

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОРТОВ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПО НАКОПЛЕНИЮ ПРОЛИНА В ТЕЧЕНИЕ ОСЕННЕ-ЗИМНЕГО ПЕРИОДА**Гильмуллина Л.Ф., Маннапова Г-з.С., Илалова Л.В., Маннапова Г-ра С.**

Реферат. Цель данного исследования – выявить видовые и сортовые различия в накоплении пролина у озимых зерновых культур в условиях Республики Татарстан. Материалом для исследований стали листья растений озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), озимой ржи (*Secale cereale* L.) и озимой тритикале (*Triticosecale* Witt.). Эксперименты проведены в условиях естественных стресс-факторов трех последовательных вегетационных периодов 2014–2017 годов. Для определения состояния зимующих растений в динамике определяли содержание свободного пролина по методу Бейтса. Показано, что средние значения содержания пролина у озимой ржи и тритикале с октября по декабрь повышались, а в феврале уменьшились. У озимой пшеницы шло дальнейшее повышение показателя. Амплитуда колебаний в декабре у озимой ржи составила 5.18–13.52 мкмоль/г, у озимой тритикале – 9.47–23.15 мкмоль/г, у озимой пшеницы – 25,81–32,98 мкмоль/г. Наибольшая изменчивость значений пролина у изучаемых культур отмечена в феврале. Для каждой из озимых культур была выявлена своя норма реакции по данному критерию. Однако существует и внутривидовая специфика динамики синтеза и распада свободного пролина. Среди изученных сортов и гибридов озимой ржи выделились 3 группы, отличающиеся между собой. Концентрация пролина в листьях озимой тритикале приближалась к значениям озимой ржи, а по динамике накопления – к озимой пшенице.

Ключевые слова: озимые культуры, рожь, пшеница, тритикале, сорта, гибриды, зимний стресс, пролин, метод Бейтса.

Введение. Озимые хлеба в отличие от яровых полнее реализуют свой генетический потенциал урожайности, питательные вещества и влагу осеннего периода, имеют продолжительный вегетационный период. Однако, это возможно только при одном важном условии – успешной перезимовке [1].

Комплекс неблагоприятных внешних условий, действующих на растения в зимнее время, крайне разнообразен и зависит от конкретного региона, складывающихся погодных факторов и подготовки растений к этому периоду. Чаще всего его называют зимостойкостью, которая зависит от устойчивости к низким температурам, выпревания, вызванного длительным залеганием снега и ряда других повреждающих причин.

Мороз является одним из наиболее распространенных экологических стрессов, которые серьезно влияют на рост и развитие озимых растений. Однако растения обладают соответствующими защитными механизмами, связанными с физиологическими, биохимическими и молекулярными процессами, которые запускаются при наступлении неблагоприятных условий и позволяют им выдерживать, а иногда, даже выживать при сильном воздействии стрессоров [2, 3].

Озимые культуры в силу своих генетических особенностей по-разному реагируют на зимние стрессы. Качество перезимовки растений зависит от многих факторов: продолжительности фазы закалывания, вида растений, сорта и метеорологических условий. Так, сорта, проявившие себя в одних районах как

наиболее зимостойкие, могут оказаться значительно менее устойчивыми в других. Поэтому морозостойкость рассматривается как ограничивающий фактор возделывания той или иной культуры в регионе [4]. Но большинство исследователей утверждают, что в порядке убывания их можно расположить в следующем порядке: озимая рожь → озимая тритикале → озимая пшеница [5,6]. Однако в отдельные годы неблагоприятные условия и повреждающие зимние температуры могут привести к гибели посевов всех озимых культур, что приводит к отказу от их возделывания в некоторых регионах [7].

В последние годы изменения и аномалии климата на планете обсуждаются на межгосударственном уровне [8]. Особую значимость эта проблема имеет для селекционной науки. Прогресс в улучшении устойчивости к зимнему стрессу идет сравнительно медленно, что еще более усугубляется его переменным возникновением на протяжении многих лет.

Дополнительным осложнением при изучении морозостойкости является то, что данный признак может детерминироваться несколькими генами, а также генами развития с плейотропными эффектами [9].

В связи с этим использование различных (генетических, селекционных, интродукционных, агротехнических и т.п.) способов повышения устойчивости и тестирования растений в отношении к абиотическим стрессам является актуальной и долгосрочной задачей сельскохозяйственной биотехнологии. Ее успешное решение невозможно без оценки результа-

та, то есть без применения наиболее эффективных методов диагностики устойчивости [10].

Наиболее полное представление о зимостойкости сорта озимых дают полевые испытания, в результате которых растения подвергаются комплексному воздействию сочетания неблагоприятных факторов и преобладающему из них. Предпочтение отдают сортам, проявившим в данном регионе высокую устойчивость к преобладающему повреждающему фактору [11].

