



УДК 631.416.1

МРНТИ: 68.35.29; 68.01.94; 68.01.75

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.102(2).52

¹Туребаева С.Д., ²Сыдык Д.А., ¹Мурзабаев Б.А., ¹Абсатова Б.А., ¹Махатов Ж.Б.*,
³Жаппарова А.А., ⁴Жумагалиев И.К.

¹Южно-Казахстанский исследовательский университет имени М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

²Юго-западный научно-исследовательский институт животноводства и
растениеводства, Шымкент, Казахстан

³Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
Алматы, Казахстан

⁴Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Уральск, Казахстан

*Corresponding author: 87006018888@mail.ru

E-mail: Issatay80@mail.ru

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЯМОГО ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. В засушливых условиях богарные системы прямого посева могут снижать урожайность из-за дефицита влаги и питания. В 2024-2025 гг. в Южном Казахстане оценены 8 вариантов внесения азотных и фосфорных удобрений при прямом посеве озимой пшеницы. Почва эффективно удерживает влагу, обеспечивая развитие растений в критические фазы. Фосфор ускорял созревание зерна, а фосфор + азот продлевали вегетацию. Без удобрений снижается продуктивность и эффективность использования ресурсов, тогда как стимуляторы роста + микроудобрения повышают рациональность использования плодородия. Оптимизация питания растений с учётом их особенностей повышает устойчивость производства озимой пшеницы в засушливых условиях Южного Казахстана.

Ключевые слова: Южный Казахстан, озимая пшеница, фосфор, микроэлементы, стимуляторы роста, удобрение, агроэкосистем, почвенная влага, экологические системы.

Введение

Значительные площади сельскохозяйственных земель подвержены деградации из-за несбалансированного и неустойчивого управления. Частое оставление полей под чистым паром и интенсивная обработка почвы традиционными методами считаются основными факторами ускоренной эрозии почв. Такие практики приводят к минимальному накоплению растительных остатков на поверхности, ускоряют разложение органического вещества и нарушают структуру почвы, что способствует истощению её плодородия и увеличивает уязвимость к эрозии. Консервационное земледелие, включая нулевую и минимальную обработку почвы, становится всё более распространённым в разных странах. Эти экологически щадящие методы сохраняют растительные остатки на поверхности, уменьшают механическое воздействие на почву, замедляют минерализацию органического вещества и способствуют накоплению углерода, поддерживая устойчивость почвенной экосистемы. В целом, увеличение количества растительных остатков на полях способствует улучшению структуры



почвы, сохранению её плодородия и устойчивому росту сельскохозяйственных культур [1-13].

В засушливых условиях Южного Казахстана дефицит почвенной влаги является главным лимитирующим фактором для неорошаемого возделывания озимой пшеницы. Внедрение систем прямого посева (No-till) обеспечивает эффективную консервацию влаги за счет сохранения растительных остатков, снижая физическое испарение на 60-70%. Данная технология способствует равномерному прорастанию семян и повышает устойчивость агроэкосистем к климатическим стрессам региона [14-18].

Ключевым условием повышения экологической эффективности технологии нулевой обработки почвы является рациональная оптимизация питания растений. Сбалансированное внесение удобрений обеспечивает растения всеми необходимыми элементами на каждом этапе роста и развития, при этом исключая как их избыток, так и дефицит. Такой подход позволяет получать стабильный и безопасный урожай зерна, одновременно минимизируя негативное воздействие на почвенные и экологические системы [19-22].

Острой экологической проблемой прямого посева остается фитосанитарное состояние агроценозов. Несмотря на дискуссионность вопроса о влиянии растительных остатков на накопление патогенов и риск развития корневых гнилей, технология обладает выраженным экологическим эффектом. За счет снижения энергозатрат и сохранения физико-биологических свойств почвы, прямой посев минимизирует риски деградации земель и повышает общую устойчивость земледелия [17,23,24].

Несмотря на многочисленные исследования по данной теме, остаётся много дискуссий о влиянии технологий нулевой обработки почвы на её свойства и на способность агроэкосистем смягчать последствия изменения климата. В Южном Казахстане вопросы внедрения ресурсосберегающих технологий при выращивании дождевой озимой пшеницы с прямым посевом являются одной из приоритетных областей, находящейся на стадии активной разработки. При недостаточном количестве осадков применение нулевой обработки требует особого подхода и детальных исследований для создания оптимальной технологии, которая одновременно обеспечивала бы стабильный и экономически эффективный урожай, а также сохраняла бы качество и биологическую активность почвы. Особое значение имеет экологически обоснованное изучение применения макро- и микроудобрений, стимуляторов роста и определение оптимальных доз и сроков их внесения, что позволяет сочетать повышение продуктивности с устойчивым сохранением почвенных ресурсов в условиях дождевого земледелия с прямым посевом зерновых культур [17, 25,27].

Таким образом, разработка экологически устойчивых подходов к возделыванию дождевой озимой пшеницы при прямом посеве с подбором оптимальных доз минеральных и микроудобрений, стимуляторов роста, а также с испытанием гербицидов нового поколения представляет особый интерес и имеет важное практическое значение для сохранения почвенных ресурсов и устойчивого производства зерна озимой пшеницы в Казахстане и странах Центральной Азии.

Для достижения этой цели были поставлены следующие экологически значимые задачи исследования:

- 1) Изучение роста и развития дождевой озимой пшеницы в зависимости от дозы и сроков внесения удобрений в системе нулевой обработки почвы в условиях засушливого климата Южного Казахстана с учётом минимизации воздействия на почвенные экосистемы;



2) Определение показателей формирования структуры урожая в зависимости от влажности почвы и применения удобрений при прямом посеве, с целью рационального использования водных и питательных ресурсов;

3) Оценка экономической и экологической эффективности применения удобрений в агротехнологической системе прямого посева озимой пшеницы в засушливых условиях Южного Казахстана, с акцентом на сохранение качества почвы и устойчивость агроэкосистем.

Материалы и методы

Описание экспериментального участка

Почвенно-климатические условия Южного Казахстана характеризуются высоким экологическим разнообразием рельефа – от пустынь и предгорий до горных систем. Горы Таласского Алтая соединяются с западными хребтами Тянь-Шаня, а северо-западная часть региона граничит с песчаными пустынями и Бетпакской степью, что формирует уникальные природные ландшафты.

