

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF AGRICULTURAL SCIENCES

ISSN 2224-526X

Volume 6, Number 42 (2017), 93 – 104

A. I. Abugaliyeva¹, A. I. Morgounov², A. S. Massimgaziyeva¹, K. Kozhakhmetov¹

¹Kazakh scientific research institute of agriculture and plant growing, Almalybak, Kazakhstan,

²CIMMYT, Ankara, Turkey.

E-mail: kiz_abugaliyeva@mail.ru

WINTER WHEAT, TRITICALE, WILD RELATIVES AND INTROGRESSIVE LINES CHARACTERIZATION BY NDVI AND PRODUCTIVITY

Abstract. The aim of these studies was to study winter wheat, triticale, wheat species according to the NDVI index during vegetation in various reproductions for using in breeding, as predicting productivity the method.

The level of biological mass accumulation for winter common wheat, triticale and wheat species varied from 0.44 to 0.88. It is established that the dynamics of accumulation (NDVI) reflects the genotype response to stress conditions (increased air temperature, insufficient moisture, etc.). Wild relatives do not reduce NDVI under stress and are characterized by a smooth curve during the vegetation. Varieties of winter common wheat are characterized by a jump like curve under stress. The introgressive forms of wheat, depending on the genotype, react specifically to the environmental conditions. A smooth curve at a high level NDVI can be a criterion for selecting for stable physiological properties.

NDVI (green index) can serve as a criterion for the selection of productive forms by maximum values and stable forms – according to the dynamics of NDVI as a response to stress for all blocks: winter wheat, triticale, synthetics and wild relatives.

NDVI depends on the genotype and conditions of the reproduction year, correlates with the yield at the capacity level. In more favorable conditions for wet years, the superiority of varieties for the accumulation of biomass (as a result of modern breeding) was noted; in stressful conditions, the predominance of synthetic (including topcross) forms is possible as a result of a higher adaptation of genotypes involving wild relatives. The prevailing factor affecting NDVI is the climatic one.

Spring forms are characterized by a lower level of NDVI in comparison with winter crops on the example of different types of wheat.

Key words: NDVI, productivity, wheat, triticale, wild relatives, introgressive lines.

УДК 578:633.11:631.527:633.16:577.14

А. И. Абугалиева¹, А. И. Моргунов², А. С. Масимгазиева¹, К. К. Кожакметов¹

¹Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алмалыбак, Казахстан,

²СИММИТ, Анкара, Турция

NDVI – ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, ТРИТИКАЛЕ, ДИКИХ СОРОДИЧЕЙ И ИНТРОГРЕССИВНЫХ ЛИНИИ МЕЖВИДОВЫХ И МЕЖРОДОВЫХ СКРЕЩИВАНИЙ

Аннотация. Цель данных исследований: изучить озимые пшеницы, тритикале, виды пшениц по NDVI-индексу в процессе вегетации в разных репродукциях для отбора в селекции, как метод прогнозирования продуктивности.

Уровень накопления биологической массы для озимой мягкой пшеницы, тритикале и видов пшениц варьировал от 0,44 до 0,88. Установлено, что динамика накопления биологической массы (NDVI) отражает ответную реакцию генотипа на стрессовые условия (повышение температуры воздуха, недостаточное увлажнение и т.д.). Дикие сородичи не снижают NDVI в условиях стресса и характеризуются плавной кривой в процессе вегетации. Сорта озимой мягкой пшеницы характеризуются скачкообразной кривой в условиях стресса. Переходные синтетические формы пшеницы в зависимости от генотипа специфично реагируют на условия среды. Критерием отбора на устойчивую физиологичность может быть плавная кривая на высоком уровне.

NDVI (зеленый индекс) может служить критерием отбора продуктивных форм по максимальным значениям и устойчивых форм – по динамике NDVI как ответной реакции на стресс для всех блоков: озимая пшеница, тритикале, синтетики и дикие сородичи.

NDVI зависит от генотипа и условий года репродукции, коррелирует с урожайностью на уровне потенциала. В более благоприятные по условиям увлажненности годам отмечено превосходство сортов по накоплению биомассы (как результат современной селекции); в стрессовых условиях в целом отмечено преобладание синтетических (в т.ч. топкроссных) форм возможно как результат более высокой адаптации генотипов с участием диких сородичей. Преобладающим фактором, влияющим на NDVI является климатический.

Яровые формы характеризуются более низким уровнем NDVI в сравнении с озимыми на примере различных видов пшениц.

Ключевые слова: NDVI productivity, wheat, triticale, wild relatives, интрогрессивные линии.

По результатам многих экспериментов установлено, что вегетационный (зеленый) индекс (Normalized Difference Vegetation Index) является одним из важных индикаторов посевов сельскохозяйственных растений [1]. NDVI, основанный на использовании интенсивности отраженного света в красной и ближней инфракрасной области спектра, позволяет выделять зеленую вегетирующую растительность на фоне других природных образований, особенно почвы и растительности [2]. В видимом диапазоне ($\lambda = 400\div 700$ нм) отражение излучения растений связано с концентрацией пигментов (в основном, хлорофилла и каротиноидов). В ближнем инфракрасном диапазоне ($\lambda = 700\div 1300$ нм) отражение излучения определяется преимущественно внутренней структурой тканей фитоэлементов [3, 4]. NDVI – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы, обычно называемый вегетационным индексом. Один из самых распространенных и применяемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [5].

Для каждого профиля каждой культуры (группы культур) определяли величину сезонного максимума NDVI [6]. Эту величину использовали в качестве индикатора наземной фитомассы посевов в период цветения культур. О возможности использования величины сезонного максимума NDVI как индикатора наземной фитомассы показано в большом количестве научных публикаций [7].

При построении карты распределения NDVI и его относительной изменчивости для Алтайского края [8] установлено, что минимальное значение индекса и его высокая абсолютная и относительная изменчивость характеризуют сухостепную территорию. Показано, что преобладающим фактором, влияющим на изменение вегетационного индекса NDVI, является климатический фактор [8]. Установлена взаимосвязь между площадью фотосинтезирующей поверхности и вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы, которая оценивается коэффициентом корреляции равным 0,61–0,68 [9]. Полученные результаты могут быть использованы при разработке способов мониторинга физиологического состояния посевов в течение вегетации и оценке урожайности сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования.

NDVI часто используется для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, включая и те, которые возделываются на территории исследований. Именно это и позволяет рассматривать NDVI в качестве индикатора состояния посевов и их урожайности [цит. по 6].

Результаты селекционных исследований [10] показали, что NDVI существенно коррелирует с урожайностью зерна примерно на 50% из 120 наблюдений в 23 испытаниях с сред с контрастными по влагообеспеченности и урожайности, тем самым подтверждая пригодность использования вегетативных показателей (таких, как цифровые фото параметры и NDVI) в качестве дополнительных критериев отбора по урожайности зерна в селекционных программах [10].

