

DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.144>

JEL classification: Q1, Q2
UDC: 330.15:504.3:631.559

Юрій ГАЙДА

доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри аграрних технологій та лісового господарства,
Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна
ORCID iD: 0000-0001-6019-9654

Ярослав ФУЧИЛО

доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник,
Інститут біоенергетичних культур та цукрового буряка НААН України, Україна
ORCID iD: 0000-0002-2669-5176

Василь БРИЧ

доктор економічних наук, професор,
директор Навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0002-4277-5213

Тарас ГАЙДА

кандидат економічних наук, доцент,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0001-6664-8772

Олена БОРИСЯК

доктор економічних наук, доцент кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0003-4818-8068

Антін ШУВАР

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
завідувач кафедри агробіотехнологій,
Західноукраїнський національний університет, Україна
ORCID iD: 0000-0002-6016-0896

СЕКВЕСТРУВАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ТА ПРОДУКУВАННЯ КИСНЮ НА ПЛАНТАЦІЯХ МІСКАНТУСА

© Юрій Гайда, Ярослав Фучило, Василь Брич, Тарас Гайда, Олена Борисяк, Антін Шувар, 2024

Отримано: 02.08.2024 р.

Рекомендовано до друку: 28.08.2024 р.

Опубліковано: 30.09.2024 р.



Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0, яка дозволяє необмежене повторне використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії, за умови правильного цитування оригінальної роботи.

Як цитувати: Гайда Ю., Фучило Я., Брич В., Гайда Т., Борисяк О., Шувар А. Секвестрування діоксиду вуглецю та продукування кисню на плантаціях міскантуса. *Економічний аналіз*. 2024. Том 34. № 3. С. 144-158. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.144>

АНОТАЦІЯ

Вступ. Міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize) широко використовується у багатьох країнах як важлива біоенергетична культура для виробництва різних видів твердого біопалива. Плантації міскантусу, на яких можна отримувати значні обсяги фітомаси, можуть також бути джерелом інших екологічних послуг, а саме здійснювати секвестрування вуглекислого газу, тим самим вносячи свою лепту у боротьбу зі змінами клімату, а також продукувати певні обсяги кисню, які необхідні для життєдіяльності інших живих організмів.

Мета. Метою дослідження є визначення обсягів депонування вуглецю та продукування кисню на плантаціях міскантусу, а також побудова моделей їх вікової динаміки.

Метод. Депонований вуглець (Carbon Stock) оцінювався за методикою IPCC (Міжурядової експертної групи зі змін клімату), тобто шляхом множення величини абсолютно сухої біомаси на концентрацію вуглецю (CF), яка приймається рівною 0,50. Для визначення киснепродуктивності міскантусу використано методичні підходи які базуються на визначенні двох показників – фітомаси в абсолютно сухому стані та маси кисню, яка утворюється під час фотосинтезу при утворенні абсолютно сухої органічної речовини.

Результати. Використовуючи дані щодо виходу твердого біопалива залежно від урожайності стебел міскантусу гігантського та відсотка сухої речовини в зібраній біомасі і конвертувавши його у запаси фітомаси нами визначено вуглецепоглиняльну здатність надземної фітомаси міскантусу гігантського та киснетвірну продуктивність і подано їх у форматі номограм. В залежності від урожайності зеленої біомаси стебел міскантусу (вологість 50 %) обсяги депонованого вуглецю на 1 га плантації можуть коливатися від 1,25 до 12,5 т/га, а обсяги продукування кисню - від 3,0 до 30,0 т/га. Динамічна модель вуглецепоглиняльної здатності міскантусу показує, що обсяги щорічного депонування вуглецю зростають спадним темпом від однорічної плантації (близько $2 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$) до 8-10-річної (близько $9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$), а потім знижуються впродовж наступних п'яти років до $7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Секвестрування діоксиду вуглецю в надземній фітомасі міскантусу є короткотерміновим, а тому в більшій мірі на баланс вуглекислого газу в атмосфері може вплинути депонування вуглецю в підземній фітомасі міскантусу а також органічній речовині ґрунту.

Ключові слова: депонування вуглецю; киснетвірна здатність; міскантус; екологічні послуги; номограми вуглецепоглиняльної здатності та киснепродуктивності; біомаса

Статтю підготовлено у межах реалізації проекту з виконання наукового дослідження і розробки 2021.01/0416 «Впровадження кліматично-нейтральних інновацій в управління аграрним природокористуванням в контексті еколого-енергетичної безпеки України» за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

Вступ

Серед багаторічних рослин, які можуть використовуватися в Україні як для виробництва твердого біопалива, так і забезпечувати екологічні послуги з депонування вуглецю, характеризуючись при цьому значною киснетвірною здатністю, особливе місце займає міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize), адже ця рослина характеризується надзвичайно високим продукуванням біомаси (до $30 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$) [22] з

високою теплотворною здатністю (до $17,744 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$) [15].

До роду *Miscanthus* відносяться 22 види багаторічних кущистих трав'янистих рослин [9], шість з яких культивують в сільському господарстві [29]. Найперспективнішим представником цього роду є міскантус гігантський (elephant grass, слонова трава), який є природним аллотриплоїдним гібридом міскантусів китайського (*M. sinensis* Anderss) та цукровоквіткового (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack) і походить зі східної Азії. Триплоїдність цієї рослини є причиною її

стерильності і, відповідно, гарантує її неінвазійність [6].

Селекція міскантуса ведеться давно і на сьогодні є відомості про його 100 форм і сортів, які застосовують в культурі [9]. Згідно літературним даним, нині селекція нових гібридів міскантуса активно проводиться в Швеції, Данії, Німеччині, США та Японії [17; 18; 30; 33; 35]. В Україні селекційні програми з міскантусом (гіганського, китайського і цукровіткового) націлені першочергово на збільшення приросту біомаси, поліпшення її мінерального складу, отримання життєздатного насіння та збереження його протягом тривалого часу [10].

