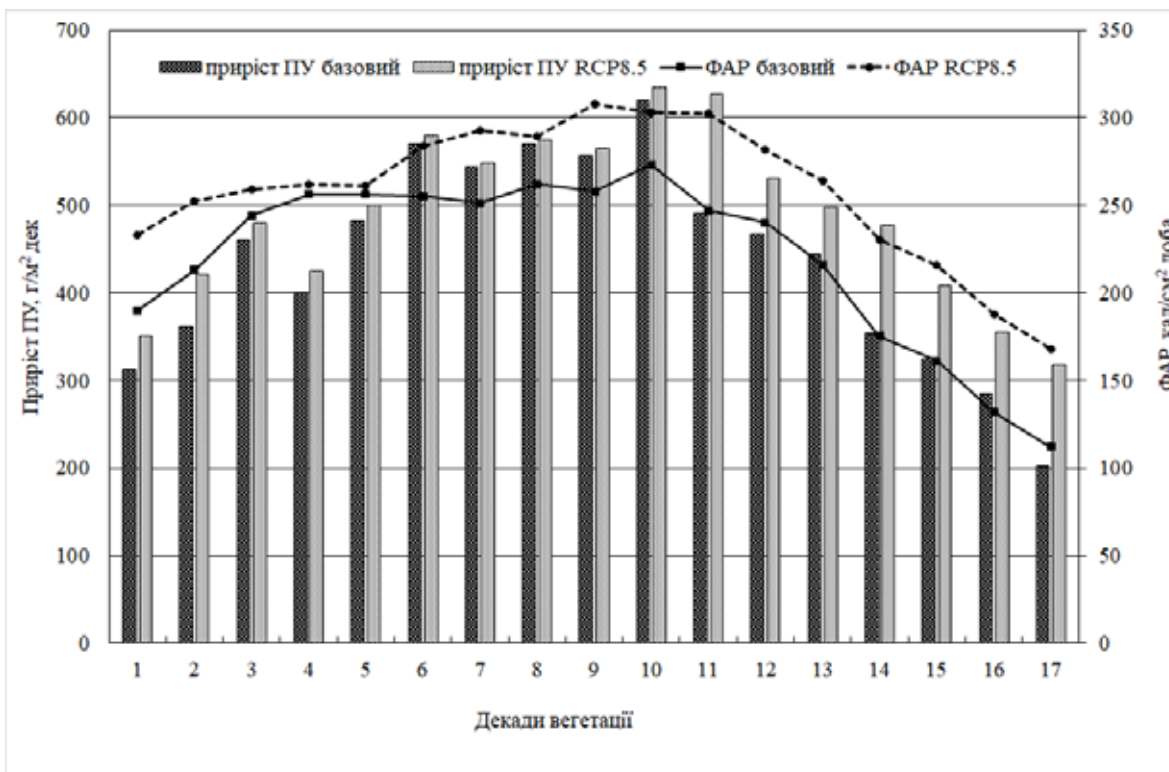


Рис. 2. Динаміка середньодекадних приростів потенційної врожайності міскантусу за сценарієм RCP8.5 порівняно з базовими умовами

Формування урожаю міскантусу в Північному Степу за базових умов та порівняно з умовами за сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Вся суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал м ² /м ² за період	Урожай за вологості 19%		
	потенційного урожаю	метеорологічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		надземної маси, т/га	підземної маси, т/га	сумарної маси, т/га
1980–2010	936	358	247	528	20,3	10,2	30,5
Сценарій RCP6.0							
2021–2050	971	411	284	645	23,4	11,7	35,1
Різниця	35	53	37	117	3,1	1,5	4,6
Сценарій RCP8.5							
2021–2050	962	342	236	468	19,4	9,7	29,1
Різниця	26	-16	-11	-60	-0,9	-0,5	-1,4

У табл. 2 наводяться узагальнені характеристики продуктивності міскантусу за обома сценаріями у порівнянні з базовими значеннями.

Можна бачити, що за умов сценарію «стабілізації» RCP6.0 в період 2021–2050 рр. в Північному Степу очікуються умови, сприятливі для вирощування міскантусу. Про це свідчать більші за базові сценарні потенційні врожаї сухої біомаси культури, які очікуються завдяки збільшенню приходу ФАР протягом вегетації. Незважаючи на невелике зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду, завдяки покращенню температурного режиму величини сухої маси ММУ, що очікуються, будуть дещо більше за базові. Та ж сама ситуація спостерігається і з сухою біомасою ДМУ.

На тлі підвищених значень ФАР за умов сценарію RCP6.0 сформується і високий фотосинтетичний потенціал травостою, він становитиме 645 м²/м² чи 122% базової величини (528 м²/м²). Урожай надземної маси міскантусу за вологості 15% становить 20,3 т/га за базових умов. У разі агрокліматичних умов сценарію RCP6.0 він складатиме 23,4 т/га – 115% від базового. Урожай підземної маси міскантусу за вологості 15% становить 10,2 т/га за базових умов. У разі агрокліматичних умов сценарію RCP6.0 очікується урожай 11,7 т/га – також 115% від базового. Загальна біомаса міскантусу становить за сценарієм RCP6.0 35,1 т/га проти базових 30,5 т/га.

За умов «жорсткого» сценарію RCP8.5 у період 2021–2050 рр. в Північному Степу очікуються умови, менш сприятливі для вирощування міскантусу, ніж базові та за сценарієм RCP6.0. Однак можна побачити, що сценарні потенційні врожаї сухої біомаси культури більші за базові. Це можливо завдяки збільшенню приходу ФАР протягом вегетації за сценарним варіантом. Але суттєве зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду та погіршення умов вологозабезпеченості призведуть до того, що величини сухої маси ММУ і ДМУ, що очікуються, будуть дещо меншими за базові.

