

УДК 331:631:8.631:3(833)

М. Г. Гусєв, доктор сільськогосподарських наук
С. В. Коковіхін

Інститут землеробства південного регіону

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ РІПАКУ ОЗИМОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СХЕМ ЗАСТОСУВАННЯ АЗОТНИХ ДОБРИВ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДЕННОГО СТЕПУ

Наведені результати польових, лабораторних і камеральних досліджень щодо вивчення особливостей формування продуктивності ріпаку озимого залежно від схем внесення азотних добрив. Проведено статистичний аналіз експериментальних даних за допомогою рівнянь регресії, знайдені коефіцієнти кореляції, які відображають взаємозв'язок мінерального живлення з інтенсивністю проходження продукційних процесів.

Ключові слова: *ріпак озимий, азотні добрива, продукційні процеси, вологозабезпеченість, урожайність, статистичний аналіз, регресійні моделі.*

Недотримання елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур порушує екологічну рівновагу агроландшафтів, руйнує природну здатність агроценозів до самовідновлення та значно знижує ефективність зрошуваного землеробства. Проте, за рахунок покращання водного й поживного режимів ґрунту при високому технологічному рівні землеробства можна підвищити врожайність у 2-3 рази, а в посушливі роки – у 4-5 разів [1-3]. Тому одержання високих і сталих врожаїв сільськогосподарських культур на зрошуваних землях можливо лише за умов оптимальної кількості поливної води та елементів живлення, витрати яких залежать від біологічних особливостей культур, характеру водоспоживання, погодних умов вегетації та інших чинників.

Посадження оптимального водного режиму та мінерального живлення є одним із найефективніших технологічних прийомів, спрямованих на формування високої кормової і насінневої продуктивності сільськогосподарських культур, в тому числі й озимого ріпака. Серед технологічних прийомів, спрямованих на підвищення кормової та насінневої продуктивності

© Гусєв М.Г., Коковіхін С.В., 2006

озимого ріпака в посушливих умовах півдня України, провідне місце належить мінеральним добривам, особливо, в умовах зрошення [4-7]. Враховуючи важливість моделювання продукційних процесів сільськогосподарських культур в сучасному землеробстві новим напрямком є точне землеробство, яке базується на використанні геоінформаційних технологій з метою картографування й просторового аналізу об'єктів реального світу. За допомогою розроблених моделей можна, в значному ступеню, оптимізувати прийняття рішень про величину норм і строки внесення добрив, а також використання інших агроресурсів з метою підвищення продуктивності сільськогосподарських культур при раціональному використанні всіх видів ресурсів [8-10]. Тому важливе актуальне значення має встановлення закономірностей продукційних процесів ріпака озимого залежно від особливостей застосування мінеральних добрив шляхом створення статистичних моделей зв'язку та виконання ідентифікації параметрів технологій вирощування.

Матеріали і методика досліджень. Польові, лабораторні та камеральні дослідження проведені у відділі кормовиробництва і лабораторії зрошення Інституту землеробства південного регіону УААН. Повторність дослідів – чотириразова. Посівна площа ділянки – 82 м², облікова – 50 м². Об'єкти досліджень – сорти ріпака озимого Дублінський і Квінта.

Польові досліді закладені методом розщеплених ділянок у відповідності з існуючими методиками. Найменша вологоємність 0,7 м шару темно-каштанового середньосуглинкового ґрунту дослідних ділянок становить 22,4%, вологість в'янення – 9,9% від маси сухого ґрунту, об'ємна маса – 1,42 г/см³. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту становить 2,15%, загальний вміст азоту в орному шарі ґрунту низький, фосфору – середній, калію – високий.

Попередник – озима пшениця. Норма висіву на зелений корм – 3,6 млн. і на насіння – 2 млн. схожих насінин на гектар. Технологія вирощування – загальноприйнята для умов зрошення південного Степу України. Вегетаційні поливи проводили згідно схеми досліджень дощувальним агрегатом ДДА-100 МА. Вегетаційні поливи проводили при зниженні рівня вологості ґрунту до 70-75% НВ в розрахунковому шарі 0,5 м.