Пролин был признан в качестве многофункциональной молекулы, накапливающийся в высоких концентрациях в ответ на различные абиотические стрессы. Он способен защищать клетки от повреждений, действуя в качестве осмотического агента и акцептора радикалов. Пролин, накопленный во время наступления стресса, деградирует, чтобы обеспечить запас энергии и стимулировать рост, как только напряжение снимается.

Пролиновый гомеостаз важен для активно делящихся клеток – это помогает поддерживать устойчивый рост в рамках долгосрочного стресса [12]. Эта аминокислота является не только необходимым компонентом белков, но она также играет важную роль в адаптации к осмотическому напряжению, в контроле окислительно-восстановительного процесса и апоптоза [13]. Под воздействием низких отрицательных температур в растительных клетках запускаются механизмы, останавливающие процесс образования кристаллов льда, предотвращая обезвоживание цитоплазмы. В клетках растений активируется антиоксидантная система [14].

При этом относительный вклад протекторной, осморегуляторной и других функций пролина может изменяться в онтогенезе и определяться природой стрессора, интенсивностью и продолжительностью его действия [15].

Несмотря на многочисленные литературные данные, свидетельствующие о полифункциональной роли пролина у растений в стрессовых условиях, суждения о связи между содержанием пролина в растениях и их устойчивостью к действию абиотических стрессоров далеко неоднозначны. Serraj R., Sinclair T.R [16] считают, что значительное накопление пролина в клетках растений во время стресса является не защитной реакцией, а индикатором повреждения клеток стрессовыми факторами. Такие разночтения могут быть обусловлены различными причинами: сила стрессовых факторов, генетические особенности изучаемых образцов, различные физиологические и биохимические реакции в растительных клетках и степень вовлеченности в эти процессы самого пролина.

По данным [17], существуют различные методы количественного определения пролина – фотоколориметрические, хроматографические (ВЭЖХ, ГЖХ), электрофоретические, микробиологические спектрофотометрические. Все они являются достоверными, но в то же время сопряжены с такими трудностями, как: дорогостоящая аппаратура, использование токсичных веществ, длительность проведения анализа. Самым популярным методом определения содержания свободного пролина является классический метод Бейтса с использованием различных модификаций [16, 17, 18].

Цель данного исследования – выявить видовые и сортовые различия в накоплении пролина у озимых зерновых культур в условиях Республики Татарстан.

Условия, материал и методы исследований. Материалом для исследований стали листья растений озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), озимой ржи (*Secale cereale* L.) и озимой тритикале (*Triticosecale* Witt.), высеванных в посевных ящиках, заполненных торфяным грунтом (размер 70 x 40 x 20 см). Срок посева – 3-5 сентября. В изучении находились сорта и гибриды первого поколения разных селекционных учреждений:

1. популяционные сорта ржи Радонь, Тантана, Татарская 1 и Огонек (нашей селекции), Памяти Кунакбаева (Башкирский НИИСХ), Таловская 41 (Воронежский НИИСХ);

2. гибриды F1 озимой ржи (С24, С 25, С 26) селекционной фирмы KWS LOCHOW GMBH;

3. сорта озимой тритикале: Немчиновский 56 (Московский НИИСХ), Корнет (Донской НИИСХ), Бета (Татарский НИИСХ, НПЦ НАН Беларуси по земледелию), Светлица (Татарский НИИСХ), Михась, Пятрусь (НПЦ НАН Беларуси по земледелию);

4. сорта озимой пшеницы: Казанская 285, Казанская 560 (Татарский НИИСХ).

Ящики находились в одинаковых условиях воздействия естественных стресс-факторов трех последовательных вегетационных периодов 2014-2017 годов. Для определения состояния зимующих растений в динамике определяли содержание свободного пролина по методу Бейтса с коллегами [19].

С этой целью 5 г свежей гомогенизированной растительной ткани заливали 10 мл дистиллированной воды и ставили в кипящую водяную баню на 10 минут. Полученный экстракт отфильтровывали в чистые пробирки. К 2 мл экстракта приливали 2 мл кислого нингидрина, 2 мл ледяной уксусной кислоты и ставили в кипящую водяную баню на 1 час. Реакционные пробирки охлаждали в ледяной бане, добавляли по 4 мл толуола (или бензола) и интенсивно встряхивали в течение 20 се-

кунд. Показания светопоглощения снимали напротив синего светофильтра фотоэлектроколориметра ФЭК-56М. Расчет содержания свободного пролина проводили по формуле с использованием калибровочной кривой, построенной по L-пролину ($\geq 99\%$ Aldrich).

[Кол-во пролина мкг \times кол-во толуола мл/115.5мкг/мкмоль]/[масса навески/5] = мкмоль пролина на 1 г сырой навески.

