

УДК 633.1:631.524.85

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ К ПОЛЕГАНИЮ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ЯРОВЫХ ТРИТИКАЛЕ МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОЙ СТАТИСТИКИ

Гребенникова Ирина Геннадьевна (0000-0002-6357-7566),
Чанышев Дамир Исмагилович (0009-0005-9756-4674)

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук. Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Аннотация: представлены результаты исследования архитектоники и физико-механических свойств стеблей 19-ти селекционных образцов яровых гексаплоидных тритикале различного эколого-географического происхождения. Предрасположенность растений тритикале к полеганию оценивалась по совокупности признаков: массы 10-сантиметровой соломины 2-го междоузлия; сопротивлению стебля излому, определяемому по пиковому показанию электронного динамометра; плотности ткани стебля 2-го междоузлия. Изученные образцы существенно различались по данным параметрам и характеризовались различной степенью устойчивости к полеганию. По совокупности прочностных параметров выделены перспективные селекционные образцы, которые могут быть использованы в качестве источников ценных признаков. Методом главных компонент выделен определяющий устойчивость к полеганию признак «сумма длин 2-го и 3-го междоузлий». Использование кластерного анализа позволило одновременно учесть всю совокупность изучаемых признаков архитектоники, физико-механических свойств и продуктивности растений, сгруппировать образцы в кластеры и выделить оптимальные группы для дальнейшего использования в практической селекции.

Ключевые слова: яровая тритикале; источники ценных признаков; продуктивность; устойчивость к полеганию.

ЖАЗДЫК ТРИТИКАЛЕНИН СЕЛЕКЦИЯЛЫК ЛИНИЯЛАРЫНЫН ЖЫГЫЛУУГА ТУРУКТУУЛУГУН КӨП ЧЕНЕМДҮҮ СТАТИСТИКА МЕТОДУ МЕНЕН БААЛО

Гребенникова Ирина Геннадьевна (0000-0002-6357-7566),
Чанышев Дамир Исмагилович (0009-0005-9756-4674)

Россия илимдер академиясынын Сибирь федералдык агробиотехнология илимий борбору. Новосибирск областы, р.п. Краснообск, Россия

Аннотация: ар кандай экологиялык-географиялык тектүү жазгы гексаплоиддик тритикаленин 19 селекциялык үлгүлөрүнүн сабактарынын архитектурасын жана физикалык-механикалык касиеттерин изилдөөнүн натыйжалары келтирилген. Тритикале өсүмдүктөрүнүн жыгылууга ыңгайлуулугу белгилердин жыйындысы боюнча бааланган: 2-аралык 10 сантиметрлик саман массасы; электрондук

динамометрдин эң жогорку көрсөткүчү менен аныкталуучу сабактын сынуусуна каршылык; 2-аралыктын өзөк тканынын тыгыздыгы. Изилденген үлгүлөр бул параметрлер боюнча бир топ айырмаланып турган жана турак-жайга туруктуулуктун ар кандай даражалары менен мүнөздөлгөн. Күч параметрлеринин жыйындысынын негизинде баалуу сапаттардын булагы катары колдонула турган перспективдүү асыл тукум үлгүлөрү аныкталган. Негизги компоненттер ыкмасын колдонуу менен, жатууга каршылык көрсөтүүчү мүнөздөмөсү болуп "2-жана 3-аралык түйүндөрдүн узундуктарынын суммасы" саналат. Кластердик анализди колдонуу бир эле учурда архитектуранын изилденген мүнөздөмөлөрүнүн бүтүндөй комплексин, өсүмдүктөрдүн физикалык-механикалык касиеттерин жана өндүрүмдүүлүгүн эске алууга, үлгүлөрдү кластерлерге топтоого жана андан ары практикалык селекцияда колдонуу үчүн оптималдуу топторду аныктоого мүмкүндүк берди.

Өзөктүү сөздөр: жазгы тритикале; баалуу касиеттердин булактары; өндүрүмдүүлүк; жыгылууга каршылык.

ASSESSMENT OF LODGING RESISTANCE OF BREEDING LINES OF SPRING TRITICALE BY MULTIVARIATE STATISTICS METHODS

Grebennikova Irina (0000-0002-6357-7566),
Chanyshev Damir (0009-0005-9756-4674)

Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

Annotation: the results of the study of architectonics and physical and mechanical properties of the stems of 19 selective forms of spring hexaploid triticale of different ecological and geographical origin are presented. The susceptibility of triticale plants to lodging was evaluated by a set of traits: weight of a 10-cm straw of the 2nd internode; stem resistance to breaking determined by the peak reading of an electronic dynamometer; stem tissue density of the 2nd internode. The studied samples differed significantly in these parameters and were characterized by different degrees of the resistance to lodging. Promising breeding specimens that can be used as sources of valuable traits have been identified based on the totality of the strength parameters. Application of the principal component method allowed to identify the trait "sum of lengths of the 2nd and 3rd internodes", which was determinant in providing lodging resistance in the studied samples. The use of cluster analysis made it possible to simultaneously take into account the entire set of studied characteristics of architectonics, physical and mechanical properties and productivity of plants, group samples into clusters and identify optimal groups for further use in practical breeding.