Загалом екологічні особливості міскантуса – зимостійкість, посухостійкість, невибагливість до родючості ґрунту, стійкість до фітопатогенів і ентомошкідників, механічна стійкість до опадів і вітру забезпечує йому відносно високу екологічну пластичність, а отже можливість для широкого культивування в різних природно-кліматичних районах України.

Висота стебел міскантусів коливається від 1,5 до 5,0 м. Виділяють три типи листків – *sinensis*, *sachariflorus* та *floridulus*. Рослини з широкими листками використовуються як кормові трави в напівприродних луках Кореї, Японії та Тайваню. Як діагностичні ознаки видів міскантуса використовують будову колосків [28]. Міскантус володіє потужною розвиненою мичкуватою кореневою системою, яка може проникати у ґрунт на глибину, більшу за 2,5 м, що забезпечує використання рослиною поживних речовин і води з нижніх горизонтів ґрунту [3].

Із можливих чотирьох способів розмноження (насінням, клональним мікророзмноженням *in vitro*, поділом кореневища на ризоми, живцюванням) найменш витратним та ефективним є сегментація кореневищ на фрагменти довжиною приблизно 10 см, так звані ризоми і наступне їх висаджування на ділянці плантації [14].

Міскантус характеризується високою пластичністю щодо ґрунтових умов. Його

можна культивувати на різних типах ґрунтів, в тому числі на піщаних і супіщаних, деградованих малопродуктивних, з підвищеним вмістом солей [9]. Однак, міскантус чутливий до якості ґрунту, тому на родючих ґрунтах урожай біомаси може становити до 30 сух. т/га в рік, а на бідних – ледь досягати 10 сух. т/га/рік. [1]. В той же час є дані, які свідчать про недоцільність вирощування міскантуса на ґрунтах зі вмістом глини понад 64 %, оскільки молоде коріння рослин пошкоджується, коли ґрунт вивсихає [34]. За рівнем кислотності ґрунти під плантації міскантуса повинні бути близькі і нейтральних (рН = 6,5), особливо в перші два роки культивування, з рівнем ґрунтових вод нижче 1 м [9].

Тривалість безперервного використання рослин міскантуса на одній плантації – до 20 років, а період комерційного вирощування – близько 15 років. Біомасу можна заготовлювати щорічно, починаючи з другого року вирощування [4; 9]. Виробничі витрати на вирощування біомаси міскантуса в різних європейських країнах оцінюються на рівні 40-50 євро-т-1 сухої речовини [2; 3].

Мета статті

Метою дослідження є визначення обсягів депонування вуглецю та продукування кисню на плантаціях міскантуса, а також побудова моделей їх вікової динаміки.

Виклад основного матеріалу

З огляду на особливості технології культивування видів та сортів міскантуса (15-20-річне вирощування зі щорічною заготовлею біомаси) депонування ним вуглецю у надземній фітомасі є короткостроковим, а у підземній фітомасі та ґрунті - більш тривалим.

У моделі визначення вуглецепоглиняльної здатності міскантуса у короткостроковому періоді у якості вихідних даних нами використано обсяги сухої надземної біомаси за різної врожайності біомаси на плантації. Аналітично ця модель передбачає здійснення ступінчастих послідовних розрахунків:

Депонований вуглець (Carbon Stock) у

надземній біомасі міскантусу (Above Ground Biomass) оцінювався шляхом множення величини абсолютної біомаси на концентрацію вуглецю (CF), яка приймається рівною 0,50 [24]:

$$CS (\text{т/га}) = \text{AGB} (\text{т/га}) \times \text{CF}$$

Оцінка секвестрації діоксиду вуглецю (CO_2) здійснювалася шляхом множення запасу вуглецю в біомасі на коефіцієнт 44/12 [25]:

$$\text{CO}_2 \text{ sequestration} (\text{т/га}) = \text{Carbon stock} (\text{т/га}) \times (44/12)$$

Використовуючи дані щодо виходу твердого біопалива залежно від урожайності стебел міскантусу гігантського та відсотка сухої речовини в зібраній біомасі [9] і конвертувавши його у запаси фітомаси нами визначено вуглецепоглиняльну здатність надземної фітомаси міскантусу гігантського і подано її у форматі номограми (табл. 1). На основі даних цієї таблиці розраховано також обсяги секвестрування CO_2 надземною фітомасою міскантусу залежно від урожайності його стебел на плантації та % сухої речовини, т/га (табл. 2). Номограма побудована з врахуванням теоретично можливої максимальної біопродуктивності плантацій міскантусу – 25 т/га абсолютно сухої речовини.

Як бачимо, в залежності від урожайності зеленої біомаси стебел міскантусу (вологість 50 %) обсяги депонованого вуглецю на 1 га плантації можуть коливатися від 1,25 до 12,5 т/га. Оскільки, біомасу міскантусу частіше заготовляють пізно восени, також в зимовий період, рідше весною, коли вміст вологи в ній може суттєво знизитися (від 40-45 до 20-25 %), запропонована номограма дозволяє оперативно визначити обсяги депонованого вуглецю за різної урожайності стебел міскантусу з широким діапазоном їх вологості (20-50 %).

Для оцінки вікової динаміки вуглецепоглиняльної здатності міскантусу

нами спочатку оцінено зміну продуктивності біомаси у міскантусу впродовж 15-річного циклу культивування на плантації, а потім на основі аналізу отриманого числового ряду здійснено моделювання динаміки обсягів депонування вуглецю міскантусом гігантським за цей період (рис. 1).

Як бачимо, динаміка вуглецепоглиняльної здатності міскантусу адекватно ($R^2 = 0.834$) апроксимується поліномом другого ступеня:

$$Y = 1,448 + 1,646X - 0,091X^2.$$

де Y – обсяги депонованого вуглецю, т·га⁻¹.

X – рік вирощування міскантусу на плантації.

