

Тезекбаева А.Е., докторант, **основной автор**, <https://orcid.org/0009-0001-5404-7264>
НАО Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
г. Астана, пр. Женис, 62, 010011, Казахстан, ainash_25.08@mail.ru
Шестакова Н.А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-9893-3372>
НАО Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
г. Астана, пр. Женис, 62, 010011, Казахстан, ninakul23@mail.ru
Hakl J., PhD, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-4822-3441>
Чешский университет естественных наук в Праге, г. Прага, ул. Камычка, 129, 16500, Чехия.
hakl@af.czu.cz

Tezekbayeva A.E., Third-year doctoral student, **the main author**, <https://orcid.org/0009-0001-5404-7264>
NJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Zhenis Avenue, 62, 010011,
Kazakhstan, ainash_25.08@mail.ru
Shestakova N.A., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-9893-3372>
NJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Zhenis Avenue, 62, 010011,
Kazakhstan, ninakul23@mail.ru
Hakl J., PhD, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-4822-3441>
Czech University of Life Sciences in Prague, Prague, 16500, Kamýčka, 129, Czech Republic.
hakl@af.czu.cz

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ И НАДЗЕМНОЙ
МАССЫ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА И
УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА
FEATURES OF THE FORMATION OF THE ABOVEGROUND MASS AND LEAF SURFACE
OF OILSEED FLAX DEPENDING ON THE TIMING OF SOWING AND FERTILIZERS IN
THE CONDITIONS OF THE ZONE OF NORTHERN KAZAKHSTAN**

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается влияние сроков посева и минерального питания на формирование листовой поверхности и надземной массы льна масличного в условиях Северного Казахстана. Цель исследования — определить оптимальные агротехнологические параметры, способствующие повышению фотосинтетического потенциала, биомассы и урожайности культуры. Эксперименты проводились на базе Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции в 2023–2024 гг. В опытах изучались сроки посева (первая и вторая декада мая) и варианты удобрений (контроль, NPKS, NPKS + карбамид) на удобренном (P_{90}) и неудобренном (P_0) фонах.

Установлено, что удобрения повышали урожайность во всех вариантах независимо от климатических условий. Отмечены положительные корреляции между NDVI и урожайностью ($r=0,80$), а также между накоплением сухого вещества и урожайностью ($r=0,36$). Наибольшая продуктивность отмечена при ранних сроках посева, максимальный сбор семян в 2024 г. составил 13,3 ц/га на P_0 и 16,2 ц/га на P_{90} при применении NPKS + карбамид. В засушливые годы преимущество имел второй срок посева с использованием NPKS.

Применение комплексного питания в сочетании с ранними сроками сева увеличивало урожайность на 7–10%. Полученные результаты целесообразно учитывать при разработке адаптивных технологий возделывания льна в Северном Казахстане.

ANNOTATION

The article examines the effect of sowing dates and mineral nutrition on the formation of leaf area and aboveground biomass of oilseed flax under the conditions of Northern Kazakhstan. The aim of the study was to determine optimal agrotechnological parameters that enhance the photosynthetic potential, biomass accumulation, and crop productivity. The research was carried out at the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station in 2023–2024. Field experiments included sowing dates (first and second

ten-day periods of May) and fertilizer treatments (control, NPKS, NPKS + urea) on fertilized (P₉₀) and unfertilized (P₀) backgrounds.

It was found that fertilizers increased yield in all variants regardless of climatic conditions. Positive correlations were observed between NDVI and yield ($r=0.80$), as well as between dry matter accumulation and yield ($r=0.36$). The highest productivity was recorded at early sowing dates; in 2024, the maximum seed yield reached 1.33 t/ha on P₀ and 1.62 t/ha on P₉₀ with the application of NPKS + urea. Under drought conditions, the second sowing date combined with NPKS showed an advantage.

The application of complex fertilization together with early sowing increased yields by 7–10%. The identified patterns can be applied in developing adaptive technologies for oilseed flax cultivation in Northern Kazakhstan.

Ключевые слова: лён масличный; листовая поверхность; надземная масса; NDVI, удобрения.
Key words: oilseed flax; leaf surface; aboveground mass; NDVI, fertilizers.

Введение. Лён масличный (*Linum usitatissimum* L.) является одной из важнейших масличных культур, выращиваемых для получения льняного масла, обладающий высокой питательной ценностью, поскольку содержит жир (41%), белок (20%), пищевые волокна (28%), линолевую и омега-3 жирные кислоты [1]. Льняное масло содержит более высокое содержание жирных кислот и благодаря своим быстросохнущим свойствам используется в лакокрасочной промышленности, печатных красках, маслах для нанесения покрытий и мыле [2].

