

УДК 633.9:631.54

## Оцінка засвоєння буряками цукровими елементів живлення як фактору реалізації біологічного потенціалу культури

 **О. І. Присяжнюк\***, **С. С. Шульга**

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,  
\*e-mail: ollpris@gmail.com

**Мета.** Установити особливості накопичення та виносу макроелементів коренеплодами буряків цукрових в умовах Степу України. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2020–2022 рр. в умовах ТОВ «Агрофірма імені Чкалова» (Кіровоградська обл.). Схемою досліду передбачалось вирощування буряків цукрових на фоні застосування вологоутримувача (без гідрогелю; гідрогель Aquasorb, 300 кг/га), за різних систем основного удобрення [без добрив – контроль; гній, 20 т/га; N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>; Леонардит, 400 кг/га; Паросток (марка 20), 400 кг/га] та позакореневих підживлень у період вегетації (без підживлення; Гуміфілд, в.г., 2 кг/га у фазах ВВСН 30 + 39). Органічні та мінеральні добрива (РК) вносили восени під оранку, а азотний компонент останніх (N) – під ранньовесняну культивуацію. Адсорбент вносили в ґрунт за два тижні до сівби культури локально в зону майбутнього рядка, орієнтуючись на дані GPS-трекера. Решта агрозаходів відповідали загальноприйнятій технології вирощування культури в зоні проведення досліджень. **Результати.** У середньому по досліді буряки цукрові на формування врожаю коренеплодів витрачали 90,2 кг/га азоту, 15,1 кг/га фосфору та 75,6 кг/га калію. Витрати макроелементів на формування гички не вираховувались, оскільки вона відразу ж поверталась у ґрунт під час збирання врожаю. Застосування органічних добрив нової формуляції сприяло не лише формуванню високого врожаю коренеплодів буряків цукрових, а й значному виносу макроелементів із ґрунту. Зокрема, за внесення Леонардиту (400 кг/га) з урожаєм виносилось 94,8 кг/га азоту, 16,1 кг/га фосфору та 79,9 кг/га калію, що на 17,1; 3,1 та 14,7 кг/га більше, ніж на неудобреному контролі. За внесення Паросток (марка 20) (400 кг/га) з урожаєм виносилось 101,6 кг/га азоту, 16,7 кг/га фосфору та 84,2 кг/га калію, що перевищувало показники контролю на 23,9; 3,8 та 19,1 кг/га відповідно. **Висновки.** За показниками співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу найвищі значення коефіцієнта було отримано в разі застосування гідрогелю Aquasorb у зону рядка до сівби й удобрення Леонардитом (0,58–0,59) та Паросток (марка 20) (0,58–0,60). Отже, за таких варіантів досліду формувались кращі умови для росту й розвитку буряків цукрових. За отриманими коефіцієнтами співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу врожайність коренеплодів культури можна прогнозувати за рівнянням  $y = 88,5x + 5,1$ .

**Ключові слова:** азот; фосфор; калій; Fv/Fm; мінеральне удобрення; органічне удобрення.

### Вступ

У буряків цукрових (*Beta vulgaris* L.) серед усіх елементів живлення азот відіграє особливо важливу роль у рості й розвитку, особливо що стосується формування листя для синтезу та накопичення органічної речовини. А тому цей біогенний елемент по праву вважається одним з ключових факторів швидкості росту як листя, так і коренеплоду [0]. Відомо, що вміст хлорофілу в листках рослин тісно корелює з доступністю рослинам азоту [0], і за нестачі відбувається зниження вмісту хлорофілу та прискорення старіння листя [0]. Концентрація азоту в листі зростає в перші 70 днів росту й розвитку буряків цукрових, а потім зменшується по мірі їх старіння [0]. Недостатнє забезпечення рослин азотом призводить до формування блідо-зеленого листя через низьку концентрацію хлорофілу в ньому [0], хоча застосування азоту збільшує концентрацію фотосинтетичних пігментів [0], однак несвоєчасне застосування азоту суттєво позначається на формуванні врожайності посівів та їх якості.

Присяжнюк О. І., Шульга С. С. Оцінка засвоєння буряками цукровими елементів живлення як фактору реалізації біологічного потенціалу культури. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 2. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285908>

Визначення рівня вмісту азоту в листках на пізніх стадіях росту буряків цукрових стає актуальним, оскільки було продемонстровано, що пізнє споживання азоту з ґрунту знижує вміст цукрози в коренеплодах [0]. Draucott A. P., Christenson D. R. [0], Malnou C. S. та ін. [0] показали, що за межами оптимального рівня забезпечення азот негативно впливає на вихід цукру. Ґрунти, які надають рослинам багато азоту пізно влітку, сприяють формуванню нижчої продуктивності посівів, ураховуючи те, що вміст цукрози перебуває у зворотній залежності до доступності рослинам азоту.

За даними інших дослідників встановлено, що буряки цукрові реагують на доступність азоту в ґрунті кращим розвитком листя та посиленням росту кореневої системи і коренеплодів, що, у свою чергу, спричиняє надмірне використання сахарози та збільшення нецукрів. В основному це відбувається за надмірного внесення органічних добрив, оскільки частина азоту виділяється із запізненням, викликаючи припинення дозрівання коренів [0]. Або ж коли мінеральні добрива вносять на Півдні України, і вони зберігаються в ґрунті до другої половини вегетації культури без змін. Дощі ж, що проходять в другій половині вегетації, збільшують доступність азоту в ґрунті.

Таке вирішальне значення азоту для багатьох аспектів росту буряків цукрових призвело до розробки різних методів визначення рівнів азоту, включно з хімічним аналізом умісту його в листках [0], суб'єктивні діаграми кольорів листя, методи флуоресценції [0], спектральні [0] і кінетичні записи флуоресценції [0] та методи моніторингу вмісту хлорофілу [0, 0, 0]. Більшість методів, заснованих на флуоресценції, або потребують дорогого обладнання, або є трудомісткими, подібно до використання хлорофлуорометра. Незважаючи на цей недолік, вимірювання, проведені за допомогою хлорофілометрів, показали високу кореляцію з хімічними аналізами у випадку буряків цукрових [6, 15].

Інший метод оцінювання базується на використанні аналізу зображень дистанційного зондування [16, 17]. У цій техніці зображення, отримані в різних масштабах за допомогою різних типів датчиків, використовуються для розрахунку індексів рослинності. Ці індекси дають змогу оцінити вміст хлорофілу в листі [0], спрогнозувати врожайність [19–21], оцінити стан поживних речовин [0, 0], виявити хвороби [24, 25] і бур'яни [26, 27], догляд за культурами [28] або моніторинг росту [29].

Тим не менш, вони залишаються дорогими та створюють дуже великі обсяги даних [30, 31], тоді як виробникам потрібні короткострокові, недорогі рішення для управління своїми полями. Щоб відповідати цим вимогам, було запропоновано простий і недорогий метод діагностики для оцінки забезпечення елементами живлення рослин на основі оцінювання вмісту хлорофілу в листках пшениці та жита за допомогою портативної кольорової відеокамери та персонального комп'ютера. Автори показали, що вміст хлорофілу в листі можна оцінити з достатньою точністю за допомогою основного обладнання [32]. Ця дослідження були продовжені в останні роки, з використанням простих індексів, обчислених на основі діапазонів RGB спектру видимого світла, використовуючи недорогі готові камери [12, 31, 33–35].