Графічна ілюстрація моделі (див. рис. 2) свідчить, що вуглецепоглиняльна здатність міскантусу зростає спадним темпом від однорічної плантації (близько 2 т·га⁻¹) до 8-10-річної (близько 9 т·га⁻¹), а потім спадає впродовж наступних п'яти років до 7 т·га⁻¹.

Оскільки надземну біомасу на плантації міскантусу збирають щорічно, це означає, що депонований впродовж року у ній вуглець переходить у біопаливо і при його використанні знову повертається в атмосферу. Тому короткотермінове секвестрування вуглекислого газу у надземній біомасі міскантусу не має значного впливу на баланс цього парникового газу в атмосфері. Певну роль у тривалому депонуванні вуглецю відіграє підземна біомаса кореневищ та органічна речовина ґрунту.

Саме тому в науковій літературі, присвяченій дослідженню депонування вуглецю видами та сортами міскантусу переважають роботи, які розглядають питання зміни концентрації карбону в ґрунтах під плантаціями міскантусу [23; 31; 36]. Підраховано, що при зборі біомаси міскантусу зимою, досить значна частка надземної біомаси втрачається з опадом листя і нездерев'янілих верхівок, які однак, при цьому збільшують запаси вуглецю, акумульованого в ґрунті [21].

Таблиця 1. Номограма для визначення вуглецепоглиняльної здатності міскантусу гігантського залежно від урожайності його стебел та % сухої речовини, т/га

Врожайність надземної біомаси, т/га	Суша речовина стебел, %															
	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
5,0	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
7,5	1,88	1,95	2,03	2,10	2,18	2,25	2,33	2,40	2,48	2,55	2,63	2,70	2,78	2,85	2,93	3,00
10,0	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00
12,5	3,13	3,25	3,38	3,50	3,63	3,75	3,88	4,00	4,13	4,25	4,38	4,50	4,63	4,75	4,88	5,00
15,0	3,75	3,90	4,05	4,20	4,35	4,50	4,65	4,80	4,95	5,10	5,25	5,40	5,55	5,70	5,85	6,00
17,5	4,38	4,55	4,73	4,90	5,08	5,25	5,43	5,60	5,78	5,95	6,13	6,30	6,48	6,65	6,83	7,00
20,0	5,00	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00	6,20	6,40	6,60	6,80	7,00	7,20	7,40	7,60	7,80	8,00
22,5	5,63	5,85	6,08	6,30	6,53	6,75	6,98	7,20	7,43	7,65	7,88	8,10	8,33	8,55	8,78	9,00
25,0	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50	8,75	9,00	9,25	9,50	9,75	10,00
27,5	6,88	7,15	7,43	7,70	7,98	8,25	8,53	8,80	9,08	9,35	9,63	9,90	10,18	10,45	10,73	11,00
30,0	7,50	7,80	8,10	8,40	8,70	9,00	9,30	9,60	9,90	10,20	10,50	10,80	11,10	11,40	11,70	12,00
32,5	8,13	8,45	8,78	9,10	9,43	9,75	10,08	10,40	10,73	11,05	11,38	11,70	12,03	12,35		
35,0	8,75	9,10	9,45	9,80	10,15	10,50	10,85	11,20	11,55	11,90	12,25					
37,5	9,38	9,75	10,13	10,50	10,88	11,25	11,63	12,00	12,38							
40,0	10,00	10,40	10,80	11,20	11,60	12,00	12,40									
42,5	10,63	11,05	11,48	11,90	12,33											
45,0	11,25	11,70	12,15													
47,5	11,88	12,35														
50,0	12,50															

Джерело: побудовано авторами на основі даних біопродуктивності міскантусу [9].

Таблиця 2. Номограма для визначення обсягів секвестрування CO₂ міскантусом гігантським залежно від урожайності його стебел та % сухої речовини, т/га

Врожайність біомаси стебел, т/га	Суха речовина стебел, %															
	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
5.0	4.58	4.77	4.95	5.13	5.32	5.50	5.68	5.87	6.05	6.23	6.42	6.60	6.78	6.97	7.15	7.33
7.5	6.88	7.15	7.43	7.70	7.98	8.25	8.53	8.80	9.08	9.35	9.63	9.90	10.18	10.45	10.73	11.00
10.0	9.17	9.53	9.90	10.27	10.63	11.00	11.37	11.73	12.10	12.47	12.83	13.20	13.57	13.93	14.30	14.67
12.5	11.46	11.92	12.38	12.83	13.29	13.75	14.21	14.67	15.13	15.58	16.04	16.50	16.96	17.42	17.88	18.33
15.0	13.75	14.30	14.85	15.40	15.95	16.50	17.05	17.60	18.15	18.70	19.25	19.80	20.35	20.90	21.45	22.00
17.5	16.04	16.68	17.33	17.97	18.61	19.25	19.89	20.53	21.18	21.82	22.46	23.10	23.74	24.38	25.03	25.67
20.0	18.33	19.07	19.80	20.53	21.27	22.00	22.73	23.47	24.20	24.93	25.67	26.40	27.13	27.87	28.60	29.33
22.5	20.63	21.45	22.28	23.10	23.93	24.75	25.58	26.40	27.23	28.05	28.88	29.70	30.53	31.35	32.18	33.00
25.0	22.92	23.83	24.75	25.67	26.58	27.50	28.42	29.33	30.25	31.17	32.08	33.00	33.92	34.83	35.75	36.67
27.5	25.21	26.22	27.23	28.23	29.24	30.25	31.26	32.27	33.28	34.28	35.29	36.30	37.31	38.32	39.33	40.33
30.0	27.50	28.60	29.70	30.80	31.90	33.00	34.10	35.20	36.30	37.40	38.50	39.60	40.70	41.80	42.90	44.00
32.5	29.79	30.98	32.18	33.37	34.56	35.75	36.94	38.13	39.33	40.52	41.71	42.90	44.09	45.28		
35.0	32.08	33.37	34.65	35.93	37.22	38.50	39.78	41.07	42.35	43.63	44.92					
37.5	34.38	35.75	37.13	38.50	39.88	41.25	42.63	44.00	45.38							
40.0	36.67	38.13	39.60	41.07	42.53	44.00	45.47									
42.5	38.96	40.52	42.08	43.63	45.19											
45.0	41.25	42.90	44.55													
47.5	43.54	45.28														
50.0	45.83															

Джерело: побудовано авторами на основі даних біопродуктивності міскантусу [9].