Эффективность возделывания льна во многом зависит от управления процессами роста и развития растений, включая формирование надземной массы и листовой поверхности, которые напрямую влияют на урожайность и качество конечной продукции. Эффективными инструментами оптимизации этих процессов является правильный выбор сроков посева и применение удобрений [3]. Многими исследованиями доказана отзывчивость льна на внесение удобрений, так в зоне Северного Казахстана при применении мелкой плоскорезной обработки почвы с внесением минеральных удобрений в норме N₆₀P₆₀K₃₀ была получена урожайность 0,57 т/га [4]. Опыты, проведенные в Акмолинской области, показывают, что ранние сроки сева способствуют формированию более полной листовой поверхности культуры нежели поздние [5]. Листовая поверхность играет ключевую роль в процессе фотосинтеза, влияя на накопление органического вещества и продуктивность растения. Чем больше листовая поверхность, тем выше интенсивность фотосинтетической активности, что способствует лучшему развитию льна и увеличению урожайности семян. Для получения высоких урожаев необходимо создать посеvy оптимальной структуры, наиболее полно поглощающие и использующие солнечную радиацию [6]. Основными органами поглощения солнечной энергии являются листья. Как при недостаточной, так и при излишне развитой площади листьев наблюдается снижение использования солнечной энергии. Поэтому необходимо создавать посеvy с оптимальной площадью листьев. Это дало основание сделать вывод, что оптимальной структурой обладают те посеvy, в которых площадь листьев быстро возрастает до 40 тыс. м²/га и по возможности долго сохраняется на этом уровне в активном состоянии; в конце вегетации значительно уменьшается или полностью отмирает, отдавая накопленные пластические вещества репродуктивным органам, т. е. хозяйственно ценной части урожая [7]. Многими исследованиями показано, что урожай биомассы находится в прямой зависимости от площади листьев. Но иметь значительные размеры площади листьев еще недостаточно, нужно, чтобы листовая поверхность формировалась быстро и возможно долго активно функционировала, т.е. фотосинтетический потенциал должен быть высоким.

Объект исследования. Сорт льна масличного Кустанайский янтарь, возделываемый в условиях ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция» Аккайынский район, Северо-Казахстанская область.

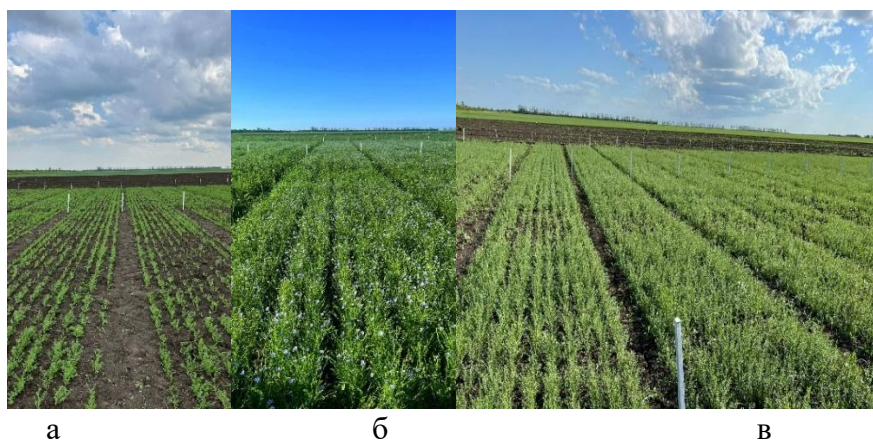
Цель работы. Изучение влияния сроков посева и удобрений на особенности формирования надземной массы и листовой поверхности льна масличного Кустанайский янтарь для повышения урожайности в условиях степной зоны Северного Казахстана.

Материалы и методы исследований. Исследования были осуществлены в 2023-2024 гг в условиях ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция». Почвы опытного участка – черноземы карбонатные, суглинистые с содержанием гумуса 4,8%. Почвы отличаются высоким содержанием подвижных элементов питания – калия K_2O (более 680 мг/кг почвы по методу Мачигина), обеспеченность нитратным азотом средняя (по градации Сдобниковой О.В.) – 11 мг/кг, фосфора – средняя (P_2O_5 по Чирикову) – 30,7 мг/кг.

С увеличением глубины количество подвижных форм элементов минерального питания снижается. Плотность верхнего слоя 0-20 см почвы - 1-1,1 г/см³ при общей скважности 50-59%.

Метеоусловия 2023 года характеризовались как засушливые, с приходом поздних осадков в августе. В летний период выпало всего 37,4% от среднегодовой нормы (56,0мм) 66,8%, тогда как температурный режим был выше нормы на 1,6⁰С. Сумма положительных температур за период вегетации составил 2886⁰С (при норме 2521⁰С). В 2024 году сумма осадков за вегетационный период (май – август) составила 237,3 мм, или 114,8% годовой нормы. Следует отметить, что максимум осадков пришелся на июль месяц 113,1 мм, что совпадает с критическим периодом льна по отношению к влаге. В августе выпало также больше осадков (73,8 мм) по сравнению со средними многолетними (50,0 мм), что затянуло период созревания и осложнило уборку. Температурный режим в мае сопровождался не высокими температурами воздуха (8-10 °С) по сравнению со средними многолетними (13-14⁰С), что способствовало затормаживанию периода появления всходов. Повышение температуры воздуха отмечалось в июне и июле – до +22,6 °С, что при достаточной влаге способствовало хорошему росту и дополнительному ветвлению льна масличного. В дальнейшем температура находилась на уровне средних многолетних данных. По увлажненности, 2024 год характеризовался как благоприятный для роста и развития льна масличного, по гидротермическому коэффициенту Селянинова вегетационный период определяется как «обеспеченно увлажненный» (ГТК=1,4), и даже в некоторых периодах (май и июль) – «избыточно увлажненный» (ГТК=1,87-1,82).