В Казахстане стандартизированный индекс различия растительного покрова (NDVI) исследован на материале: культурные, синтетические яровые формы пшеницы и дикие сородичи, дигаметоиды пшеницы (яровые формы), голозерный/пленчатый ячмень и овес, скороспелые сорта сорго и сои на коллекционных, селекционных и агротехнических опытах [11–16].

Возрастающий объем исследований по генотипированию требует параллельного адекватного фенотипирования (полевых) в больших масштабах. Многие селекционные программы используют современные технологии сканирования состояния посевов, начиная от космических их дизайнов, летающих управляемых аппаратов, наземных стационарных и передвижных комплексов, включая уровень измерения NDVI.

Ранее проведены эпизодически исследования по различным культурам [15–19]. Системно NDVI-исследования начаты по пшенице: яровой и озимой, в основном в сравнительных экспериментах с дикими сородичами [13, 15, 16] и на материале ДГЛ яровой мягкой пшеницы [14, 20].

Цель: изучить озимые пшеницы, тритикале, виды пшениц по NDVI-индексу в процессе вегетации в разных репродукциях для отбора в селекции, как прижизненный метод прогнозирования продуктивности.

Задачи исследований включали изучение NDVI характеристики:

- 1) в пределах одной вегетации для сортов озимой пшеницы (*T.aestivum*), сортов тритикале (ABR); видов пшеницы (ABD, A, AB, AGD) и интрогрессивных линий (межвидовые и межродовые скрещивания);
- 2) в зависимости от условий года репродукции (2013–2017 гг.);
- 3) с учетом генотип x средовых взаимодействий для выделения стабильных для каждой группы объектов;
- 4) связь NDVI-характеристики с урожайностью зерна;
- 5) сравнительная характеристика динамики NDVI и ее классификация в зависимости от генотипа, условий года, урожайности и устойчивости к стрессам.

Материал и методы исследований. Изучение проводили в 2014–2017 гг. на материале: 1) сорта озимой мягкой пшеницы (зарегистрированные 11 сортов разного уровня интенсивности, использованные в качестве родительских форм при скрещивании с видами пшениц и дикими сородичами); 2) зарегистрированные сорта озимого тритикале и перспективные образцы; 3) дикие сородичи – 15 видов пшениц и 3 вида эгилопсов; 4) синтетические озимые формы – 23 образца.

Место и условия проведения опытов:

Экспериментальные исследования данной работы были проведены в предгорной зоне Алматинской области (полевой стационарный участок отдела зернофуражных культур КазНИИЗиР). Почва светло-каштановая, суглинистая, реже супесчаная. Содержание гумуса в пахотном горизонте достигает 2%. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 5 до 10 метров. Климат зоны характеризуется мягкой зимой, прохладной и влажной весной, жарким летом, теплой осенью.

Методы исследований: Закладка опытов, посев, фенонаблюдения, учеты, ведение отборов и браковки проводились согласно «Методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985, 2002). NDVI замеряли Green Seeker, еженедельно с фиксацией фенологической фазы по каждому полевому повторению на делянках 3–5 м².

Результаты исследований и обсуждение. Пять блоков озимых форм пшеницы, тритикале, диких сородичей, синтетических форм и гибридов топкроссных скрещиваний [21, 22] сравнили по диапазону изменчивости от минимального до максимального индекса NDVI в процессе вегетации за 2013–2017 гг. в условиях неполивного возделывания на стационаре зернофуражных культур КазНИИ земледелия и растениеводства.

Отмечено, что блоки представляющие культуры: пшеница, тритикале; гибриды (синтетики и топкроссы), дикие сородичи значительно не отличались по максимальным индексам NDVI, но варьировали по годам репродукции и внутри изучаемых блоков (таблица 1).

Соответственно, по максимальному значению NDVI выделяются разные генотипы (таблица 2), отдельные из них стабильны в 2–3х из 5 репродукций. Это виды пшеницы *T.kiharae*; *T.dicoccoides*, *T.timopheevii*, сорт озимой мягкой пшеницы Безостая 1; синтетические формы 1712 (Эритропермум 350 x *T.militinae*); 1718 (Безостая 1 x *Ae.cylindrica*); 1721-9 ((Безостая 1 x *T.militinae*) x *T.militinae*-9); 1721-4 ((Безостая 1 x *T.militinae*) x *T.militinae*-4); тритикале Т-409-1 и сорт Таза.

Таблица 1 – NDVI – характеристика сортов озимой мягкой пшеницы, тритикале, диких сородичей, синтетических и топкроссных форм (2013–2017)

Озимые формы	2013	2014	2015	2016	2017	max
Дикие сородичи	0,58-0,75	–	0,32-0,81	0,25-0,87	0,17-0,87	0,87
Сорта пшеницы	0,44-0,58	0,27-0,53	0,28-0,82	0,27-0,85	0,20-0,75	0,85
Синтетики	0,49-0,73	0,29-0,44	0,24-0,82	0,34-0,88	0,20-0,83	0,88
Топкроссы	0,49-0,72	0,28-0,41	0,70-0,81	0,66-0,88	0,52-0,84	0,88
Тритикале	–	–	0,26-0,82	0,51-0,87	0,26-0,78	0,87
max	0,75	0,53	0,82	0,88	0,87	

Таблица 2 – Генотипы, выделенные по max значению NDVI в разрезе блоков и репродукций

Блок озимых	2013	2014	2015	2016	2017	max
Дикие сородичи (Виды пшеницы)	<i>T.kiharae</i>	–	<i>T.kiharae</i> , <i>T.dicoccoides</i> , <i>T.timopheevii</i>	<i>T.monococcum</i> , <i>T.dicoccoides</i> , <i>T.polonicum</i>	<i>T.timopheevii</i> , <i>T.dicocum</i>	0,75-0,87
Сорта озимой мягкой пшеницы	Эритр.350	Алматы	Прогресс Безостая 1, Расад	Жалын, Жетысу	Алия, Сапалы, Безостая 1	0,53-0,85
Интрогрессивные формы озимой пшеницы	1675-215 1723-44	Прогресс х <i>T.timopheevii</i>	1718, 1721-9, 1721-4	1712, 1721-9, 1676, 1721-4	1712, 1718, 1721-9, 231	0,44-0,88
Топкроссы (синте- тики озимой пше- ницы) х сорта озимой пшеницы	(Эр.350 х <i>Ae.cylindrica</i>) х Алия	(Эр.350 х <i>Ae.cylindrica</i>) х Алия	1676 х Ст.24; 1723 х Жетысу	–	–	0,78-0,88
Тритикале (озимое)	–	–	Азиада, Балауса 8	Т-409-1, Т-989-1, Таза	Т-409-1, Т-42, Таза	0,78-0,87

В урожай 2013 года повышенное накопление биологической массы NDVI отмечено для диких сородичей (0,58–0,75) с максимум для *T.kiharae*, для современных сортов озимой мягкой пшеницы – 0,44–0,58 (Эритроспермум 350). Синтетические формы занимали промежуточное положение между дикими и культурными формами по накоплению биологической массы от 0,49 до 0,53 (1675-215 и 1723-44). Для топкроссных скрещиваний синтетических форм с сортами характерен в основном уровень синтетиков. Преобладание по накоплению биологической массы конкретного блока над остальными группами объектов дифференцировано по репродукциям:

2013 Дикие сородичи > синтетики > топкроссы > сорта

2014 Сорта > синтетики > топкроссы

2015 Сорта = синтетики > дикие сородичи = топкроссы

2016 Синтетики = топкроссы > дикие сородичи = тритикале > сорта

2017 Топкроссы > синтетики = тритикале = дикие сородичи > сорта

Ни одна из групп культур не имела абсолютного преимущества по максимум NDVI для всех изученных репродукций, что подтверждает результаты исследований по другим разным культурам [5, 6, 23, 24].