Регион находится в зоне полупустынного климата с выраженной континентальностью, засушливостью и высоким количеством солнечных дней. Резкие перепады температур между днём и ночью, а также между сезонами, создают стрессовые условия для экосистем. Средняя температура самого холодного месяца колеблется от +2 до - 5 °С, самого тёплого – 26-30 °С. Лето жаркое, продолжительное и крайне сухое. Период с температурами выше 10 °С длится 170-245 дней, а сумма температур за этот период составляет 3400-5800 °С.

Зима короткая и мягкая, с частыми оттепелями. Засушливость является одной из ключевых экологических особенностей региона. Годовое количество осадков составляет 100-250 мм и распределяется крайне неравномерно, с двумя максимумами: основной – весной, вторичный – осенью. Высокая испаряемость (1000-1700 мм) и низкий коэффициент увлажнения (0,12-0,33) подчеркивают ограниченность водных ресурсов, что оказывает значительное влияние на продуктивность почв и устойчивость экосистем региона.

Почвенный покров исследуемой территории представлен обычными серозёмами и кальцисолями, развитыми на толстых суглинках и песчаных суглинках. Эти лёгкие, рыхлые и поверхностно кальциевые почвы с недифференцированным профилем сформированы в условиях пустынно-степной (полупустынной) экосистемы Южного Казахстана, что определяет ограниченные водные и питательные ресурсы для растений. Флора региона представлена эфемерными растениями, создающими разнообразные естественные луга и играющими важную роль в поддержании биологического разнообразия и устойчивости местных экосистем.

Исследования проводились в 2024 и 2025 годах на стационарных опытных полях Южно-Западного научно-исследовательского института животноводства и растениеводства, расположенных вблизи города Шымкент (42°29'90" с. ш., 69°70'43" в. д.) на высоте около 650-800 м над уровнем моря. Выращиваемой культурой была озимая пшеница (*Triticum durum* L.), сорт Стекловидная 24, возделываемая в условиях дождевого земледелия с минимальным воздействием на почвенные и водные ресурсы.

Для проведения исследований использовался стандартный дизайн сельскохозяйственных опытов с размерами участков 5,6 × 10 м, размещённых в случайно распределённых полных блоках с четырьмя повторностями, что позволило минимизировать влияние внешних факторов на результаты. Полевые эксперименты по



экологически обоснованному применению удобрений при прямом посеве озимой пшеницы проводились по следующей схеме (Таблица 1), с учётом сохранения почвенного покрова и минимизации воздействия на агроэкосистему.

Лабораторные и полевые методы

Содержание влаги и запасы продуктивной влаги в почвенных слоях контролировали в конце первой, второй и третьей декад каждого месяца в период вегетации озимой пшеницы на глубину до 1 м с интервалом каждые 10 см. Измерения проводились термостатно-весовым методом, что позволяло точно оценивать водный баланс почвы и её способность обеспечивать растения влагой в условиях засушливого климата. Для отбора проб использовали бур длиной 100 см с отметками через каждые 10 см, минимизируя разрушение почвенного профиля и воздействие на экосистему.

Фенологический мониторинг осуществляли по основным фазам развития: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, молочная, восковая и полная спелость. Даты наступления фаз фиксировали согласно общепринятым методикам при вступлении в них не менее 75% растений. Наблюдения проводились для оценки темпов развития озимой пшеницы в зависимости от гидротермических условий и режима влагообеспеченности почв.

Плотность стояния растений определяли на площадках 0,25 м² в четырехкратной повторности по основным фазам вегетации. Содержание сухого вещества в биомассе устанавливали термостатно-весовым методом (высушивание навесок по 50 г при 100-105°C до постоянной массы). Учет засоренности и видового состава сорных растений проводили количественно-весовым методом. В третьей декаде марта посевы обрабатывали смесью селективных гербицидов против однолетних и многолетних двудольных и злаковых сорняков согласно установленным регламентам. Используемые гербициды: *Ballerina* – системный гербицид в виде суспензионной эмульсии против однолетних двудольных растений, включая устойчивые к 2,4-Д и МЦПА, а также некоторых многолетних корневых сорняков (содержание активных веществ: 2,4-Д, комплекс 2-этилгексил; эфир – 410 г/л; флорасулам – 7,4 г/л); *Lastic extra* – селективный гербицид для контроля однолетних злаковых сорняков, содержащий антагонист клокуинтосет-мексил – 40 г/л и феноксапроп-П-этил – 70 г/л. 31 марта гербициды *Ballerina* (0,4 л/га) и *Lastic extra* (0,9-1,0 л/га) смешивали с водой отдельно, а затем приготовленный раствор распыляли на растения озимой пшеницы в количестве 200-300 л/га, обеспечивая эффективное подавление сорняков при минимальном воздействии на окружающую среду. На фазе флагового листа до выхода в трубку посевы обработки № 8 обрабатывали экологически безопасным стимулятором роста (0,5 л/га) совместно с микроудобрением (2,0 л/га) в вечернее время, что способствовало поддержанию физиологического состояния растений и сохранению почвенной микробиоты.

Экономическую эффективность прямого посева при различных дозах удобрений оценивали расчетно-конструктивным методом на основе технологических карт в ценах 2024-2025 гг. Статистическую достоверность результатов и тесноту связей между агротехническими приемами и продуктивностью посевов определяли методами дисперсионного и корреляционного анализов.

Результаты эксперимента представлены в виде средних значений. Параметрическая оценка (однофакторный ANOVA) проводилась на уровне вероятности (p) $\leq 0,05$ для выявления значимых различий между измеряемыми



показателями, что позволило сделать выводы о сбалансированном и экологически безопасном применении удобрений.

Результаты и обсуждение

Основные почвенно-агрохимические характеристики исследуемой территории представлены в таблице 1. Почва демонстрирует низкое содержание азота и фосфора при удовлетворительном обеспечении калием, что отражает необходимость сбалансированного внесения удобрений для поддержания экологически устойчивого плодородия. Уровень кислотности верхнего слоя слабощелочной, а нижних – щелочной, что важно учитывать при планировании агротехнических мероприятий с минимальным воздействием на почвенную микробиоту.

Содержание гумуса в этой почве обычно низкое, что ограничивает её биологическую активность и способность удерживать влагу. Кальциевые карбонаты присутствуют во всех горизонтах почвы с тенденцией к увеличению по профилю, влияя на кислотно-щелочной баланс и устойчивость к эрозии.