Полевые опыты закладывались в соответствии с методикой полевого опыта по Б.А. Доспехову [8]. Площадь делянки 20 м². Повторность трехкратная, два фона: Р₉₀ (Аммофос - P_2O_5 - 46%, N-10%) и контроль – без удобрений, сроки посева – первая и вторая декады мая, норма высева 6,0 млн. всхожих семян на га. Предшественник – пар, технология подготовки почвы под посев общепринятая для зоны, размещение делянок последовательное (рис.1).



а б в
Рисунок 1 – Лен масличный, сорт Кустанайский янтарь
(а – фаза елочки, б – цветение, в - плобообразование)

Сырую и сухую биомассу растений определяли по методике Ничипоровича А. А. (1969) путем взвешивания. После определения высоты сырую массу растений взвешивали на весах, затем высушивали. Наиболее удобно это проводить в термостатах, где в течение первого часа пробы фиксируют при температуре 105°C. Далее температура снижается до 70 °С. После 3-4 часов сушки биомассу взвешивают, затем пробы держат в термостате еще 6 часов и еще раз взвешивают. Если разница сухой массы проб первого и второго взвешивания не более 3 %, то пробы выдерживают в термостате еще час при температуре 105 °С и после охлаждения в эксикаторе взвешивают последний раз. Если же разница превышает 3 %, то 6-часовой цикл сушки повторяют. Сухой биомассой считают продукт после окончательного взвешивания. Оценка надземной массы и производилась по фазам роста развития растений льна: всходы, елочка, бутонизация, цветение и желтая спелость. Листовую поверхность определяли на тех же фазах с помощью прибора CID 203 Leaf Area Meter. Определение индекса NDVI проводилось также на тех же фазах роста растений льна с помощью портативного ручного датчика GreenSeeker.

Фотосинтетический потенциал (ФП) характеризует возможность использования для фотосинтеза солнечной радиации посевами сельскохозяйственных культур в течении вегетации и выражается интегральной площадью листовой поверхности растений (м²/га) в продолжение периода активной работы листьев. Он объединяет два показателя: площадь листьев и время их работы [9, с.173]. Рассчитывают фотосинтетический потенциал по формуле 1:

$$x = \frac{(L_1 + L_2) * T}{2 * 1000}$$

где, ФП – фотосинтетический потенциал, тыс. м²/(га*дн.);

L₁, L₂ – площадь листьев в начале и конце учетного периода, тыс./м²га;

T – продолжительность периода между четами, дн.;

1000 – коэффициент перевода

Фотосинтетический потенциал является обобщающим показателем, характеризующим эффективность действия всех приемов технологии возделывания сельскохозяйственной культуры. Чтобы перейти к определению возможного урожая при определенном ФП, необходимо знать чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). ЧПФ – количество абсолютно сухого вещества, синтезируемого 1 м² листовой поверхности за сутки [9, с.173]. Чистую продуктивность фотосинтеза определяют по формуле 2:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{(1/2(L_1 + L_2)) * T}$$

где, ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза, г*м²/сут.;

B₁, B₂ – абсолютно сухая масса в начале и в конце учетного периода, г;

Уравнение расчета вегетативного индекса NDVI подразумевает использование отражательной способности растений: видимой красной зоны спектра (0,62–0,75 мкм) и ближней инфракрасной зоны (0,75–1,3 мкм). При этом, если участок 0,62–0,75 мкм – зона максимального поглощения солнечной радиации хлорофиллом, то на участке 0,75– 1,3 мкм происходит наибольшее отражение солнечной энергии клеточной структурой листовой поверхности растений. Именно отношение этих двух показателей позволяет не только идентифицировать те или иные объекты по принадлежности их к растительному покрову, но и характеризовать стадию вегетативного процесса. Соответственно, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) рассчитывали по формуле 3 [10, С. 224-234]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

где NIR, RED – отражение растительного покрова соответственно в ближней инфракрасной и красной областях электромагнитного спектра.

Статистическую обработку результатов проводили в программной среде Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Известно, что физиологические процессы образования органического вещества сельскохозяйственными культурами и особенности формирования урожая во многом определяются ассимиляционной поверхностью растений. Листовому аппарату принадлежит основная роль в образовании органического вещества растений. При этом важнейшим критерием оценки фотосинтетической деятельности растений льна масличного является площадь листьев, отображающая размеры фотосинтетического аппарата льна [11].