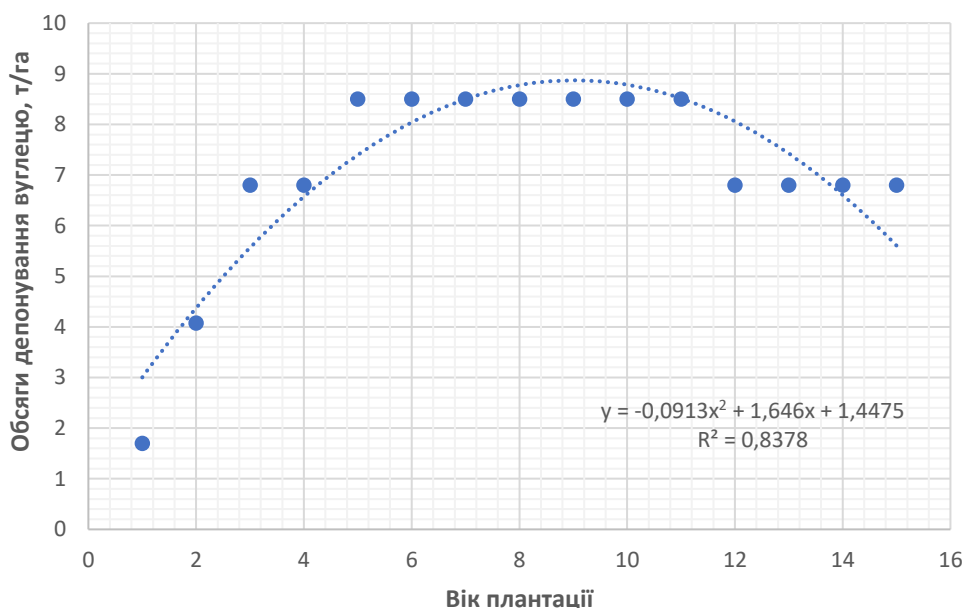


Рис. 1. Регресійна модель динаміки обсягів депонування вуглецю міскантусом гігантським впродовж 15-річного циклу культивування

Джерело: побудовано авторами самостійно на основі даних [9].

Результати досліджень в Ірландії показують, що коли міскантус вирощується на землях, які раніше були під іншими сільгоспкультурами, органічний С у ґрунті підвищиться до рівня вищого рівня місцевого пасовища, оскільки органічний матеріал міскантусу має повільну швидкість розкладання. А отже зміна землекористування з орних на плантації міскантусу потенційно може зберігати від 2 до 3 $\text{Mg C} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$ залежно від урожайності та початковий рівень органіки в ґрунті [16]. В Японії рівень секвестрації С для *Miscanthus giganteus* і *M. sinensis* становив $1,96 \pm 0,82$ та $0,99 \pm 0,21 \text{ Mg C} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$ протягом 6 років. Середня врожайність біомаси *Miscanthus giganteus* і *M. sinensis* з 2010 по 2015 рік становила $25,6 \pm 0,2$ та $31,2 \pm 0,5 \text{ Mg C} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$ відповідно. Зроблено висновок, що *M. sinensis* має вищий урожай, тоді як *Miscanthus giganteus* має вищий потенціал для негайного поглинання С у прохолодних регіонах, таких як Північна Японія [32]. Важливо зазначити,

що велика частка накопиченого вуглецю швидко втрачатиметься, якщо плантації міскантусу будуть перетворені на орні землі [26]. 9-12 річне культивування міскантусу може забезпечити збільшення запасу органічного вуглецю на глинистих ґрунтах $0.23 \text{ C4-C g} \cdot \text{кг ґрунту}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Щорічне видалення біомаси міскантусу на плантації має бути компенсовано додатковим удобренням, в ідеалі органічними добривами, щоб покращити не лише родючість ґрунту, але й структуру ґрунту та секвестрацію ним вуглецю [20].

За даними данських вчених на 16-річних плантаціях міскантусу загальна кількість вуглецю в шарі ґрунту 0–20 см коливалась від 11,9 до 18,2 т/га, з яких 23–34% було в кореневищах (ризоммах) і коренях, що свідчить про значний внесок у довгостроковому депонування вуглецю у ґрунті. Цими авторами зазначено, що у майбутніх дослідженнях слід віддати пріоритет сезонній та річній динаміці С, що зберігається в

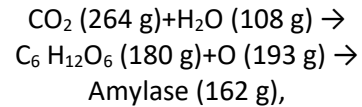
кореневищах і коренях, а також частці пулів С після завершення експлуатації плантації міскантусу [13].

Міскантус відноситься до рослин з C4-шляхом фотосинтезу. Рослина з C4-шляхом фотосинтезу має високі фотосинтетичну активність та здатність засвоювати азот та вуглець і є посухостійкою [14, 16]. За даними дослідження університету Іллінойсу, рослини міскантусу здатні розвивати листки, які можуть фотосинтезувати за температури повітря від 10°C [9].

Рослини з C4 типом фотосинтезу мають спеціальний механізм фіксації вуглецю, що дозволяє їм ефективніше використовувати світло та зберігати воду, особливо в умовах високої температури та посушливого клімату [27].