Данные по метеоусловиям на дату отбора материала представлены в таблице 1, из которой следует, что высота снега варьировала от 0 до 65 см, температура на глубине узла кушения – от +1,9 до -3,3⁰С. Среднесуточная температура воздуха за исключением двух дат была теплее нормы. Несмотря на это, полное таяние снежного покрова в 2015 г. отмечено 18 апреля, в 2016 г. – 10 апреля, в 2017 г. – 21 апреля.

Анализ и обсуждение результатов. Общая динамика накопления свободного пролина в листьях популяционных сортов озимой ржи представлена на рисунке 1. Наблюдается общая тенденция повышения содержания пролина от 2,90-5,62 мкмоль/г осенью и его увеличение в зимние месяцы до 8,91-13,46 мкмоль/г. Причем, популяционные сорта ржи имеют разную динамику накопления пролина. Для некоторых сортов (рис.1А) характерным является максимальное содержание свободного пролина в листьях в зимние месяцы: Татарская 1 (8,30 мкмоль/г), Огонек (13,46 мкмоль/г) и Тантана (9,31 мкмоль/г) и его постепенное снижение к весне на 36,8%, 41,1% и 22,9%, соответственно. Сорта озимой ржи Памяти Кунакбаева, Галовская 41 и Радонь в начале весны (в марте) имеют такую же высокую концентрацию пролина в листьях, как и в зимние месяцы: 12,61; 13,11; 11,28 мкмоль/г, соответственно (рисунок 1Б).

Как видно из рисунка 2, в октябре-ноябре у гибридов F₁ озимой ржи концентрация свободного пролина (в среднем) составила 3,88 мкмоль/г. Средние значения признака в зимние месяцы варьировали от 6,52 до 9,82 мкмоль/г. Содержание пролина в листовых пробах гибридных сортов оказалось ниже, чем у популяционных сортов: на 11,9% в декабре и на 38,7% в январе-феврале. В марте у гибридов наблюдался скачок пролина до 14,44 – 19,20 мкмоль/г по сравнению с максимальными зимними показателями 8,76 – 10,09 мкмоль/г. Это значение на 36,3% выше, чем у популяционных сортов в аналогичный период.

Для сравнения накопления пролина в период перезимовки были выбраны два сорта озимой пшеницы Казанская 560 и Казанская 285 (рисунок 3) В отличие от озимой ржи, которая довольно мобильно реагирует на резкие изменения окружающих условий, пролиновая реакция пшеницы в зимние месяцы другая. Наблюдается постоянный прирост пролина: от 5,23-8,29 мкмоль/г в осенние месяцы до 14,46 – 31,62 мкмоль/г в декабре и пики максимального содержания в январе-феврале (22,85 – 35,67 мкмоль/г). Можно предположить, что растения озимой пшеницы более чувствительны к зимнему стрессу, чем растения озимой ржи. К марту наблюдается резкое снижение концентрации пролина у сорта Казанская 285 – в 3,5 раза.

Немного другая картина в накоплении свободного пролина в листьях наблюдается у сортов озимой тритикале (рис. 4). К первому зимнему месяцу происходит резкое увеличение пролина в 2-3 раза. Амплитуда межсортного варьирования составила 7,74 – 18,22 мкмоль/г. По динамике содержания пролина сорта разделились на 2 группы. У первой (Корнет, Бета, Светлица, Пятрусь) пик накопления аминокис-

Таблица 1 – Высота снежного покрова, температура на узле кушения и среднесуточная температура воздуха во время отборов материала

Дата отбора	Высота снежного покрова, см	Температура на глубине залегания узла кушения, ⁰ С	Среднесуточная температура воздуха, ⁰ С	
			факт	отклонение от нормы
12.11.2014	0	+1,6	-5,4	+2,9
17.12.2014	8	-0,2	-3,2	+5,7
28.01.2015	56	-1,3	-15	-4,2
04.03.2015	65	-1,0	-4,5	+2,7
15.04.2015	0	+1,9	+8,3	+2,9
29.10.2015	0	0	+1,9	+0,6
21.12.2015	15	-3,3	-6,1	+3,1
01.02.2016	40	-0,7	+0,9	+11,8
01.03.2016	32	-0,1	-2,2	+5,7
18.10.2016	0	0	+2,9	-1,5
19.12.2016	40	-2,1	-4,6	+4,5
14.02.2017	63	-1,0	-6,7	+3,8
20.03.2017	30	0	-3,0	-0,1