Результати досліджень. Вплив азотних добрив на ріст і розвиток рослин озимого ріпака спостерігався вже в початковий період осінньої вегетації. На період припинення осінньої вегетації рослини озимого ріпака, в середньому за три роки досліджень, утворили розетку з 3-5 справжніми листками при висоті травостою на удобрених азотом варіантах на рівні 30-33 см, проти контрольних – 23 см. Приріст зеленої маси і накопичення

сухої речовини, у варіантах з внесенням азоту, було відповідно на 0,52-0,94 кг/м² і 55-89 г/м² більше, ніж на ділянках без внесення азоту.

Тривалість вегетаційного періоду від відновлення вегетації до цвітіння на ділянках з внесенням азотних добрив збільшувалась у сорту Дублянський на 2-5 і сорту Квінта – 1-2 доби і становила відповідно 51-53 і 53-55 доби, а до повної стиглості насіння – 117-121 добу. Отже, азотні добрива в умовах зрошення посилювали ріст рослин, збільшували тривалість проходження окремих фаз розвитку й у цілому всього вегетаційного періоду. Причиною збільшення періоду вегетації при поліпшенні мінерального живлення в умовах оптимального зволоження є посилення продукційних процесів, формування більшої біомаси та уповільнення процесів старіння рослин.

У варіантах із внесенням азоту нормою 90-120 кг д.р./га рослини були вище контрольних у фазі бутонізації на 2-4 см й у фазі цвітіння – на 3-7 см. Середньодобовий приріст за цей період при внесенні азоту збільшився від 3,6 до 4,1 см, проти 3,6 см на контролі. Аналогічна закономірність відмічалася і по приросту вегетативної маси. Так, при внесенні N₉₀₋₁₂₀ приріст зеленої маси у фазі бутонізації був на 1,04-1,16 кг/м² більший від контрольного, а у фазі цвітіння на 1,90-2,23 кг/м². Нагромадження сухої маси найінтенсивніше відбувалося в період утворення генеративних органів і максимальних показників у межах від 836 до 887 г/м² досягало при внесенні 60-90 кг/га д.р. азоту.

Поліпшення мінерального живлення позитивно впливає також і на формування площі листового апарату. Так, в початковий період вегетації (розетка листків – стеблоутворення), площа листової поверхні при внесенні 90-180 кг д.р./га азоту становила 19,0-27,4 тис. м²/га. У фазі цвітіння площа листків в удобрених азотом варіантах перевищувала контрольний на 8,9-25,0 тис. м²/га і досягала 39,6-56,2 тис. м²/га. З подальшим розвитком рослин після цвітіння й утворення стручків спостерігалось відмирання листового апарату. Повне відмирання листків нижнього і верхнього ярусів стеблостою спостерігалось в фазі молочної стиглості насіння.

Озимий ріпак при вирощуванні на зелений корм позитивно реагує на внесення азотних добрив (табл. 1). Найбільший приріст врожаю зеленої маси і збору сухої речовини (відповідно 155 і 14,5 ц/га) озимого ріпака сорту Дублянський одержана при дворазовому внесенні азоту у варіанті N₆₀ (восени) та N₆₀ (навесні в підживлення) на фоні P₉₀. У цьому ж варіанті отриманий і максимальний приріст сухої речовини на рівні 12,1 кг на один кілограм діючої речовини азоту.

1. Вплив азотних добрив на кормову продуктивність ріпака озимого, ц/га (у середньому за три роки)