**Мета досліджень** – установити особливості накопичення та виносу макроелементів коренеплодами буряків цукрових в умовах Степу України.

### **Матеріали та методика досліджень**

Дослідження з вивчення особливостей формування продуктивності та технологічних якостей коренеплодів цукрових буряків в умовах Степу України проводили у 2020–2022 рр. в умовах ТОВ «Агрофірма імені Чкалова», яке розташоване в Новоукраїнському районі Кіровоградської області.

На території господарства основним типом ґрунту є чорнозем типовий глибокий мало- або середньогумусний. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту становить 2,59 % рН – 6,2–6,8, ємність вбирання 30,7–32,5 мг-екв на 100 г ґрунту. Підґрунтові води розташовані на глибині 4–6 м. До складу мінеральної твердої фази ґрунту входить 37 % фізичної глини; 63 % піску. Щільність ґрунту в рівноважному стані 1,16–1,25 г/см<sup>3</sup>, вологість стійкого в'янення – 10,8 %. Повна вологоємність ґрунту становить в шарі 0–30 см – 38,4 %, у шарі 30–45 см – 42,7 %. Польова вологоємність цього ґрунту в шарі 0–30 см сягає 28,2 %, вологість розриву капілярів – 19,7 %, максимальна гігроскопічність – 7,46 %, недоступна для рослин вологість – 10 %, загальна щільність у рівноважному стані – 52–55 %.

Погодні умови за роки досліджень були строкатими і досить несприятливими для росту й розвитку буряків цукрових, особливо в вегетаційний період 2020 року, коли сумарно за квітень –

вересень випало лише 179 мм опадів, а найбільш жаркими були квітень, травень, серпень та вересень. Тобто кричим для росту й розвитку буряків цукрових був період їх ранньої вегетації, а також формування коренеплодів та цукронакопичення. Загалом такі умови негативно позначились на показниках урожайності буряків цукрових, однак дали змогу краще вивчити роль вологоутримувачів і антистресантів за впливом на рослини культури.

Зовсім інші погодні умови склались у період з квітня до вересня 2021 р., коли випало 476,7 мм опадів. Особливо рясні дощі пройшли в травні (106,0 мм), червні (74,0 мм), липні (87,5 мм) та серпні (113,9 мм). А що стосується температури повітря, то квітень був прохолодним, а травень та червень – близькими до норми, тоді як найспекотнішим був липень (середньодобова температура повітря становила 23,1 °С).

Схема дослідів з вивчення впливу утримувачів вологи та основного удобрення і позакореневого підживлення на продуктивність та технологічні якості буряків цукрових.

Утримувач вологи	Система удобрення	Позакореневе підживлення
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Гній, 20 т/га	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Леонардит – органічне вичопне добриво, 400 кг/га	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
Гідрогель Aquasorb у зону рядка до сівби (300 кг/га)	Без удобрення	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Гній, 20 т/га	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Леонардит – органічне вичопне добриво, 400 кг/га	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	Без підживлення Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30+39)

Площа посівної ділянки – 70 м<sup>2</sup>, облікової – 35 м<sup>2</sup>; повторність – триразова.

Органічні добрива вносили восени – під оранку, а мінеральні фосфорно-калійні восени, а азотний компонент – навесні під ранньовесняну культивування. Адсорбент у ґрунт вносили за два тижні до сівби буряків цукрових локально в зону майбутнього рядка, орієнтуючись на дані GPS трекера.

Вимірювання показників співвідношення змінної до максимальної флуоресценції ( $F_v/F_m$ ) буряків цукрових проводили з використанням приладу «Флоратест» (Інститут кібернетики НАН України) згідно з методикою «Визначення індукції флуоресценції хлорофілу рослин: теоретичні і практичні основи застосування методу» [36].

Показники виносу макроелементів рослинами визначали методом «мокрого озолування» за Гінзбургом. Уміст азоту ідентифікували після спалювання на апараті Серен'єва, фосфору – колориметричним способом, калію – на полум'яному фотометрі.

Експериментальні дослідження виконували згідно з методиками [37–41].

## Результати досліджень

Докладно зупинимось на питаннях виносу азоту з коренеплодами буряків цукрових залежно від впливу факторів дослідів (табл. 1).

Споживання азоту на формування коренеплодів буряків цукрових напряму залежить від умов вегетаційного періоду, які передують формуванню високого рівня продуктивності культури. Причому, в середньому в умовах критичного за проявом погодних показників, а отже й формування врожайності, у 2020 р. рослини буряків цукрових з коренеплодами виносили

54,7 кг/га азоту. Оскільки погодні умови сприяли отриманню у 2021 р. високого врожаю буряків, то азоту з коренеплодами безповоротно виносилось 100,5 кг/га, а у 2022-му – 115,3 кг/га.

Таблиця 1

**Винос азоту з коренеплодами буряків цукрових залежно від впливу факторів дослідів, кг/га (2020–2022 рр.)**

Утримувач вологи	Органічне удобрення	Позакореневе підживлення	2020	2021	2022	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	45,6	84,4	88,2	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	47,7	90,7	97,3	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	52,2	86,4	108,9	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	53,5	92,3	109,6	
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення	56,8	102,1	105,7	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	57,2	107,1	112,1	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	58,0	105,4	102,4	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	57,9	100,7	104,1	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	53,8	112,1	131,2	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	56,5	110,1	129,3	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	47,8	91,4	100,7
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	43,7	90,5	104,4
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	53,6	95,0	107,8	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	54,9	95,0	110,1	
Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )		Без підживлення	62,0	100,3	118,4	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	58,8	103,0	119,5	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	59,2	113,9	135,2	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	58,1	107,4	135,8	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	59,3	109,8	140,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	58,2	112,9	145,6	
НІР <sub>0,05</sub>			0,8	1,1	1,4	

Якщо докладніше проаналізувати закономірності впливу факторів дослідів, то зрозуміло, що поліпшення умов для росту та розвитку буряків цукрових сприяло й підвищенню виносу азоту з більшим урожаєм коренеплодів. Однак, застосування вологоутримувача, в середньому за роки впливало на збільшення виносу азоту на 5,8 кг/га, тоді як в умовах 2020 р. різниця була 1,7 кг/га, а у 2022-му – 12,9 кг.

За удобрення буряків цукрових з використанням традиційної системи удобрення – гною винос азоту в умовах 2022 р. становив загалом 109,1 кг/га, що на 11,4 кг/га більше контролю, а за мінеральної системи удобрення – на 16,3 кг/га.

Застосування органічних добрив нової формуляції мало свій вплив на закономірності виносу азоту з урожаєм коренеплодів. Зокрема, в разі удобрення буряків цукрових Леонардитом з коренеплодами у 2022 р. втрачалось 119,4 кг/га азоту, Паросток (марка 20) – 136,5 кг/га, що було на 21,7 та 38,9 кг/га більше контрольних варіантів.