Нашими исследованиями установлено, что формирование листовой поверхности растений льна масличного динамично возрастало на протяжении всего периода роста и развития растений. В начале вегетации на первых этапах роста и развития растений в фазу 3–4 настоящих листьев листовая пластинка льна недостаточно развита. В этом случае в начале вегетации ИЛП был минимальным. Начиная с фазы 8-10 настоящих листьев, этот показатель заметно возрастал, и общая листовая площадь достигала 1800–2800 м² /га. Значительное увеличение листовой площади льна масличного в абсолютных показателях установлено во второй половине вегетации в период цветения-плодообразования. В этом случае в среднем на фоне минеральных удобрений листовая поверхность за данный период увеличилась до 6000-7000 м² /га. К периоду прекращения вегетации (фаза спелости) прирост ассимилирующей поверхности листьев уменьшался. При внесении удобрений следует выделить синергетическое взаимодействие элементов при условии достаточного увлажнения. Максимальная площадь листьев получена при совместном применении удобрений NPKS+карбамид в первую очередь на первом сроке посева на удобренном фоне (таблица 1).

Таблица 1 – Листовая поверхность льна масличного в зависимости от элементов питания и сроков посева, среднее за 2023-2024 гг., тыс. м² /га

Вариант			Фазы взятия проб			
фон	срок посева	вид удобрения	всходы	елочка	цветение	созревание
1	2	3	4	5	6	7
P ₀	10.05	контроль	0,60	2,19	5,63	3,13
		NPKS	0,68	2,41	6,33	5,01
		NPKS+карбамид	0,73	2,61	6,63	4,34
	20.05	контроль	0,53	1,93	4,78	2,37
		NPKS	0,64	2,27	5,41	4,07
		NPKS+карбамид	0,73	2,24	5,54	3,71
P ₉₀	10.05	контроль	0,61	2,21	4,86	3,89
		NPKS	0,69	2,50	6,87	4,43
		NPKS+карбамид	0,76	2,47	7,26	4,59
	20.05	контроль	0,62	1,84	5,24	3,98
		NPKS	0,77	2,61	6,85	4,64
		NPKS+карбамид	0,85	2,82	7,61	4,16

Несомненно, основным условием высокой продуктивности растений является хорошо развитый фотосинтетический аппарат, способный создавать большое количество

органического вещества. Однако, интегральным показателем изменений величины ассимиляционной поверхности и продолжительности ее работы служит фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза, отражающие, как правило, тесную прямую зависимость с урожайностью биомассы [12]. В 2023 году фотосинтетический потенциал льна масличного был выше на втором сроке посева, максимум составил 584,3 тыс. м²/га×дн на варианте с применением NPKS на удобренном фоне. В целом из-за сухого лета 2023 года разница между вариантами не большая, однако превышает контроль на обоих фонах. В 2024 году наибольший фотосинтетический потенциал был на вариантах с комплексным внесением удобрений NPKS+карбамид максимальные значения которого был на первом сроке посева 714 тыс. м²/га×дн на удобренном фоне и 678,2 тыс. м²/га×дн на неудобренном. Показатели первого срока посева немного превышают второй, это связано с благоприятным температурным режимом и хорошими условиями влагообеспеченности в начальный и критические периоды, что способствовало формированию листового аппарата растений льна (рис.2).