Добриво	Зелена маса	Суша речовина	Приріст		Кормові одиниці	Перетравний процент
			сухої речовини	на 1 кг азоту сухої речовини, кг		
Сорт Дублянський						
P ₉₀ – фон (контроль)	282	37,6	–	–	32,7	4,4
Фон + N ₃₀	348	43,4	5,8	6,4	36,5	5,2
Фон + N ₁₂₀	383	46,0	8,4	7,0	38,2	6,1
Фон + N ₁₅₀	404	46,4	8,8	5,9	38,0	6,2
Фон + N ₁₈₀	411	47,7	10,1	5,6	39,1	6,5
Фон + N ₂₁₀	406	45,6	8,0	3,8	37,4	6,3
Фон + N ₆₀ + N ₆₀	453	52,1	14,5	12,1	42,2	6,9
Фон + N ₉₀ + N ₆₀	437	52,2	14,6	9,7	42,8	6,9
Фон + N ₁₂₀ + N ₆₀	434	51,2	13,6	7,6	43,5	7,0
Коефіцієнти кореляції	0,959	0,894			0,856	0,942
Рівняння залежностей норми азотного добрива (y) і показників продуктивності (x)	$y = 0,64x + 291,8$	$y = 0,044x + 38,9$			$y = 0,026x + 33,7$	$y = 0,01x + 4,45$
НІР ₀₅	24	5,3				
Сорт Квінта						
P ₉₀ – фон (контроль)	388	56,3	–	–	49,5	7,5
Фон + N ₃₀	414	59,8	3,5	11,7	53,2	8,2
Фон + N ₆₀	536	63,0	6,7	13,8	56,2	9,7
Фон + N ₉₀	510	63,4	7,1	7,9	55,8	10,4
Фон + N ₁₂₀	473	64,6	8,3	5,6	54,2	10,3
Фон + N ₃₀ + N ₃₀	459	61,1	4,8	8,0	52,5	8,6
Фон + N ₃₀ + N ₆₀	513	63,8	7,5	8,3	55,5	10,8
Коефіцієнти кореляції	0,672	0,948			0,707	0,947
Рівняння регресії: кг д.р./га азотного добрива (y) й показників продуктивності (x)	$y = 0,89x + 411,0$	$y = 0,07x + 57,38$			$y = 0,04x + 51,38$	$y = 0,026x + 7,66$
НІР ₀₅	30	5,2				

Слід відзначити, що дворазове внесення азоту нормою 120, 150 і 180 кг д.р./га сприяло збільшенню всіх показників кормової продуктивності озимого ріпака порівняно з одноразовим їх застосуванням восени. Це дає змогу зробити висновок про доцільність дворазового застосування високих норм азотних добрив: восени під культивуацію і наповесні у підживлення.

На ділянках з безеруковим сортом Квінта найбільша віддача від застосування азотного добрива (13,8 кг сухої речовини на 1 кг діючої речовини) отримана при нормі $N_{60}P_{90}$. Урожайність зеленої маси в цьому варіанті становила 536 ц/га, сухої речовини – 63,0 ц/га або перевищувала контрольні ділянки відповідно на 148 і 6,7 ц/га. Збільшення норми азоту до 90-120 кг д.р. на 1 га знижує окупність добрив.

Статистичний обробіток отриманих експериментальних даних свідчить про високу лінійну кореляційну залежність між нормою азотного добрива (кг д.р./га), з одного боку, та показниками продукційного процесу ріпака озимого, з іншого боку, як у сорту Дублянський ($r = 0,856-0,959$), так і Квінта ($r = 0,672-0,948$). Отримані моделі можна використовувати для програмування кормової продуктивності ріпака озимого досліджуваних сортів залежно від норм внесення азотних добрив.

Азотні добрива помітно впливали на якість врожаю ріпака озимого сорту Дублянський. Збільшення норм азоту до рекомендованої норми (N_{120}) в два прийоми сприяло підвищенню протеїну на 1,9% і зменшенню безазотистих екстрактивних речовин на 4,76% порівняно з контрольним варіантом. Подібна закономірність спостерігалась у варіантах з сортом Квінта. На ділянках з внесенням 120 кг азоту рослини містили 20,4% протеїну, 5,3% жиру і 29,1% безазотистих екстрактивних речовин або на 3,6, 0,6 і 5,8% більше, ніж на контрольному варіанті.