Keywords: spring triticale; sources of valuable features; productivity; resistance to lodging.

1. Введение

Высокими перспективами использования при решении вопросов обеспечения животноводства высококачественными кормами, а населения экологически чистыми продуктами питания для современных систем земледелия, особенно биоорганического сельского хозяйства, обладает культура тритикале. Растущий интерес к тритикале, как к страховой культуре, и увеличение доли в структуре посевных площадей связаны с высокой засухоустойчивостью, способностью эффективно использовать плодородие почвы и элементы питания удобрений, высокой биологической ценностью зерна и продуктов его переработки, формированием значительной вегетативной массы, пригодной для использования в виде высококачественного зеленого корма (Розо А., 2023, Иваново, 2017). Однако расширению производства тритикале в Западно-Сибирском регионе, особенно в условиях интенсивного земледелия, препятствуют нерешенные селекционно-генетические проблемы: недостаточная устойчивость к полеганию, прорастание зерна на корню, нестабильность продуктивности, недостаточная устойчивость к болезням (Laidig F., 2022 Медведев А.М., 2017). В этой связи выделение источников ценных признаков на основе изученных показателей сортовых особенностей архитектуры и физико-механических свойств стеблей селекционных форм яровой тритикале является актуальной задачей.

2. Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили признаки 19-ти коллекционных и селекционных образцов яровых гексаплоидных тритикале из коллекций ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова (ВИР) и СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН: раннеспелый сорт К-3992 (коллекция ВИР); среднеранний сорт Арсенал (Украина); среднеспелые селекционные образцы Дитр

165, Дитр 168 (СибНИИРС), сорта Kissa полуостистый (Мексика), Тимур (Краснодар) и Укро (Россия, Украина); среднеспелые селекционные образцы (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН): Дивергент №19, Дивергент №21, Дивергент 6хА1 №19, Дивергент 6хVrnA1, ЛМК462/208, ОЗ12/29 б/ост, ОЗ12/29 ост б/опуш, ОЗ12/38, ОЗ12/153, СиАрс217; среднеспелый УК 30/33 (СибНИИРС) и позднеспелый Сирс57×Укро (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН). Данные селекционные формы принадлежат к разным группам спелости и отличаются полевой устойчивостью к мучнистой росе, пыльной и твердой головне. Описание и характеристики используемого селекционного материала, предназначенного для получения продовольственного и фуражного зерна, а также результаты оценки адаптивности приведены в работах [5-6]. Набор изучался в течение трех лет (2021-2023 гг.). За стандарт принят сорт Тимур, районированный в Западно-Сибирском регионе (Росинформагротех, 2022.).

Закладка полевых опытов проводилась в селекционном питомнике СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН ручным способом с нормой высева 90 семян на погонный метр в трехкратной повторности. Изучение селекционных образцов проводилось в соответствии с методикой государственного конкурсного испытания сельскохозяйственных культур (Григорьев А.И. 1989). Проведение фенологических наблюдений выполнялось с использованием унифицированной фенологической шкалы – кода ВВСН (Григорьев А.И. 1989). Анализ устойчивости растений к полеганию проводился с использованием визуального метода оценки в полевых условиях по 9-бальной шкале (Tottman D. 2008).

В фазе полной спелости проводилось изучение элементов продуктивности колоса и макрометрических параметров стеблей по следующим количественным признакам: длина стебля, число междоузлий, длины 2-го, 3-го и верхнего междоузлий, наружные диаметры и толщина 2-го и 3-го междоузлий,

внутренний диаметр 2-го междоузлия, масса отрезка соломины 2-го междоузлия, длина остей колоса. Продуктивность определялась по признакам длины, плотности и массы колосьев.

Прочность стебля второго междоузлия измерялась при помощи экспериментальной установки, изготовленной в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН. Момент излома образца или достижения максимальной нагрузки, при которой происходило «течение» ткани стебля, фиксировался пиковым показанием электронного динамометра DACELL DN-FGA-K2/20H (2 кг)/ $\pm 0,2\%$ (Корея). Описание установки, методики подготовки образцов и определения прочностных характеристик стеблей приведены в предыдущем исследовании (Гребенникова И.Г., 2024).

Степень сопряженности параметров архитектоники и физико-механических свойств стеблей с урожайностью и устойчивостью к полеганию анализировали с помощью программного пакета Statistica 10.0 (StatSoft Inc). Для многопараметрической оценки экспериментальных данных применяли метод двухфакторного дисперсионного анализа, метод главных компонент и кластерный анализ. Дифференциация кластеров определялась по методу К-средних.

3. Результаты исследования

Одним из лимитирующих факторов повышения урожайности тритикале является полегание растений, которое препятствует механизированной уборке посевов, увеличивает предуборочное прорастание зерна, поражаемость болезнями и может привести к потере до 50% урожая (Медведев А.М., 2017.), (Успенская В. А. 2018.) (Крупин П.Ю., 2019). Формирование мелкого зерна с низкой массой 1000 зерен в результате нарушения транспортировки ассимилянтов в колос – частое явление при полегании [13, 14].