Таблица 1 - Основные агрохимические свойства почвы опытного поля (2024)

№	Слой почвы, см	Общее содержание, %				pH (H ₂ O)	Подвижные питательные вещества, мг/100 г		
		Гумус	Азот	CO ₂	Ca CO ₃		Легкогидролизуемый азот, мг/кг	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0-10	1,37	0,07	4,5	9,8	7,33	12,4	2,6	408
2	10-20	1,16	0,06	4,8	10,1	7,44	11,5	2,6	437
3	20-30	0,45	0,04	7,2	15,6	7,48	5,4	1,7	305
4	30-40	0,32	0,04	8,6	18,9	8,49	н.о.	1,3	319
5	40-100	н.о.	н.о.	9,1	20,7	8,52	н.о.	н.о.	н.о.

Примечание: данные приведены как средние значения по четырём повторностям; н.о. – не определялось.

Всхожесть и перезимовка озимой пшеницы в 2024 году

В 2025 году климатические условия, включая температуру воздуха и количество осадков, были благоприятны для формирования одновременных и равномерных всходов озимой пшеницы (в октябре 2024 года выпало 44,2 мм осадков). Полные всходы были отмечены на 10-й день после посева с высокой полевой всхожестью 87,8-94,7 % (Таблица 2), что отражает успешное восстановление агроэкосистемы при минимальном вмешательстве.

Таблица 2 - Фенологические фазы развития озимой пшеницы при прямом посеве в зависимости от удобрения в Южном Казахстане (дни после посева)

№	Варианты опыта	Год	Посев – Всходы	Всходы – Кущение	Кущение – Выход в трубку	Выход в трубку – Колошение	Цветение – Молочная спелость	Молочная – Восковая спелость	Посев – Полная спелость зерна
1	Контроль	2024	12	22	17	42	6	9	253
		2025	27	42	21	41	5	9	238
2	P30	2024	12	21	16	42	6	8	248
		2025	27	41	18	37	5	8	236
3	P45	2024	12	21	16	41	6	8	249
		2025	27	41	18	37	5	7	233
4	P30 + N50	2024	11	19	16	40	6	9	255
		2025	28	39	18	39	5	9	241
5	P30 + N70	2024	11	19	16	41	6	9	256
		2025	28	39	18	40	5	9	242



6	P45 + N50	2024	11	18	16	40	6	9	255
		2025	28	38	18	39	5	9	241
7	P45 + N70	2024	11	18	16	41	6	9	257
		2025	28	38	18	40	5	9	243
8	GS + MNF *	2024	11	18	16	39	6	8	243
		2025	28	38	18	38	5	8	234

* GS – стимулятор роста; MNF – микроудобрение; в начале фазы кущения растения обрабатывали стимулятором роста (0,5 л/га) совместно с микроудобрением (2,0 л/га).

Высокая всхожесть семян объясняется эффективным контактом семян с почвой и равномерным заглублением на 4-5 см, что способствовало их интенсивному прорастанию. Благоприятный октябрьский режим осадков и оптимальная температура воздуха обеспечили не только высокий уровень полевой всхожести, но и поддержание экологической устойчивости почвенно-растительной системы, сохраняя влагу и микробиологическую активность верхнего слоя почвы.

Состояние растений озимой пшеницы перед уходом в зиму играет ключевую роль для обеспечения высокой урожайности, так как оно определяет их морозостойкость, рост, развитие и формирование урожая. В ноябре температура воздуха резко снизилась (с 11,3 °С в октябре до 3,7 °С в ноябре), а количество осадков увеличилось с 44,2 мм до 85,3 мм. При таких климатических условиях озимая пшеница развивалась умеренно и вступила в фазу кущения к концу ноября 2024 года (Таблица 2). В целом растения сохраняли хорошее состояние, а осенняя вегетация продолжалась, что обеспечило экологическую устойчивость посевов перед зимовкой.

В среднем за зимние месяцы 2024 года суммарное количество осадков составило 223,0 мм, что немного ниже многолетнего среднего показателя (234,0 мм). Среднемесячная температура воздуха колебалась в пределах 2,0-3,0 °С. Осадки выпадали преимущественно в виде дождя и мокрого снега, снежный покров был небольшой (7-11 см) и быстро таял. Замерзание почвы не наблюдалось, что способствовало безопасной перезимовке озимой пшеницы. Сохранность растений на обработанных удобрениями участках составляла 259,7-310,6 шт./м² (74,6-88,5 % от числа посеянных семян) (Таблица 3). В контрольной обработке количество сохранившихся растений было ниже – 238,0 шт./м².

Эти результаты показывают, что внесение только фосфорных удобрений или комбинаций фосфорных и азотных удобрений при прямом посеве озимой пшеницы повышает морозостойкость растений и улучшает их сохранность в неблагоприятных зимних условиях, поддерживая экологическую устойчивость агроэкосистемы.

Таблица 3 - Биометрические показатели развития дождевой озимой пшеницы при прямом посеве с различным удобрением в Южном Казахстане

№	Варианты опыта	Количество перезимовавших растений, шт./м ²		Количество колосьев, шт./м ²		Высота растения, см	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025
1	Контроль	238,0a*	243,4a	202,3	207,0a	68,5a	73,6a
2	P ₃₀	261,6b	270,3b	212,1a	217,2b	78,5b	80,1b
3	P ₄₅	269,7b	272,0b	215,8a	220,1b	80,2b	81,3b
4	P ₃₀ + N ₅₀	271,5b	295,6c	265,4b	271,3c	88,1bc	90,4bc
5	P ₃₀ + N ₇₀	288,9c	303,8c	281,1bc	283,2c	89,7bc	92,1bc
6	P ₄₅ + N ₅₀	295,5c	318,6cd	290,0c	300,1cd	94,9c	93,4bc
7	P ₄₅ + N ₇₀	310,6cd	325,8d	302,2c	302,0cd	95,8c	98,4b
8	GS + MNF **	269,5b	288,6e	245,0d	269,0c	79,8b	84,5b

* Разные буквы в колонке указывают на статистически значимую разницу при $p < 0,05$; ** GS – стимулятор роста; MNF – микроудобрение.



