

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) =Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина (междисциплинарный). – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2024. -№ 3 (122). - С. 25-36. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2024.3(122).1731
УДК 633.35.528.88.631.527.

Оценка урожайности крупносеменных образцов чечевицы на основе вегетационных индексов

Жанзаков Б.Ж. , Кулынтай Ф.К. , Шупанова И.В. , Ошергина И.П. , Тен Е.А. 

Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева,
Ақмолинская область, Шортанды, Казахстан

Автор-корреспондент: Жанзаков Б.Ж: baha_zhan93@mail.ru
Соавторы: (1: ФК) koshzhanova_f@mail.ru; (2: ИШ) ira_irinka_irishka@bk.ru
(3: ИО) egoriha76@mail.ru; (4: ЕТ) jekon_t87.07@mail.ru
Получено: 16-07-2024 **Принято:** 12-09-2024 **Опубликовано:** 30-09-2024

Аннотация

Предпосылка и цель. Использование Геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стало обыденностью. Однако, не во всех отраслях сельского хозяйства они активно применяются. Так, в силу специфики, селекционная работа более скрупулозна, что в большей степени связано с большим количеством исследуемого материала и маленькими масштабами опытных участков недоступных для ДЗЗ.

Но, совершенствование беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА) и навесного оборудования позволяет проводить наземный мониторинг на малых высотах и вести исследование в селекционных питомниках. В связи с этим, была поставлена цель – изучить возможность использования данных ДЗЗ, а именно вегетационных индексов (NDVI, GNDVI, OSAVI, NDRE), для оценки перспективных образцов и линий, на примере чечевицы.

Материалы и методы. Исследования проводились в сухо-степной зоне Северного Казахстана, на южных, карбонатных черноземах. Объекты исследования 10 образцов и стандартный сорт крупносеменной чечевицы Шырайлы.

Наблюдения проводилась дистанционно с помощью аэрофотосъемки, интервалом 1 раз в неделю, с высоты 50 м при скорости полета дрона 1,5-2 м/с и перекрестным перекрытием снимков 70 × 70% с помощью БПЛА Phantom 4 Multispectral, оборудованного 5 канальной мультиспектральной 2 Мп камерой. Обработка аэрофотоснимков и создание ортофотопланов опытного участка осуществлялась в лицензированных программах Agisoft Metashape Professional, DJI Terra и QGIS 3.26.

Результаты. Была установлена высокая эффективность использования вегетационных индексов, как дополнительный инструмент оценки, при анализе селекционных посевов. Установлена взаимосвязь между урожайностью и показателями индексов вегетации. Определен период, когда значения вегетационных индексов наиболее объективно отражают формирующуюся урожайность.

Закключение. Установлено, что индексы вегетации и NDVI, в частности, возможно использовать лишь как дополнительный инструмент наравне с другими традиционными методами оценки сортовых признаков сортообразцов.

В сложившихся климатических условиях отличия между сортообразцами начали более четко проявляться с периода формирования бобов у чечевицы.

Основываясь на показателях индекса NDVI и других индексов вегетации, образцы «Е-149», «Анфия», «Веховская» рекомендуются для вовлечения в селекционный процесс в качестве родительских пар для увеличения урожайности.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; индексы вегетации; коэффициент корреляции; урожайность.

Введение

Селекция – трудоемкий, скрупулезный и продолжительный по времени выполнения процесс. Для получения желаемых результатов требуется от нескольких до десятка лет исследований. В этой связи, оптимизация данного процесса за счет зимнего тепличного выращивания и определения генетических маркеров, отвечающих за те или иные показатели в значительной степени сокращают время выведения новых сортов. Но, селекционная работа все также требует много времени.

Фенологические наблюдения за растениями и замеры структурных показателей неизменно присутствуют в работе селекционера. Чтобы уменьшить трудозатраты и снизить вероятность человеческой ошибки, тем самым увеличить достоверность получаемых данных и оптимизировать время выбраковки линии в коллекционном питомнике, возникает необходимость внедрения дистанционных методов зондирования и ГИС – технологии в селекционный процесс, а именно использование вегетационных индексов.

Существует более 200 различных видов вегетационных индексов, например, NDVI, GNDVI, SAVI, NDRE, EVI, RVI, LCI и т.д. [1-7].

Обширные исследования проведены по определению связи показателей индексов вегетации с урожайностью сельскохозяйственных культур и различными фенологическими показателями. Установлены взаимосвязь между урожайностью разных культур с индексами вегетации в определенные фенологические стадии развития растений [8, 9, 10, 11].

Так, Комаровым А.А., Мунтяным А.Н., Сухановым П.А. (2018) установлено наличие статистически значимой связи урожайности зерновых культур, многолетних трав с индексами вегетации Difference Vegetation Index (DVI), Green Difference Vegetation Index (GDVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Leaf Area Index (LAI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) [12, 13]

Генином В.А., Клебановичем Н.В. (2018), установлено, что урожайность кукурузы имеет высокую степень связи с индексом вегетации в фазе 15-ого листа. Также было обнаружено, что для сои уровень связи значительно ниже, чем для кукурузы.

Исследования по использованию индексов вегетации в селекции незначительны [14, 15]. Однако, зарубежные ученые, Yang G., Liu J., Zhao C., Li Z., Huang Y., Yu H., Yang, H. (2017) с 2015-2017 годов начали оценивать признаки растений и анализировать данные селекционных экспериментов [16].

Lammerts van Bueren E.T., Struik P.C. (2017) отмечают, что в будущем косвенная оценки физиологических признаков сельскохозяйственных культур определенная на основе разнообразных спектральных данных в гибридном рабочем процессе может стать краеугольным камнем точного земледелия и важным элементом для разработки новых селекционных стратегий [17].