Кроме того, листья полеглих растений из-за условий повышенной влажности могут стать благоприятной средой для распространения болезней, снижающих урожай и качество зерна (Feng S., 2019, Shah L., 2019).

Успехи российских ученых доказывают высокий потенциал продуктивности и коммерческую ценность тритикале с цитоплазмой пшеницы гексаплоидного уровня (ssp. triticales Tscherm., T/AABBRR, $2n=6x=42$) (Медведев А.М., 2017) (Крохмаль А. В., 2013) (Ковтуненко В.Я., 2016) Процесс создания новых сортов неразрывно связан с выявлением генотипов, пригодных для возделывания в условиях определенной климатической зоны и характеризующихся оптимальной высотой (90–110 см), прочным стеблем и хорошо развитой корневой системой (Успенская В. А. 2018).

Метеорологические условия наблюдаемого периода (отсутствие шквалистого ветра, сильного ливня и града) не способствовали активному полеганию растений. В фазы кущения и цветения балл устойчивости был близок к максимальному значению (8-9 баллов). В фазы восковой спелости и созревания зерна изгиб стебля имели образцы: О312/29 б/ост, О312/29 ост б/опуш., О312/38 и О312/153.

Показатель длины стебля большинства образцов за период исследования варьировал от 74 до 104 см. Ранжирование по высоте в соответствии с методикой [19] выделило следующие группы растений: высокорослые (> 120 см) – 1 образец: О 312/29 б/ост.; среднерослые (120-105 см) – 1 образец: О 312/29 ост.; низкорослые (104-85 см) – 7 образцов: Kissa, ЛМК, Укро, УК 30/33, К-3992, О 312/153 и О 312/38; полукарлики (84-60 см) – 8 образцов: Арсенал, Дитр 165, Дитр 168, Дивергент 6хVrnA1, Дивергент №21, Тимур, СиАрс 217 и Сирс57 х Укро; карлики (< 60 см) – 2 образца: Дивергент №19 и Диверг 6хA1 №19 (рис. 1).

Работы авторов (Kalih R., 2014)

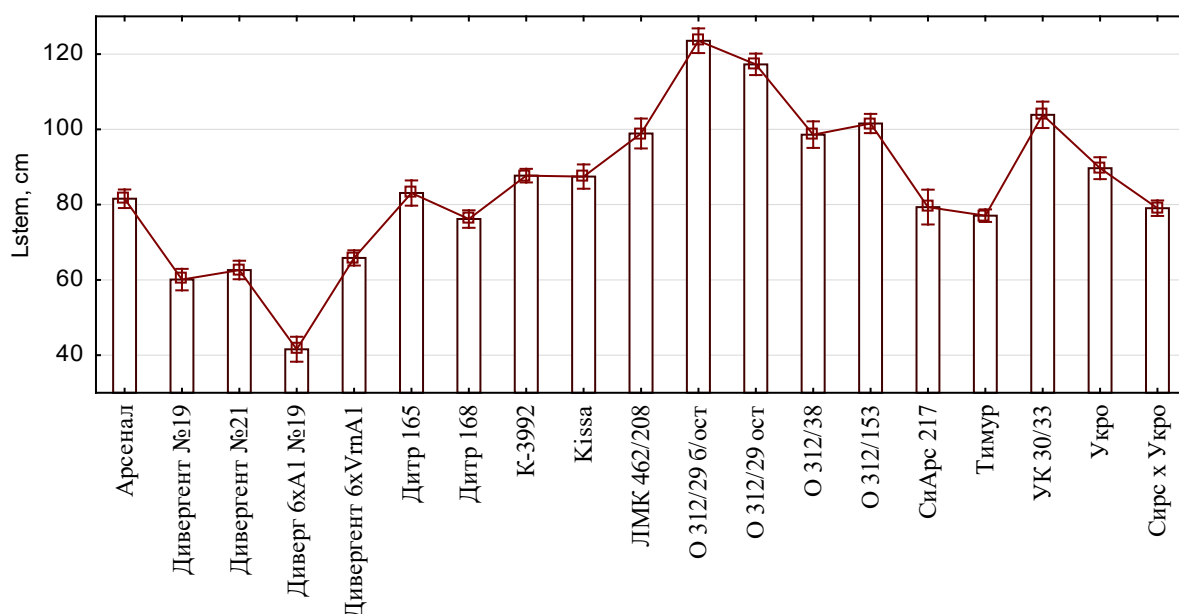


Рис 1. Значения параметра длины стебля исследуемых селекционных образцов яровых тритикале за период исследований (2021-2023 гг.). Доверительный интервал на уровне $\pm 0,95$.

(Зайцева И.Ю., 2020) подтверждают наличие корреляционной зависимости между показателями длины стебля и устойчивостью к полеганию. Однако в литературе также имеются сведения о негативном влиянии генов карликовости на

увеличение восприимчивости растений к грибным болезням (Kalih R., 2014), (Цильке Р.А. 2003). В связи с чем можно сделать вывод о нецелесообразности проведения отбора из популяции дивергентных форм.

Результат проведенного

Таблица 1. Величина и изменчивость макроструктурных признаков стеблей образцов яровой тритикале за период исследования (2021 – 2023 гг.)