Окремо слід зауважити, що позакореневе підживлення гуматами не призводило до значних змін в накопиченні рослинами азоту в коренеплодах. Передусім це пов'язано з біологічним впливом препарату на формування вищого рівня цукристості за незначного підвищення врожайності коренеплодів буряків цукрових.

Також розглянемо питання виносу фосфору з коренеплодами буряків цукрових залежно від впливу факторів дослідів (табл. 2).

**Винос фосфору з коренеплодами бур'яків цукрових  
залежно від впливу факторів дослідів, кг/га (2020–2022 рр.)**

Утримувач вологи	Органічне удобрення	Позакореневе підживлення	2020	2021	2022	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	7,9	15,0	15,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	7,8	14,7	15,5	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	8,8	15,7	18,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	8,7	15,3	18,9	
	Мінеральна система удобрєння (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення	9,7	16,3	18,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	9,3	17,2	18,6	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	9,7	17,1	18,1	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	9,7	17,4	18,4	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	9,0	18,0	20,9	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	9,0	18,3	20,9	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	7,8	15,1	16,3
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	7,9	15,0	17,2
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	9,1	15,9	17,7	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	8,9	16,1	18,6	
Мінеральна система удобрєння (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )		Без підживлення	10,1	17,5	19,4	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	9,9	18,2	19,2	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	9,7	17,5	23,3	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	10,3	17,9	23,5	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	9,9	18,2	23,4	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	10,0	18,7	24,3	
HP <sub>0,05</sub>			0,4	0,6	0,7	

У середньому в умовах 2020 р. винос фосфору становив 9,1 кг/га, у 2021-му – 16,7, а у 2022 р. – 19,3 кг/га. У разі застосування гідрогелю Aquasorb в умовах 2022 р. виносилось 20,3 кг/га фосфору, що лише на 2,1 кг/га більше, ніж у варіантах, де гідрогель не вносили.

Якщо порівнювати варіанти основного удобрення, то в разі застосування гною у 2022 р. фосфору засвоювалось та виносилось на 2,3 кг/га більше, за мінеральної системи удобрення – на 2,8, у варіантах внесення Леонардиту – 4,9, а добрива Паросток (марка 20) – 6,4 кг/га.

Різниця між варіантами без позакореневого підживлення та зі внесенням гуматів була нижче похибки дослідів, тобто несуттєва.

Висвітливо особливості виносу калію з коренеплодами бур'яків цукрових залежно від впливу факторів дослідів (табл. 3).

Загальновідомо, що бур'яки цукрові є одним з видів культурних рослин, що належать до категорії калієфілів. А це означає, що культура не лише засвоює багато калію, а й виносить його з урожаєм. Зокрема, ми визначили, що загалом у 2020 р. з коренеплодами виносилось 45,8 кг/га калію, у 2021-му – 83,8, у 2022 р. – 97,1 кг/га.

За результатами досліджень було визначено, що на формування врожаю у 2020 р. рослини бур'яків цукрових з коренеплодами виносили 45,8 кг/га калію. Оскільки погодні умови сприяли отриманню у 2021 р. високого врожаю бур'яків, то калію з коренеплодами виносилось 83,8 кг/га, а у 2022 р. – 97,1 кг/га.

Застосування вологоутримувача, в середньому за роки, впливало на збільшення виносу калію на 4,8 кг/га, тоді як в умовах 2020 р. різниця була 1,3 кг/га, у 2021-му – 1,1 кг/га, а у 2022 р. – 11,9 кг.

**Винос калію з коренеплодами буряків цукрових залежно від впливу факторів досліду, кг/га (2020–2022 рр.)**

Утримувач вологи	Органічне удобрення	Позакореневе підживлення	2020	2021	2022	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	39,5	75,5	76,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	38,6	78,6	83,7	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	44,9	71,0	90,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	45,4	73,7	89,7	
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення	43,5	88,7	90,4	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	48,5	87,3	103,4	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	46,1	88,4	87,6	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	51,7	89,7	86,4	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	45,7	87,6	105,5	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	48,0	92,4	98,2	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	36,9	70,6	80,3
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	42,1	77,2	82,9
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	43,8	78,3	89,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	44,2	81,4	93,1	
Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )		Без підживлення	51,8	90,9	95,9	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	48,9	88,5	101,5	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	48,6	87,7	118,0	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	50,7	87,1	116,5	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	48,2	90,5	122,6	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	49,9	91,4	130,6	
НІР <sub>0,05</sub>			0,9	1,0	1,1	

Окрім того встановлено, що за удобрення буряків цукрових з використанням традиційної системи удобрення – гною винос калію в умовах 2022 року становив загалом 90,4 кг/га, що на 9,7 кг/га більше контролю, а за мінеральної системи удобрення цього елемента виносилось більше на 17,1 кг/га. Водночас застосування органічних добрив нової формуляції мало свій вплив на закономірності виносу калію з урожаєм коренеплодів. Зокрема, за удобрення буряків цукрових Леонардитом у 2022 р. втрачалось 102,1 кг/га калію, Паросток (марка 20) – 114,2 кг/га, що було на 21,4 та 33,5 кг/га відповідно більше контрольних варіантів.

Аналогічно даним щодо показників виносу азоту та фосфору, позакореневе підживлення гуматами не призводило до значних змін у накопиченні рослинами калію в коренеплодах.

Висвітливо середньозважений винос азоту, фосфору та калію з коренеплодами буряків цукрових залежно від впливу факторів досліду (табл. 4).

Отже, загалом по досліді з коренеплодами буряків цукрових виносилось 90,2 кг/га азоту, 15,1 кг/га фосфору та 75,6 кг/га калію. У варіантах використання вологоутримувача ці показники були вищими на 5,8; 1,0 та 4,8 кг/га відповідно.

Застосування органічних добрив нової формуляції сприяло не лише формуванню високого врожаю коренеплодів буряків цукрових, а й значному виносу макроелементів із ґрунту. Зокрема, за внесення Леонардиту з урожаєм виносилось 94,8 кг/га азоту, 16,1 кг/га фосфору та 79,9 кг/га калію, що на 17,1; 3,1 та 14,7 кг/га більше, ніж на неудобреному контролі. Водночас за внесення Паросток (марка 20) ці показники становили 101,6; 16,7 і 84,2 кг/га відповідно, що перевищує контроль на 23,9; 3,8 та 19,1 кг/га.

## Середній винос азоту, фосфору та калію з коренеплодами бур'яків цукрових залежно від впливу факторів досліду, кг/га (середнє за 2020–2022 рр.)