Методы дистанционного зондирования и индексы вегетации обширно применяются в оценке здоровья и темпов роста растений сельскохозяйственных культур. Однако, фундаментальных исследований по использованию индексов вегетации в селекционном процессе должным образом не проводилось. В связи с чем, была поставлена цель разработать современные методы оценки сортообразцов и линии в коллекционном питомнике на основе вегетационных индексов – NDVI, GNDVI, OSAVI, NDRE.

Материалы и методы

Исследования проводились в селекционном питомнике зернобобовых культур ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (далее НПЦЗХ им. А.И. Бараева) в 2023 году.

Объектом исследования послужили 11 образцов и линий чечевицы. Сравнение велось с принятым в регионе стандартным сортом крупносеменной чечевицы Шырайлы.

Территория землепользования представлена южными, карбонатными, легкоглинистыми черноземами с содержанием гумуса 3,94%, N-NO₃ – 22,0 мг/кг в слое 0-40 см, P₂O₅ – 13,2 мг/кг в слое 0-20 см, S – 3,2 мг/кг, Ca+Mg – 29,5 мг экв на 100 г почвы, pH – 8,44. В целом почва опытного участка однородная и плодородная. Однако, почва имела низкую обеспеченность подвижным фосфором и неудачное соотношение азота с фосфором.

Опыты закладывались согласно рекомендациям, разработанным в Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) [18] и НПЦЗХ им. А.И. Бараева [19].

Посев чечевицы проводился в оптимальные для зоны сроки – 17 мая из расчета 130 шт/м², на глубину 5-6 см, селекционной навесной сеялкой точного высева ССФК-7. Сразу после посева было проведено прикатывание кольчато-шпоровыми катками.

Опытные участки были размаркированы на ширину захвата сеялки – 1,0 м с длиной ярусов 50 м и длиной делянки 2 м², учетная площадь которой составила 1,8 м². Опыты закладывались в 4-х кратной повторности. Предшественник – пар.

Обработка данных

Для изучения способов дистанционного определения перспективных линий и образцов, динамики роста и развития чечевицы проводилась аэрофотосъемка, интервалом 1 раз в неделю, с высоты 50 м при скорости полета дрона 1,5-2 м/с и перекрестным перекрытием снимков 70 × 70% с помощью БПЛА Phantom 4 Multispectral, оборудованного 5 канальной мультиспектральной 2 Мп камерой. Обработка аэрофотоснимков и создание ортофотопланов опытного участка (коллекционного питомника) осуществлялась в лицензированных программах Agisoft Metashape Professional, DJI Terra и QGIS 3.26, рис. 1.

Первичная обработка снимков проводилась в программе DJI Terra в автоматическом режиме. Снимки (250 шт за один облет) уже имели GPS привязку и сшивались в один массив. Высокий процент перекрытия (70%) снимков исключало появление необработанных участков. Дальнейшая обработка готового ортофотоплана проводилась в QGIS 3.26. На основе дешифрирования ортофотоплана и точного определения координат исследуемых делянок в проекции WGS 84 / UTM zone 42N, создавалась сетка опыта, в границах которой определялось значение индексов вегетации (NDVI, OSAVI, GNDVI, NDRE) с помощью анализа данных (зональной статистики). Тем самым были получены средние значения индексов вегетации по каждой делянке.

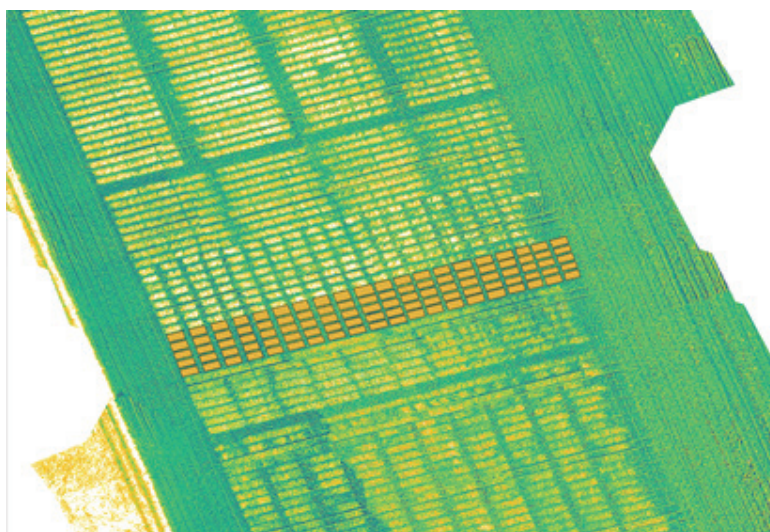


Рисунок 1 – Ортофотоплан опытного участка с выделенными делянками коллекционного питомника чечевицы

NDVI – индекс нормализованной дифференциальной растительности, используемый для мониторинга и прогнозирования сельскохозяйственного производства, оказания помощи в прогнозировании опасных зон пожаротушения и картирования [20]. Показатели индекса формируются за счет поглощения электромагнитных волн в видимом красном диапазоне и их отражения в ближнем инфракрасном цвете растительностью. На красную зону спектра (0,62 - 0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75 - 1,3 мкм) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. То есть высокая фотосинтетическая активность ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Отношение

этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов [21]. Формула расчета NDVI основана на соотношении спектральных кривых и выглядит следующим образом:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (1)$$

где: NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне спектра,

RED – отражение в красном диапазоне спектра [20].