Таблица 3.1 - Биометрические показатели развития дождевой озимой пшеницы при прямом посеве с различным удобрением в Южном Казахстане

№	Варианты опыта	Длина колоса, см		Количество зерен в колосе, штук		Масса 1000 семян	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025
1	Контроль	7,0a	6,8a	20,0a	21,1a	30,6a	13,2a
2	P ₃₀	8,6b	8,9b	25,1b	23,9a	35,0b	17,5b
3	P ₄₅	8,7b	8,8b	26,0b	25,3ab	35,7b	19,1b
4	P ₃₀ + N ₅₀	9,9c	9,6bc	32,4c	31,7b	37,1bc	31,7c
5	P ₃₀ + N ₇₀	10,2c	9,8c	33,2c	32,6b	37,3bc	34,3c
6	P ₄₅ + N ₅₀	10,8c	10,9c	33,4c	32,0b	37,0bc	35,4c
7	P ₄₅ + N ₇₀	10,9c	11,2c	34,0c	32,8b	37,5bc	36,8cd
8	GS + MNF **	8,5b	9,3c	28,1b	29,8b	35,1b	27,7c

В течение двух лет исследований в вариантах с нулевой обработкой почвы отмечена высокая сохранность растений после перезимовки и благополучное фитосанитарное состояние корневой системы. Положительный эффект обусловлен стабилизацией водно-физических и агрохимических свойств почвы, что обеспечило устойчивость агроэкосистемы к абиотическим стрессам и сформировало потенциал для высокой продуктивности культуры.

На вариантах с внесением азотных удобрений (N₃₀ и N₄₅ кг/га) и весенней обработкой посевов стимулятором роста 0,5 л/га совместно с микроудобрениями 2,0 л/га наблюдалось более активное и гармоничное развитие растений, что способствовало их экологически сбалансированному росту.

Результаты показывают, что внесение фосфорных удобрений в дозах P₃₀ и P₄₅ кг/га способствовало более быстрому созреванию зерна на 5-6 дней по сравнению с контролем (Таблица 3), что позволяет сократить время вегетации без ущерба для урожайности и снижает риск потерь воды в почве за счёт длительного нахождения растений в поле. Использование комбинации фосфорных и азотных удобрений (P₄₅ N₇₀ кг/га) удлиняло вегетационный период озимой пшеницы до 257 дней, что способствовало более равномерному использованию запасов почвенной влаги и оптимальному формированию урожая: созревание зерна происходило на 4 дня позже по сравнению с контролем и на 9 дней позже, чем при внесении только P₄₅ кг/га (Таблица 3). Применение стимуляторов роста совместно с микроудобрениями сокращало вегетационный период до 247 дней, что ускоряло процессы созревания зерна на 6 дней по сравнению с контролем, одновременно поддерживая эффективное использование природных ресурсов почвы (Таблица 3). В период молочной и восковой спелости зерна 2025 года сухая и жаркая погода ускорила созревание, подчеркивая важность оптимального планирования удобрений для минимизации стрессовых условий и рационального использования влаги.

На удобренных вариантах наблюдалось более эффективное использование запасов продуктивной влаги в дождевых условиях, что способствовало высокому урожаю. Важными экологически значимыми факторами урожайности стали продуктивное кущение и плотность растений на единицу площади. В 2024-2025 годах количество растений на единицу площади в удобренных вариантах увеличилось с 212,1 до 302,2 шт./м² и с 217,2 до 302,0 шт./м² соответственно, что обеспечило оптимальное использование ресурсов почвы и влаги, в отличие от контроля (202,3 и 207,0 шт./м²).

Показателями, определяющими продуктивность зерновых, являются число зерен в колосе, длина колоса и масса 1000 зерен. Наименьшее количество зерен наблюдалось в контроле (20,0-21,1 шт.), тогда как применение удобрений улучшало питание



растений и способствовало формированию большего числа и более крупных зерен. Наибольшее количество зерен (32,8-34,0 шт.) и длина колоса (10,9-11,2 см) были получены при прямом посеве с P_{45} кг/га и внесением азота N_{70} кг/га в фазе кущения, что демонстрирует рациональное использование ресурсов почвы для повышения урожайности. Стимуляторы роста и микроэлементы обеспечивали 28,1-29,8 зерен в колосе и длину колоса 9,3-9,5 см, способствуя поддержанию биологического равновесия растений и почвы.

В июне обоих лет высокие температуры, малое количество осадков и низкая относительная влажность ускоряли созревание зерна и увеличивали массу 1000 зерен. Наибольшая масса 1000 зерен (37,2-37,5 г) была получена при применении $P_{45} N_{70}$ кг/га по сравнению с контролем (30,3-30,6 г), что указывает на эффективность рационального удобрения для повышения продуктивности в условиях ограниченной влаги.

Влияние удобрений на урожай зерна дождевой озимой пшеницы в 2024-2025 годах

Внесение фосфорных удобрений в дозах P_{30} и P_{45} кг/га во время прямого посева увеличивало урожай зерна на 0,48 и 0,68 т/га соответственно по сравнению с контролем (Таблица 4). Эти результаты особенно важны, поскольку в условиях засушливого климата и щелочной реакции почвы доступность фосфора ограничена из-за процессов осаждения и/или фиксации кальциевым карбонатом и глинистыми минералами, что делает его недоступным для растений. Несмотря на то, что фосфорные удобрения были внесены в период осенней засухи, растения смогли эффективно использовать фосфор благодаря запасам влаги, накопленным в достаточном количестве, чему способствовал сниженный испаряемость из-за мульчирующего слоя на поверхности почвы [28].

Таблица 4 - Урожай зерна дождевой озимой пшеницы при прямом посеве в зависимости от доз минерального удобрения в Южном Казахстане (среднее по четырём полевым повторностям)

№	Варианты опыта	Урожайность зерна, т/га		Средняя урожайность зерна, т/га	Отклонение от контроля, т/га
		2024	2025		
1	Контроль	1.24a *	1.32a	1.28a	-
2	P_{30}	1.80b	1.75a	1.76b	+0.48
3	P_{45}	2.01b	1.91ab	1.96b	+0.68
4	$P_{30} + N_{50}$	3.19c	3.17c	3.18c	+1.90
5	$P_{30} + N_{70}$	3.48c	3.43c	3.46c	+2.18
6	$P_{45} + N_{50}$	3.58c	3.54c	3.56c	+2.28
7	$P_{45} + N_{70}$	3.85cd	3.68c	3.77c	+2.49
8	GS + MNF **	2.42bc	2.77bc	2.59bc	+1.31

* Разные буквы в колонке указывают на статистически значимую разницу; ** GS: стимулятор роста; MNF: микроудобрение.