Для визначення киснепродуктивності посівів міскантусу використано методичні підходи Чеснокова М. І. та Долгошеева В. М. [11] та І. Я. Лієпи [8], які базуються на визначенні двох показників – фітомаси в абсолютно сухому стані та маси кисню, яка утворюється під час фотосинтезу при утворенні абсолютно сухої органічної речовини. Ці показники тісно корелюють між собою і між ними виявлена пряма лінійна залежність, Незначна відмінність між моделями визначення киснепродуктивності різних видів рослин полягає у незначній різниці між коефіцієнтами регресії у цих однофакторних лінійних моделях, Ці коефіцієнти є приблизно однаковими і незначно варіюють для різних видів лісових деревних рослин (сосни – 1,393 т, ялини – 1,413 т, берези – 1,393 т, осики – 1,423), Визначивши річну зміну фітомаси на 1 га і перемноживши її на відповідний коефіцієнт киснепродуктивності однієї тони абсолютно сухої речовини, отримують вагу виділеного кисню з кожного гектара за 1 рік. Так, при оцінці киснепродуктивності лісів ДП «Білоцерківське лісове господарство» для усіх груп порід (хвойних, твердолистяних, м'яколистяних) використовували майже однаковий перевідний коефіцієнт (1,42-1, 43) [7].

Варто зазначити, що частина виділеного кисню витрачається на забезпечення процесу дихання рослин, а також розкладання органічних решток в лісових екосистемах (підстилки, детриту), а тому коефіцієнти киснепродуктивності потрібно коригувати в сторону зменшення. Якщо користуватися формулами фотосинтезу та дихання [12; 19]:



то очевидним фактом є те, що синтезуючи 162 г сухої речовини, рослини продукують 193 г кисню. Таким чином, базуючись на цьому теоретичному співвідношенні, можна стверджувати, що при утворенні рослинами міскантусу однієї тони сухої біомаси буде виділено 1,2 тони кисню, Тому у моделі визначення киснепродуктивності рослин нами використано перевідний коефіцієнт 1,2.

У табл. 3 наведено дані щодо обсягів киснепродуктивності плантацій міскантусу залежно від урожайності стебел рослин міскантусу та вологості отриманої біомаси. З номограми можна побачити, що інтервал продукування кисню в залежності від значень вищезгаданих параметрів досить значний – від 3,0 до 30,0 т/га. Ріст киснепродуктивності майже лінійно залежить від збільшення урожайності надземної фітомаси рослин міскантусу на його плантаціях.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Використовуючи дані щодо запасів сухої речовини у фітомасі міскантусу визначено вуглецепоглиняльну здатність надземної біомаси міскантусу гігантського та киснетвірну продуктивність рослин на плантації і подано їх у форматі номограм. В залежності від урожайності зеленої біомаси стебел міскантусу (вологість 50 %) обсяги депонованого вуглецю на 1 га плантації можуть коливатися від 1,25 до 12,5 т/га, а обсяги продукування кисню - від 3,0 до 30,0 т/га.

Таблиця 3. Номограма для визначення обсягів продукування кисню міскантусом гігантським залежно від урожайності його стебел та % сухої речовини, т/га

Врожайність біомаси стебел, т/га	Суха речовина стебел, %															
	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
5,0	3,00	3,12	3,24	3,36	3,48	3,60	3,72	3,84	3,96	4,08	4,20	4,32	4,44	4,56	4,68	4,80
7,5	4,50	4,68	4,86	5,04	5,22	5,40	5,58	5,76	5,94	6,12	6,30	6,48	6,66	6,84	7,02	7,20
10,0	6,00	6,24	6,48	6,72	6,96	7,20	7,44	7,68	7,92	8,16	8,40	8,64	8,88	9,12	9,36	9,60
12,5	7,50	7,80	8,10	8,40	8,70	9,00	9,30	9,60	9,90	10,20	10,50	10,80	11,10	11,40	11,70	12,00
15,0	9,00	9,36	9,72	10,08	10,44	10,80	11,16	11,52	11,88	12,24	12,60	12,96	13,32	13,68	14,04	14,40
17,5	10,50	10,92	11,34	11,76	12,18	12,60	13,02	13,44	13,86	14,28	14,70	15,12	15,54	15,96	16,38	16,80
20,0	12,00	12,48	12,96	13,44	13,92	14,40	14,88	15,36	15,84	16,32	16,80	17,28	17,76	18,24	18,72	19,20
22,5	13,50	14,04	14,58	15,12	15,66	16,20	16,74	17,28	17,82	18,36	18,90	19,44	19,98	20,52	21,06	21,60
25,0	15,00	15,60	16,20	16,80	17,40	18,00	18,60	19,20	19,80	20,40	21,00	21,60	22,20	22,80	23,40	24,00
27,5	16,50	17,16	17,82	18,48	19,14	19,80	20,46	21,12	21,78	22,44	23,10	23,76	24,42	25,08	25,74	26,40
30,0	18,00	18,72	19,44	20,16	20,88	21,60	22,32	23,04	23,76	24,48	25,20	25,92	26,64	27,36	28,08	28,80
32,5	19,50	20,28	21,06	21,84	22,62	23,40	24,18	24,96	25,74	26,52	27,30	28,08	28,86	29,64		
35,0	21,00	21,84	22,68	23,52	24,36	25,20	26,04	26,88	27,72	28,56	29,40					
37,5	22,50	23,40	24,30	25,20	26,10	27,00	27,90	28,80	29,70							
40,0	24,00	24,96	25,92	26,88	27,84	28,80	29,76									
42,5	25,50	26,52	27,54	28,56	29,58											
45,0	27,00	28,08	29,16													
47,5	28,50	29,64														
50,0	30,00															

Динамічна модель вуглецепоглиняльної здатності міскантусу засвідчує, що обсяги щорічного депонування вуглецю зростають спадним темпом від однорічної плантації (близько 2 т·га⁻¹) до 8-10-річної (близько 9 т·га⁻¹), а потім знижуються впродовж наступних п'яти років до 7 т·га⁻¹. Секвестрування діоксиду вуглецю в надземній фітомасі міскантусу є короткотерміновим, а тому в

більшій мірі на баланс вуглекислого газу в атмосфері може вплинути депонування вуглецю в підземній фітомасі міскантусу, а також органічній речовині ґрунту.