В наших исследованиях в более благоприятные по условиям увлажненности годам отмечено превосходство сортов по накоплению биомассы (как результат современной селекции); в стрессовых условиях в целом отмечено преобладание синтетических (в т.ч. топкроссных) форм возможно как результат более высокой адаптации генотипов с участием диких сородичей. Таким образом, преобладающим фактором, влияющим на NDVI является климатический [7], поэтому далее анализ проведен на конкретных генотипах внутри блоков.

Сорта озимой мягкой пшеницы. Динамика накопления биологической массы в процессе вегетационного периода исследована по фазам развития растений и достигает максимума в фазу

колошения, дифференцированно по генотипам (таблица 1, 2, рисунок 1), т.е. сортам озимой мягкой пшеницы.

Сорта озимой пшеницы, как наиболее изученный объект по накоплению биомассы, азота, в том числе в рамках программирования урожая и точного земледелия [25, 26] в данных опытах использованы как родительские формы (в переходных формах) и стандарты зарегистрированные в регионах исследований. В урожае 2015 г изучено 10 сортов озимой мягкой пшеницы, которые характеризовались различной динамикой накопления биологической массы.

По максимуму зеленого индекса выделяются соответственно разные сорта в урожае 2015 – в основном сорта Расад и Майра до фазы колошения и сорт Прогресс в фазы колошения и цветения; в урожае 2016 г – это сорт Жалын, в урожае 2017 г – сорт Алия, преимущественно и сорт Сапалы в фазы колошения и цветения. Сорта с минимальными значениями NDVI могут быть рассмотрены как наиболее реагирующие на условия среды снижением биологической массы по большинству фаз развития (50–75% замеров) для сортов Карлыгаш и Фараби в 2015 году; Сапалы в 2016 году и Карлыгаш и Жетысу в 2017 году (рисунок 1). Максимальные значения биологической массы во все фазы до колошения отмечены для сортов Расад и Майра, которые характеризовались самым высоким значением с фазы кущения. Сорта Прогресс и Жетысу характеризовались также плавным нарастанием биологической массы в период с начала трубкования затем плато до цветения и дальнейшее снижение в 2015; в 2016–2017 гг. отличались многовершинностью, как результат реакции на различные стрессы (засуха, болезни и др.).

В данных опытах урожайность этих сортов соответствовала отбору по максимальному значению NDVI и его стабильности по фазам развития растений как реакции на изменчивость условий среды (максимум t^0).

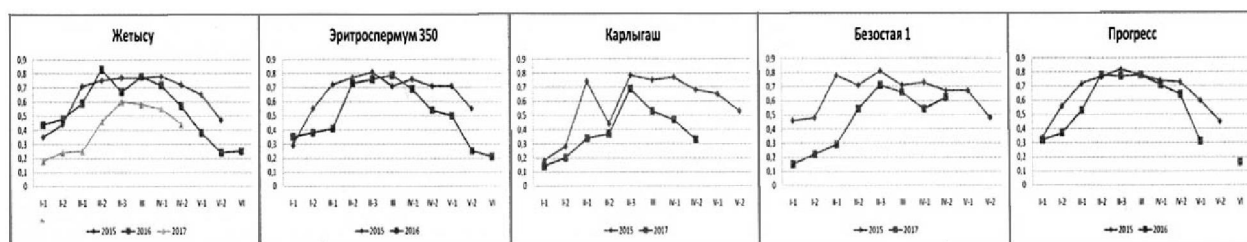


Рисунок 1 – Динамика накопления биомассы растений сортов озимой мягкой пшеницы в урожае 2015–2017 гг. Жетысу Карлыгаш, Эритроспермум, Безостая 1

Сорта Безостая 1, Карлыгаш, Фараби и Эритроспермум 350 отличались скачкообразной динамикой (рисунок 1) для сорта Безостая-1 отмечен самый низкий уровень урожайности – 30,3 ц/га. Соответственно максимальная урожайность характерна для сортов: Эритроспермум 350 (50 ц/га); Карлыгаш (49,1 ц/га) и Фараби (48,1 ц/га), потенциально более интенсивных сортов. В данном эксперименте они не достигали своего потенциала 60-80 ц/га за счет реакции на условия среды (снижение, скачки NDVI). Сравнивая урожайность с NDVI исследователи [6] экспертным путем установили следующие граничные значения средней многолетней величины сезонного максимума NDVI групп (в скобках дано условное название): выше 0,8 (очень высокая урожайность), 0,75–0,79 (высокая урожайность), 0,70–0,74 (средняя урожайность), 0,65–0,69 (условно названа низкая урожайность), 0,60–0,64 (очень низкая урожайность). По величине стандартного отклонения все поля ранжировали на две группы: с сильным варьированием по годам (со стандартным отклонением больше или равно 0,05) и без сильного варьирования по годам (со стандартным отклонением менее 0,05). Преобладали поля с сильным варьированием, хотя часть полей характеризовалась низким варьированием величины сезонного максимума NDVI от года к году [6]. Выделены ранги полей по состоянию посевов на них как косвенной характеристики актуального плодородия почв [6] от:

1 класс – очень высокая урожайность без варьирования по годам до 5v класс – очень низкая урожайность с варьированием по годам.

Безусловно, такое ранжирование имеет природно-климатическую привязку к уровню урожайности и конкретной с/х культуре.

Таким образом, для каждого отдельного сорта отмечена специфичная динамика NDVI, выражаемая как ответная реакция на условия (индифферентная – не реагирующая, скачкообразная с разным знаком «+» – увеличение и «-» – снижение NDVI).

Сорта и перспективные номера озимого тритикале. Тритикале – как состоявшиеся гибриды с заменой генома *D* на геном *R* исследованы на уровне озимых сортов вторичных гексаплоидов (таблица 3, рисунок 2). Тритикале на уровне сортов варьировало также в значительной степени по накоплению биологической массы по фазам развития.