Внесение фосфора (P_{30} кг/га) в сочетании с азотом (N_{50} и N_{70} кг/га) способствовало увеличению урожайности на 1,90-2,18 т/га по сравнению с контролем, обеспечивая высокий урожай зерна с гектара – 3,18-3,46 т/га. Это свидетельствует о том, что использование фосфорно-азотных удобрений в предложенной дозировке и сроки внесения способствовало сбалансированному питательному режиму в течение всего вегетационного периода, обеспечивая высокий урожай зерна.

Эта гипотеза подтверждается наивысшей урожайностью 3,77 т/га в среднем за два года, сформированной на варианте с внесением фосфорных удобрений P_{45} кг/га при прямом посеве и азотных удобрений N_{70} кг/га ранней весной в фазе кущения (Таблица 4). В этом варианте урожайность зерна была в 2,9 раза выше, чем в контроле.



Оптимизация фосфорного и азотного питания озимой пшеницы в период их наибольшей потребности сбалансировала питание растений.

Вероятно, здесь действовал синергетический эффект, когда оптимизация одного фактора биологического цикла усиливала действие других факторов. Ранее проведённые исследования также показали, что минимизация механического воздействия на почву способствует оптимизации питания культур и влаги в почве, а также снижает затраты ресурсов [29,30].

Экологическая и экономическая оценка прямого посева озимой пшеницы в Южном Казахстане

Современные финансовые трудности фермерских хозяйств и нехватка необходимой техники и перерабатывающих мощностей делают поддержание существующей системы земледелия на устойчивом уровне практически невозможным. Поэтому разработка экономически и энергетически эффективных сельскохозяйственных технологий с учётом местного климата, и почв является приоритетом для производства зерна в Южном Казахстане, одновременно способствуя рациональному использованию природных ресурсов.

Экономическую эффективность и себестоимость 1 тонны зерна определяли на основе фактической урожайности за 2024-2025 гг. (табл. 5). Расчеты базировались на технологических картах, включающих прямые и косвенные затраты: семена, удобрения, средства защиты растений, ГСМ, оплату труда и амортизацию техники.

В 2024 году себестоимость производства на гектар варьировала в зависимости от стоимости посевного материала, фосфорных и азотных удобрений, микроудобрений, а также стимуляторов роста растений и гербицидов. Себестоимость выращивания озимой пшеницы без удобрений (контроль) составляла около 46 000 тенге/га, а с увеличением доз удобрений она возрастала, достигая около 112 000 тенге/га в варианте №7 (Р₄₅N₇₀) и около 63 000 тенге/га в варианте №8 (Таблица 5). Однако тенденция чистой прибыли была противоположной: наименьшая прибыль наблюдалась в контроле (около 130 000 тенге/га), а наибольшая – в варианте №7 (Р₄₅N₇₀) – около 430 000 тенге/га, и 280 000 тенге/га в варианте №8.

Несмотря на рост производственных затрат при внесении удобрений, условная чистая прибыль в данных вариантах существенно превышала контроль. Максимальная себестоимость единицы продукции отмечена на контроле, в то время как применение стимулятора роста в сочетании с микроудобрениями (вариант №8) обеспечило минимальную себестоимость 1 тонны зерна и наибольшую экономическую эффективность. Обработка семян озимой пшеницы стимулятором роста и микроэлементами удвоила урожайность (2,59 т/га) по сравнению с контролем и почти вдвое снизила себестоимость 1 тонны зерна (Таблица 5). Применение регуляторов роста в технологии прямого посева озимой пшеницы экономически эффективно. Данный агроприём позволяет существенно оптимизировать структуру производственных затрат и повысить рентабельность возделывания культуры.

Таблица 5 - Экономическая эффективность удобрений при выращивании озимой пшеницы по технологии нулевой обработки в 2024-2025 гг

№	Варианты опыта	Урожай зерна т/га		Себестоимость на 1 га		Цена зерна		Чистая прибыль, тенге/га	
		2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
1	Кон-Троль	1.24	1.32	21,800	26,300	86,800	118,800	65,000	92,500
2	Р30	1.86	1.75	30,600	38,500	130,200	157,800	99,600	119,300



3	P45	2.01	1.91	35,000	44,700	140,700	171,900	105,700	127,200
4	P30 + N50	3.19	3.17	45,100	54,800	223,300	285,300	178,200	230,500
5	P30 + N70	3.48	3.43	50,900	61,300	243,600	308,700	192,700	247,400
6	P45 + N50	3.58	3.54	49,600	60,900	250,600	318,600	201,000	257,700
7	P45 + N70	3.85	3.68	55,400	67,400	269,500	331,200	214,100	263,800
8	GS + MNF *	2.42	2.77	30,200	30,200	169,400	249,300	139,200	219,100

* GS – стимулятор роста; MNF – микроудобрение.

Результаты подтверждают ранее полученные данные о экономической эффективности технологии нулевой обработки почвы для выращивания зерновых в засушливых районах Южного Казахстана. Так, согласно более поздним исследованиям, себестоимость производства озимой пшеницы при прямом посеве снизилась в среднем на 30,2 %, затраты на топливо – на 38,6 %, а чистая прибыль – увеличилась на 16,7 % по сравнению с традиционной агротехнологической системой.

Выводы

Агрономическая эффективность прямого посева

Применение только фосфорных удобрений (P₃₀-P₄₅) при прямом посеве ускоряет созревание зерна на 5-6 дней по сравнению с контролем, что снижает риск потерь влаги в засушливых условиях. Комбинация фосфорных и азотных удобрений (P₄₅+N₇₀) удлиняет вегетационный период (до 257 дней), способствуя более полному использованию почвенной влаги и формированию более крупного зерна (масса 1000 зёрен достигает 37,5 г против 30,6 г в контроле). Наибольшая урожайность (в среднем 3,77 т/га) получена при внесении P₄₅ осенью (под посев) и N₇₀ весной (в фазу кущения). Это в 2,9 раза выше контроля (1,28 т/га).

Экологическая устойчивость

Прямой посев с сохранением растительных остатков на поверхности почвы позволяет накапливать и эффективно удерживать продуктивную влагу, что критически важно в условиях дефицита осадков (100-250 мм/год) и высокой испаряемости.