№	Name	L_{II}	L_{III}	L_{Top}	$Width_{II}$	$Width_{III}$	d_{II}
1	О312/29 б/ост	17,30*	17,30*	45,66*	0,57	0,51*	3,28*
2	О312/29 ост	16,93*	16,93*	43,26*	0,56*	0,51*	3,08
3	УК 30/33	14,84*	14,84*	38,11*	0,55*	0,53*	3,11*
4	О312/153	15,13*	15,13*	31,21*	0,56*	0,55*	2,99
5	ЛМК462/208	13,91*	13,91*	37,17*	0,61	0,58*	3,29*
6	О312/38	15,11*	15,11*	32,83*	0,56*	0,58*	3,02*
7	Укро	13,99*	13,99*	31,34	0,56*	0,52*	3,21*
8	Kissa п/о	12,87*	12,87*	32,48	0,54*	0,53*	3,26*
9	К-3992	14,37*	13,85*	32,84*	0,51*	0,49*	3,29*
10	Дитр 165	14,79*	14,79*	31,22*	0,57*	0,57*	2,65
11	Арсенал	13,57*	13,57*	26,90*	0,56*	0,55*	2,74
12	СиАрс217	10,36	10,36	26,40*	0,63	0,57*	3,13*
13	Сирс57×Укро	9,48	9,48*	23,09	0,59*	0,55*	3,41*
14	Дитр 168	11,17*	11,17	26,97*	0,59*	0,55*	2,69

15	Тимур	10,42	10,42	30,03	0,66	0,65	2,09
16	Дивергент 6хVrnA1	9,97	9,97*	18,59*	0,72*	0,70*	2,56
17	Дивергент 21	10,78	10,78	17,71*	0,68	0,65	2,58
18	Дивергент 19	9,78	9,73*	16,68*	0,74*	0,71*	2,60
19	Дивергент 6хA1 19	7,80*	7,80*	14,61*	0,69*	0,63	2,36
Среднее		13,07	21,56	29,26	0,60	0,56	2,92
Коэф. вариации С , %		28,25	27,35	33,17	24,08	26,24	12,89

где LII, LIII и LTop – длины 2-го, 3-го и верхнего междоузлий, см; WidthII и WidthIII – толшины 2-го и 3-го междоузлий, мм; dII – внутренний диаметр 2-го междоузлия, мм; С, % – коэффициент вариации. Достоверные отличия от стандарта: * $p < 0,05$.

биометрического анализа конструктивных элементов, определяющих прочностные свойства стебля, позволил выявить наличие сортовой специфики у исследуемых селекционных образцов (табл.1).

Наиболее выполненной соломиной, т.е. максимальным значением толщины стенки второго междоузлия (WidthII), и наименьшим значением длины второго (LII) междоузлия, на уровне стандартного сорта Тимур, обладали все дивергентные формы (WidthII= 0,69-0,74 мм; LII = 7,80-10,78 см), а также гибриды с озимым сортом Сирс57: СиАрс217 и Сирс57×Укро (WidthII= 0,59-0,63 мм; LII= 9,48-10,56 см). Статистическая оценка выявила среднюю и сильную степень варьирования макроструктурных признаков соломины растений ($C_v > 20\%$).

Продуктивность растений существенно различалась в зависимости от условий среды. Завязывание зерновок при длительной засухе 2023 г., характеризующейся дефицитом влаги в фазах выхода в трубку, цветения и колошения, происходило только в первых и вторых цветках колоска, что в целом определило снижение результирующего признака.

В благоприятном по климатическим условиям 2022 г. у растений формировался продуктивный колос с повышенной озерненностью. Максимальную продуктивность имели следующие образцы: Сирс57×Укро (6,35 г), О312/29 б/ост. (5,26 г), Kissa п/о и ЛМК 462/208 (4,98), О312/29 ост. б/опуш (4,91 г). В целом

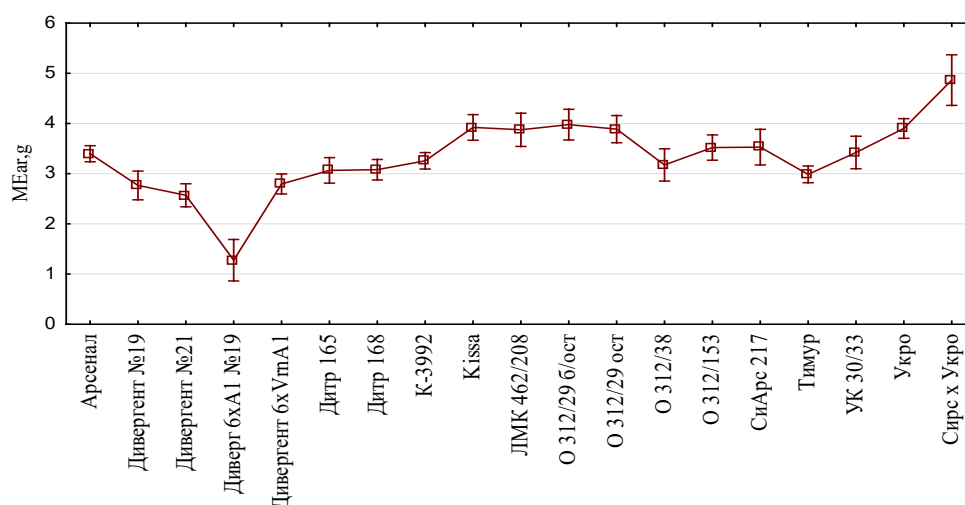


Рис. 2. График средних значений признаков массы колоса за период исследований. Доверительный интервал на уровне $\pm 0,95$.