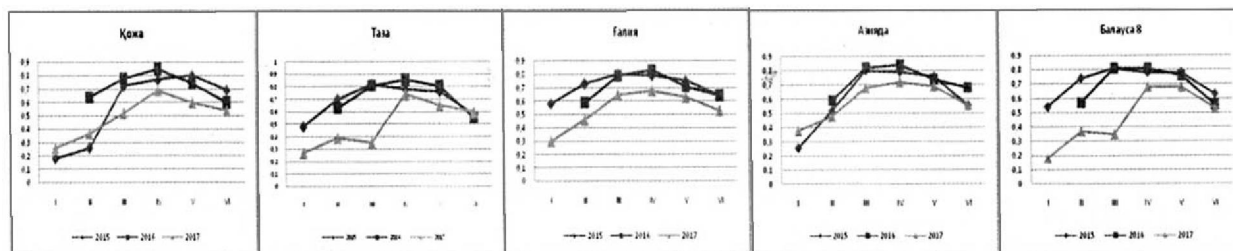


Рисунок 2 – Динамика NDVI-характеристики для зарегистрированных сортов озимого тритикале, КИЗ, 2015–2017

На всех стадиях развития растений максимальным значением биологической массы отличался сорт озимого тритикале Балауса 8 кормового направления в урожае 2015 г. В урожае 2016 в исследования включены селекционные номера, которые превысили сорта-стандарты по данным NDVI: Т-409-1 до фазы колошения, а номер Т-989-1 с фазы колошения до созревания как более позднеспелый и остающийся зеленым продолжительное время и соответственно возможный как двойного типа использования зернового и зернофуражного направления. В условиях 2017 года генотип Т-42 выделялся в фазы кущения и колошения (таблица 3), в фазе трубкования – сорт Азиада, а в фазах колошение, цветение и налив – сорт Таза. Динамика NDVI и выделение разных сортов в разные периоды объяснимы климатическими резкими изменениями по температуре и влажности.

Таблица 3 – NDVI характеристика сортов озимого тритикале по максимальным значениям в процессе вегетации 2015–2017 гг.

Фаза развития	2015		2016		2017	
	NDVI max	Сорт с max значением:	NDVI max	Сорт с max значением:	NDVI max	Сорт с max значением:
Кущение	0,58	Галия	0,64	Кожа	0,51	Т-42
	0,74	Балауса 8	0,79	Т-409-1	0,68	Азиада
	0,82	Таза	0,72	Азиада, Галия		
Трубкование	0,81	Таза, Балауса 8	0,87	Т-409-1	0,76	Азиада
	0,82	Азиада, Балауса 8	0,82	Азиада		
			0,87	Кожа		
Колошение	0,79	Азиада, Галия	0,87	Т-409-1, Т-989-1	0,78	Т-42
			0,85	Таза	0,74	Таза
Цветение	0,78	Балауса	0,81	Т-989-1, Таза	0,65	Таза
			0,68	Азиада		
Налив			0,67	Т-4915, Балауса 8	0,60	Таза
			0,63	Т-989-1, Таза		

Соответственно в урожае 2015 г выделенный по NDVI сорт озимого тритикале Балауса 8 характеризовался максимальной продуктивностью с одного растения (26,1 г) относительно сорта Кожа (25,5 г) и Таза (20,4 г). Выделенный в 2016 году номер Т-409-1 по NDVI также характеризовался максимальной продуктивностью растения (21,6 г), как и вновь сорт Балауса 8 (20,0 г), выделенный по NDVI и в 2015 г.

Виды пшениц (дикие сородичи). Среди сородичей пшеницы исследованы эгилопсы (*Ae. cylindrica*, *Ae. triaristata*), тетраплоиды – *T. militinae*, *T. timopheevii*, *T. dicoccoides* и *T. dicoccum*, гексаплоиды – *T. kiharae* и вторичные гексаплоидные тритикале (местные сорта).

В урожае 2015 максимальное значение NDVI отмечено в фазу колошение для видов: *Ae. cylindrica*, *T. kiharae* и *T. dicoccoides* (0,81), сохраняющиеся для *T. kiharae* до фазы цветения. Виды *T. timopheevii* характеризовались максимум в фазу кущения, сохраняя стабильно высокий NDVI. В урожае 2016–2017 г были включены дополнительно пшеницы, представляющие спектр видов от диплоидных (*T. monococcum*) до тетра- и гексаплоидных пшениц, как в озимом, так и в яровом посеве.

Максимальным NDVI в урожае 2016 г отличались *T. polonicum* и *T. monococcum* с большей стабильностью в процессе динамики для последнего (рисунок 4). Минимальные значения NDVI практически во всех замерах (фазах) отмечены для вида *T. aeophoricum*.

В урожае 2017 года вид *T. timopheevi* доминировал по накоплению биологической массы практически по всему периоду вегетации. Минимальные значения NDVI характерны для вида *T. turgidum* (таблица 4).

Таблица 4 – NDVI характеристика видов пшеницы по максимальным значениям в процессе вегетации 2015–2017 гг.

Фаза развития	2015		2016		2017	
	NDVI max	Вид	NDVI max	Вид	NDVI max	Вид
Кущение	0,49	<i>T. dicoccum</i>	0,50	<i>T. polonicum</i>	0,36	<i>T. timopheevii</i>
	0,70	<i>T. dicoccum</i> , <i>T. timopheevii</i>	0,41	<i>T. monococcum</i>	0,40	<i>T. kiharae</i>
Трубкавание	0,78	<i>T. dicoccoides</i> , <i>T. timopheevii</i>	0,85	<i>T. polonicum</i>	0,76	<i>T. timopheevii</i>
			0,84	<i>T. timopheevii</i> , <i>T. monococcum</i>		
	0,79	<i>T. dicoccum</i> , <i>T. kiharae</i>				
Колошение	0,81	<i>Ae. cylindrica</i> , <i>T. kiharae</i> , <i>T. dicoccoides</i>	0,87	<i>T. monococcum</i> , <i>T. dicoccoides</i> , <i>T. polonicum</i>	0,80	<i>T. timopheevii</i>
					0,81	<i>T. dicoccum</i>
Цветение	0,80	<i>T. kiharae</i>	0,82	<i>T. militinae</i> , <i>T. monococcum</i>	0,78	<i>T. timopheevii</i>
Налив			0,74	<i>T. dicoccum</i> , <i>T. dicoccoides</i>	0,70	<i>T. timopheevii</i>
			0,71	<i>T. timopheevii</i>		

Соответственно уровню NDVI в 2015 г максимальная урожайность характерна для *T. dicoccoides* (42,6 ц/га) и *T. dicoccum* (40,7 ц/га), далее *T. timopheevii* (36,9 ц/га), *T. militinae* (30,3 ц/га) и *T. kiharae* (15,7 ц/га). По массе зерна с одного растения лидирует *T. timopheevii* и *T. dicoccoides* (6,5 и 6,1 г).