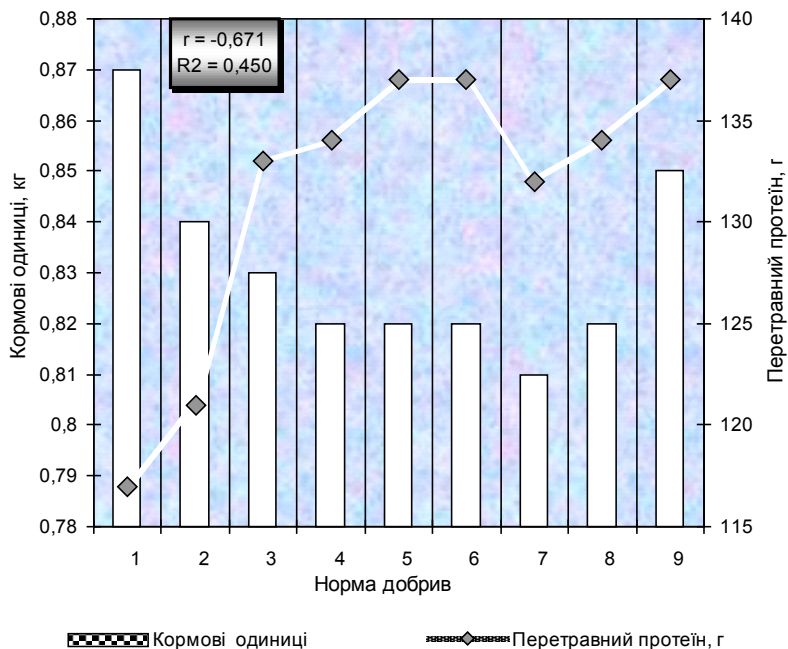
Аналіз показників вмісту кормових одиниць і перетравного протеїну виявив взаємопротилежну закономірність ($r = -0,671$) щодо покращання рівня азотного живлення на фоні P_{90} (рис. 1).

Зелена маса озимого ріпака відзначалася низьким вмістом нітратів. Так, в удобрених азотом варіантах при N_{60} , N_{90} і N_{120} їх вміст становив відповідно 56, 96 і 153 мг/кг, що не перевищувало нормативних ГДК. Вміст каротину з підвищенням норми азотних добрив збільшувався до 42,2 мг/кг, проти 29,9 мг/кг на контролі.

Озимий ріпак за сприятливих умов вирощування при формуванні високої врожайності потребує значної кількості поживних речовин. В наших дослідженнях, винос озимим ріпаком елементів мінерального живлення при різних нормах азотних добрив залежав від фаз росту й розвитку та норм і схем використання азотних добрив (табл. 2).

Рослини озимого ріпака за період весняної вегетації використали на контрольному варіанті 88,4 кг азоту, 38,4 кг фосфору і 137,2 кг калію, а на удобрених азотом ділянках споживання основних елементів живлення збільшилось відповідно на 16,6-51,9, 5,0-12,1 і 24,7-59,1 кг/га або в 1,2-1,6, 1,1-1,3 і 1,2-1,4 разів. У варіанті $N_{120}P_{90}$, де отримана максимальна окуп-

ність азоту (12,1 кг сухої маси на кілограм д.р.), винос цього елемента живлення був на 49,7, фосфору – 12,1 і калію – 50,4 кг/га більше показників на контролі. При такій нормі азотного добрива витрати елементів живлення на 1 т урожаю сухої маси становило по азоту – 26,5 кг, фосфору – 9,7 і калію – 36,0 кг, а зеленої маси відповідно – 3,2; 1,2 і 4,3 кг.



Норма добрив: 1 – P₉₀ – фон (контроль); 2 – Фон + N₉₀; 3 – Фон + N₁₂₀; 4 – Фон + N₁₅₀; 5 – Фон + N₁₈₀; 6 – Фон + N₂₁₀; 7 – Фон + N₆₀ + N₆₀; 8 – Фон + N₉₀ + N₆₀; 9 – Фон + N₁₂₀ + N₆₀

Рис. 1. Залежність вмісту в 1 кг корму ріпака озимого сорту Дублянський показників кормових одиниць і перетравного протеїну залежно від норм і схем використання добрив

За осінній період від сходів до припинення вегетації споживання елементів мінерального живлення в удобрених азотом варіантах перевищувало контрольні посіви по азоту на 25,3-39,7 кг/га, фосфору – 7,8-11,9 і калію на 25,0-37,2 кг/га. Споживання елементів живлення за осінній період вегетації на контрольному варіанті досягало 39% азоту, 33 фосфору і 33%

калію, а при внесенні азотних добрив збільшувалась і становило відповідно 37-45, 35-40 і 31-37% від загального виносу. Слід відмітити, що накопичена за осінній період вегетативна маса не використовувалась і після зими залишалась на кормовому полі у вигляді відмерлих решток. Покращання умов живлення при зрошенні збільшувало загальний винос макроелементів посівами озимого ріпака за рахунок підвищення кормової продуктивності, при незначній витраті поживних елементів на формування одиниці врожаю вегетативної маси.