GNDVI – является модификацией NDVI. В нем также используется инфракрасный диапазон спектра, но видимый красный заменяется видимым зеленым сектором (540 до 570 нм). Т.е.:

$$GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN) \quad (2)$$

Ключевой особенностью является то, что GNDVI измеряет содержание хлорофилла в растениях точнее, чем NDVI. Более предпочтителен к использованию для обнаружения увядших или дозревающих культур при отсутствии крайнего красного канала и для мониторинга вегетации с высокой плотностью покрова или на стадии созревания культур [20].

OSAVI (Оптимизированный Почвенный Вегетационный Индекс) – основан на отражательной способности растений в ближнем красном и видимом красном диапазонах спектра и содержит стандартный поправочный коэффициент, учитывающий влияние вегетации (0,16):

$$OSAVI = (NIR - RED) / (NIR + RED + 0,16) \quad (3)$$

Поправочный коэффициент в OSAVI позволяет лучше учитывать вариабельность почвы для мониторинга участков с низкой плотностью вегетационного покрова, с просматриваемой сквозь вегетацию почвой [20].

NDRE (Нормализованный Дифференциальный Red Edge Индекс) – создается комбинацией спектральных каналов ближнего инфракрасного диапазона и специального канала для узкого участка спектра – перехода от видимого красного к ближнему инфракрасному (так называемая область красного края):

$$NDRE = (NIR - RED\ EDGE) / (NIR + RED\ EDGE) \quad (4)$$

Данный вегетационный индекс растительности применяют для мониторинга участков с высокой плотностью вегетационного покрова и на стадии созревания урожая [20].

Фенологические наблюдения и учет фаз развития растений проведены по общепринятым методикам государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [22-26].

Перед уборкой урожая отбирались пробные снопы, по 25 растений в каждом, для структурного анализа урожая. Уборка опытных делянок проведена селекционным комбайном Wintersteiger Classic, при достижении образцов чечевицы физиологической спелости и влажности зерна не более 15%.

Математическая обработка данных

Математическая обработка данных изучаемых образцов проведена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием программного обеспечения MS Excel и пакета анализа данных [27]. Наличие 4-х кратной (биологической) повторности сортообразцов и линий позволило рассчитать НСР по каждой дате съемки, был проведен парный корреляционный анализ значений индексов вегетации с урожайностью.

Условия проведения опыта

По температурному режиму и количеству выпавших за вегетационный период осадков, 2023 год характеризовался как острозасушливый ($ГТК \leq 0,13$). За вегетационный период выпало 35,2 мм осадков, против среднемноголетнего значения 168,7 мм, недобор влаги составил 133,5 мм. В мае количество осадков составило 2,5 мм, что на 29,9 мм ниже среднего многолетнего значения. В июне выпало 13,2 мм (при среднемноголетнем значении - 39,5 мм).

Июль также характеризовался, как острозасушливый месяц – 6,8 мм, что на 50,2 мм ниже нормы. В августе количество осадков было ниже нормы на 27,1 мм.

Температурный фон в период вегетации был повышенным. Среднемесячная температура мая превысила многолетнюю норму на 2,8 °С, в июне превышение составило 1,7 °С, в июле 4,5 °С, а в августе 1,6 °С. Сложившийся гидротермический режим негативно повлиял на рост и развитие растений чечевицы.

На развитие растений чечевицы в первой половине вегетации положительно сказался хороший запас продуктивной влаги, сформированный за счет зимних и апрельских осадков – 120

мм. Однако, в период всходов содержание запасов продуктивной влаги значительно снизилось, особенно, в слое 0-40 см – 22,6 мм (13.06.23 г), к фазе начало цветения (05.07.23 г) до 10,4 мм в слое 0-40 см, т.е. доступной влаги для растений почти не осталось. В фазе спелости запасы продуктивной влаги в слое 0-40 см полностью отсутствовали.

Результаты и обсуждение

Вышеописанные почвенно-климатические условия сказались на росте и развитии растений и формировавшейся урожайности, что наблюдалось дистанционным мониторингом с использованием индексов вегетации – NDVI, OSAVI, GNDVI, NDRE.

По мере роста и развития растений шел постепенный рост значений NDVI. В фазе появления всходов значения были в диапазоне 0,120-0,148 у образцов, а к началу ветвления значения NDVI увеличились до 0,159-0,206. В фазе ветвления значения NDVI достигли 0,230-0,270.

В межфазный период ветвления-цветения шло более активное развитие, что отображено в значениях NDVI, которое увеличилось в два раза до 0,442 по опыту. При этом увеличилась и разница между образцами, достигнув максимальной разницы значений в 0,112 или 22,5%.

Максимальное значение NDVI образцов чечевицы пришлось на межфазный период цветения - формирования бобов – 0,484 (среднее по опыту). В межфазный период формирования бобов - молочной спелости, началось постепенное снижение NDVI по всем сортообразцам, более резкое снижение выражено в фазе восковой спелости и далее до полной спелости, таблица 1.