за период исследований максимальную продуктивность имели следующие образцы: Сирс57×Укро (4,9 г); Укро, Kissa п/о, ЛМК 462/208, О312/29 б/ост. и О 312/29 ост (3,9 г) (рис. 2).

Оценка прочностных свойств исследуемых образцов, определяемая по совокупности признаков сопротивления стебля излому, массе 10 см соломины и плотности ткани второго междоузлия, выявила существенные различия селекционных образцов. Установлено, что при схожих значениях макрометрических

параметров соломины второго междоузлия растения различались по величине сопротивления нагрузке, характеризующей предел текучести ткани образца при изломе стебля или необратимой деформации. Наибольшими значениями параметра прочности на излом характеризовались образцы: О312/29 б/ост. ($F = 2,99$ кг), ЛМК462/208 ($F = 2,84$ кг), О312/29 ост.б/опуш. ($F = 2,68$ кг), СиАрс217 ($F = 2,60$ кг), Тимур ($F = 2,52$ кг), Сирс57×Укро ($F = 2,48$ кг). Наибольший параметр плотности ткани имела длинностебельная форма О312/29 б/

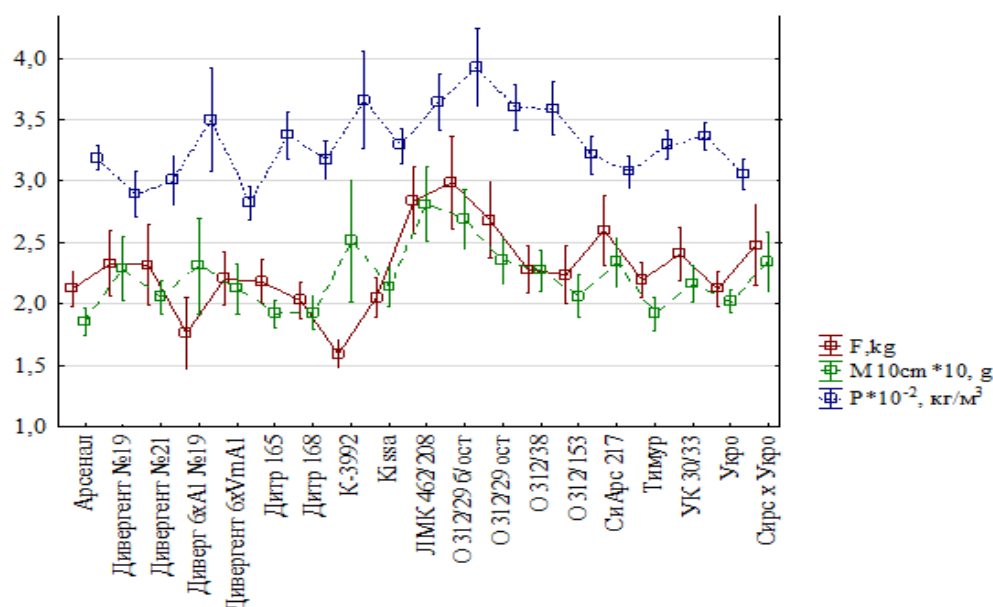


Рис. 3. Прочностные характеристики исследуемых образцов яровых тритикале в фазе полной спелости. Доверительный интервал на уровне $\pm 0,95$.

ост. (рис. 3). По максимальному значению совокупности физико-механических свойств и достоверному различию с сортом Тимур выделились следующие селекционные формы: СиАрс217, О312/29 ост.б/опуш., ЛМК462/208 и О312/29 б/ост.

Для выявления дополнительных взаимосвязей между неявно связанными параметрами в селекционных исследованиях применяется метод главных компонент (РСА) (Ибятков Р.И., 2019), (Zobel R. W., 1988). В результате проведения процедуры

отбора количества рассчитанных главных компонент (ГК) к нормированным данным по правилу Кайзера (Wheelan C. 2013;320.) размерность исходных данных была понижена с двадцати одного до четырех входных факторов, определяющих общую дисперсию на 70,3 %. Ранжирование наблюдений по параметру «Мощность» в диапазоне измерения от 0 до 1 (табл. 2) выявило признак «сумма длин 2-го и 3-го междоузлий», являющийся косвенным признаком устойчивости к полеганию у

Таблица 3. Состав кластеров селекционных образцов яровых тритикале за 2021-2023 гг.