Начиная с фазы трубкавания отмечено преимущество *T. kiharae* по максимальному накоплению биологической массы вплоть до цветения. В целом, для диких сородичей характерна поступательная динамика, за исключением эгилопсов (рисунок 3).

В яровом варианте (таблица 4) выявлено преобладание видов *T. militinae* и *T. kiharae* по максимальным значениям NDVI в большинстве замеров и фаз развития растений. Однако, само значение NDVI значительно ниже, чем в озимом варианте, но более стабильно в процессе динамики, например для *T. militinae*, *T. dicoccoides*, *T. polonicum*, *T. turgidum* (рисунок 4).

T. timopheevii, *T. turgidum*, *T. kiharae*, как видно из рисунка 4 и в яровом, и в озимом варианте отличались плавной NDVI кривой с наименьшей реакцией на стрессовые условия.

Выводы. Установлено, что динамика накопления биологической массы (NDVI) отражает ответную реакцию генотипа на стрессовые условия (повышение температуры воздуха, недостаточное увлажнение и т.д.). Дикие сородичи не снижают NDVI в условиях стресса и характеризуются плавной кривой в процессе вегетации. Сорта озимой мягкой пшеницы характеризуются скачкообразной кривой в условиях стресса. Переходные синтетические формы пшеницы в зависимости от генотипа специфично реагируют на условия среды. Критерием отбора на устойчивую физиологичность может быть плавная кривая на высоком уровне.

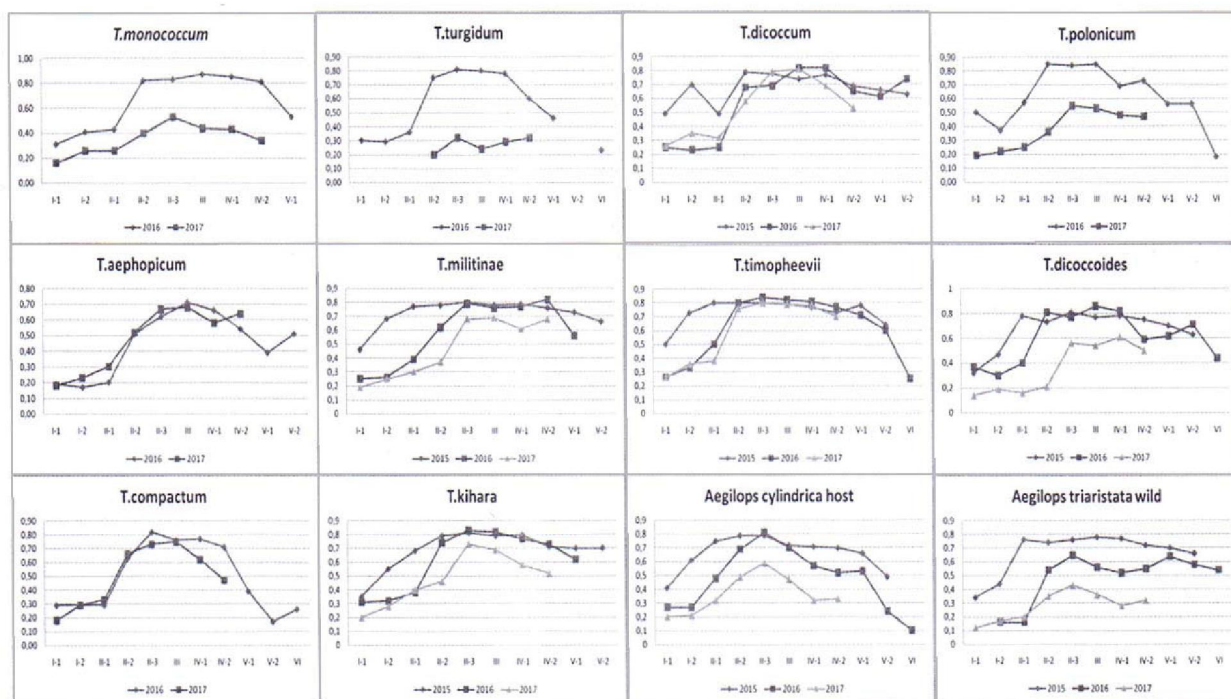


Рисунок 3 – Динамика NDVI для видов и диких сородичей пшеницы в урожае 2015–2017 гг. (озимый посев)

Таблица 4 – NDVI характеристика диких сородичей в яровой и озимой вегетации 2016–2017 гг.

Фаза	min	Вид (яровой посев)	max	Вид (яровой)	Вид (озимый посев)	max
Кущение	0,20	<i>T.Kiharae</i>	0,30	<i>T.turgidum</i>	<i>T.polonicum</i>	0,50
				<i>T.polonicum</i>		
	0,49	<i>T.Kiharae</i>	0,70	<i>T.petrovavlovsk</i>	<i>T.monococcum</i>	0,41
Трубкавание	0,51	<i>T.Compactum</i>	0,80	<i>T.kiharae T.turgidum</i>	<i>T.polonicum</i>	0,57
	0,19	<i>T.Compactum</i>	0,74	<i>T.militinae T.kiharae T.petrovavlovsk</i>	<i>T.polonicum</i>	0,85
Трубкавание-колошение	0,35	<i>T.Compactum</i>	0,72	<i>T.kiharae T.petrovavlovsk T.militinae</i>	<i>T.timopheevii T.monococcum T.polonicum</i>	0,84
Колошение	0,47	<i>T.Compactum T.Persicum</i>	0,73	<i>T.militinae T.kiharae</i>	<i>T.monococcum T.dicoccoides</i>	0,87
Цветение	0,53	<i>T.Compactum</i>	0,68	<i>T.militinae T.timopheevii</i>	<i>T.monococcum T.dicoccoides</i>	0,82
	0,41	<i>T.Polonicum</i>	0,63	<i>T.militinae</i>	<i>T.timopheevii</i>	0,71