Якщо в період максимального розвитку (це, як правило, 9–10 декада вегетації) за середніх багаторічних умов площа листя становить 5,15 м²/м², то за сценарієм RCP8.5 очікується зменшення її величини до 4,8 м²/м². Також сформується і менший фотосинтетичний потенціал посіву. За сценарієм RCP8.5 очікується зменшення його величини до 468 м²/м², тобто він становитиме 89% базової величини.

Як уже зазначалося, урожай сухої надземної маси міскантусу становить 20,3 т/га за базових умов. У процесі реалізації сценарію RCP8.5 величина урожаю надземної маси становитиме 19,4 т/га – 96% від базової. Урожай підземної маси міскантусу в умовах реалізації сценарію RCP8.5 становитиме 9,7 т/га – також 96% від базового. Загальна біомаса міскантусу становить за сценарієм RCP8.5 29,1 т/га проти базових 30,5 т/га.

Головні висновки. Загалом, можна сказати, що за умов обох сценаріїв змін клімату не слід очікувати суттєвого погіршення умов зростання міскантусу. За першим сценарієм ці умови навіть покращаться, що приведе до збільшення врожаїв. Деяке погіршення умов за другим сценарієм буде суттєво знівельоване завдяки біологічними особливостям міскантусу (властивістю його економно та продуктивно використовувати вологу, помірну посухостійкість та теплолюбність). Тому за умов вирощування вітчизняних сортів, адаптованих до агрокліматичних умов України, можна очікувати значний прогрес у розвитку біоенергетики завдяки цінній біоенергетичній культурі – міскантусу.

Перспективи використання результатів досліджень. В Україні є великі площі малопродуктивних і «маргінальних» земель, на яких можна одержувати значні обсяги біомаси високопродуктивних енергетичних культур, зокрема й міскантусу. Як показують наші розрахунки, навіть за умов реалізації досить «жорсткого» сценарію зміни клімату на території Північного Степу можна очікувати досить високі врожаї. Тому необхідно проводити подальші дослідження.

дження для території Полісся та Лісостепу, що за кліматичними умовами є більш сприятливими для вирощування міскантусу. Також перспективними

є дослідження в умовах реалізації інших кліматичних сценаріїв, що сприятиме просуванню біоенергетичних культур в Україні.

Література

1. Бунтов І.Ю. Перспективи розвитку досліджень зі створення біопалива в Україні. *Бізнесінформ*. 2014. № 12. С. 267–275.
2. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива / О.Б. Хіврич та інші. *Агробіологія*. 2011. Вип. 6. С. 153–157.
3. Зинченко В., Яшин М. Энергия мискантуса. *Леспроектформ*. 2011. № 6 (80). С. 134–140.
4. Mola-Yudego B., Arevalo J., Díaz-Yáñez O., Dimitriou I., Freshwater E., Haapala A., Khanam T. & Selkimäki M. Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast growing plantations. *Biofuels*. 2017. Vol. 8, № 4. P. 401–410. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17597269.2016.1271627>.
5. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Баштовий А.І., Гелетуха Г.І. Огляд кращих практик організації роботи ринку біопалив у країнах ЄС. *Промышленная теплотехника*. 2017. № 5. т. 39, С. 108–112. URL: <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2017.18>.
6. Шароваров Г.А., Минюк З.П. Энергетические долины на территориях, загрязненных радионуклидами, актиноидами и тяжелыми металлами. *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2008. № 6. С. 55–62.
7. Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p> (дата звернення: 08.11.2019 р.).
8. Курило В.Л., Рахметов Д.Б., Кулик М.І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 11–17. DOI 10.31210/visnyk2018.01.01.
9. Курило В.Л., Гументик М.Я., Квак В.М. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. *Агробіологія: зб. наук. праць Білоцерківського НАУ*. 2010. № 4(80). С. 62–66.9 .
10. Роїк М.В., Гонтаренко С.М., Лашук С.О. Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур та цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 249–254.
11. Гументик М.Я. Технологічні основи створення промислових плантацій високопродуктивних біоенергетичних культур. *Біоенергетика*. № 1 (15). 2020. С. 14–17.
12. Макух Я.П. Особливості формування врожайності міскантусу гігантського за спільною вегетації з бур'янами. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2017. Вип. 25. С. 115–123.
13. Вирощування біоенергетичних культур : монографія / М.Я. Гументик та ін.; /за ред. к.с.-г. наук, с.н.с. М.Я. Гументик. Київ : ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 179 с.
14. Міскантус в Україні: монографія / М.В. Роїк, В.М. Сінченко, В.І. Пиркін, В.М. Квак та ін. Київ : ФОП Ямчинський О.В., 2019. 256 с.
15. Рахметов Д.Б., Щербаківа Т.О., Рахметова С.О. Перспективні енергетичні рослини роду *Miscanthus Anderss*, інтродуковані в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2015. № 1(65). С. 3–18.
16. Vergun O.M., Rakhmetov D.B., Fishchenko V.V., Rakhmetova S.O., Shymanska O.V., & Druz N.G. Biochemical composition of the genus *Miscanthus Anderss*. plant raw material in conditions of introduction. *Plant Introduction*. 2017. Vol. 76. P. 3–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2327138>.
17. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Трибой О.В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка UABIO*. № 10. 33 с. Публікація доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics.
18. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 549 с.
19. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. *Метеорология, климатология и гидрология*. 2004. Вып. 48. С. 195–205.
20. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 254 с.