Год	Кластер	Название образца
2021	1	ЛМК462/208, О312/29 б/ост., О312/29 ост., О312/38, О312/153, УК 30/33, Укро
	2	Арсенал, Дитр 165, Дитр 168, Kissa п/о, СиАрс217, Тимур
	3	К-3992
	4	Дивергент №19, Дивергент №21, Дивергент 6хА1 №19, Дивергент 6хVrnA1
2022	1	СиАрс217, Сирс57×Укро
	2	Арсенал, Дитр 165, Дитр 168, К-3992, Kissa п/о, Тимур, Укро
	3	ЛМК462/208, О312/29 б/ост., О312/29 ост.б/опуш., О312/38, О312/153, УК 30/33
	4	Дивергент №19, Дивергент №21, Дивергент 6хVrnA1
2023	1	Арсенал, Дитр 165, Дитр 168, Тимур, УК 30/33
	2	ЛМК462/208, О312/29 б/ост., О312/29 ост., О312/38
	3	Дивергент №19, Дивергент №21, Дивергент 6хVrnA1, СиАрс217, Сирс57×Укро
	4	К-3992, Kissa п/о, О312/153, Укро

изучаемых селекционных форм.

По комплексу хозяйственно- и селекционно-значимых признаков и свойств селекционные образцы яровых тритикале были сведены в группы с помощью кластерного анализа в программе Statistica 10. Кластеризация методом Варда позволила сформировать относительно компактные кластеры, состоящие из сходных объектов. В качестве меры различия (несходства) образцов было выбрано евклидово расстояние. В таблице 3 приведены объединенные в кластеры группы образцов за период исследования.

Различия климатических условий периода исследований внесли изменения в набор входящих в кластер селекционных форм. Однако часть образцов со схожими признаками имели постоянную кластерную принадлежность.

Анализ выявил следующие устойчивые по комплексу признаков группы:

1. Арсенал, Дитр 165, Дитр 168 и Тимур.
2. ЛМК462/208, О312/29 б/ост., О312/29 ост., О312/38.
3. К-3992, Kissa п/о.

4. Дивергент №19, Дивергент №21, Дивергент 6хА1 №19 и Дивергент 6хVrnA1, Сирс57×Укро, СиАрс217.

Применение графического метода К-средних позволило уточнить состав и отличие выделенных кластеров по средней выраженности проанализированных признаков (рис. 4).

Анализ графика средних дает предположение об эффективности отбора образцов из второго и третьего кластеров по элементам продуктивности колоса и признаку устойчивости к полеганию, выделенному методом PCA (LII+LIII).

4. Обсуждение

Выявление неполегающих растений методами визуального анализа в полевых условиях имеет низкую результативность по причине метеорологических условий. В связи с чем немаловажное значение в селекционном процессе приобретает определение второстепенных, так называемых маркерных признаков, способствующих на ранних этапах селекции повышению эффективности отбора генотипов по комплексу хозяйственно ценных признаков.

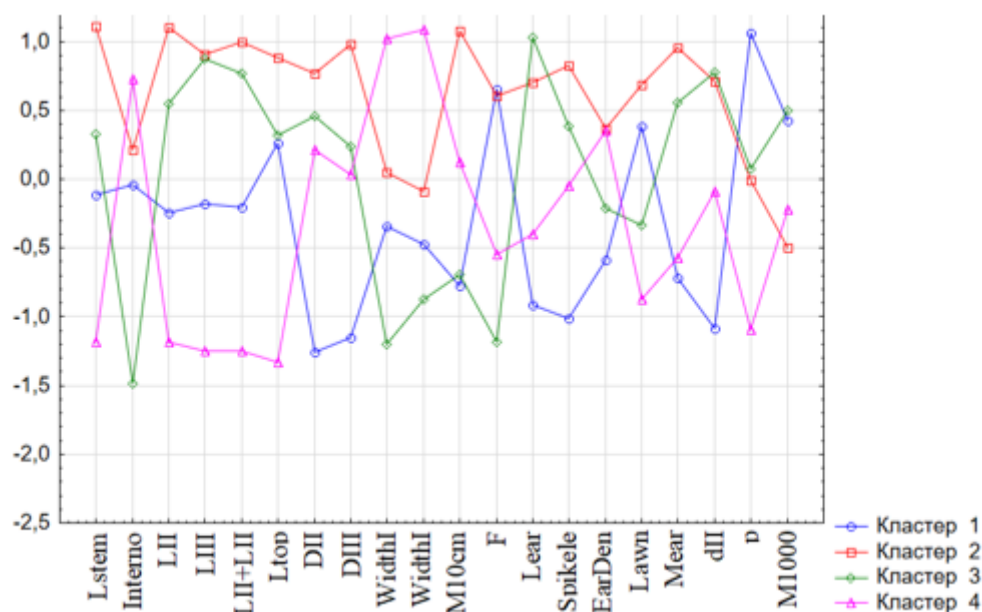


Рис. 4. График средних значений по кластерам за период исследований.

В результатах исследований Kong et al., Yang et al. приведены данные о наличии положительной корреляционной связи устойчивости к полеганию стеблей растений пшеницы, тритикале и ржи с параметрами толщины стенок соломины и высотой растений, контролируемые сложной системой генов и факторами внешней среды (Kong E., 2013), (Yang Y., 2022). Работы авторов (Kalih R., 2014) – (Зайцева И.Ю., 2020) подтверждают наличие корреляционной зависимости между показателями длины стебля и устойчивостью к полеганию. Однако в литературе также имеются сведения о негативном влиянии генов карликовости на увеличение восприимчивости растений к грибным болезням (Kalih R., 2014), (Цильке Р.А. 2003). В исследованиях В.Н. Тищенко с коллегами показана возможность использования признака «толщина соломины второго междоузлия» при отборах на продуктивность у селекционных образцов озимой пшеницы (Тищенко В.Н., 2021).