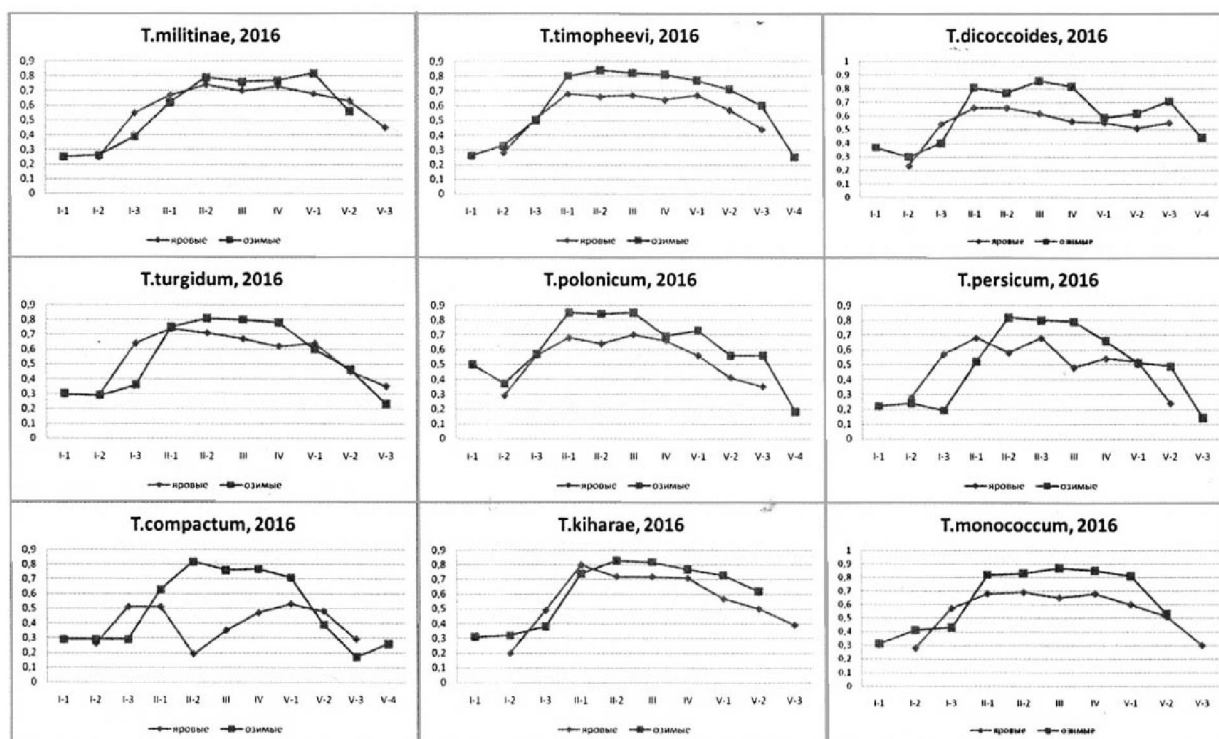


Рисунок 4 – Характеристика NDVI диких сородичей пшеницы в озимом и яровом варианте

Уровень максимального накопления биологической массы для озимой мягкой пшеницы варьировал от 0,44 до 0,88 для сортов, диких сородичей, переходных (гибридных) и синтетических форм. Максимальные значения NDVI коррелировали с продуктивностью зерна на уровне 50 ц/га для лучших синтетических форм.

NDVI зависит от генотипа и условий года репродукции, коррелирует с урожайностью на уровне потенциала. В более благоприятные по условиям увлажненности годам отмечено превосходство сортов по накоплению биомассы (как результат современной селекции); в стрессовых условиях в целом отмечено преобладание синтетических (в т.ч. топкроссных) форм возможно как результат более высокой адаптации генотипов с участием диких сородичей. Преобладающим фактором, влияющим на NDVI является климатический.

Яровые характеризуются более низким уровнем NDVI в сравнении с озимыми на примере различных видов пшениц.

Более оптимальным является отбор по максимум NDVI в определенные фенофазы и стабильной динамикой в процессе вегетации.

NDVI (зеленый индекс) может служить критерием отбора продуктивных форм по максимальным значениям и устойчивых форм – по динамике NDVI как ответной реакции на стресс для всех блоков: озимая пшеница, тритикале, синтетики и дикие сородичи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Повх В.И., Гарбузов Г.П., Шляхова Л.А. Космический мониторинг сельскохозяйственных угодий Ростовской области // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 3. – С. 89-96.
- [2] Виноградов Б.В. Агрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984.
- [3] Выгодская Н.Н., Горшкова И.И. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
- [4] Сидько А.Ф., Шевырнов А.П. Спектральная яркость растений, как основа дистанционной диагностики посевов сельскохозяйственных культур // ДАН. – 1997. – Т. 354, № 1. – С. 120-122.
- [5] Березин Л.В., Шаяхметов М.Р., Гиндемит А.М., Сергеева А.Ю. Изучение взаимосвязи урожайности яровой твердой пшеницы с вегетационным индексом NDVI степной зоны Омской области на основе данных дистанционного зондирования земли // Науки о земле. – 2015. – С. 34-38.