Утримувач вологи	Органічне удобрення	Позакореневе підживлення	Азот	Фосфор	Калій	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	72,7	12,6	63,7	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	78,6	12,7	67,0	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	82,5	14,2	68,6	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	85,1	14,3	69,6	
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення	88,2	14,6	74,2	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	92,1	15,0	79,7	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	88,6	15,0	74,1	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	87,6	15,2	75,9	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	99,0	16,0	79,6	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	98,6	16,1	79,5	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	80,0	13,1	62,6
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	79,5	13,3	67,4
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	85,5	14,2	70,4	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	86,7	14,5	72,9	
Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )		Без підживлення	93,6	15,7	79,5	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	93,8	15,7	79,6	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	102,8	16,8	84,8	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	100,4	17,2	84,8	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	103,0	17,1	87,1	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	105,5	17,6	90,7	
HP <sub>0,05</sub>			1,3	0,8	1,2	

Також цікавим питанням є встановлення закономірностей удобрення бур'яків цукрових за сучасних умов господарювання. Зокрема, за даними Держстату, в умовах 2020 р. під посіви бур'яків цукрових, по Україні, органічних добрив було внесено 705,9 тис. т, з яких 624,6 тис. т представлені гноєм, а лише 40,0 тис. т – інші види добрив. Зі внесених 654,6 тис. т органічних добрив у 2021 р. на гній припадає 604,7 тис. т, а на інші види добрив – 22,2 тис. т. З використуваної під бур'яки цукрові у 2022 р. 625,7 тис. т органіки на гній припадає 529,2 тис. т, тоді як інші види добрив – 59,9 тис. т. Отже, традиційно масово застосовуються в основному органічні добрива – гній ВРХ та послід птиці, тобто такі компоненти, що не передбачають тривалого транспортування і без обробки застосовуються локально, в межах одного регіону.

А тому під бур'яки цукрові, за даними Держстату України, у 2020 р. внесено органіки по 3,54 т/га на площі 29,0 тис. га, у 2021-му – по 3,1 т/га на площі 24,4 тис. га, у 2022 р. – 3,8 т/га на площі 27,7 тис. га. Отже, обсяги застосування органічних добрив фактично залежать від їх виробництва і мають щорічні коливання відповідно до обсягів виробництва.

Що стосується мінеральних добрив, то у 2020 р. в середньому по Україні під бур'яки цукрові внесено 61,0 тис. т у діючій речовині, з них азотні добрива становили 32,3, фосфорні – 9,6 та калійні 19,1 тис. т; у 2021-му – 59,2 тис. т, зокрема азотні добрива – 32,4, фосфорні – 9,2 та калійні – 17,6 тис. т; у 2022 р. – 50,7 тис. т, зокрема азотні добрива – 23,9, фосфорні – 8,8 та калійні 17,9 тис. т.

Мінеральні добрива застосовували щорічно під усю площу вирощування бур'яків цукрових. А тому можна стверджувати, що за середньозважених по Україні площ бур'яків цукрових у 2020 р. 220 тис. га, у 2021-му – 226,7, у 2022-му – 184,1 тис. га було в середньому на гектар унесено азоту 146,8; 142,9 та 129,8 кг, фосфору – 43,6; 40,6 та 47,8 кг/га, калію – 86,8; 77,6 та 97,2 кг/га.

Відповідно, в середньому за 2020–2022 рр. мінеральні добрива на гектар посівів буряків цукрових вносились у таких кількостях: азоту – 140 кг, фосфору – 44, калію – 87 кг/га.

Якщо проаналізувати використання мінеральних добрив більш докладно, то азотні форми простих добрив вносили переважно у вигляді аміаку безводного, аміачної селітри, карбамідно-аміачної суміші, сечовини та сульфату амонію. У 2020 р. було внесено 24,982 тис. т, у 2021-му – 26,819, у 2022 р. – 18,842 тис. т.

Фосфорні прості добрива у посівах буряків цукрових застосовували у вигляді суперфосфату подвійного та потрійного. У 2020 р. було внесено, у діючій речовині, 0,562 тис. т, у 2021-му – 0,857, а у 2022 р. – 2,177 тис. т.

Калійні прості добрива були застосовані у вигляді хлориду калію: у 2020 р. – 10,303 тис. т, у 2021-му – 10,600, у 2022-му – 12,085 тис. т.

Комплексні мінеральні добрива займали левову частку за вирощування буряків цукрових. Серед них найпоширенішими були діаміофоска, азофоска, нітроаміофоска, амофос, діамонійфосфат. Сумарно таких добрив було застосовано у 2020 р. перерахунку на діючу речовину азоту 7,271 тис. т, фосфору – 9,022 та калію – 8,832 тис. т; у 2021-му: азоту – 5,609, фосфору – 8,365 та калію – 6,298 тис. т, у 2022 р.: азоту – 5,129; фосфору – 6,644 та калію – 5,891 тис. т.

В умовах Кіровоградської області органічні добрива у 2020 р. вносились на площі 22,7 тис. га, за середньої норми 165 кг/га, у 2021-му – 22,9 тис. га за середньої норми 175 кг/га та сумарно в кількості 184,8 тис. т. У 2022 р. вносились на рівні 114,9 тис. т на площі 13,9 тис. га за середньої норми 109 кг/га. Ці дані підтверджують наші припущення щодо формування можливостей до застосування органічних добрив відповідно до локального контексту.

У Кіровоградській області у 2020 р. мінеральні добрива застосовані під буряки вносились у таких кількостях: азот – 1,7, фосфор – 0,4, калій – 0,5 тис. т; у 2021-му – 1,1; 0,3 та 0,7 тис. т, у 2022 р. – 0,7; 0,2 та 0,4 тис. т відповідно.

У 2020 р. на Кіровоградщині буряки цукрові вирощували на площі 11,6 тис. га, валовий збір коренеплодів становив 317,6 тис. т за середньої врожайності 27,5 т/га; у 2021-му ці показники становили 10,4 тис. га, 448,6 тис. т та 43,3 т/га, а у 2022 р. – 9,0 тис. га, 501,9 тис. т та 56,0 т/га відповідно.

Отже, якщо аналізувати витрати основних макроелементів на формування відповідної продуктивності буряків цукрових, то в умовах регіону ми маємо потребу в азоті в 49,5; 77,9 та 100,8 кг/га, у фосфорі – 8,25; 12,99 та 16,80 кг/га, в калії – 41,25; 64,95 та 84,0 кг/га відповідно.

Водночас на одиницю площі внесено (за роками відповідно): азоту – 146,6; 105,8 та 77,8 кг/га, фосфору – 34,5; 28,8 та 22,2 кг/га, калію – 43,1; 67,3 та 44,4 кг/га. Тобто в середньому по регіону використовується система удобрення буряків цукрових із застосуванням  $N_{110}P_{29}K_{52}$ .

Ураховуючи, що коефіцієнт засвоєння елементів живлення з мінеральних добрив для азоту можна брати як 40 %, фосфору – 10 % та 50 % калію, то для покриття потреб рослин буряків цукрових в умовах Кіровоградської області слід вносити в середньому  $N_{190}P_{127}K_{127}$ .

Визначення співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) є найефективнішим способом встановлення стану рослин за використання спектрофотометрів (табл. 5).