2. Винос основних елементів живлення ріпаком озимим залежно від норм азотних добрив (у середньому за три роки), кг/га

Добриво	Споживання поживних речовин						Загальний винос макроелементів за період вегетації		
	за осінній період			за весняний період			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
P ₉₀ – фон (контроль)	56,9	19,1	57,2	88,4	38,4	137,2	145,3	57,5	194,4
Фон + N ₉₀	86,7	28,0	82,4	105,0	43,4	161,9	191,7	71,4	244,3
Фон + N ₁₂₀	92,5	31,0	91,7	121,9	47,4	164,2	214,4	78,4	255,9
Фон + N ₁₅₀	85,6	29,5	90,2	124,4	45,9	167,5	210,0	75,4	257,7
Фон + N ₁₈₀	83,4	29,6	91,4	130,7	49,1	174,1	214,1	78,7	265,5
Фон + N ₂₁₀	96,6	30,6	94,4	125,4	47,9	159,1	222,0	78,5	253,5
Фон + N ₆₀ + N ₆₀	82,2	26,9	82,2	138,1	50,5	187,6	220,3	77,4	269,8
Фон + N ₉₀ + N ₆₀	93,3	30,1	88,7	139,9	49,1	196,3	233,2	79,2	285,0
Фон + N ₁₂₀ + N ₆₀	91,3	30,6	90,6	140,3	49,2	188,9	231,6	79,8	279,5
Регресійні моделі виносу макроелементів живлення стосовно норми азоту	N	$y = 0,359x + 154,8$ ($r = 0,939$, $R^2 = 0,882$)							
	P ₂ O ₅	$y = 0,101x + 60,7$ ($r = 0,914$, $R^2 = 0,835$)							
	K ₂ O	$y = 0,31x + 207,1$ ($r = 0,879$, $R^2 = 0,773$)							

Статистичний аналіз отриманих результатів вказує на можливість моделювання процесів виносу основних елементів живлення при різних нормах і строках використання азотних добрив. Максимальний коефіцієнт кореляції – 0,939 отримано при порівнянні гектарної норми діючої речовини азотного добрива із загальним виносом азоту з ґрунту протягом всього періоду вегетації.

Величина сумарного водоспоживання озимого ріпака сорту Квінта, в середньому за три роки досліджень, становила 1120-1271 м³/га. Впливаючи на темпи росту й нагромадження вегетативної маси підвищенні норми азотних добрив збільшували водоспоживання рослин на 20-15,7 м³/га (табл. 3).

3. Вплив азотних добрив на водоспоживання ріпака озимого із шару ґрунту 0-100 см (у середньому за три роки)

Добриво	Сумарне водоспоживання, м ³ /га	Коефіцієнт водоспоживання, м ³ /т		Регресійні моделі зв'язку «вологозабезпеченість – продуктивність»	
		зеленої маси	сухої речовини	зеленої маси	сухої речовини
Сорт Дублянський					
P ₉₀ – фон (контроль)	1482	52	394	y = 1,044x – 1238,3 r = 0,907 R ² = 0,823	y = 0,067x – 59,53 r = 0,805 R ² = 0,648
Фон + N ₃₀	1502	43	346		
Фон + N ₁₂₀	1546	40	336		
Фон + N ₁₅₀	1560	39	336		
Фон + N ₁₈₀	1565	38	328		
Фон + N ₂₁₀	1600	39	351		
Фон + N ₆₀ + N ₆₀	1639	38	314		
Фон + N ₉₀ + N ₆₀	1639	36	314		
Фон + N ₁₂₀ + N ₆₀	1595	37	312		
Сорт Квінта					
P ₉₀ – фон (контроль)	1247	32	221	y = 0,621x – 277,32 r = 0,827 R ² = 0,683	y = 0,028x + 28,84 r = 0,950 R ² = 0,903
Фон + N ₃₀	1120	27	187		
Фон + N ₆₀	1246	26	193		
Фон + N ₉₀	1271	25	200		
Фон + N ₁₂₀	1261	24	200		
Фон + N ₃₀ + N ₃₀	1256	27	206		
Фон + N ₃₀ + N ₆₀	1212	24	190		

Оптимізація азотного живлення зменшувала непродуктивні витрати води на формування врожаю надземної маси. Більш економічні витрати води на одиницю врожаю зеленої маси в межах 36-43 і 24-29 м³/т та сухої речовини – 312-351 і 187-216 м³/т, відповідно, одержано при покращанні азотного живлення на фоні внесення фосфору.