Для практических целей селекции надежным показателем прочности стебля, по мнению авторов Yang et al., Stubbs et al., может служить сопротивление стебля

излому, отражающее собой развитие и архитектуру механических элементов тканей стебля (Yang Y., 2022), (Stubbs C., 2020). В работе авторов Wang et al. показано, что увеличение толщины стенок соломины повышает механическую прочность стебля и устойчивость к полеганию [Wang D., 2016;27).

Однако, как было показано Р.А.Цильке, растения с толстым стеблем, как правило имеют пониженную продуктивность колоса. В Сибири проблему устойчивости сортов к полеганию необходимо решать за счёт полигенных систем, контролирующих длину стебля, морфологические и анатомические признаки, обуславливающие его устойчивость, а не за счёт генов карликовости с сильными индивидуальными эффектами (Цильке Р.А. 2003).

В настоящем исследовании по результатам анализа признаков архитектуры, продуктивности и физико-механических свойств коллекционных и селекционных образцов яровых гексаплоидных тритикале нами выявлены адаптивные неполегающие формы. Применение методов многомерной статистики способствовало объективной оценке степени сходства сортов и гибридов

по комплексу показателей и выявлению дополнительных взаимосвязей между неявно связанными параметрами.

Результаты применения метода главных компонент согласуются с результатами исследований в работе В.Г. Захарова и др., полученными при выявлении сопряженности анатомо-морфологических признаков с устойчивостью к полеганию яровой мягкой пшеницы (Захаров В.Г., 2014).

В селекционных исследованиях метод кластерного анализа применяется с целью выявления контрастно различающиеся групп растений исходного селекционного материала и группировки их по сходным параметрам (Плешаков А. А., 2021)-(Гречишкина О.С., 2021). В нашей работе результаты кластерного анализа были дополнены методом К-средних, позволившим при помощи графического представления средних нормализованных значений признаков произвести уточнение количества и состава кластеров по годам исследований и выделить отличие кластеров по средней выраженности проанализированных признаков.

5. Заключение

В результате проведенной оценки выявлено наличие сортовой специфики у исследуемых селекционных форм. Применение статистических многопараметрических методов позволило определить диапазон оптимальных параметров высокоурожайных сортов для конкретных условий возделывания, выделить у исследуемых образцов маркерные признаки устойчивости к полеганию, учесть совокупность изучаемых признаков архитектоники, физико-механических свойств и продуктивности растений и выделить оптимальные группы для дальнейшего использования в практической селекции.

6. Использованная литература

1. Pozo A., Mendez-Espinoza A., Castillo D. Neglected and Underutilized Crops.

Triticale. Publisher: AcademicPress. 2023. P. 325-350.

2. Инновационные сорта и технологии возделывания ярового тритикале: коллективная монография. ФГБНУ ВНИИОУ. Владимир: ПресСто; Иваново, 2017. 295 с.

3. Laidig F., Feike T., Klocke B., Macholdt J., Miedaner T., Rentel D., Piepho H.-P. Yield reduction due to diseases and lodging and impact of input intensity on yield in variety trials in five cereal crops. *Euphytica*. 2022;218(10):150. DOI 10.1007/s10681-022-03094-w.

4. Медведев А.М., Медведева Л.М., Пома Н.Г., Осипов В.В., Осипова А.А. Озимая и яровая тритикале в Российской Федерации. Колл. монограф. М.: МосНИИСХ, 2017; 154 – 195.

5. Grebennikova I.G., Steepochkin P.I. Optimization of the breeding process of lodging-resistant varieties of spring triticale // *E3S Web of Conferences (AGRITECH-VIII 2023)*. 2023. Vol. 390(2), 03008.DOI: 10.1051/e3sconf/202339003008.

6. Гребенникова И.Г., Чешкова А.Ф., Стёпочкин П.И., Алейников А.Ф., Чанышев Д.И. Методика оценки экологической пластичности сортов злаковых культур // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 50. № 2. С. 100-108.

7. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (офиц. изд.). М.: Росинформагротех, 2022.

8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Григорьев А.И. (ред.). М.: Колос, 1989;194.

9. Tottman D. The Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Annals of Applied Biology*. 2008; 110(2):441–454. DOI 10.1111/j.1744-7348.1987.tb03275.x

10. Гребенникова И.Г., Чанышев Д.И. Оценка устойчивости к полеганию яровых тритикале на основе изучения физико-механических свойств. *Сибирский*

вестник сельскохозяйственной науки. 2024;54(4):31-40.

11. Успенская В. А. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции озимой тритикале на северо-западе РФ. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, Т. 179, вып. 3, 2018. С. 85-94.

12. Крупин П.Ю., Черноок А.Г., Карлов Г.И., Соловьев А.А., Коршунова А.Д., Дивашук М.Г. Изучение эффекта генов короткостебельности пшеницы (*triticum aestivum* L.) и ржи (*secale cereal* L.) на примере расщепляющейся популяции яровой тритикале в условиях вегетационного опыта. Сельскохозяйственная биология. 2019; 54(5):920-933. DOI 10.15389/agrobiology.2019.5.920rus.