У перспективі в Україні варто продовжити більш детальні дослідження процесів та обсягів депонування вуглецю у підземній біомасі міскантусу та органічній масі різних типів ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гелетуша, Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 10 (2014): 33.
2. Гументик М. Я., Квак В. М. Оптимізація елементів технології вирощування міскантусу в умовах західного Лісостепу України. *Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету*. Вип. 1(57). Серія: Сільськогосподарські науки. Вінниця, 2012. С. 168–173.
3. Гументик М. Я. Вирощування та використання органічної сировини для виробництва енергії. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ НААН*. Випуск 14. «Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур». Київ, 2012. –С. 446-448.
4. Гументик М. Я., Бондар В. С. Економічна й енергетична ефективність вирощування біоенергетичних культур на біопаливо. *Біоенергетика*. 1 (2018): 16-19.
5. Гументик М. Я., Гайда Ю. І., Фучило Я. Д., Гнап І. В. Економічна ефективність інвестицій у вирощування біоенергетичних культур в зоні Лісостепу України. *Економічний аналіз*. 2018. Том 28, № 2. С. 21-29.
6. Ігнатченко М. В., Мельник Т. І. Міскантус гігантський – перспективна ресурсна, енергетична та фітомеліоративна культура північно-східного Лісостепу України. "Гончарівські читання": Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 94-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича (25 травня 2023 р.). Суми, 2023. С. 211-213.
7. Ковалевський С. С. Біопродуктивність лісів лісостепової придніпровської височини в умовах техногенного навантаження на довкілля. Автореферат канд. дисертації: 06.03.02 – лісовпорядкування та лісова селекція. Київ. 2016. 23 с.
8. Лиєпа І. Я. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 172 с.
9. Роїк М. В., Сінченко В. М., Пиркін В. І. та інші. Міскантус. К.: ІБКіЦБ, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. 234 с.
10. Роїк М. В., Гонтаренко С. М., Лашук, С. О. (2014). Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. (21), 249.
11. Чесноков Н. И., Долгошеев В. М. Оценка кислородопroduцирующей функции леса. *Лесное хозяйство*. 1978. Т. 7. С. 32-34.

12. Başkent E. Z., Keleş S., Kadioğulları A. İ., Bingöl Ö. (2011). Quantifying the effects of forest management strategies on the production of forest values: timber, carbon, oxygen, water, and soil. *Environmental Modeling & Assessment*. 16, 145-152.
13. Christensen B. T., Lærke P. E., Jørgensen U., Kandel, T. P., Thomsen I. K. (2016). Storage of Miscanthus-derived carbon in rhizomes, roots, and soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(4), 354-360.
14. Clifton-Brown J., Breuer J., Jones M. Carbon mitigation by the energy crop, Miscanthus. *Global Change Biology*. 2007. 13, №11. P. 296 – 307.
15. Collura S., Azambre B., Fingueneisel G., Jimmy Th., Weber J.V. (2006) Miscanthus x Giganteus straw and pellets as sustainable fuels. Combustion and emission tests. *Environ. Chem. Lett.* (4): 75-78 / DOI 10.1007/s10311-006-0036-3
16. Dondini M., Hastings A., Saiz G., Jones M. B., Smith P. (2009). The potential of Miscanthus to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *Global Change Biology Bioenergy*. 1(6), 413-425.
17. Energy Crop Breeding. New energy farms. URL: <http://www.newenergyfarms.com/solmass.php>
18. Genetic Engineering and Biotechnology News. URL: <http://www.Genengnews.com/news/bnitem.aspx/name=1499533&taxid=48>
19. Guo Z., Xiao X., Gan Y., Zheng, Y. (2001). Ecosystem functions, services and their values: A case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*. 38, 141–154.
20. Guzman J. G., Lal, R. (2014). Miscanthus and switchgrass feedstock potential for bioenergy and carbon sequestration on minesoils. *Biofuels*. 5(3), 313–329. <https://doi.org/10.1080/17597269.2014.913908>
21. Hansen, E. M., Christensen B. T., Jensen L. S., Kristensen K. (2004). Carbon sequestration in soil beneath long-term Miscanthus plantations as determined by ¹³C abundance. *Biomass and Bioenergy*. 26(2), 97-105.
22. Himken M., Lanime J., Neukirchen D., Czymionka-Krause U., Olf H.-W. (1997) Cultivation of Miscanthus under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil* (189): 117-126.
23. Holder A. J., Clifton-Brown J., Rowe R., Robson P., Elias D., Dondini M., McCalmont J. P. (2019). Measured and modelled effect of land-use change from temperate grassland to Miscanthus on soil carbon stocks after 12 years. *GCB Bioenergy*. 11(10), 1173-1186.
24. IPCC (1996) Land use change and forestry. In Revised. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
25. IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES). URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
26. Jones M. B., Zimmermann J., Clifton-Brown, J. (2016). Long-term yields and soil carbon sequestration from Miscanthus: a review. *Perennial biomass crops for a resource-constrained world*, 43-49.
27. Kanai R., Edwards G. E. (1999). The biochemistry of C4 photosynthesis. *C4 plant biology*, 49 -87.
28. Lee Y. N. Taxonomic studies on the genus Miscanthus. Anatomical patterns of leaves. *Botanical Magazine*. 1964. 77. P. 122-130.
29. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock J. M. O., Huisman W. Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass & Bioenergy*. 2000. Vol. 19, N 4. P. 210-217.
30. McKervey Z., Woods V.B., Eason D.L. Miscanthus as an energy crop and its potential for Northern Ireland. Global Research Unit AFBI Hillsborough, Occasional publication. 2008. May, № 8. P. 37.