- [6] Савин И.Ю., Танов Э.Р., Харзинов С. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки качества почв паппы (на примере Баксанского района Кабардино-Балкарии) // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2015. – Вып. 77. – С. 51-65.
- [7] Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O. Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection // Remote Sensing. – 2013. – N 4. – P. 1704-1733.
- [8] Михайлов Н.Н., Михайлова Л.А., Харламова Н.Ф., Лхагвасурэн Ч.Л. Использование временных рядов вегетационного индекса NDVI для мониторинга растительного покрова степной зоны западной Сибири // Научные ведомости. Серия естественные науки. – 2010. – № 15(86). – Вып. 12. – С. 25-33.
- [9] Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О. Площадь ассимиляционной поверхности и NDVI посевов озимой пшеницы // Земледелие. – 2015. – № 7. – С. 37-39.
- [10] Morgounov A., Gummudov N., Belen S., Keser M., Mursalova J. Association of digital photo parameters and NDVI with winter wheat grain yield in variable environments // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. – 2014. – 38. – P. 624-632.
- [11] Аbugалиева А.И. NDVI-фенотипирование синтетической и дигаллоидной пшеницы, голозерного ячменя и овса, скороспелых сорго и сои в селекции на стрессоустойчивость и продуктивность // Мат-лы междунар. научн.-практ. конф. «Земледелие и селекция сельскохозяйственных растений на современном этапе». – Астана-Шортанды, 2016. – Т. II. – С. 67-74.
- [12] Abugaliyeva A.I., Morgounov A.I., Massingaziyeveva A., Kozhakhmetov K., Chudinov V., Zhapayev R. NDVI characterization of synthetic and wild wheat relatives, wheat double haploids, of Naked barley and oats, sorghum, soybean and winter rape // 2nd International Plant Breeding Congress & EUCARPIA – Oil and Protein Crops Conference. – Antalya, 2015. – P. 265.
- [13] Савин Т.В., Аbugалиева А.И., Моргунов А.И., Масимгазиева А.С. Минеральный состав и уровень накопления биологической массы диких сородичей пшеницы и синтетических форм в селекции // II Межд. конф. «Генофонд и селекция растений, посвящ. 80-летию СибНИИРС». – Новосибирск, 2016. – С. 56.
- [14] Аbugалиева А.И., Кожакметов К., Савин Т.В., Моргунов А.И., Чакмак И. Характеристика интрогрессивных яровых форм пшеницы по потенциалу метаболизма (минеральный состав зерна) и его фенотипической реализации (NDVI) в селекции яровой пшеницы // Мат-лы междунар. научно-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС». – г. Сколково, Большие Вяземы, 2016. – Т. 1. – С. 20-33.
- [15] Abugaliyeva A.I., Morgounov A.I., Kozhakhmetov K., Savin T.V., Massingaziyeveva A.S., Rsymbetov A. NDVI values and grain mineral content predict the potential of synthetic spring wheat and wild relatives // 4th International Plant Phenotyping Symposium. – Mexico, 2016. – P. 72.
- [16] Abugaliyeva A.I., Chudinov A.V., Yessimbekova M.A., Massingaziyeveva S.A., Savin T.V., Rsymbetov A. Spring wheat DH lines evaluation by NDVI, productivity and diseases resistance // 8th International Triticeae Symposium, 13th Gatersleben Research Conference. – Wernigerode/Gatersleben, Germany, 2017. – P. 85.
- [17] Tazhibayeva T.L., Abugaliyeva A.I., Massingaziyeveva A.S., Kozhakhmetov K.K. Introgressive forms of winter wheat: drought resistance and productivity indicators // Bulletin d'EUROTALENT. FIDJIP. – 2016. – N 1. – P. 72-74.
- [18] Didorenko S.V., Abugaliyeva A.I., Rozhanskaya O.A., Spryagaylova Y.N., Erzhebaeva R. NDVI characteristics, productivity and drought tolerance of precocious somaclonal soybean lines in contrasting areas of Kazakhstan // 2nd International Plant Breeding Congress & EUCARPIA – Oil and Protein Crops Conference. – Antalya, 2015. – P. 213.
- [19] Нурпеисов М.Ж., Аbugалиева А.И., Сариев Б.С., Жундибаев К.К. Использование метода спектрального зондирования в селекции овса для выявления продуктивных форм растений // КазНАУ. Известия НАН РК. Серия аграрных наук. – 2016. – № 3(33). – С. 19-26.
- [20] Коваленко А.В., Аbugалиева А.И., Чуудинов В.А., Есимбекова М.А. Дигаллоиды яровой мягкой пшеницы Казахстана в селекции на стрессоустойчивость // II Межд. конф. «Генофонд и селекция растений, посвящ. 80-летию СибНИИРС». – Новосибирск, 2016. – С. 34-35.
- [21] Кожакметов К.К. Биологические основы селекции зерновых колосовых культур при отдаленной гибридизации: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Алматы, 2010.
- [22] Еркебаева Р.С. Селекционная ценность линий мягкой пшеницы, полученных путем отдаленной гибридизации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Алматы, 2010. – 30 с.
- [23] Liu W.T., Kogan F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices // International J. of Remote Sensing. – 2002. – Vol. 23(6). – P. 1161-1179.
- [24] Yang C., Everitt J.H., Bradford J.M., Escobar D.E. Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery // Transactions of ASAE. – 2000. – Vol. 43(6). – P. 1927-1938.
- [25] Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т. 7, № 3. – С. 275-285.
- [26] Medvedeva M.A., Savin I.Yu., Isaev V.A. Determination of Area of Drought-Affected Crops Based on Satellite Data (Exemplified by Crops in Chuvashia in 2010) // Russian Agricultural Sciences. – 2012. – Vol. 38, N 2. – P. 121-125.

REFERENCES

- [1] Povh V.I., Garbuzov G.P., Shljahova L.A. Kosmicheskij monitoring sel'skohozjajstvennyh ugodij Rostovskoj oblasti // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2006. N 3. P. 89-96.
- [2] Vinogradov B.V. Agrokosmicheskij monitoring jekosistem. M.: Nauka, 1984.
- [3] Vygodskaja N.N., Gorshkova I.I. Teorija i jeksperiment v distancionnyh issledovanijah rastitel'nosti. L.: Gidrometeoizdat, 1987.