Таблица 1 – Значения индекса NDVI сортообразцов крупносеменной чечевицы в период вегетации в 2023 году

Образцы	Даты							
	02.06.	13.06.	22.06.	05.07.	17.07.	01.08.	08.08.	21.08.
Шырайлы, st.	0,148	0,237	0,245	0,457	0,467	0,392	0,340	0,306
Е-149	0,139	0,206	0,251	0,459	0,500	0,463	0,390	0,331
2850, Веховская 1	0,129	0,194	0,262	0,438	0,474	0,415	0,351	0,291
Красноградская 5	0,134	0,185	0,229	0,387	0,467	0,420	0,359	0,288
Петровская Юбилейная	0,130	0,184	0,251	0,449	0,497	0,499	0,451	0,356
2884, Луганчанка	0,122	0,164	0,253	0,477	0,502	0,451	0,373	0,296
Веховская	0,128	0,171	0,272	0,499	0,519	0,462	0,401	0,335
2867, Рауза	0,120	0,160	0,241	0,445	0,499	0,452	0,389	0,323
Анфия	0,126	0,173	0,233	0,412	0,473	0,466	0,434	0,376
Красноградс.100	0,121	0,159	0,236	0,423	0,464	0,432	0,364	0,303
2846 Roze	0,124	0,164	0,241	0,415	0,463	0,444	0,392	0,326
среднее	0,129	0,182	0,247	0,442	0,484	0,445	0,386	0,321
НСР _{0,05}	0,016	0,040	0,035	0,051	0,045	0,018	0,029	0,029

Среди образцов по значениям NDVI выделялись: «Е-149» – 0,500, «Веховская 1» – 0,474, «Петровская Юбилейная» – 0,499, «Луганчанка» – 0,502, «Веховская» – 0,499 и «Анфия» – 0,466. Данные образцы имели самые высокие значения NDVI. Более продолжительное время высокие значения наблюдались у образцов: «Петровская Юбилейная» и «Анфия».

Значения NDVI напрямую отражали ход накопления биомассы, что подтверждается корреляционным анализом ($r=0,85$). Из этого следует, что, используя значения NDVI возможно оценить сортообразцы по накоплению биомассы, которая напрямую отражает формирующуюся урожайность. При этом различия между образцами по значениям NDVI достоверно отмечаются с фазы молочной спелости (НСР=0,018), что позволяет отобрать более перспективные образцы, которые имеют более высокую урожайность.

Анализ данных, полученных с помощью других индексов вегетации GNDVI, NDRE, OSAVI показали дублирование результатов и динамики с NDVI, при разных диапазонах измерений, рисунок 2. Возможно, это связано с острозасушливыми условиями вегетационного периода.

Поэтому, в данной статье более детальный сравнительный анализ по другим индексам не приведен. Для этого необходимы результаты полученные в разных условиях увлажнения.

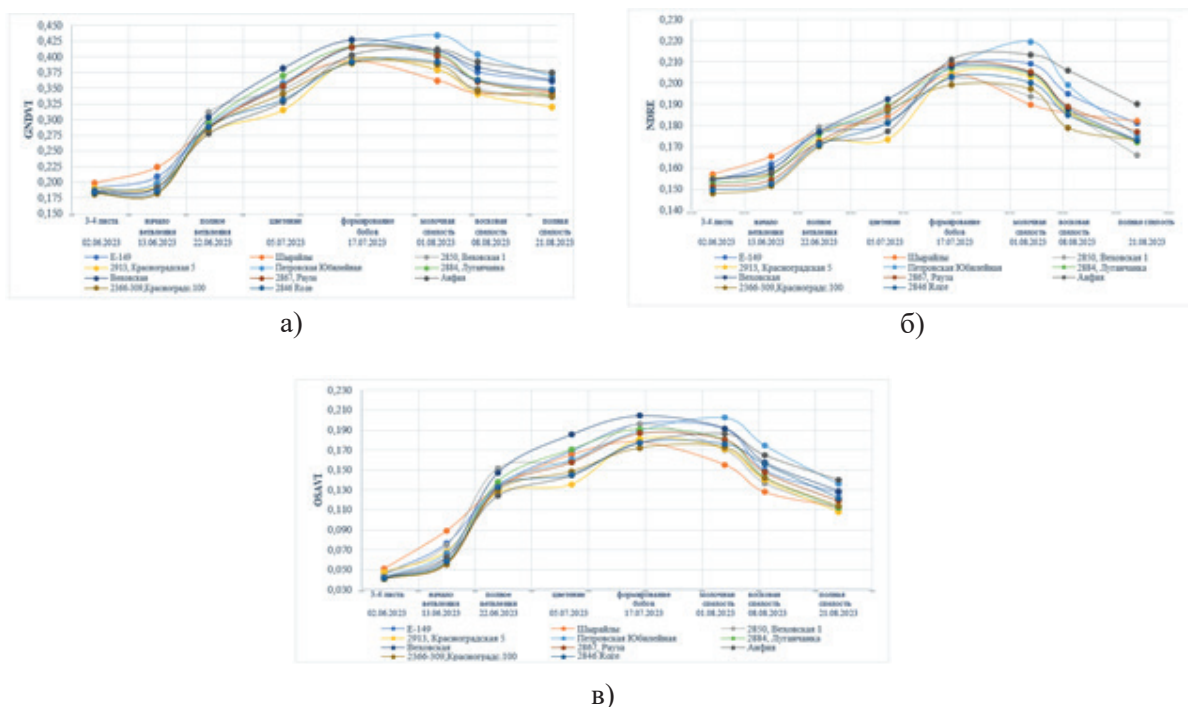


Рисунок 2 – Динамика индексов вегетации а) GNDVI, б) NDRE, в) OSAVI у крупносеменных сортообразцов чечевицы в период вегетации

Образцы, имевшие более высокие значения NDVI в период с начала формирования бобов до полной спелости, формировали более высокую урожайность.

Стандартный сорт «Шырайлы» с урожайностью 139,6 г/м² уступал образцам «Е-149» на 41,8 г/м², «Анфия» на 59,4 г/м², «Веховская» на 19,0 г/м², «Красноградская 100» на 23,5 г/м². Меньшее превосходство над стандартным сортом «Шырайлы» имели образцы «Роуза» на 9,8 г/м², «Красноградская 5» на 13,7 г/м² и «Веховская 1» на 3,3 г/м², таблица 2.