Як впливає з даних таблиці 5, показники Fv/Fm змінювались залежно від умов вегетаційного періоду та власне факторів досліду, які й забезпечували формування показників залежно від стану рослин. Отже, в умовах року з гіршим забезпеченням буряків цукрових факторами живлення, особливо вологою (2020-й), ми спостерігали менші значення коефіцієнта. По мірі наближення умов вирощування до оптимальних, отримано вищі показники цього коефіцієнта.

Отже, якщо аналізувати показники співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу, то найвищі значення коефіцієнта було отримано в разі застосування гідрогелю Aquasorb у зону рядка до сівби (300 кг/га) й удобрення Леонардитом, 400 кг/га (0,58–0,59) та Паросток (марка 20), 400 кг/га (0,58–0,60).



Показник Fv/Fm буряків цукрових залежно від впливу факторів досліду (2020–2022 рр.)

Утримувач вологи	Органічне удобрення	Позакореневе підживлення	2020	2021	2022	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	0,37	0,35	0,48	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,39	0,37	0,51	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	0,44	0,37	0,60	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,44	0,38	0,60	
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	Без підживлення	0,47	0,42	0,61	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,47	0,42	0,62	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	0,48	0,43	0,59	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,49	0,44	0,61	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	0,45	0,44	0,70	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,45	0,45	0,70	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	0,40	0,38	0,57
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,40	0,39	0,57
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	0,45	0,40	0,60	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,46	0,40	0,62	
Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )		Без підживлення	0,51	0,44	0,65	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,52	0,44	0,65	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	0,51	0,45	0,78	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,52	0,46	0,79	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	0,48	0,47	0,79	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	0,50	0,48	0,80	
HP <sub>0,05</sub>			0,06	0,08	0,09	

Щоб установити вплив цього показника проаналізуємо кореляційно-регресійну залежність його до врожайності (рис.).

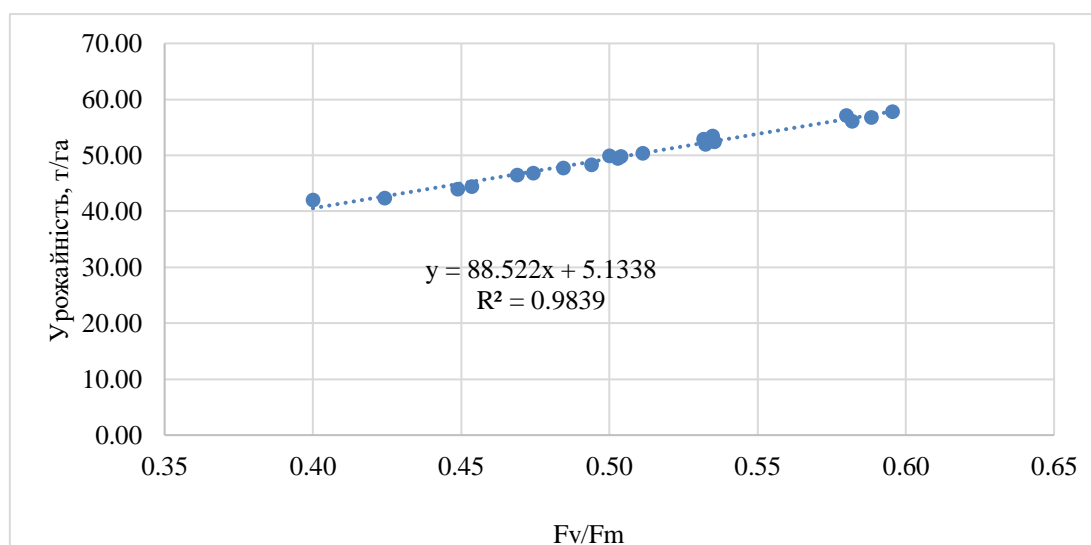


Рис. Залежність між показником співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу та врожайністю коренеплодів буряків цукрових

Як бачимо, отримане рівняння має лінійний тип залежності, а коефіцієнт апроксимації доволі тісний – 0,98, що визначає що переважну кількість експериментальних точок даних можна описати отриманим рівнянням.

Отже, за визначення коефіцієнта співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу врожайність буряків цукрових можна спрогнозувати за таким рівнянням:  $y = 88,5x + 5,1$ .

### Висновки

У середньому по досліді буряки цукрові на формування врожаю коренеплодів витрачали 90,2 кг/га азоту, 15,1 кг/га фосфору та 75,6 кг/га калію. Витрати макроелементів на формування гички не вираховувались, оскільки вона відразу ж поверталась у ґрунт під час збирання врожаю.

Застосування органічних добрив нової формуляції сприяло не лише формуванню високого врожаю коренеплодів буряків цукрових, а й значному виносу макроелементів з ґрунту. Зокрема, за внесення Леонардиту (400 кг/га) з урожаєм виносилось 94,8 кг/га азоту, 16,1 кг/га фосфору та 79,9 кг/га калію, що на 17,1; 3,1 та 14,7 кг/га більше, ніж на неудобреному контролі. За внесення Паросток (марка 20) (400 кг/га) з урожаєм виносилось 101,6 кг/га азоту, 16,7 кг/га фосфору та 84,2 кг/га калію, що на 23,9; 3,8 та 19,1 кг/га більше, ніж на неудобреному контролі.

За показниками співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу, то найвищі значення коефіцієнта було отримано в разі застосування гідрогелю Aquasorb у зону рядка до сівби (300 кг/га) й удобрення Леонардитом, 400 кг/га (0,58–0,59) та Паросток (марка 20), 400 кг/га (0,58–0,60). Отже, за таких варіантів досліді формувались кращі умови для росту й розвитку буряків цукрових.

За отриманими коефіцієнтами співвідношення змінної до максимальної флуоресценції (Fv/Fm) фотосинтезу врожайність коренеплодів буряків цукрових можна спрогнозувати за таким рівнянням:  $y = 88,5x + 5,1$ .