- [4] Sid'ko A.F., Shevymogov A.P. Spektral'naja jarkost' rastenij, kak osnova distancionnoj diagnostiki posevov sel'skoho-zhajstvennyh kul'tur // DAN. 1997. Vol. 354, N 1. P. 120-122.
- [5] Berezin L.V., Shajahmetov M.R., Gindemit A.M., Sergeeva A.Ju. Izuchenie vzaimosvjazi urozhajnosti jarovoj tvrdoj pshenicy s vegetacionnym indeksom NDVI stepnoj zony Omskoj oblasti na osnove dannyh distancionnogo zondirovanija zemli // Nauki o zemle. 2015. P. 34-38.
- [6] Savin I.Ju., Tanov Je.R., Harzinov S. Ispol'zovanie vegetacionnogo indeksa NDVI dlja ocenki kachestva pochv pashni (na primere Baksanskogo rajona Kabardino-Balkarii) // Bjulleten' pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2015. Vyp. 77. P. 51-65.
- [7] Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O. Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection // Remote Sensing. 2013. N 4. P. 1704-1733.
- [8] Mihajlov N.N., Mihajlova L.A., Harlamova N.F., Lhagvasurjen Ch.L. Ispol'zovanie vremennyh rjadov vegetacionnogo indeksa NDVI dlja monitoringa rastitel'nogo pokrova stepnoj zony zapadnoj Sibiri // Nauchnye vedomosti. Serija estestvennye nauki. 2010. N 15(86). Vyp. 12. P. 25-33.
- [9] Eroshenko F.V., Storchak I.G., Shestakova E.O. Ploshhad' assimiljacionnoj poverhnosti i NDVI posevov ozimoj pshenicy // Zemledelie. 2015. N 7. P. 37-39.
- [10] Morgounov A., Gummadov N., Belen S., Keser M., Mursalova J. Association of digital photo parameters and NDVI with winter wheat grain yield in variable environments // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2014. 38. P. 624-632.
- [11] Abugaliyeva A.I. NDVI-fenotipirovanie sinteticheskoy i digaploidnoj pshenicy, golozernogo jachmenja i ovsa, skorospelyh sorgo i soi v selekcii na stressoustojchivost' i produktivnost' // Mat-ly mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. «Zemledelie i selekcija sel'skoho-zhajstvennyh rastenij na sovremennom jetape». Astana-Shortandy, 2016. Vol. II. P. 67-74.
- [12] Abugaliyeva A.I., Morgounov A.I., Massingaziyeva A., Kozhakhmetov K., Chudinov V., Zhapayev R. NDVI characterization of synthetic and wild wheat relatives, wheat double haploids, of Naked barley and oats, sorghum, soybean and winter rape // 2nd International Plant Breeding Congress & EUCARPIA – Oil and Protein Crops Conference. Antalya, 2015. P. 265.
- [13] Savin T.V., Abugaliyeva A.I., Morgounov A.I., Masingaziyeva A.S. Mineral'nyj sostav i uroven' nakoplenija biologicheskoy massy dikih sorodichej pshenicy i sinteticheskikh form v selekcii // II Mezhd. konf. «Genofond i selekcija rastenij, posvjashh. 80-tiletiu SibNIIRS». Novosibirsk, 2016. P. 56.
- [14] Abugaliyeva A.I., Kozhahmetov K., Savin T.V., Morgounov A.I., Chakmak I. Harakteristika introgressivnyh jarovyh form pshenicy po potencialu metabolizma (mineral'nyj sostav zerna) i ego fenotipicheskoy realizacii (NDVI) v selekcii jarovoj pshenicy // Mat-ly mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v bioorganicheskom sel'skom hozjajstve Rossii, SNG i ES». g. Skolkovo, Bol'shie Vjazemy, 2016. Vol. 1. P. 20-33.
- [15] Abugaliyeva A.I., Morgounov A.I., Kozhakhmetov K., Savin T.V., Massingaziyeva A.S., Rsymbetov A. NDVI values and grain mineral content predict the potential of synthetic spring wheat and wild relatives // 4th International Plant Phenotyping Symposium. Mexico, 2016. P. 72.
- [16] Abugaliyeva A.I., Chudinov A.V., Yessimbekova M.A., Massingaziyeva S.A., Savin T.V., Rsymbetov A. Spring wheat DH lines evaluation by NDVI, productivity and diseases resistance // 8th International Triticeae Symposium, 13th Gatersleben Research Conference. Wernigerode/Gatersleben, Germany, 2017. P. 85.
- [17] Tazhibayeva T.L., Abugaliyeva A.I., Massingaziyeva A.S., Kozhakhmetov K.K. Introgressive forms of winter wheat: drought resistance and productivity indicators // Bulletin d'EUROTALENT. FIDJIP. 2016. N 1. P. 72-74.
- [18] Didorenko S.V., Abugaliyeva A.I., Rozhanskaya O.A., Spryagaylova Y.N., Erzhebaeva R. NDVI characteristics, productivity and drought tolerance of precocious somaclonal soybean lines in contrasting areas of Kazakhstan // 2nd International Plant Breeding Congress & EUCARPIA – Oil and Protein Crops Conference. Antalya, 2015. P. 213.
- [19] Nurpeisov M.Zh., Abugaliyeva A.I., Sariev B.S., Zhundibaev K.K. Ispol'zovanie metoda spektral'nogo zondirovanija v selekcii ovsa dlja vyjavlenija produktivnyh form rastenij // KazNAU. Izvestija NAN RK. Serija agrarnykh nauk. 2016. N 3(33). P. 19-26.
- [20] Kovalenko A.V., Abugaliyeva A.I., Chudinov V.A., Esimbekova M.A. Digaploidy jarovoj mjagkoj pshenicy Kazahstana v selekcii na stressoustojchivost' // II Mezhd. konf. «Genofond i selekcija rastenij, posvjashh. 80-tiletiu SibNIIRS». Novosibirsk, 2016. P. 34-35.
- [21] Kozhahmetov K.K. Biologicheskie osnovy selekcii zernovyh kolosovyh kul'tur pri otdalenoj gibridizacii: Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Almaty, 2010.
- [22] Erzhebaeva R.S. Selekcionnaja cennost' linij mjagkoj pshenicy, poluchennyh putem otdalenoj gibridizacii: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Almaty, 2010. 30 p.
- [23] Liu W.T., Kogan F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices // International J. of Remote Sensing. 2002. Vol. 23(6). P. 1161-1179.
- [24] Yang C., Everitt J.H., Bradford J.M., Escobar D.E. Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery // Transactions of ASAE. 2000. Vol. 43(6). P. 1927-1938.
- [25] Savin I.Ju., Bartalev S.A., Lupjan E.A., Tolpin V.A., Hvostikov S.A. Prognozirovanie urozhajnosti sel'skoho-zhajstvennyh kul'tur na osnove sputnikovyh dannyh: vozmozhnosti i perspektivy // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. 2010. Vol. 7, N 3. P. 275-285.
- [26] Medvedeva M.A., Savin I.Yu., Isaev V.A. Determination of Area of Drought-Affected Crops Based on Satellite Data (Exemplified by Crops in Chuvashia in 2010) // Russian Agricultural Sciences. 2012. Vol. 38, N 2. P. 121-125.

А. І. Әбуғалиева¹, А. И. Моргунов², Ә. С. Мәсімғазиева¹, К. Қ. Қожахметов¹

¹Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алмалыбақ, Казахстан,

²СИММИТ, Анкара, Турция

NDVI БОЙЫНША КҮЗДІК БИДАЙ, ТРИТИКАЛЕ, БИДАДЫҢ ЖАБАЙЫ ТУЫСТАРЫМЕН ТҮРІШІЛІК ЖӘНЕ ТУЫСАРАЛЫҚ БУДАНДАСТЫРЫЛҒАН ИНТРОГРЕССИВТІ ЛИНИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫМЕН ӨНІМДІЛІГІ

Аннотация. Зерттеудің мақсаты: өнімділікті болжау әдісі ретінде вегетация үрдісінде түрлі өнімде селекцияға іріктеу үшін NDVI индексі бойынша күздік бидай, тритикале, бидай түрлерін зерттеу.

Күздік бидай, тритикале және бидай түрлері үшін биологиялық массаның жинақталу деңгейі 0,44–0,88 аралығында болды. Биологиялық массаның (NDVI) жинақталу деңгейі генотиптердің стрессті жағдайға (ауа температурасының жоғарылауы, ылғалдылықтың жеткіліксіз болуы және т.б.) жауап реакциясы анықталды. Бидайдың жабайы туыстарында вегетация үрдісінде стрессті жағдайда NDVI деңгейі төмендемейді және бірсарынды қисық сызықпен сипатталды. Күздік жұмсақ бидай сорттарында стрессті жағдайда секірмелі қисық сызықпен сипатталды. Бидайдың ауыспалы синтетикалық формалары генотипке байланысты орта жағдайына ерекше жауап қайтарады. Бірсарынды қисықтың жоғаы деңгейде болуы физиологиялық тұрақтылыққа іріктеуде негізгі бірлігі болуы мүмкін.

NDVI (жасыл индекс) максималды көрсеткіштері бойынша өнімділігі жоғары және күздік бидай, тритикале, синтетиктер және жабайы туыстардың барлық түрлері үшін NDVI динамикасы стресске жауап реакциясы бойынша түрлерді іріктеуде септігін тигізеді.

NDVI генотипке және өнім алынған жылдың жағдайына байланысты, потенциал деңгейінде өнімділікпен корреляцияланады. Жылдар бойынша қолайлы ылғалдылық жағдайында биомассаның жинақталуы бойынша сорттардың басымдылығы байқалды (заманауи селекция нәтижесі ретінде); жалпы стрессті жағдайда синтетикалық (соның ішінде топкроссты) түрлерде басымдылық байқалды, ол жабайы туыстардың қатысуымен генотиптердің аса жоғары бейімделу нәтижесі болуы мүмкін.

Бидайдың жаздық түрлері күздік түрлеріне қарағанда түрлі бидай мысалында NDVI деңгейі салыстырмалы түрде аса төменгі көрсеткіштермен сипатталды.

Түйін сөздер: NDVI, өнімділік, бидай, тритикале, жабайы туыстар, интрогрессивті линиялар.