Таблица 2 – Урожайность сортообразцов чечевицы, 2023 год

Сорта	Урожайность, г/м ²		Сорта	Урожайность, г/м ²	
	всего	откл. от st, +/-		всего	откл. от st, +/-
Шырайлы, St	139,6	0,0	Роуза	149,4	9,8
Е149	181,4	41,8	Лугончанка	122,7	-16,9
Петровская-Юбилейная	134,4	-5,2	Красноградская 5	153,3	13,7
Веховская	158,6	19,0	Веховская 1	142,9	3,3
Анфия	199,0	59,4	НСР05	11,54	
Роузе	125,3	-14,3	СА и ОС, М ± m	151,8±4,0	
Красноградская 100	163,1	23,5	Коэффициент вариации, %	15,26	

Образцы «Роузе», «Луганчанка», «Петровская Юбилейная» уступали стандартному сорту в урожайности, хотя имели большую биомассу и лучшие значения индексов вегетации. Это связано с худшим соотношением листьев к стеблям в общей биомассе, т.е. меньшей площади фотосинтетической поверхности у «Роузе», «Луганчанка». Образец «Петровская Юбилейная», имея большую вегетативную массу формировал меньше бобов и семян, что и сказалось на урожайности. Противоположная ситуация сложилась с сортом «Красноградская 100», который

не выделялся на фоне других сортов, но сформировал хорошую урожайность и имел лучшее соотношение зерна к соломе.

По полученным результатам можно сделать вывод, что наиболее продуктивными в острозасушливых условиях 2023 года оказались образцы «Е-149», «Анфия», «Веховская», которые имели достоверные превосходство над остальными образцами по NDVI со второй половины вегетации.

Также корреляционно-регрессионный анализ показал, отсутствие существенной парной связи между значениями индекса NDVI в начальном периоде вегетации и урожайностью чечевицы ($r=0,04-0,24$). Низкая связь наблюдалась между значениями индексов вегетации в период формирования бобов и урожайностью ($r=0,27$), и умеренная в период спелости ($r=0,49$), таблица 3.

Таблица 3 – Парные корреляции между индексами вегетации (ИВ) и урожайностью сортообразцов чечевицы

Индексы вегетации (ИВ)	Парные коэффициенты корреляции между ИВ и урожайностью чечевицы							
	3-4 листа 02.06.23 (x ₁)	начало ветвления 13.06.23 (x ₂)	полное ветвление 22.06.23 (x ₃)	цветение 05.07.23 (x ₄)	формирование бобов 17.07.23 (x ₅)	молочная спелость 01.08.23 (x ₆)	восковая спелость 08.08.23 (x ₇)	полная спелость 21.08.23 (x ₈)
NDVI	0,088	0,036	0,238	0,191	0,002	0,187	0,273	0,491
GNDVI	0,198	0,241	0,453	0,481	0,648	0,693	0,675	0,949
NDRE	0,170	0,162	-0,242	-0,353	0,356	0,296	0,521	0,651
OSAVI	-0,011	0,041	-0,367	-0,150	-0,060	0,231	0,210	0,481

Корреляционные зависимости GNDVI, NDRE, OSAVI с урожайностью чечевицы имели схожую динамику нарастания (от всходов до полной спелости) с NDVI. Т.е. аналогично NDVI и по другим индексам (GNDVI, NDRE, OSAVI) парная связь с урожайностью в начальном периоде развития растений слабая или отсутствует и по мере развития усиливается.

Наличие отрицательной и низкой парной связи в начальные периоды вегетации связана с наличием большого количества сопутствующих, не учтенных в этой статье факторов, влияющих на конечную урожайность. По мере роста и развития растений количество факторов, влияющих на урожайность, снижается в связи с чем, связь между урожайностью и индексами увеличивалась. Из чего следует, что на данный момент индексы вегетации применимы в качестве мониторингового инструмента для оценки состояния растений в период вегетации и лишь косвенно способны оценивать формирующуюся урожайность.

Также на результаты напрямую воздействовали сложившиеся острозасушливые условия вегетационного периода, которые не позволили проявиться всему потенциалу сортообразцов и сузили их вариабельность.

Данная статья написана по результатам одного года исследований, в связи с чем окончательные выводы о целесообразности использования индексов вегетации по оценке урожайности сортообразцов и линий будут сделаны на основе результатов последующих исследований.

Заключение

Таким образом, установлено, что индексы вегетации и NDVI, в частности, возможно использовать лишь как дополнительный инструмент наравне с другими традиционными методами оценки сортовых признаков сортообразцов и линий в селекции.

В сложившихся почвенно-климатических условиях отличия между сортообразцами начали более четко проявляться с периода формирования бобов у чечевицы.

Так, согласно проведенному анализу данных, основываясь на показателях индекса NDVI образцы «Е-149», «Анфия», «Веховская» рекомендуются для вовлечения в селекционный процесс в качестве родительских пар для увеличения урожайности.

Вклад авторов

БЖ: Общее руководство написанием статьи, редакция. Концептуализирование и выбор направления исследований, анализ полученных данных. ФК, ИШ, ИО, ЕТ: проведение полевых и лабораторных исследований, обработка данных. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Данная статья опубликована в рамках ПЦФ МСХ РК: BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана» на 2024-2026 гг.