Удобрённые варианты обеспечивают лучшую перезимовку растений (сохранность до 310,6 шт./м² против 238,0 шт./м² в контроле) без замерзания почвы и при минимальном снежном покрове. Отсутствие удобрений ведёт не только к снижению урожая, но и к менее эффективному использованию природных (водных и почвенных) ресурсов, а также к повышению уязвимости агроэкосистемы.

Экономическая целесообразность

Несмотря на более высокую себестоимость гектара при внесении удобрений (до 112 000 тенге/га против 46 000 тенге/га в контроле), чистая прибыль максимальна в варианте P₄₅+N₇₀ (около 430 тенге/га), тогда как в контроле она составляет лишь 130 000 тенге/га. Использование стимуляторов роста + микроудобрений (вариант №8) позволяет почти вдвое снизить себестоимость 1 тонны зерна (до 26 000 - 30 000 тенге/т) и удвоить урожайность относительно контроля, что делает этот приём экономически выгодным для фермеров. В засушливых условиях Южного Казахстана прямой посев озимой пшеницы является экологически и экономически оправданной технологией при условии: сбалансированного внесения фосфорных и азотных удобрений с учётом фаз развития растений; использования стимуляторов роста и микроудобрений; сохранения мульчирующего слоя для снижения испарения (на 60-70%).

Такой подход снижает эрозию, уменьшает потребность в механической обработке почвы, повышает устойчивость производства зерна и способствует сохранению почвенных ресурсов в аридных экосистемах.

Благодарности



Исследование выполнено в рамках научного проекта «AP25795543 Разработка ресурсосберегающей технологии возделывания озимой пшеницы на обычных серых почвенных угодьях Южного Казахстана», реализуемого при финансовой поддержке Министерства науки и Высшего образования Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Koković N, Saljnikov E, Eulenstein F, Čakmak D, Buntić A, Sikirić B, et al. Changes in Soil Labile Organic Matter as Affected by 50 Years of Fertilization with Increasing Amounts of Nitrogen. *Agronomy* [Internet]. 2021 Oct 9;11(10):2026. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11102026>
- [2] Perović V, Kadović R, Đurđević V, Pavlović D, Pavlović M, Čakmak D, et al. Major drivers of land degradation risk in Western Serbia: Current trends and future scenarios. *Ecological Indicators* [Internet]. 2021 Apr;123:107377. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107377>
- [3] Duttmann R, Augustin K, Brunotte J, Kuhwald M. Modeling of Field Traffic Intensity and Soil Compaction Risks in Agricultural Landscapes. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;313–31. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_14
- [4] Mamontov VG. Classification and Causes of Soil Degradation by Irrigation in Russian Steppe Agrolandscapes. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;125–40. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_4
- [5] Saljnikov E, Eulenstein F, Lavrishchev A, Mirschel W, Blum WEH, McKenzie BM, et al. Understanding Soils: Their Functions, Use and Degradation. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;1–42. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_1
- [6] Saljnikov E, Mirschel W, Prasuhn V, Keller T, Blum WEH, Chumbaev AS, et al. Types of Physical Soil Degradation and Implications for Their Prevention and Monitoring. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;43–73. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_2
- [7] Saljnikov E, Lavrishchev A, Römbke J, Rinklebe J, Scherber C, Wilke BM, et al. Understanding and Monitoring Chemical and Biological Soil Degradation. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;75–124. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_3
- [8] Malobane ME, Nciizah AD, Mudau FN, Wakindiki IIC. Tillage, Crop Rotation and Crop Residue Management Effects on Nutrient Availability in a Sweet Sorghum-Based Cropping System in Marginal Soils of South Africa. *Agronomy* [Internet]. 2020 May 30;10(6):776. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10060776>
- [9] Komissarov MA, Klik A. The Impact of No-Till, Conservation, and Conventional Tillage Systems on Erosion and Soil Properties in Lower Austria. *Eurasian Soil Science* [Internet]. 2020 Apr;53(4):503–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1134/s1064229320040079>
- [10] Jat HS, Datta A, Choudhary M, Yadav AK, Choudhary V, Sharma PC, et al. Effects of tillage, crop establishment and diversification on soil organic carbon, aggregation, aggregate associated carbon and productivity in cereal systems of semi-arid Northwest India. *Soil and Tillage Research* [Internet]. 2019 Jul;190:128–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2019.03.005>



- [11] Keller T, Lamandé M, Naderi-Boldaji M, de Lima RP. Soil Compaction Due to Agricultural Field Traffic: An Overview of Current Knowledge and Techniques for Compaction Quantification and Mapping. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;287–312. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_13
- [12] Wang Y, Zhang JH, Zhang ZH, Jia LZ. Impact of tillage erosion on water erosion in a hilly landscape. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2016 May;551–552:522–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.045>
- [13] Cook RL, Trlica A. Tillage and Fertilizer Effects on Crop Yield and Soil Properties over 45 Years in Southern Illinois. *Agronomy Journal* [Internet]. 2016 Jan;108(1):415–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2015.0397>
- [14] Saljnikov E, Saljnikov A, Rahimgalieva S, Cakmak D, Kresovic M, Mrvic V, et al. Impact of energy saving cultivations on soil parameters in northern Kazakhstan. *Energy* [Internet]. 2014 Dec;77:35–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.042>
- [15] Ogle SM, Alsaker C, Baldock J, Bernoux M, Breidt FJ, McConkey B, et al. Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports* [Internet]. 2019 Aug 12;9(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
- [16] Ageev AA. Minimization Improvement Of Tillage In Agriculture Of The Chelyabinsk Region. *Vestnik Kurganskoi GSKhA* [Internet]. 2021;(2):3–9. Available from: http://dx.doi.org/10.52463/22274227_2021_38_3
- [17] Powlson DS, Stirling CM, Jat ML, Gerard BG, Palm CA, Sanchez PA, et al. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* [Internet]. 2014 Jul 30;4(8):678–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2292>
- [18] Nenad M, Matko-Stamenković U. Effect of nitrogen fertilizer on growth of seeded grassland dry biomass in process of deposol: Biological reclamation. *Zemljiste i biljka* [Internet]. 2019;68(2):12–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.5937/zembilj1902012m>
- [19] Essel B, Abaidoo RC, Opoku A, Ewusi-Mensah N. Economically Optimal Rate for Nutrient Application to Maize in the Semi-deciduous Forest Zone of Ghana. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [Internet]. 2020 Apr 17;20(4):1703–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-020-00240-y>
- [20] Rurinda J, Zingore S, Jibrin JM, Balemi T, Masuki K, Andersson JA, et al. Science-based decision support for formulating crop fertilizer recommendations in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems* [Internet]. 2020 Apr;180:102790. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102790>
- [21] Pandey M, Shrestha J, Subedi S, Shah KK. ROLE OF NUTRIENTS IN WHEAT: A REVIEW. *Tropical Agrobiodiversity* [Internet]. 2020 Jun 18;1(1):18–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.26480/trab.01.2020.18.23>
- [22] Salim N, Raza A. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *Journal of Plant Nutrition* [Internet]. 2019 Oct 21;43(2):297–315. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>
- [23] Porsev I, Sozinov A, Polovnikova V, Vyunik A. Biotic Factors in the Phytosanitary Technology of Green Pea Cultivation in the Trans-Urals. *KnE Life Sciences* [Internet]. 2021 Apr 5; Available from: <http://dx.doi.org/10.18502/cls.v0i0.8997>