### Використана література

1. Grzebisz W., Szczepaniak W., Pepliński K. et al. Impact of nitrogen concentration variability in sugar beet plant organs throughout the growing season on dry matter accumulation patterns. *Journal of Elementology*. 2012. Vol. 15. P. 493–507. doi: 10.5601/jelem.2012.17.3.03
2. Gordo-Ingelmo L. F. Composición Química y Control Agrícola de los no-Azúcares en la Remolacha Azucarera. Burgos, Spain : Caja de Ahorros Municipal de Burgos, 1994. 205 p.
3. Hunt E. R., Doraiswamy P. C., McMurtrey J. E. et al. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013. Vol. 21. P. 103–112. doi: 10.1016/j.jag.2012.07.020
4. Manderscheid R., Pacholski A., Weigel H.-J. Effect of free air carbon dioxide enrichment combined with two nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: Evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO<sub>2</sub>. *European Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 32. P. 228–239. doi: 10.1016/j.eja.2009.12.002
5. Draycott A. P., Christenson D. R. Nutrients for Sugar beet Production: Soil-Plant Relationships. Oxfordshire, UK : CABI Publishing, 2003. 242 p.
6. Malnou C. S., Jaggard K. W., Sparkes D. L. Nitrogen fertilizer and the efficiency of the sugar beet crop in late summer. *European Journal of Agronomy*. 2008. Vol. 28, Iss. 1. P. 47–56. doi: 10.1016/j.eja.2007.05.001
7. Pocock T. O., Milford G. F. J., Armstrong M. J. Storage root quality in sugar beet in relation to nitrogen uptake. *The Journal of Agricultural Science*. 1990. Vol. 115. P. 355–362. doi: 10.1017/S0021859600075791
8. Bruuinsma J. The quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts. *Photochemistry and Photobiology*. 1963. Vol. 2, Iss. 2. P. 241–249. doi: 10.1111/j.1751-1097.1963.tb08220.x
9. Cartelat A., Cerovic Z. G., Goulas Y. et al. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*. 2005. Vol. 91, Iss. 1. P. 35–49. doi: 10.1016/j.fcr.2004.05.002
10. Yang J., Sun J., Du L. et al. Effect of fluorescence characteristics and different algorithms on the estimation of leaf nitrogen content based on laser-induced fluorescence lidar in paddy rice. *Optics Express*. 2017. Vol. 25, Iss. 4. P. 3743–3755. doi: 10.1364/OE.25.003743
11. Živčák M., Olšovská K., Slamka P. et al. Application of chlorophyll fluorescence performance indices to assess the wheat photosynthetic functions influenced by nitrogen deficiency. *Plant, Soil and Environment*. 2014. Vol. 60, Iss. 5. P. 210–215. doi: 10.17221/73/2014-PSE

12. Saberioon M. M., Amin M. S. M., Anuar A. R. et al. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. Vol. 32. P. 35–45. doi: 10.1016/j.jag.2014.03.018
13. Ghasemi H., Esmaeili M. A., Mohammadian R. Effects of nitrogen on chlorophyll fluorescence and the relationship between chlorophyll content and SPAD values in sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) under drip-tape system. *Journal of Agricultural and Biological Science*. 2017. Vol. 12, Iss. 3. P. 117–122.
14. Ač A., Malenovský Z., Olejníčková J. et al. Meta-analysis assessing potential of steady-state chlorophyll fluorescence for remote sensing detection of plant water, temperature and nitrogen stress. *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 168. P. 420–436. doi: 10.1016/j.rse.2015.07.022
15. Gholizadeh A., Amin M., Anuar A. et al. Temporal variability of SPAD chlorophyll meter readings and its relationship to total nitrogen in leaves within a Malaysian paddy field. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2011. Vol. 5, Iss. 5. P. 236–245.
16. Meisinger J. J., Schepers J., Raun W. Crop nitrogen requirement and fertilization. *Nitrogen in Agricultural Systems* / J. S. Schepers, W. R. Raun (Eds.). Madison, WI: ASA-CSSA-SSSAJ, 2008. Vol. 49. P. 563–612. doi: 10.2134/agronmonogr49.c14
17. Maltese A., Neale C. M., Kopeika N. S. et al. Applicability of digital color imaging for monitoring nitrogen uptake and fertilizer requirements in crops. *Proceedings SPIE. Vol. 10783: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX* (Berlin, Germany, September 10–13, 2018). Berlin, 2018. ID 107831Y. doi: 10.1117/12.2325765
18. Croft H., Chen J. M., Zhang Y. et al. Evaluating leaf chlorophyll content prediction from multispectral remote sensing data within a physically-based modelling framework. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015. Vol. 102. P. 85–95. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.01.008
19. Clevers J. G. P. W. A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 1997. Vol. 61, Iss. 2. P. 221–228. doi: 10.1016/S0034-4257(97)00004-7
20. Bu H., Sharma L. K., Denton A., Franzen D. W. Comparison of Satellite Imagery and Ground-Based Active Optical Sensors as Yield Predictors in Sugar Beet, Spring Wheat, Corn, and Sunflower. *Agronomy Journal*. 2017. Vol. 109, Iss. 1. P. 299–308. doi: 10.2134/agronj2016.03.0150
21. Launay M., Guerif M. Assimilating remote sensing data into a crop model to improve predictive performance for spatial applications. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2005. Vol. 111, Iss. 1–4. P. 321–339. doi: 10.1016/j.agee.2005.06.005
22. Link A., Reusch S. Implementation of Site-Specific Nitrogen Application-Status and Development of the YARA N-Sensor. *Proceedings of the NJF seminar 390, Precision Technology in Crop Production Implementation and Benefits* (Lillehammer, Norway, November 7–8, 2006). Lillehammer, 2006. P. 37–41.
23. Jay S., Baret F., Dutartre D. et al. Exploiting the centimeter resolution of UAV multispectral imagery to improve remote-sensing estimates of canopy structure and biochemistry in sugar beet crops. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 231. Article 110898. doi: 10.1016/j.rse.2018.09.011
24. Mahlein A. K., Rumpf T., Welke P. et al. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 128. P. 21–30. doi: 10.1016/j.rse.2012.09.019
25. Hillnhütter C., Mahlein A. K., Sikora R. A., Oerke E. C. Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. *Field Crops Research*. 2011. Vol. 122, Iss. 1. P. 70–77. doi: 10.1016/j.fcr.2011.02.007
26. Woebbecke D. M., Meyer G. E., Von Bargen K., Mortensen D. A. Color Indices for Weed Identification Under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions. *Transactions of the ASAE*. 1995. Vol. 38, Iss. 1. P. 259–269. doi: 10.13031/2013.27838
27. Garcia-Ruiz F. J., Wulfsohn D., Rasmussen J. Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and thistle (*Cirsium arvensis* L.) discrimination based on field spectral data. *Biosystems Engineering*. 2015. Vol. 139. P. 1–15. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.012
28. Seelan S. K., Laguetta S., Casady G. M., Seielstad G. A. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol. 88, Iss. 1–2. P. 157–169. doi: 10.1016/j.rse.2003.04.007
29. Sakamoto T., Shibayama M., Kimura A., Takada E. Assessment of digital camera-derived vegetation indices in quantitative monitoring of seasonal rice growth. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2011. Vol. 66, Iss. 6. P. 872–882. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.08.005
30. Jay S., Maupas F., Bendoula R., Gorretta N. Retrieving LAI, chlorophyll and nitrogen contents in sugar beet crops from multi-angular optical remote sensing: Comparison of vegetation indices and PROSAIL inversion for field phenotyping. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 210. P. 33–46. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.005
31. Hunt E. R., Daughtry C. S. T., Eitel J. U. H., Long D. S. Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. *Agronomy Journal*. 2011. Vol. 103, Iss. 4. P. 1090–1099. doi: 10.2134/agronj2010.0395