Список литературы

- 1 de Beurs, KM., Townsend, PA. (2008). Estimating the effect of gypsy moth defoliation using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 112, 10: 3983-3990.
- 2 Jordan, CF. (1963). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663-666.
- 3 Rouse, JW, Haas, RH, Schell, JA, Deering, DW. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, 1, 309-317.
- 4 Junges, AH, Bremm, C., Fontana, DC, de Oliveira, CO, Schaparini, LP, de Faccio Carvalho, PC. (2016). Temporal profiles of vegetation indices for characterizing grazing intensity on natural grasslands in Pampa biome. *Sci. Agric*, 73, 4:332-337.
- 5 Fernandes, JL, Rocha, JV, Lamparelli, RAC. (2011). Sugarcane yield estimates using time series analysis of spot vegetation images. *Scientia Agricola*, 68, 139-146.
- 6 Jiang, Z., Huete, A., Didan, K., Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833-3845. DOI:10.1016/j.rse.2008.06.006.
- 7 Miura, T., Yoshioka, H., Fujiwara, K., Yamamoto, H. (2008). Inter-Comparison of ASTER and MODIS Surface Reflectance and Vegetation Index Products for Synergistic Applications to Natural Resource Monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 8(4),2480-2499. DOI:10.3390/s8042480
- 8 Генин, ВА, Клебанович, НВ. (2018). Моделирование урожайности кукурузы и сои по данным дистанционного зондирования земли. *Вестник БГСХА*, 4, 100-104.
- 9 Yang, C., Anderson, GL. (2000). Mapping Grain Sorghum Yield Variability Using Airborne Digital Videograph. *Precision Agriculture*, 2, 1: 7-23.
- 10 Fernandez, Y., Soria-Ruiz, J. (2017). Maize crop yield estimation with remote sensing and empirical models. Conference: IGARSS 2017, USA, 493-511.
- 11 Сторчак, ИГ, Ерошенко, ФВ, Шестакова, ЕО. (2019). Особенности динамики вегетационного индекса NDVI в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края. *Аграрный вестник Урала*, 9(188), 12-18.
- 12 Комаров, АА, Мунтян, АН, Суханов, ПА. (2018). Выбор информативных показателей дистанционного зондирования состояния растительного покрова. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, 3(52), 64-70.
- 13 Комаров, АА, Кирсанов, АД, Малашин, СН. (2021). Сравнительная характеристика различных вегетационных индексов при оценке состояния растительного покрова кормовых трав. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, 2(63), 18-29. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-2-18-29.

14 Вилунов, СД, Зотиков, ВИ, Сидоренко, ВС, Старикова, ЖВ, Мальцев, АА. (2022). Применение вегетационных индексов в селекции озимой мягкой пшеницы. *Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры»*, 3(43), 73-83. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73- 83.

15 Ыдырыс, АА, Сарбаев, АТ, Есимбекова, МА, Дубекова, СБ. (2022). Продуктивность сортообразцов яровой пшеницы, отобранных с использованием RGB изображений. *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина (междисциплинарный)*, 1(112), 153-163.

16 Yang, G., Liu, J., Zhao, C., Li Z., Huang, Y., Yu, H., Yang, H. (2017). Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*, 8, 1111-1125.

17 Lammerts van Bueren, ET, Struik, PC. (2017). Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1-24.

18 Вишнякова, МА, Сеферова, ИВ, Буравцева, ТВ, Бурляева, МО, Семёнова, ЕВ, Филипенко, ГИ, Александрова, ТГ, Егорова, ГП, Янькова, ИИ, Булынец, СВ, Герасимова, ТВ, Другова, ЕВ. (2017). Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: метод. указания под науч. ред. М.А. Вишняковой, 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: ВИР, 143.

19 Канафин, БК, Заболотских, ВВ, Акшалов, КА, Скобликов, ВФ, Кияс, АА, Вернер, А.В, Кочоров, АС, Кунанбаев, КК, Бабкенов, АТ, Бабкенова, СА, Филиппова, НИ, Коберницкий, ВИ, Ошергина, ИП, Слепкова, НН, Тен, ЕА, Филонов, ВМ, Юрченко, ВА. (2023). Особенности проведения весенне-полевых работ в Акмолинской области в 2023 году. Практические рекомендации, Шортанды: НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева, 60.

20 Вегетационные индексы в ПО для сельского хозяйства. - URL: <https://eos.com/ru/blog/vegetacionnye-indeksy/>

21 Вегетационные индексы NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color. - URL: <https://www.soft.farm/ru/blog/vegetacionnye-indeksy-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>

22 Скокбаева, СО. (2002). Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Под.ред. Алматы, 378.

23 ГОСТ – 12038-18. Методы определения всхожести с.-х. культур.

24 Гребенюк, ГН, Кузнецов, ВП. (2012). Современная динамика климата и фенологическая изменчивость северных территорий. *Фундаментальные исследования*, 11(5), 1063-1077.

25 Минин, АА. (2002). Перспективы фенологического экомониторинга. СПб.: Гидрометеиздат, Т.ХVIII, 158-166.

26 Семенов, СМ, Ясюкевич, ВВ. (2006). Выявление климатогенных изменений. М.: Метеорология и гидрология, 324.

27 Доспехов, БА. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 351.

References

1 de Beurs, KM, Townsend, PA. (2008). Estimating the effect of gypsy moth defoliation using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 112, 10:3983-3990.

2 Jordan, CF. (1963). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663-666.

3 Rouse, JW, Haas, RH, Schell, JA, Deering, DW. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, 1, 309-317.

4 Junges, AH, Bremm, C., Fontana, DC, de Oliveira, CO, Schaparini, LP, de Faccio Carvalho, PC. (2016). Temporal profiles of vegetation indices for characterizing grazing intensity on natural grasslands in Pampa biome. *Sci. Agric*, 73, 4: 332-337.

5 Fernandes, J.L., Rocha, J.V., Lamparelli, R.A.C. (2011). Sugarcane yield estimates using time series analysis of spot vegetation images. *Scientia Agricola*, 68, 139-146.