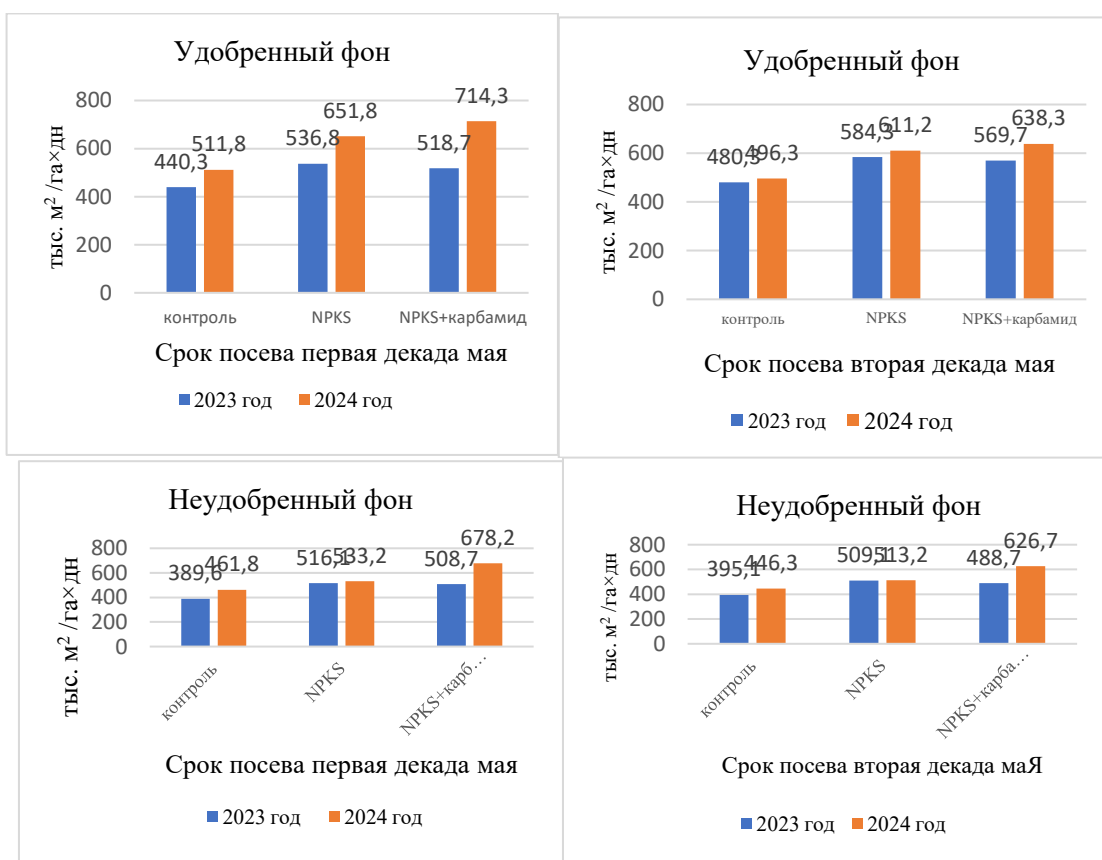


Рисунок 2 – Фотосинтетический потенциал льна масличного Кустанайский январь в зависимости от питания и сроков посева 2023-2024 гг., тыс. м²/га×дн

При формировании оптимальной площади листьев и при достаточном их освещении чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) повышается. В наших исследованиях максимальные значения ЧПФ были в период от бутонизации до цветения. В фазу цветения он составил в 3,41-3,54 г/м² сутки. ЧПФ в вариантах с применением удобрений была выше, по сравнению с контролем, на 0,6-1,2 г/м² лист. пов. в сутки за период максимального нарастания надземной биомассы (рис. 3).

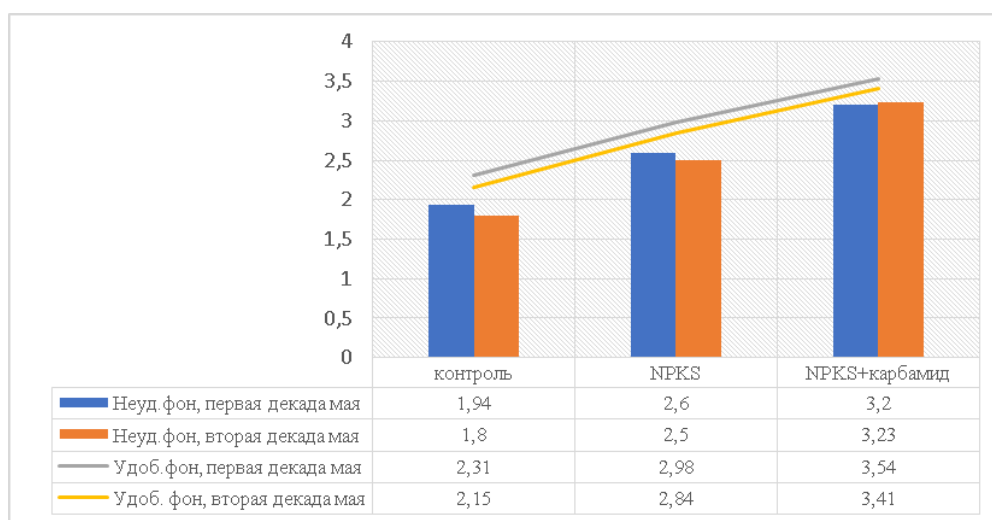


Рисунок 3 – Чистая продуктивность фотосинтеза льна масличного Кустанайский янтарь в зависимости от питания и сроков посева за 2023-2024 гг., г/м² сутки

Результаты исследований Пападопулос Г., Какабуки И. и др. подчеркивают влияние стратегий внесения удобрений на агрономические характеристики льна. Так в их исследованиях значения NDVI, полученные с помощью мультиспектральной визуализации с помощью беспилотного летательного аппарата, являются надежным показателем продуктивности льна, особенно на ранних стадиях роста. В частности, применение удобрений привело к значительному повышению NDVI до 90%, что свидетельствует об усилении вегетативного развития по сравнению с контрольными вариантами. Эта корреляция между значениями NDVI и агрономическими признаками была наиболее выражена в течение начальных 90 дней, что указывает на этот период является критическим для оценки влияния внесения удобрений на урожайность льна [13]. Аналогичная ситуация в наших исследованиях, индекс NDVI возрастал начиная с фазы елочки достигая максимального значения в период цветения. Максимальный индекс был в фазу цветения и начало плодообразования. Коэффициент корреляции между индексом NDVI и урожайностью в нашем опыте составил $r = 0,80$, что доказывает тесную прямую зависимость этих показателей друг от друга (таблица 2).

Таблица 2 – Численные значения урожайности льна масличного и максимумов индекса NDVI среднее за 2023-2024 гг.