32. Kawashima S., Nakatani M. An Algorithm for Estimating Chlorophyll Content in Leaves Using a Video Camera. *Annals of Botany*. 1998. Vol. 81, Iss. 1. P. 49–54. doi: 10.1006/anbo.1997.0544
33. Li Y., Chen D., Walker C. N., Angus J. F. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research*. 2010. Vol. 118, Iss. 3. P. 221–227. doi: 10.1016/j.fcr.2010.05.011
34. Vollmann J., Walter H., Sato T., Schweiger P. Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011. Vol. 75, Iss. 1. P. 190–195. doi: 10.1016/j.compag.2010.11.003
35. Lee K.-J., Lee B.-W. Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis. *European Journal of Agronomy*. 2013. Vol. 48. P. 57–65. doi: 10.1016/j.eja.2013.02.011
36. Присяжнюк О. І., Коровко І. І., Половинчук О. Ю. та ін. Визначення індукції флуоресценції хлорофілу рослини: теоретичні і практичні основи застосування методу: методичні рекомендації. Київ: Нілан-ЛТД, 2017. 42 с.
37. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
38. Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М. та ін. Методика селекційного експерименту (в рослинництві). Харків, 2014. 229 с.
39. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ: ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 373 с.
40. Ткачик С. О., Присяжнюк О. І., Лещук Н. В. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 118 с.
41. Роїк М. В., Сінченко В. М., Присяжнюк О. І., Ермантраут Е. Р. Проведення демонстраційних дослідів. Методичні рекомендації. Київ: ФОП Корзун Д. Ю., 2017. 22 с.

## References

1. Grzebisz, W., Szczepaniak, W., Pepliński, K., Barłóg, P., & Cyna, K. (2012). Impact of nitrogen concentration variability in sugar beet plant organs throughout the growing season on dry matter accumulation patterns. *Journal of Elementology*, 15, 493–507. doi: 10.5601/jelem.2012.17.3.03
2. Gordo-Ingelmo, L. F. (1994). *Composición Química y Control Agrícola de los no-Azúcares en la Remolacha Azucarera*. Burgos, Spain: Caja de Ahorros Municipal de Burgos.
3. Hunt, E. R., Jr., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S. T., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 103–112. doi: 10.1016/j.jag.2012.07.020
4. Manderscheid, R., Pacholski, A., & Weigel, H.-J. (2010). Effect of free air carbon dioxide enrichment combined with two nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: Evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO<sub>2</sub>. *European Journal of Agronomy*, 32, 228–239. doi: 10.1016/j.eja.2009.12.002
5. Draycott, A. P., & Christenson, D. R. (2003). *Nutrients for Sugar beet Production: Soil-Plant Relationships*. Oxfordshire, UK: CABI Publishing.
6. Malnou, C. S., Jaggard, K. W., & Sparkes, D. L. (2008). Nitrogen fertilizer and the efficiency of the sugar beet crop in late summer. *European Journal of Agronomy*, 28(1), 47–56. doi: 10.1016/j.eja.2007.05.001
7. Pocock, T. O., Milford, G. F. J., & Armstrong, M. J. (1990). Storage root quality in sugar beet in relation to nitrogen uptake. *The Journal of Agricultural Science*, 115, 355–362. doi: 10.1017/S0021859600075791
8. Bruuinsma, J. (1963). The quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts. *Photochemistry and Photobiology*, 2(2), 241–249. doi: 10.1111/j.1751-1097.1963.tb08220.x
9. Cartelat, A., Cerovic, Z. G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.-L., ... Moya, I. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 91(1), 35–49. doi: 10.1016/j.fcr.2004.05.002
10. Yang, J., Sun, J., Du, L., Chen, B., Zhang, Z., Shi, S., & Gong, W. (2017). Effect of fluorescence characteristics and different algorithms on the estimation of leaf nitrogen content based on laser-induced fluorescence lidar in paddy rice. *Optics Express*, 25(4), 3743–3755. doi: 10.1364/OE.25.003743
11. Živčák, M., Olšovská, K., Slamka, P., Galambošová, J., Rataj, V., Shao, H. B., & Brestič, M. (2014). Application of chlorophyll fluorescence performance indices to assess the wheat photosynthetic functions influenced by nitrogen deficiency. *Plant, Soil and Environment*, 60(5), 210–215. doi: 10.17221/73/2014-PSE
12. Saberioon, M. M., Amin, M. S. M., Anuar, A. R., Gholizadeh, A., Wayayok, A., & Khairunniza-Bejo, S. (2014). Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32, 35–45. doi: 10.1016/j.jag.2014.03.018

13. Ghasemi, H., Esmaeili, M. A., & Mohammadian, R. (2017). Effects of nitrogen on chlorophyll fluorescence and the relationship between chlorophyll content and SPAD values in sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) under drip-tape system. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 12(3), 117–122.
14. Ač, A., Malenovský, Z., Olejníčková, J., Gallé, A., Rascher, U., & Mohammed, G. (2015). Meta-analysis assessing potential of steady-state chlorophyll fluorescence for remote sensing detection of plant water, temperature and nitrogen stress. *Remote Sensing of Environment*, 168, 420–436. doi: 10.1016/j.rse.2015.07.022
15. Gholizadeh, A., Amin, M., Anuar, A., Aimrun, W., & Saberioon, M. (2011). Temporal variability of SPAD chlorophyll meter readings and its relationship to total nitrogen in leaves within a Malaysian paddy field. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), 236–245.
16. Meisinger, J. J., Schepers, J., & Raun, W. (2008). Crop nitrogen requirement and fertilization. In J. S. Schepers, & W. R. Raun (Eds.), *Nitrogen in Agricultural Systems* (Vol. 49, pp. 563–612). Madison, WI: ASA-CSSA-SSSAJ. doi: 10.2134/agronmonogr49.c14
17. Zilberman, A., Ben Asher, J., Sarig, S., Shlevin, E., Dudai, M., & Kopeika, N. S. (2018). Applicability of digital color imaging for monitoring nitrogen uptake and fertilizer requirements in crops. In *Proceedings SPIE. Vol. 10783: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX* (ID 107831Y). Berlin: N.p. doi: 10.1117/12.2325765
18. Croft, H., Chen, J. M., Zhang, Y., Simic, A., Noland, T. L., Nesbitt, N., & Arabian, J. (2015). Evaluating leaf chlorophyll content prediction from multispectral remote sensing data within a physically-based modelling framework. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 85–95. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.01.008
19. Clevers, J. G. P. W. (1997). A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 61(2), 221–228. doi: 10.1016/S0034-4257(97)00004-7
20. Bu, H., Sharma, L. K., Denton, A., & Franzen, D. W. (2017). Comparison of Satellite Imagery and Ground-Based Active Optical Sensors as Yield Predictors in Sugar Beet, Spring Wheat, Corn, and Sunflower. *Agronomy Journal*, 109(1), 299–308. doi: 10.2134/agronj2016.03.0150
21. Launay, M., & Guerif, M. (2005). Assimilating remote sensing data into a crop model to improve predictive performance for spatial applications. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111(1–4), 321–339. doi: 10.1016/j.agee.2005.06.005
22. Link, A., & Reusch, S. (2006). Implementation of Site-Specific Nitrogen Application-Status and Development of the YARA N-Sensor. In *Proceedings of the NJF seminar 390, Precision Technology in Crop Production Implementation and Benefits* (pp. 37–41). Lillehammer: N.p.
23. Jay, S., Baret, F., Dutartre, D., Malatesta, G., Héno, S., Comar, A., Weiss, M., & Maupas, F. (2019). Exploiting the centimeter resolution of UAV multispectral imagery to improve remote-sensing estimates of canopy structure and biochemistry in sugar beet crops. *Remote Sensing of Environment*, 231, Article 110898. doi: 10.1016/j.rse.2018.09.011
24. Mahlein, A.-K., Rumpf, T., Welke, P., Dehne, H.-W., Plümer, L., Steiner, U., & Oerke, E.-C. (2013). Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*, 128, 21–30. doi: 10.1016/j.rse.2012.09.019
25. Hillnhütter, C., Mahlein, A.-K., Sikora, R. A., & Oerke, E.-C. (2011). Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. *Field Crops Research*, 122(1), 70–77. doi: 10.1016/j.fcr.2011.02.007
26. Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Bargen, K., & Mortensen, D. A. (1995). Color Indices for Weed Identification Under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259–269. doi: 10.13031/2013.27838
27. Garcia-Ruiz, F. J., Wulfsohn, D., & Rasmussen, J. (2015). Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and thistle (*Cirsium arvensis* L.) discrimination based on field spectral data. *Biosystems Engineering*, 139, 1–15. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.012
28. Seelan, S. K., Laguette, S., Casady, G. M., & Seielstad, G. A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88(1–2), 157–169. doi: 10.1016/j.rse.2003.04.007
29. Sakamoto, T., Shibayama, M., Kimura, A., & Takada, E. (2011). Assessment of digital camera-derived vegetation indices in quantitative monitoring of seasonal rice growth. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(6), 872–882. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.08.005
30. Jay, S., Maupas, F., Bendoula, R., & Gorretta, N. (2017). Retrieving LAI, chlorophyll and nitrogen contents in sugar beet crops from multi-angular optical remote sensing: Comparison of vegetation indices and PROSAIL inversion for field phenotyping. *Field Crops Research*, 210, 33–46. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.005
31. Hunt, E. R., Jr., Daughtry, C. S. T., Eitel, J. U. H., & Long, D. S. (2011). Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. *Agronomy Journal*, 103(4), 1090–1099. doi: 10.2134/agronj2010.0395
32. Kawashima, S., & Nakatani, M. (1998). An Algorithm for Estimating Chlorophyll Content in Leaves Using a Video Camera. *Annals of Botany*, 81(1), 49–54. doi: 10.1006/anbo.1997.0544