- 6 Jiang, Z., Huete, A., Didan, K., Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833-3845. DOI:10.1016/j.rse.2008.06.006.
- 7 Miura, T., Yoshioka, H., Fujiwara, K., Yamamoto, H. (2008). Inter-Comparison of ASTER and MODIS Surface Reflectance and Vegetation Index Products for Synergistic Applications to Natural Resource Monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 8(4),2480-2499. DOI:10.3390/s8042480
- 8 Genin, VA, Klebanovich, NV. (2018). Modelirovanie urozhajnosti kukuruzy i soi po dannym distancionnogo zondirovaniya zemli. *Vestnik BGSKHA*, 4, 100-104. [In Russ].
- 9 Yang, C., Anderson, GL. (2000). Mapping Grain Sorghum Yield Variability Using Airborne Digital Videograph. *Precision Agriculture*, 2, 1:7-23.
- 10 Fernandez, Y., Soria-Ruiz, J. (2017). Maize crop yield estimation with remote sensing and empirical models. Conference: IGARSS 2017, USA, 493-511.
- 11 Storchak, IG, Eroshenko, FV, SHestakova, EO. (2019). Osobennosti dinamiki vegetacionnogo indeksa NDVI v razlichnyh pochvenno-klimaticheskikh zonah Stavropol'skogo kraja. *Agrarnyj vestnik Urala*, 9(188), 12-18. [In Russ].
- 12 Komarov, AA, Muntyan, AN, Suhanov, PA. (2018). Vybor informativnyh pokazatelej distancionnogo zondirovaniya sostoyaniya rastitel'nogo pokrova. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 3(52), 64-70. [In Russ].
- 13 Komarov, AA, Kirsanov, AD, Malashin, SN. (2021). Sravnitel'naya charakteristika razlichnyh vegetacionnyh indeksov pri ocenke sostoyaniya rastitel'nogo pokrova kormovyh trav. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2(63), 18-29. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-2-18-29. [In Russ].
- 14 Vilyunov, SD, Zotikov, VI, Sidorenko, VS, Starikova, ZhV, Mal'cev, AA. (2022). Primenenie vegetacionnyh indeksov v selekcii ozimoy myagkoj pshenicy. *Nauchno-proizvodstvennyj zhurnal «Zernobovyye i krupyanye kul'tury»*, 3(43), 73-83. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73- 83. [In Russ].
- 15 Ydyrys, AA, Sarbaev, AT, Esimbekova, MA, Dubekova, SB. (2022). Produktivnost' sortoobrazcov yarovoj pshenicy, obohrannyh s ispol'zovaniem RGB izobrazhenii. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S.Sejfullina (mezhdisciplinarnyj)*, 1(112), 153-163. [In Russ].
- 16 Yang, G., Liu, J., Zhao, C., Li Z., Huang, Y., Yu H., Yang, H. (2017). Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*, 8, 1111-1125.
- 17 Lammerts van Bueren, ET, Struik, PC. (2017). Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1-24.
- 18 Vishnyakova MA, Seferova IV, Buravceva TV, Burlyaeva MO, Semyonova EV, Filipenko GI, Aleksandrova TG, Egorova GP, YAn'kova II, Bulynceva SV, Gerasimova TV, Drugova EV. (2017). Kollekcija mirovyh geneticheskikh resursov zernovyh bobovyh VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie: metod. ukazaniya pod nauch. red. M.A. Vishnyakovoj 2-e izd., pererab. i dop. Sankt-Peterburg: VIR, 143. [In Russ].
- 19 Kanafin, BK, Zabolotskih, VV, Akshalov, KA, Skoblikov, VF, Kiyas, AA, Verner, AV, Kochorov, AS, Kunanbaev, KK, Babkenov, AT, Babkenova, SA, Filippova, NI, Kobernickij, VI, Oshergina, IP, Slepikova, NN, Ten, EA, Filonov, VM, YUchenko, VA. (2023). Osobennosti provedeniya vesenne-polevyh rabot v Akmolinskoj oblasti v 2023 godu. Prakticheskie rekomendacii, SHortandy: NPC zernovogo hozyajstva im. A. I. Baraeva, 60. [In Russ].
- 20 Vegetacionnye indeksy v PO dlya sel'skogo hozyajstva. - URL: <https://eos.com/ru/blog/vegetacionnye-indeksy/>
- 21 Vegetacionnye indeksy NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color. - URL: <https://www.soft.farm/ru/blog/vegetacionnye-indeksy-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>
- 22 Skokbaeva, SO. (2002). Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Pod.red. Almaty, 378. [In Russ].
- 23 GOST - 12038-18. Metody opredeleniya vskhozhesti s.-h. kul'tur, [In Russ].
- 24 Grebenyuk, GN, Kuznecova, VP. (2012). Sovremennaya dinamika klimata i fenologicheskaya izmenchivost' severnyh territorij. *Fundamental'nye issledovaniya*, 11(5), 1063-1077. [In Russ].

25 Minin, AA. (2002). Perspektivy fenologicheskogo ekomonitoringa. SP.: Gidrometeoizdat, T.XVIII, 158-166. [In Russ].

26 Semenov, SM, YAsyukevich, VV. (2006). Vyyavlenie klimatogennyh izmenenij. M.: Meteorologiya i gidrologiya, 324. [In Russ].