Вариант			NDVI	Урожайность, ц/га
фон	срок посева	вид удобрения		
1	2	3	4	5
P ₀	10.05	контроль	0,58	9,6
		NPKS	0,63	11,8
		NPKS+карбамид	0,70	13,3
	20.05	контроль	0,60	9,3
		NPKS	0,72	11,7
		NPKS+карбамид	0,81	12,5
P ₉₀	10.05	контроль	0,66	12,3
		NPKS	0,72	13,6
		NPKS+карбамид	0,79	16,2
	20.05	контроль	0,60	12,1

		NPKS	0,80	14,1
		NPKS+карбамид	0,81	15,3
Коэффициент корреляции (r)			0,80	

Динамика накопления органического вещества является важным критерием продукционного процесса сельскохозяйственных культур, в частности, и льна масличного. Исследования показали, что накопление общей биомассы растений льна происходило неравномерно в течение всего периода вегетации. Установлено, что от появления всходов до прекращения вегетации темпы накопления общей биомассы растения возрастали, но неравномерно. Наиболее низкие темпы накопления органического вещества отмечены в период от 3–4 до 5–6 настоящих листьев, когда накопление биомассы составило всего лишь 8,0–12,5 % от ее максимального количества в фазу прекращения вегетации. Однако наиболее существенное увеличение органической биомассы отмечено в период от начала цветения (первая декада июля) до желтой спелости (конец августа начало сентября). За этот период на фоне минеральных удобрений общая биомасса возросла на 130,5–180,8 % и ее количество составило 31,1–40,0 % от ее максимального количества в фазу прекращения вегетации (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика накопления сухого вещества в зависимости от элементов питания и сроков посева, среднее за 2023-2024 гг., кг/га

Вариант			Фазы взятия проб			
фон	срок посева	вид удобрения	всходы	елочка	цветение	созревание
P ₀	10.05	контроль	186,7	962,3	1411,2	2884,2
		NPKS	249,5	1141,4	2129,6	4714,6
		NPKS+карбамид	244,1	1152,6	2260,8	4687,7
	20.05	контроль	269,1	883,2	2153,3	2479,3
		NPKS	344,4	1112,1	2819,2	3483,8
		NPKS+карбамид	351,7	1124,5	2935,6	3772,2
P ₉₀	10.05	контроль	253,9	982,3	1941,6	4139,5
		NPKS	371,2	1620,8	2927,7	5609,3
		NPKS+карбамид	395,8	1348,5	3108,1	5912,8
	20.05	контроль	304,9	1031,3	2536,3	3275,1
		NPKS	422,9	1407,9	4407,1	5621,9
		NPKS+карбамид	453,1	1330,8	5629,4	6911,7

Таким образом, образование органического вещества в растениях льна протекало неравномерно. Установлено, что до фазы спелости темпы накопления биомассы возрастали, особенно в период от фазы цветения до желтой спелости. В последующие периоды созревания темпы накопления общей биомассы снижались. Следует отметить, что наиболее высокие темпы накопления биомассы отмечены в вариантах с применением комбинации NPKS+карбамид, особенно на удобренном фоне по сравнению с контролем.

Результаты текущего исследования показали, что внесение минеральных удобрений перед посевом значительно улучшило физиологические свойства растений льна масличного. Это может быть связано с важной ролью азота в синтезе хлорофилла, который стимулирует структуру растений, улучшает функции хлоропластов и увеличивает скорость фотосинтеза [14]. Кроме того, основное внесение фосфорных удобрений также повышает содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и хлорофилла *a+b* в листьях масличного льна, а

также на ранних стадиях способствует развитию более мощной корневой системы, а для льна масличного, имеющего стержневую корневую систему это очень важно [15].

Результаты Zhengjun Cui, Bin Yan и др. подтвердили наше исследование, и показали, что внесение фосфора способствовало увеличению сухого вещества растений льна и повышению эффективности перераспределения фосфора из вегетативных тканей в семена, а также увеличению урожайности [16]. В заключение можно отметить, что результаты исследования показали значительное влияние сроков посева и применения удобрений на формирование листовой поверхности и надземной массы льна масличного в условиях степной зоны Северного Казахстана. Оптимальные сроки посева и грамотное использование удобрений способствуют улучшению структуры растения, увеличению площади листовой поверхности и массы надземных органов. Это, в свою очередь, способствует повышению урожайности.

Заключение. Таким образом, в ходе исследования установлено, что внесение изучаемых удобрений способствовало повышению значений площади листьев, накопления сухого вещества и фотосинтетического потенциала растений льна при максимальных значениях на варианте «NPKS+карбамид». В среднем по факторам внесение удобрений вело к статистически значимому увеличению урожайности льна масличного как на первом, так и на втором сроке посева. Использование изучаемых удобрений вызвало увеличение урожайности при наибольших значениях при применении NPKS+карбамид с основным внесением фосфорных удобрений с осени. Влияние фосфорных и азотных удобрений на формирование листовой поверхности и надземной массы льна масличного имеет различную природу. Фосфорные удобрения способствуют улучшению корневой системы, ускоряют процессы цветения и формирования плодов, что особенно важно для получения высокого урожая семян льна. Азотные удобрения, в свою очередь, значительно активируют вегетативный рост растения, увеличивая массу листьев и стеблей. Однако избыточное количество азота в условиях недостаточной влаги может привести к угнетению роста и развитию растения. Однако, следует подчеркнуть, что эффективность применения удобрений для льна в условиях степной зоны Северного Казахстана во многом зависит от уровня влагообеспеченности почвы. В условиях ограниченного увлажнения особенно важно учитывать, что недостаток влаги может снижать эффективность удобрений, особенно в более засушливые годы. В то же время, правильное сочетание удобрений, ориентированное на конкретные условия, позволяет значительно улучшить агротехнические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Arslanoglu Ş.F., Sert S., Şahin H.A., Aytaç S., El Sabagh A. Yield and yield criteria of flax fiber (*Linum usitatissimum* L.) as influenced by different plant densities [Текст] // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, no. 8. – 4710 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084710>.