31. Mishra U., Torn M. S., Fingerman K. (2013). Miscanthus biomass productivity within US croplands and its potential impact on soil organic carbon. *Gcb Bioenergy*, 5(4), 391-399.
32. Nakajima T., Yamada T., Anzoua K. G., Kokubo R., Noborio K. (2018). Carbon sequestration and yield performances of Miscanthus × giganteus and Miscanthus sinensis. *Carbon Management*. 9(4), 415–423. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1518106>
33. Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara et al. Discovery of natural Miscanthus (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of Miscanthus sachariflorus and Miscanthus sinensis in southern Japan. *American Journal of Botany*. 2011. January, Vol. 98. P. 154-159.
34. Prysiazhniuk O., Maliarenko O., Roik M., Fuchylo Y., Lewandowski I., Makovskis K., ... von Cossel M. (2022). Biomass dry matter yield of willow and Miscanthus in low-input cropping on heavy clay soils in Ukraine. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(6), 1794-1807. DOI: 10.1002/bbb.2432
35. Tinplant Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH. URL: www.tinplant-gmbh.de
36. Zang H., Blagodatskaya E., Wen Y., Xu X., Dyckmans J., Kuzyakov Y. (2018). Carbon sequestration and turnover in soil under the energy crop Miscanthus: Repeated ¹³C natural abundance approach and literature synthesis. *GCB Bioenergy*, 10(4), 262-271.

References

1. Heletukha, H. H., Zhelezna, T. A., & Tryboi, O. V. (2014). Prospects for growing and using energy crops in Ukraine. *Analytical Note BAU*, 10, 33.
2. Humentyk, M. Ya., & Kvak, V. M. (2012). Optimization of elements of miscanthus cultivation technology in the conditions of Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Works Collection of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Agricultural Sciences*, (Issue 1(57)), 168–173.
3. Humentyk, M. Ya. (2012). Cultivation and use of organic raw materials for energy production. *Scientific Works Collection of IBKICB NAAS*. (Issue 14). "Innovative Technologies for Cultivating Agricultural Crops," 446-448.
4. Humentyk, M. Ya., & Bondar, V. S. (2018). Economic and energy efficiency of growing bioenergy crops for biofuel. *Bioenergy*, 1, 16-19.
5. Humentyk, M. Ya., Haida, Yu. I., Fuchylo, Ya. D., & Hnap, I. V. (2018). Economic efficiency of investments in the cultivation of bioenergy crops in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Economic Analysis*, 28(2), 21-29.
6. Ihnatchenko, M. V., & Melnyk, T. I. (2023). Giant miscanthus as a promising resource, energy, and phytomelioration crop of the northeastern Forest-Steppe of Ukraine. In "Honchariv readings": Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 94th anniversary of Dr. Mykola Demianovych Honcharov (May 25, 2023) (pp. 211-213). Sumy, Ukraine.
7. Kovalevskyi, S. S. (2016). Bioproductivity of the forests of the Dnieper Upland Forest-Steppe under conditions of technogenic environmental load. PhD Abstract: 06.03.02 – Forest Management and Forest Breeding. Kyiv, Ukraine.
8. Liepa, I. Ya. (1980). Dynamics of forest reserves. *Forecasting and Ecology*. Riga: Zinatne.
9. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Pyrkin, V. I., et al. (2016). *Miscanthus*. Kyiv: IBKICB, Nilan-LTD.
10. Roik, M. V., Hontarenko, S. M., & Lashuk, S. O. (2014). Current state of selection development and registration of Miscanthus representatives in Ukraine and the world. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, (21), 249.
11. Chesnokov, N. I., & Dolgosheev, V. M. (1978). Assessment of the forest's oxygen production function. *Forestry*, 7, 32-34.

12. Başkent, E. Z., Keleş, S., Kadioğulları, A. İ., & Bingöl, Ö. (2011). Quantifying the effects of forest management strategies on the production of forest values: Timber, carbon, oxygen, water, and soil. *Environmental Modeling & Assessment*, 16, 145-152.
13. Christensen, B. T., Lærke, P. E., Jørgensen, U., Kandel, T. P., & Thomsen, I. K. (2016). Storage of Miscanthus-derived carbon in rhizomes, roots, and soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(4), 354-360.
14. Clifton-Brown, J., Breuer, J., & Jones, M. (2007). Carbon mitigation by the energy crop, Miscanthus. *Global Change Biology*, 13(11), 296-307.
15. Collura, S., Azambre, B., Fingueneisel, G., Jimmy, T., & Weber, J. V. (2006). Miscanthus x Giganteus straw and pellets as sustainable fuels: Combustion and emission tests. *Environmental Chemistry Letters*, 4, 75-78. <https://doi.org/10.1007/s10311-006-0036-3>
16. Dondini, M., Hastings, A., Saiz, G., Jones, M. B., & Smith, P. (2009). The potential of Miscanthus to sequester carbon in soils: Comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *Global Change Biology Bioenergy*, 1(6), 413-425.
17. *Energy Crop Breeding*. New Energy Farms. Retrieved from <http://www.newenergyfarms.com/solmass.php>
18. *Genetic Engineering and Biotechnology News*. Retrieved from <http://www.Genengnews.com/news/bnitem.aspx/name=1499533&taxid=48>
19. Guo, Z., Xiao, X., Gan, Y., & Zheng, Y. (2001). Ecosystem functions, services and their values: A case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*, 38, 141-154.
20. Guzman, J. G., & Lal, R. (2014). Miscanthus and switchgrass feedstock potential for bioenergy and carbon sequestration on minesoils. *Biofuels*, 5(3), 313-329. <https://doi.org/10.1080/17597269.2014.913908>
21. Hansen, E. M., Christensen, B. T., Jensen, L. S., & Kristensen, K. (2004). Carbon sequestration in soil beneath long-term Miscanthus plantations as determined by ¹³C abundance. *Biomass and Bioenergy*, 26(2), 97-105.
22. Himken, M., Lanime, J., Neukirchen, D., Czymionka-Krause, U., & Olf, H.-W. (1997). Cultivation of Miscanthus under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, 189, 117-126.
23. Holder, A. J., Clifton-Brown, J., Rowe, R., Robson, P., Elias, D., Dondini, M., & McCalmont, J. P. (2019). Measured and modelled effect of land-use change from temperate grassland to Miscanthus on soil carbon stocks after 12 years. *GCB Bioenergy*, 11(10), 1173-1186.
24. IPCC. (1996). Land use change and forestry. In *Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Cambridge University Press.
25. IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
26. Jones, M. B., Zimmermann, J., & Clifton-Brown, J. (2016). Long-term yields and soil carbon sequestration from Miscanthus: A review. In *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World* (pp. 43-49).
27. Kanai, R., & Edwards, G. E. (1999). The biochemistry of C4 photosynthesis. In *C4 Plant Biology* (pp. 49-87).
28. Lee, Y. N. (1964). Taxonomic studies on the genus Miscanthus: Anatomical patterns of leaves. *Botanical Magazine*, 77, 122-130.
29. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., & Huisman, W. (2000). Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass & Bioenergy*, 19(4), 210-217.
30. McKervey, Z., Woods, V. B., & Easson, D. L. (2008). Miscanthus as an energy crop and its potential for Northern Ireland. *Global Research Unit AFBI Hillsborough*, Occasional publication (May), 8, 37.