27 Dospikhov, BA. (1985). Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). M.: Agropromizdat, 351. [In Russ].

Вегетациялық индекстердің негізінде ірі тұқымды жасымық үлгілерінің өнімділігін бағалау

Б.Ж. Жанзаков, Ф.К. Кулынтай, И.В. Шупанова, И.П. Ошергина, Е.А. Тен

Түйін

Негізі және мақсаты. Геоақпараттық жүйелерді (ГАЗ) және Жерді қашықтықтан зондтау деректерін (ЖҚЗ) пайдалану әдеттегідей болды. Алайда, ауыл шаруашылығының барлық салаларында олар белсенді қолданылмайды. Мәселен, ерекшелігіне байланысты селекциялық жұмыс анағұрлым мұқият, бұл зерттелетін материалдың көптігімен және ЖҚЗ үшін қол жетімді емес тәжірибелік учаскелердің аздығымен байланысты.

Бірақ, ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) және қондырмалы жабдықтарды жетілдіру төмен биіктікте жерүсті мониторингін жүргізуге және селекциялық питомниктерде зерттеу жүргізуге мүмкіндік береді. Осыған байланысты жасымық мысалында перспективалы үлгілер мен сызықтарды бағалау үшін ЖҚЗ деректерін, атап айтқанда вегетациялық индекстерді (NDVI, GNDVI, OSAVI, NDRE) пайдалану мүмкіндігін зерттеу мақсаты қойылды.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер Солтүстік Қазақстанның құрғақ дала аймағында, Оңтүстік, карбонатты қара топырақтарда жүргізілді. Зерттеу нысандары 10 үлгі және ірі тұқымды жасымықтың стандартты сорты Шырайлы. Бақылау қашықтықтан аэрофототүсірілім көмегімен, аптасына 1 рет аралықпен, 50 м биіктіктен 1,5-2 м/с жылдамдығымен және 5 арналы мультиспектралды 2 Мп камерамен жабдықталған Phantom 4 multispectral ұшқышсыз ұшу аппаратының көмегімен 70 × 70% суреттердің айқас қабаттасуымен жүргізілді. Аэрофотосуреттерді өңдеу және тәжірибелік танаптың ортофотопландарын жасау лицензияланған Agisoft Metashape Professional, DJI Terra және QGIS 3.26 бағдарламаларында жүзеге асырылды.

Нәтиже. Селекциялық үлгілерді талдау кезінде қосымша бағалау құралы ретінде вегетациялық индекстерді пайдаланудың жоғары тиімділігі анықталды. Өнімділік пен вегетациялық индекстердің көрсеткіштері арасында байланыс орнатылды. Вегетациялық индекстердің мәндері қалыптасқан өнімділікті объективті түрде көрсететін кезең анықталады. Қорытынды. Вегетациялық индекстер мен атап айтқанда NDVI, үлгілерінің сорттық белгілерін бағалаудың басқа дәстүрлі әдістерімен қатар қосымша құрал ретінде ғана пайдалануға болатындығы анықталды. Қалыптасқан ауа-райы жағдайларында жасымық үлгілерінің арасындағы айырмашылықтар бұршақ пайда болған кезеңнен бастап айқын көріне бастады. NDVI индексінің және басқа вегетациялық индекстердің көрсеткіштеріне сүйене отырып, «Е-149», «Анфия», «Веховская» үлгілері өнімділікті арттыру үшін ата-аналық жұп ретінде селекциялық процеске тарту үшін ұсынылады.

Кілт сөздер: қашықтықтан зондтау; вегетациялық индекстер; корреляция коэффициенті; өнімділік.

Yield assessment of large-seeded lentil samples based on vegetation indices

Bakhtiyar Zh. Zhanzakov, Fariza K. Kulyntay, Irina V. Shupanova, Irina P. Oshergina, Evgeny A. Ten

Abstract

Background and Aim. The use of Geographic information systems (GIS) and remote sensing data has become commonplace. However, they are not actively used in all sectors of agriculture. So, due to the specifics, the breeding work is more scrupulous, which is largely due to the large amount of material

under study and the small scale of experimental sites inaccessible to remote sensing. However, the improvement of unmanned aerial vehicles (UAVs) and attachments makes it possible to conduct ground monitoring at low altitudes and conduct research in breeding nurseries. In this regard, the goal was set to explore the possibility of using remote sensing data, namely vegetation indices (NDVI, GNDVI, OSAVI, NDRE), to evaluate promising samples and lines, using the example of lentils.

Materials and methods. The research was carried out in the dry steppe zone of Northern Kazakhstan, on southern, carbonate chernozems. The objects of the study are 10 samples and a standard variety of large-seeded lentils Shyrayly. The observations were carried out remotely using aerial photography, at an interval of 1 time per week, from a height of 50 m at a drone flight speed of 1.5-2 m/s and a 70 × 70% cross-overlap of images using a Phantom 4 Multispectral UAV equipped with a 5-channel multispectral 2 MP camera. The processing of aerial photographs and the creation of orthophotoplanes of the experimental site was carried out in licensed programs Agisoft Metashape Professional, DJI Terra and QGIS 3.26.

Results. The high efficiency of using vegetation indices as an additional assessment tool in the analysis of breeding crops was established. The relationship between yield and indicators of vegetation indices has been established. The period has been determined when the values of vegetation indices most objectively reflect the emerging yield.

Conclusion. It has been established that vegetation indices and NDVI, in particular, can only be used as an additional tool on a par with other traditional methods for evaluating varietal characteristics of cultivars. Under the prevailing climatic conditions, the differences between varieties began to manifest themselves more clearly from the period of bean formation in lentils. Based on the indicators of the NDVI index and other vegetation indices, the samples "E-149", "Anfiya", "Vekhovskaya" are recommended for involvement in the breeding process as parent pairs to increase yields.

Keywords: remote sensing; vegetation indices; correlation coefficient; yield.