2 Hubmann M., von Gunten K., Alessi D.S., Curtis J.M. Epoxidized linseed lipids as a durable and fast-curing alternative to drying oils [Текст] // Progress in Organic Coatings. – 2021. – Vol. 159. – pp. 106-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106406>.

3 Кошкин Е.И., Гусейнов Г.Г. Экологическая физиология сельскохозяйственных культур [Текст]: учебное пособие. – М.: Проспект, 2020. – 350 с.

4 Соловьев О.Ю., Швидченко В.К. Влияние различных форм минеральных удобрений на накопление сухого вещества и урожайность льна в условиях Северного Казахстана [Текст] // Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary. – 2023. – №. 3 (118). – С. 60-69.

5 Колосовская Р. В., Черкашина Е. В. Тенденции развития возделывание льна в акмолинской области [Текст] // Московский экономический журнал. – 2022. – №. 5. – С. 259-266.

6 Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] // Известия Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – No. 3(35). – С. 26–36.

7 Прудников А.Д., Кучумов А.В., Рыбченко Т.И., Романова И.Н., Прудникова А.Г., Глушаков С.Н. Потенциал льняного поля [Текст]. – 2018.

8 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта [Текст]. – М.: Колос, 1985. – 416 с.

9 Кошкарлова Т.С. Продуктивность адаптированных сортов сои различных групп спелости на каштановых почвах Нижнего Поволжья [Текст]. – 2019. – 173 с.

10 Huete A., Justice C., Liu H. Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction [Текст] // Remote Sensing of Environment. – 2024. – Vol. 49. – P. 224–234.

11 Гореева В.Н., и др. Продуктивность и фотосинтетическая деятельность льна масличного ВНИИМК 620 при разных способах посева и нормах высева [Текст] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, no. 1. – С. 40–43.

12 Чапцев А.Н. Фотосинтетический потенциал, урожай и качество зерна сортов озимой твердой пшеницы [Текст] // Аграрный вестник Урала. – 2010. – No. 11-1(77). – С. 24–26.

13 Papadopoulos G., Stavropoulos P., Roussis I., Mavroeidis A., Vatougiou D., Kakabouki I. Integrating UAV multispectral indices (NDVI) with yield data for optimizing flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivation [Текст] // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Horticulture. – 2023. – P. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2023.0022>.

14 Rout J.R., Behera S.L., Keshari N. Effect of iron stress on *Withania somnifera* L.: Antioxidant enzyme response and nutrient elemental uptake of in vitro grown plants [Текст] // Ecotoxicology. – 2015. – Vol. 24. – P. 401–413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1389-1>.

15 Yang T., Xie Y.-P., Niu J.-Y. Effect of meat protein biological organic fertilizer on dry matter accumulation, seed yield and quality of oilseed flax [Текст] // Agricultural Research in Arid Areas. – 2017. – Vol. 35. – P. 128–134. DOI: <https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-7601.2017.01.20>.

16 Zhao B., Gao Y., Yan B., Cui Z. Varied previous crops on improving oilseed flax productivity in semiarid Loess Plateau in China [Текст] // Oil Crop Science. – 2020. – Vol. 5, no. 4. – P. 187–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.12.002>.

REFERENCES

1 Arslanoglu Ş.F., Sert S., Şahin H.A., Aytaç S., El Sabagh A. Yield and yield criteria of flax fiber (*Linum usitatissimum* L.) as influenced by different plant densities. Sustainability, 2022, vol. 14, no. 8, 4710 p.. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084710>.

2 Hubmann M., von Gunten K., Alessi D.S., Curtis J.M. Epoxidized linseed lipids as a durable and fast-curing alternative to drying oils. Progress in Organic Coatings, 2021, vol. 159, pp. 106–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106406>.

3 Koshkin E.I., Guseinov G.G. Ekologicheskaya fiziologiya sel'skokhozyajstvennykh kul'tur [Ecological physiology of agricultural crops]. Moscow, Prospekt Publ., 2020. (In Russian).

4 Solov'ev O.Yu., Shvidchenko V.K. Vliyanie razlichnykh form mineral'nykh udobrenii na nakoplenie sukhogo veshchestva i urozhainost' l'na v usloviyakh Severnogo Kazakhstana [Influence of various forms of mineral fertilizers on the accumulation of dry matter and yield of flax under the conditions of Northern Kazakhstan]. Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary, 2023, no. 3 (118), pp. 60–69. (In Russian).