Проведення статистичного аналізу інтенсивності процесів формування надземної біомаси ріпака озимого виявило тісний кореляційний зв'язок з умовами вологозабезпеченості рослин. Найвищі показники коефіцієнта кореляції відмічені на сорті Дублянський між урожайністю зеленої маси, а на сорті Квінта – виходом сухої речовини та рівнем сумарного водоспоживання по досліджуваних схемах використання добрив.

Висновки. Застосування азотних добрив в умовах зрошення південної підзони Степу України впливає на ріст і розвиток рослин озимого ріпака, подовжує тривалість вегетаційного періоду, покращує ростові процеси, позитивно впливає на площу листового апарату. Максимальний приріст врожаю зеленої маси і збору сухої речовини озимого ріпака сорту

Дублянський одержана при диференційованому внесенні азоту у варіанті N_{60} (восени) та N_{60} (навесні в підживлення) на фоні P_{90} , сорту Квінта – при внесенні $N_{60}P_{90}$. Збільшення норми азоту більше 90 кг д.р. на 1 га суттєво знижує окупність добрив. Дрібне внесення азотних добрив також помітно поліпшує якісні показники врожаю ріпака озимого – підвищує кількість протеїну, зменшує вміст безазотистих екстрактивних речовин тощо.

Покращання умов живлення при зрошенні збільшує загальний винос макроелементів посівами озимого ріпака за рахунок підвищення кормової продуктивності, при знижених витратах поживних елементів на формування одиниці врожаю вегетативної маси.

Статистичний обробіток отриманих даних свідчить про високу лінійну кореляційну залежність між нормою азотного добрива та показниками продуктивності рослин як у сорту Дублянський, так і Квінта. Отримані моделі можна використовувати для програмування продукційних процесів ріпака озимого залежно від норм внесення мінеральних добрив.

Бібліографічний список

1. Модатренко В.И. Проблемы развития орошения на юге Украины. Эколого-экономический аспект // Аграрное производство и природопользование. – 1989. – № 7. – С. 48-51.
2. Писаренко В.А., Коковіхін С.В., Писаренко П.В. Рекомендації з режимів зрошення сільськогосподарських культур в Херсонській області. – Херсон: Айлант, 2005. – 16 с.
3. Гусев М.Г. Агробіологічне обґрунтування та розробка технологічних прийомів підвищення продуктивності однорічних агроценозів при конвеєрному виробництві кормів в умовах зрошення Степу України. – Дис... д-ра с.-г. наук. – Херсон, 2005. – С. 42-45.
4. Бойчук М., Харчук І., Бутрин Г., Вовк Г., Збіглей С. Насінництво сортів озимого ріпаку // Пропозиція. – 2001. – № 4. – С. 50.
5. Гольцов А.А., Ковальчук А.М., Абрамов В.Ф., Милащенко Н.З. Рапс, сурепица: Под общей ред. А.А. Гольцова. – М.: Колос, 1983. – 192 с.
6. Ковальчук Г.М. Ріпак озимий – цінна олійна і кормова культура. – К.: Урожай, 1987. – 112 с.
7. Утеуш Ю.А. Рапс и сурепица в кормопроизводстве. – К.: Наукова думка, 1979. – 228 с.
8. Ковалев В.М. Теория урожая. – М.: МСХА, 2003. – С. 387-394.

9. Ушаков А.В. Пространственный анализ в сельском хозяйстве: Подход с использованием ГИС. – М.: Дата+, 2005. – С. 18-21.

10. Жовтоног О.І., Кириєнко О.І., Шостак І.К. Алгоритм планування зрошення з використанням геоінформаційних технологій для системи точного землеробства // Меліорація і водне господарство. – 2004. – Вип. 91. – С. 33-41.