- [24] Nunes MR, van Es HM, Schindelbeck R, Ristow AJ, Ryan M. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* [Internet]. 2018 Oct;328:30-43. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>
- [25] Blanco-Canqui H, Ruis SJ. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* [Internet]. 2018 Sep;326:164–200. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
- [26] Li J, Wang Y ke, Guo Z, Li J bin, Tian C, Hua D wen, et al. Effects of Conservation Tillage on Soil Physicochemical Properties and Crop Yield in an Arid Loess Plateau, China. *Scientific Reports* [Internet]. 2020 Mar 13;10(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-61650-7>
- [27] Daryanto S, Wang L, Jacinthe PA. No-till is challenged: Complementary management is crucial to improve its environmental benefits under a changing climate. *Geography and Sustainability* [Internet]. 2020 Sep;1(3):229–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geosus.2020.09.003>
- [28] Penn C, Camberato J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. *Agriculture* [Internet]. 2019 Jun 8;9(6):120. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- [29] Shapran VS, Demydenko OV. Productivity and grain quality of winter wheat under different tillage and fertilisation of typical chernozem soil. *Agriculture and plant sciences: theory and practice* [Internet]. 2023 Feb 24;(2):16–25. Available from: <http://dx.doi.org/10.54651/agri.2023.02.02>
- [30] Turebayeva S, Zhapparova A, Yerkin A, Aisakulova K, Yesseyeva G, Bissembayev A, et al. Productivity of Rainfed Winter Wheat with Direct Sowing and Economic Efficiency of Diversified Fertilization in Arid Region of South Kazakhstan. *Agronomy* [Internet]. 2022 Jan 2;12(1):111. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12010111>

REFERENCES

- [1] Koković N, Saljnikov E, Eulenstein F, Čakmak D, Buntić A, Sikirić B, et al. Changes in Soil Labile Organic Matter as Affected by 50 Years of Fertilization with Increasing Amounts of Nitrogen. *Agronomy* [Internet]. 2021 Oct 9;11(10):2026. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11102026>
- [2] Perović V, Kadović R, Đurđević V, Pavlović D, Pavlović M, Čakmak D, et al. Major drivers of land degradation risk in Western Serbia: Current trends and future scenarios. *Ecological Indicators* [Internet]. 2021 Apr;123:107377. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107377>
- [3] Duttman R, Augustin K, Brunotte J, Kuhwald M. Modeling of Field Traffic Intensity and Soil Compaction Risks in Agricultural Landscapes. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;313–31. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_14
- [4] Mamontov VG. Classification and Causes of Soil Degradation by Irrigation in Russian Steppe Agrolandscapes. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;125–40. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_4
- [5] Saljnikov E, Eulenstein F, Lavrishchev A, Mirschel W, Blum WEH, McKenzie BM, et al. Understanding Soils: Their Functions, Use and Degradation. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;1–42. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_1



- [6] Saljnikov E, Mirschel W, Prasuhn V, Keller T, Blum WEH, Chumbaev AS, et al. Types of Physical Soil Degradation and Implications for Their Prevention and Monitoring. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;43–73. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_2
- [7] Saljnikov E, Lavrishchev A, Römbke J, Rinklebe J, Scherber C, Wilke BM, et al. Understanding and Monitoring Chemical and Biological Soil Degradation. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;75–124. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_3
- [8] Malobane ME, Nciizah AD, Mudau FN, Wakindiki IIC. Tillage, Crop Rotation and Crop Residue Management Effects on Nutrient Availability in a Sweet Sorghum-Based Cropping System in Marginal Soils of South Africa. *Agronomy* [Internet]. 2020 May 30;10(6):776. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10060776>
- [9] Komissarov MA, Klik A. The Impact of No-Till, Conservation, and Conventional Tillage Systems on Erosion and Soil Properties in Lower Austria. *Eurasian Soil Science* [Internet]. 2020 Apr;53(4):503–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1134/s1064229320040079>
- [10] Jat HS, Datta A, Choudhary M, Yadav AK, Choudhary V, Sharma PC, et al. Effects of tillage, crop establishment and diversification on soil organic carbon, aggregation, aggregate associated carbon and productivity in cereal systems of semi-arid Northwest India. *Soil and Tillage Research* [Internet]. 2019 Jul;190:128–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2019.03.005>
- [11] Keller T, Lamandé M, Naderi-Boldaji M, de Lima RP. Soil Compaction Due to Agricultural Field Traffic: An Overview of Current Knowledge and Techniques for Compaction Quantification and Mapping. *Advances in Understanding Soil Degradation* [Internet]. 2021 Nov 27;287–312. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_13
- [12] Wang Y, Zhang JH, Zhang ZH, Jia LZ. Impact of tillage erosion on water erosion in a hilly landscape. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2016 May;551–552:522–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.045>
- [13] Cook RL, Trlica A. Tillage and Fertilizer Effects on Crop Yield and Soil Properties over 45 Years in Southern Illinois. *Agronomy Journal* [Internet]. 2016 Jan;108(1):415–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2015.0397>
- [14] Saljnikov E, Saljnikov A, Rahimgaliev S, Cakmak D, Kresovic M, Mrvic V, et al. Impact of energy saving cultivations on soil parameters in northern Kazakhstan. *Energy* [Internet]. 2014 Dec;77:35–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.042>
- [15] Ogle SM, Alsaker C, Baldock J, Bernoux M, Breidt FJ, McConkey B, et al. Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports* [Internet]. 2019 Aug 12;9(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
- [16] Ageev AA. Minimization Improvement Of Tillage In Agriculture Of The Chelyabinsk Region. *Vestnik Kurganskoi GSKhA* [Internet]. 2021;(2):3–9. Available from: http://dx.doi.org/10.52463/22274227_2021_38_3
- [17] Powlson DS, Stirling CM, Jat ML, Gerard BG, Palm CA, Sanchez PA, et al. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* [Internet]. 2014 Jul 30;4(8):678–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2292>