13. Khobra R., Sareen S., Meena B.K., Kumar A., Tiwari V.K., Singh G.P. Exploring the traits for lodging tolerance in wheat genotypes. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2019; 25(3):589-600. DOI 10.1007/s12298-018-0629-x.

14. Агеева Е.В., Леонова И.Н., Лихенко И.Е. Полегание пшеницы: генетические и экологические факторы и способы преодоления. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;24(4):356-362. DOI 10.18699/VJ20.628.

15. Feng S., Kong D., Ding W., Ru Z., Li G., Niu L. A novel wheat lodging resistance evaluation method and device based on the thrust force of the stalks. *PLoS One*. 2019;14(11):0224732. DOI 10.1371/journal.pone.0224732.

16. Shah L., Muhammad Y., Shah S., Nadeem M., Ali A. Improving Lodging Resistance: Using Wheat and Rice as Classical Examples. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(17):4211. DOI 10.3390/ijms20174211.

17. Крохмаль А. В., Грабовец А. И. Роль рекомбинаций в селекции озимой тритикале на продуктивность. Известия ОГАУ. 2013;43(5):62–64.

18. Ковтуненко В.Я., Панченко В.В., Калмыш А.П. Селекция тритикале с пшеничным типом зерна. *Зерновое*

хозяйство России. 2016;(1):42-47.

19. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы. Л.: ВИР, 1987;178.

20. Kalih R., Maurer H. P., Hackauf B., Miedaner T. Effect of a rye dwarfing gene on plant height, heading stage, and Fusarium head blight in triticale (*×Triticosecale* Wittmack). *Theoretical and Applied Genetics*. 2014;127(7):1527-1536. DOI: 10.1007/s00122-014-2316-9

21. Packa D., Wiwart M., Suchowilska E., Dienkowska T. Morpho-anatomical traits of two lowest internodes related to lodging resistance in selected genotypes of *Triticum*. *Int. Agrophys.* 2015;29:475-483. DOI 10.1515/intag-2015-0053.

22. Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(3):32-40. DOI 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40.

23. Цильке Р.А. Генетика, цитогенетика и селекция растений. Собрание. науч. тр. Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2003;622.

24. Ибяттов Р.И., Шайхутдинов Ф.Ш., Валиев А.А. Анализ факторов, влияющих на урожайность яровой пшеницы в условиях серых лесных почв республики Татарстан, методом главных компонентов. Вестник Казанского ГАУ. 2019;54(3):31-36. DOI 10.12737/article_5db85417285939.59140198.

25. Zobel R. W., Wright M. J., Gauch H. G. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy journal*. 1988;80 (3):388–393.

26. Wheelan C. Naked Statistics: Stripping the Dread from the Data. New York: W.W. Norton & Company, 2013;320.

27. Kong E., Liu D., Guo X., Yang W., Sun J., Li X., Zhan K., Cui D., Lin J., Zhang A. Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat. *The Crop Journal*. 2013;1(1):43-49. DOI: 10.1016/j.cj.2013.07.012.

28. Yang Y., Liu H., Tian X., Du

W. Lodging resistance and feeding quality of triticale and cereal rye lines in an alpine pastoral area of P. R. China. *Agronomy Journal*. 2022;114(2):1284-1297. DOI 10.1002/agj2.21012.

29. Тищенко В.Н., Динец О.Н. Особенность формирования признака «толщина соломины второго междоузлия» и его значение в технологии селекционного процесса озимой пшеницы. *Вестник Курганской ГСХА*. 2021;4:22-28. DOI 10.52463/22274227_2021_40_22.

30. Stubbs C., Oduntan Y., Keep T., Noble S., Robertson D. The effect of plant weight on estimations of stalk lodging resistance. *Plant Methods*. 2020;16(128):1-18. DOI 10.1186/s13007-020-00670-w.

31. Wang D., Ding W., Feng S. Stem characteristics of different wheat varieties and its relationship with lodging-resistance. *The journal of applied ecology*. 2016;27(5):1496-1502. DOI 10.13287/j.1001-9332.201605.039.

32. Захаров В.Г., Сюков В.В., Яковлева О.Д. Сопряженность анатомо-морфологических признаков с устойчивостью к полеганию яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(3):506-510.

33. Плешаков А. А., Цаценко Л.В., Савиченко Д. Л. Кластеризации коллекционных сортообразцов озимой пшеницы по элементам продуктивности колоса. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2021;168:195-207. DOI 10.21515/1990-4665-168-014.

34. Шаманин В.П., Петуховский С.Л., Краснова Ю.С. Кластерный анализ сортов мягкой яровой пшеницы по элементам структуры урожая в южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Красноярского ГАУ*. 2016;4:147-152.

35. Гречишкина О.С., Хутамбирдина Р.Д., Мордвинцев М.П. Изучение генофонда рабочей коллекции яровой мягкой пшеницы по урожайности и структурным элементам урожая с

использованием кластерного анализа. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021;6(92):24-30.