31. Mishra, U., Torn, M. S., & Fingerman, K. (2013). Miscanthus biomass productivity within US croplands and its potential impact on soil organic carbon. *GCB Bioenergy*, 5(4), 391-399.
32. Nakajima, T., Yamada, T., Anzoua, K. G., Kokubo, R., & Noborio, K. (2018). Carbon sequestration and yield performances of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis*. *Carbon Management*, 9(4), 415-426. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1518106>
33. Nishiwaki, A., Mizuguti, A., Kuwabara, et al. (2011). Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sachariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany*, 98, 154-159.
34. Prysiazniuk, O., Maliarenko, O., Roik, M., Fuchylo, Y., Lewandowski, I., Makovskis, K., ... von Cossel, M. (2022). Biomass dry matter yield of willow and *Miscanthus* in low-input cropping on heavy clay soils in Ukraine. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(6), 1794-1807. <https://doi.org/10.1002/bbb.2432>
35. *Tinplant Biotechnik und Pflanzenvermehrung GmbH*. Retrieved from www.tinplant-gmbh.de
36. Zang, H., Blagodatskaya, E., Wen, Y., Xu, X., Dyckmans, J., & Kuzyakov, Y. (2018). Carbon sequestration and turnover in soil under the energy crop *Miscanthus*: Repeated ¹³C natural abundance approach and literature synthesis. *GCB Bioenergy*, 10(4), 262-271.

Yuriy Hayda, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Department of Agrarian Technologies and Forestry, Chernihiv Polytechnic National University, Ukraine

Yaroslav Fuchylo, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

Vasyl Brych, Doctor of Economics, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Innovation, Nature Management and Infrastructure, West Ukrainian National University, Ukraine

Taras Haida, PhD in Economics, Associate Professor, West Ukrainian National University, Ukraine

Olena Borysiak, Doctor of Economics, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ukraine

Antin Shuvar, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agrobiotechnologies, West Ukrainian National University, Ukraine

Carbon dioxide sequestration and oxygen production in miscanthus plantations

Abstract

Introduction. Giant *Miscanthus* (*Miscanthus giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize) is widely used in many countries as an important bioenergy crop for producing various types of solid biofuels. *Miscanthus* plantations, which can yield significant amounts of phytomass, can also serve as a source of other environmental services, such as sequestering carbon dioxide, thereby contributing to climate change mitigation, and producing certain volumes of oxygen necessary for the survival of other living organisms.

Objective. The aim of the study is to determine the carbon sequestration volumes and oxygen production on *Miscanthus* plantations, as well as to develop models of their age-related dynamics.

Method. Carbon Stock was assessed using the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) methodology, which involves multiplying the value of absolutely dry biomass by the carbon concentration (CF), accepted as 0.50. To determine the oxygen productivity of *Miscanthus*, methodological approaches based on determining two indicators were used: the absolutely dry state of phytomass and the mass of oxygen produced during photosynthesis in the formation of absolutely dry organic matter.

Results. Using data on the solid biofuel output depending on the yield of giant *Miscanthus* stems and the percentage of dry matter in the harvested biomass, and converting it into phytomass stock, we determined the carbon sequestration capacity of the aboveground phytomass of giant *Miscanthus* and its oxygen productivity, presented in nomogram format. Depending on the yield of green *Miscanthus* stems (with 50% moisture content), the carbon sequestration volumes per hectare of plantation may vary from 1.25 to 12.5 t/ha, and the oxygen production volumes from 3.0 to 30.0 t/ha. The dynamic model of *Miscanthus*' carbon sequestration capacity shows that annual carbon sequestration

volumes increase at a decreasing rate from a one-year plantation (approximately 2 t/ha) to 8-10 years (about 9 t/ha), then decline over the next five years to 7 t/ha. Carbon dioxide sequestration in the aboveground phytomass of *Miscanthus* is short-term; thus, the carbon balance in the atmosphere can be more significantly influenced by carbon sequestration in the underground phytomass of *Miscanthus* as well as in soil organic matter.

Keywords: carbon sequestration; oxygen productivity; *Miscanthus*; environmental services; carbon sequestration and oxygen productivity nomograms; biomass

The article was prepared within the framework of the research and development project 2021.01/0416 "Introduction of climate-neutral innovations into agricultural nature management within the context of ecological and energy security of Ukraine" through grant support of the National Research Foundation of Ukraine.

Cite as: Haida, Y., Fuchylo, Y., Brych, V., Haida, T., Borisyak, O., and Shuvar, A. (2024). Carbon Dioxide Sequestration and Oxygen Production on *Miscanthus* Plantations. *Economic analysis*, 34 (3), 144-158. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.144>