- [18] Nenad M, Matko-Stamenković U. Effect of nitrogen fertilizer on growth of seeded grassland dry biomass in process of deposol: Biological reclamation. *Zemljiste i biljka* [Internet]. 2019;68(2):12–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.5937/zembilj1902012m>
- [19] Essel B, Abaidoo RC, Opoku A, Ewusi-Mensah N. Economically Optimal Rate for Nutrient Application to Maize in the Semi-deciduous Forest Zone of Ghana. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [Internet]. 2020 Apr 17;20(4):1703–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-020-00240-y>
- [20] Rurinda J, Zingore S, Jibrin JM, Balemi T, Masuki K, Andersson JA, et al. Science-based decision support for formulating crop fertilizer recommendations in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems* [Internet]. 2020 Apr;180:102790. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102790>
- [21] Pandey M, Shrestha J, Subedi S, Shah KK. ROLE OF NUTRIENTS IN WHEAT: A REVIEW. *Tropical Agrobiodiversity* [Internet]. 2020 Jun 18;1(1):18–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.26480/trab.01.2020.18.23>
- [22] Salim N, Raza A. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *Journal of Plant Nutrition* [Internet]. 2019 Oct 21;43(2):297–315. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>
- [23] Porsev I, Sozinov A, Polovnikova V, Vyunik A. Biotic Factors in the Phytosanitary Technology of Green Pea Cultivation in the Trans-Urals. *KnE Life Sciences* [Internet]. 2021 Apr 5; Available from: <http://dx.doi.org/10.18502/cls.v0i0.8997>
- [24] Nunes MR, van Es HM, Schindelbeck R, Ristow AJ, Ryan M. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* [Internet]. 2018 Oct;328:30-43. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>
- [25] Blanco-Canqui H, Ruis SJ. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* [Internet]. 2018 Sep;326:164–200. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
- [26] Li J, Wang Y ke, Guo Z, Li J bin, Tian C, Hua D wen, et al. Effects of Conservation Tillage on Soil Physicochemical Properties and Crop Yield in an Arid Loess Plateau, China. *Scientific Reports* [Internet]. 2020 Mar 13;10(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-61650-7>
- [27] Daryanto S, Wang L, Jacinthe PA. No-till is challenged: Complementary management is crucial to improve its environmental benefits under a changing climate. *Geography and Sustainability* [Internet]. 2020 Sep;1(3):229–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geosus.2020.09.003>
- [28] Penn C, Camberato J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. *Agriculture* [Internet]. 2019 Jun 8;9(6):120. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- [29] Shapran VS, Demydenko OV. Productivity and grain quality of winter wheat under different tillage and fertilisation of typical chernozem soil. *Agriculture and plant sciences: theory and practice* [Internet]. 2023 Feb 24;(2):16–25. Available from: <http://dx.doi.org/10.54651/agri.2023.02.02>
- [30] Turebayeva S, Zhapparova A, Yerkin A, Aisakulova K, Yesseyeva G, Bissembayev A, et al. Productivity of Rainfed Winter Wheat with Direct Sowing and Economic Efficiency of Diversified Fertilization in Arid Region of South Kazakhstan. *Agronomy* [Internet]. 2022 Jan 2;12(1):111. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12010111>



Туребаева С., Сыдык Д., Мурзабаев Б., Абсатова Б., Махатов Ж., Жаппарова А.,
Жумагалиев И.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА КҮЗДІК БИДАЙДЫ ТІКЕЛЕЙ ЕГУДІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ БАҒАСЫ

Аңдатпа. Құрғақшылық жағдайында тікелей егудің тәлімі жүйелері ылғал мен қоректің тапшылығына байланысты өнімділікті төмендетуі мүмкін. 2024-2025 жж. Оңтүстік Қазақстанда күздік бидайды тікелей егу кезінде азотты және фосфорлы тыңайтқыштарды енгізудің 8 нұсқасы бағаланды. Топырақ ылғалды тиімді сақтап, өсімдіктердің критикалық фазаларда дамуын қамтамасыз етеді. Фосфор дәннің пісіп-жетілуін жеделдетсе, фосфор + азот вегетация кезеңін ұзартты. Тыңайтқышсыз ресурстарды пайдаланудың өнімділігі мен тиімділігі төмендейді, ал өсу стимуляторлары + микротыңайтқыштар құнарлылықты пайдаланудың ұтымдылығын арттырады. Өсімдіктердің ерекшеліктерін ескере отырып қоректендіруді оңтайландыру Оңтүстік Қазақстанның құрғақшылық жағдайында күздік бидай өндірісінің тұрақтылығын арттырады.

Кілт сөздер: Оңтүстік Қазақстан, күздік бидай, фосфор, микроэлементтер, өсу стимуляторлары, тыңайтқыш, агроэкожүйелер, топырақ ылғалы, экологиялық жүйелер.

Turebayeva S., Sydyk D., Murzabayev B., Absatova B., Makhatov Zh., Zhapparova A.,
Zhumagaliyev I.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF DIRECT SEEDING OF WINTER WHEAT IN SOUTHERN KAZAKHSTAN

Annotation. Under arid conditions, rainfed direct seeding systems may lead to reduced yields due to moisture and nutrient deficiencies. In 2024-2025, eight variants of nitrogen and phosphorus fertilizer application were evaluated for direct-seeded winter wheat in Southern Kazakhstan. The results show that the soil effectively retains moisture, supporting plant development during critical growth stages. Phosphorus application accelerated grain maturation, while the combination of phosphorus and nitrogen extended the vegetation period. Without fertilization, productivity and resource efficiency decline, whereas the use of growth stimulants combined with microfertilizers enhances the rational utilization of soil fertility. Optimizing plant nutrition based on specific crop requirements increases the sustainability of winter wheat production in the arid environments of Southern Kazakhstan.

Keywords: Southern Kazakhstan, winter wheat, phosphorus, trace elements, growth stimulants, fertilizer, agroecosystems, soil moisture, ecological systems.