33. Li, Y., Chen, D., Walker, C. N., & Angus, J. F. (2010). Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research*, 118(3), 221–227. doi: 10.1016/j.fcr.2010.05.011
34. Vollmann, J., Walter, H., Sato, T., & Schweiger, P. (2011). Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 190–195. doi: 10.1016/j.compag.2010.11.003
35. Lee, K.-J., & Lee B.-W. (2013). Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis. *European Journal of Agronomy*, 48, 57–65. doi: 10.1016/j.eja.2013.02.011
36. Prysiazniuk, O. I., Korovko, I. I., Polovynchuk, O. Yu., Shevchenko, O. P., Shkliaruk, S. M., Tanchyn, S. M., & Navrotska, E. E. (2017). *Determination of plant chlorophyll fluorescence induction: theoretical and practical basics of method application: methodical recommendations*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
37. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in the Statistica 6.0 package*. Kyiv: PolighrafConsaltyn. [In Ukrainian]
38. Ermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., Kalenska, S. M., Kryvoruchenko, R. V., Turchynova, N. P., & Prysiazniuk, O. I. (2014). *Methods of selection experiment (in crop production)*. Kharkiv: N.p. [In Ukrainian]
39. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of research in sugar beet growing*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
40. Tkachyk, S. O., Prysiazniuk, O. I., & Leshchuk, N. V. (2016). *The method of conducting a qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part (4<sup>th</sup> ed., rev. and enl.)*. Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
41. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Prysiazniuk, O. I., & Ermantraut, E. R. (2017). *Conducting demonstration experiments*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

**Prysiashniuk, O. I.\***, & **Shulha, S. S.** (2023). Assessment of nutrient uptake by sugar beet as a factor of the crop biological potential realization. *Advanced Agritechnologies*, 11(2). <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285908> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Purpose.** To establish the peculiarities of the accumulation and removal of macroelements by sugar beet in the Steppe Zone of Ukraine. **Methods.** Field research was conducted during 2020–2022 in the Chkalov Agrocompany LLC (Kirovohrad region). The scheme of the experiment provided for the cultivation of sugar beets against the background of the use of a water-retaining agent (without hydrogel; hydrogel Aquasorb, 300 kg/ha), under different systems of the main fertilizer [without fertilizers – control; manure, 20 t/ha; N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>; Leonardyt, 400 kg/ha; Parostok (brand 20), 400 kg/ha] and foliar feeding during the growing season (without foliar feeding; Humifild, SE, 2 kg/ha in the BBCH stage 30 + 39). Organic and mineral fertilizers (PK) were applied in autumn at plowing and nitrogen at cultivation in early spring. The adsorbent was applied to the soil two weeks before sowing the crop locally in the zone of the row, based on the data of the GPS tracker. The rest of the agricultural activities corresponded to the generally accepted culture cultivation technology in the research area. **Results.** On average, according to the experiment, sugar beet used 90.2 kg/ha of nitrogen, 15.1 kg/ha of phosphorus, and 75.6 kg/ha of potassium to form a crop. The consumption of macronutrients for the formation of humus was not calculated, since it was immediately returned to the soil during harvesting. The use of organic fertilizers of the new formulation contributed not only to the formation of a high yield of sugar beet roots, but also to a significant removal of macronutrients from the soil. In particular, when applying Leonardyt (400 kg/ha) with the crop, 94.8 kg/ha of nitrogen, 16.1 kg/ha of phosphorus and 79.9 kg/ha of potassium was removed, which is 17.1; 3.1 and 14.7 kg/ha more than on the unfertilized control. When applying Parostok (brand 20) (400 kg/ha), 101.6 kg/ha of nitrogen, 16.7 kg/ha of phosphorus and 84.2 kg/ha of potassium was removed, which exceeded the control indicators by 23.9; 3.8 and 19.1 kg/ha, respectively. **Conclusions.** According to the indicators of the ratio of variable to maximum fluorescence (Fv/Fm) of photosynthesis, the highest coefficient values were obtained in the case of applying Aquasorb hydrogel in the zone of the row before sowing and fertilizing with Leonardyt (0.58–0.59) and Parostok (brand 20) (0.58–0.60). Therefore, the best conditions for the growth and development of sugar beets were formed in these treatments of the experiment. Based on the obtained coefficients of the ratio of variable to maximum fluorescence (Fv/Fm) of photosynthesis, the yield of root crops can be predicted by the equation  $y = 88.5x + 5.1$ .

**Keywords:** nitrogen; phosphorus; potassium; Fv/Fm; mineral fertilizer; organic fertilizer.

Надійшла / Received 05.07.2023  
Погоджено до друку / Accepted 27.07.2023