5 Kolosovskaya R.V., Cherkashina E.V. Tendentsii razvitiya vozdeleyvaniya l'na v Akmolinskoi oblasti [Trends in the development of flax cultivation in Akmola region]. Moskovskii ekonomicheskii zhurnal, 2022, no. 5, pp. 259–266. (In Russian).

6 Filin V.I. Programmirovanie urozhaya: ot idei k teorii i tekhnologiyam vozdeleyvaniya sel'skokhozyajstvennykh kul'tur [Programming of crop yield: from idea to theory and

technologies of cultivation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2014, no. 3(35), pp. 26-36. (In Russian).

7 Prudnikov A.D., Kuchumov A.V., Rybchenko T.I., Romanova I.N., Prudnikova A.G., Glushakov S.N. Potentsial l'nyanogo polya [The potential of a flax field]. 2018. (In Russian).

8 Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methods of field experiment]. Moscow, Kolos Publ., 1985, 416 p. (In Russian).

9 Koshkarova T.S. Produktivnost' adaptirovannykh sortov soi razlichnykh grupp spelosti na kashtanovykh pochvakh Nizhnego Povolzh'ya [Productivity of adapted soybean varieties of different maturity groups on chestnut soils of the Lower Volga region]. 2019, 173 p. (In Russian).

10 Huete A., Justice C., Liu H. Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 2024, vol. 49, pp. 224–234.

11 Goreeva V.N., et al. Produktivnost' i fotosinteticheskaya deyatel'nost' l'na maslichnogo VNIIMK 620 pri raznykh sposobakh poseva i normakh vyseva [Productivity and photosynthetic activity of oilseed flax VNIIMK 620 under different sowing methods and seeding rates]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, vol. 30, no. 1, pp. 40-43. (In Russian).

12 Chaptsev A.N. Fotosinteticheskiy potentsial, urozhay i kachestvo zerna sortov ozimoy tverdoy pshenitsy [Photosynthetic potential, yield and grain quality of winter durum wheat varieties]. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2010, no. 11-1(77), pp. 24-26. (In Russian).

13 Papadopoulos G., Stavropoulos P., Roussis I., Mavroeidis A., Vatougiou D., Kakabouki I. Integrating UAV multispectral indices (NDVI) with yield data for optimizing flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivation. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Horticulture*, 2023, pp. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2023.0022>.

14 Rout J.R., Behera S.L., Keshari N. Effect of iron stress on *Withania somnifera* L.: Antioxidant enzyme response and nutrient elemental uptake of in vitro grown plants. *Ecotoxicology*, 2015, vol. 24, pp. 401-413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1389-1>.

15 Yang T., Xie Y.-P., Niu J.-Y. Effect of meat protein biological organic fertilizer on dry matter accumulation, seed yield and quality of oilseed flax. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2017, vol. 35, pp. 128-134. DOI: <https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-7601.2017.01.20>.

16 Zhao B., Gao Y., Yan B., Cui Z. Varied previous crops on improving oilseed flax productivity in semiarid Loess Plateau in China. *Oil Crop Science*, 2020, vol. 5, no. 4, pp. 187-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.12.002>.

ТҮЙІН

Мақалада Солтүстік Қазақстан жағдайында майлы зығырдың жапырақ ауданы қалыптасуы мен жер үсті биомассасына егіс мерзімдері мен минералдық қоректенудің әсері қарастырылды. Зерттеудің мақсаты – фотосинтетикалық әлеуетті, биомасса жинақталуын және өнімділікті арттыруға ықпал ететін оңтайлы агротехнологиялық параметрлерді айқындау. Зерттеу 2023–2024 жылдары Солтүстік Қазақстан ауыл шаруашылық тәжірибе станциясында жүргізілді. Танаптық тәжірибелерде егіс мерзімдері (мамыр айының бірінші және екінші онкүндігі) және тыңайтқыш нұсқалары (бақылау, NPKS, NPKS + карбамид) фосфорлы (P₉₀) және фосфорсыз (P₀) фондарда зерттелді.

Нәтижесінде, климаттық жағдайларға қарамастан, тыңайтқыштар барлық нұсқаларда өнімділікті арттырды. NDVI индексі мен өнімділік арасында (r=0,80), сондай-ақ құрғақ зат жинақталуы мен өнімділік арасында (r=0,36) оң корреляциялар анықталды. Ең жоғары өнімділік ерте егіс мерзімдерінде байқалды: 2024 жылы P₀ фонында 13,3 ц/га, P₉₀ фонында 16,2 ц/га өнім NPKS + карбамид қолдану арқылы алынды. Қуаңшылық жағдайында екінші егіс мерзімі мен NPKS нұсқасы тиімді болды.

Кешенді қоректендіруді ерте егіспен ұштастыру өнімділікті 7–10%-ға арттырды. Анықталған заңдылықтар Солтүстік Қазақстанда майлы зығыр өсірудің тиімді бейімделген әдістерін жасауға негіз бола алады.