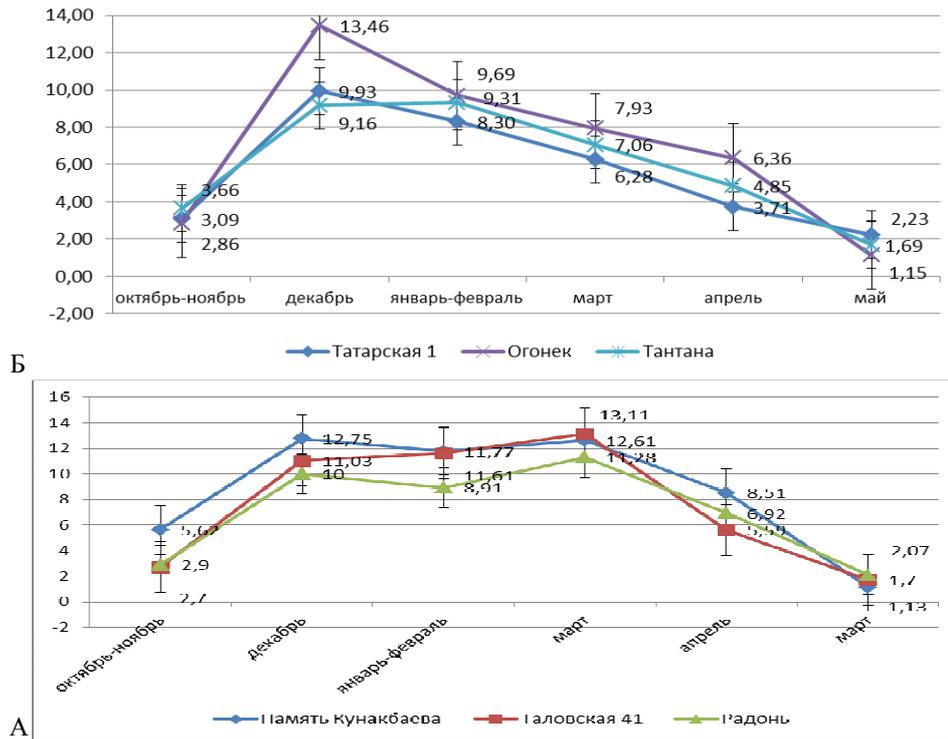


Рисунок 1– Динамика содержания свободного пролина (мкмоль/г) в листьях популяционных сортов озимой ржи

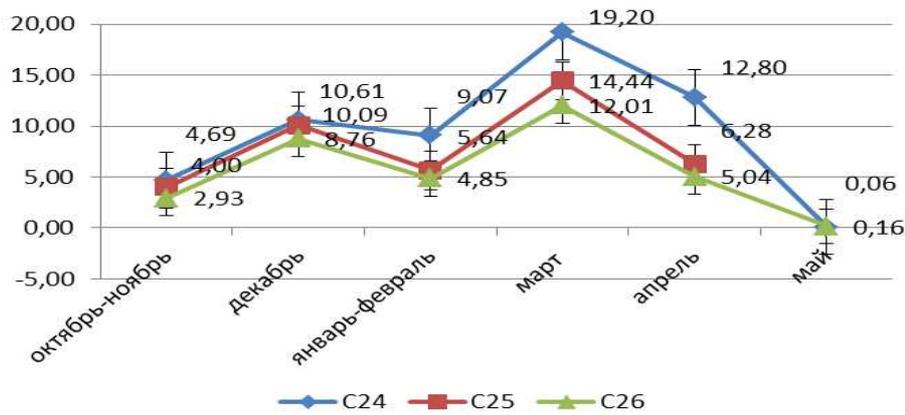


Рисунок 2 – Динамика содержания свободного пролина (мкмоль/г) в листьях гибридов F1 озимой ржи

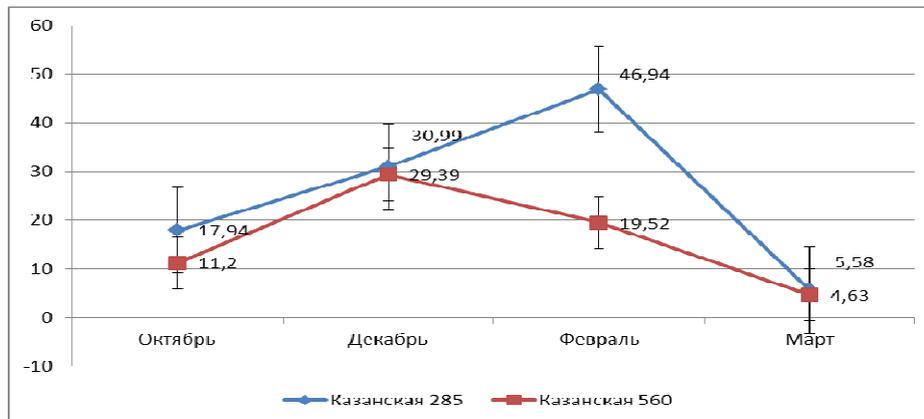


Рисунок 3 – Динамика содержания свободного пролина (мкмоль/г) в листьях озимой пшеницы

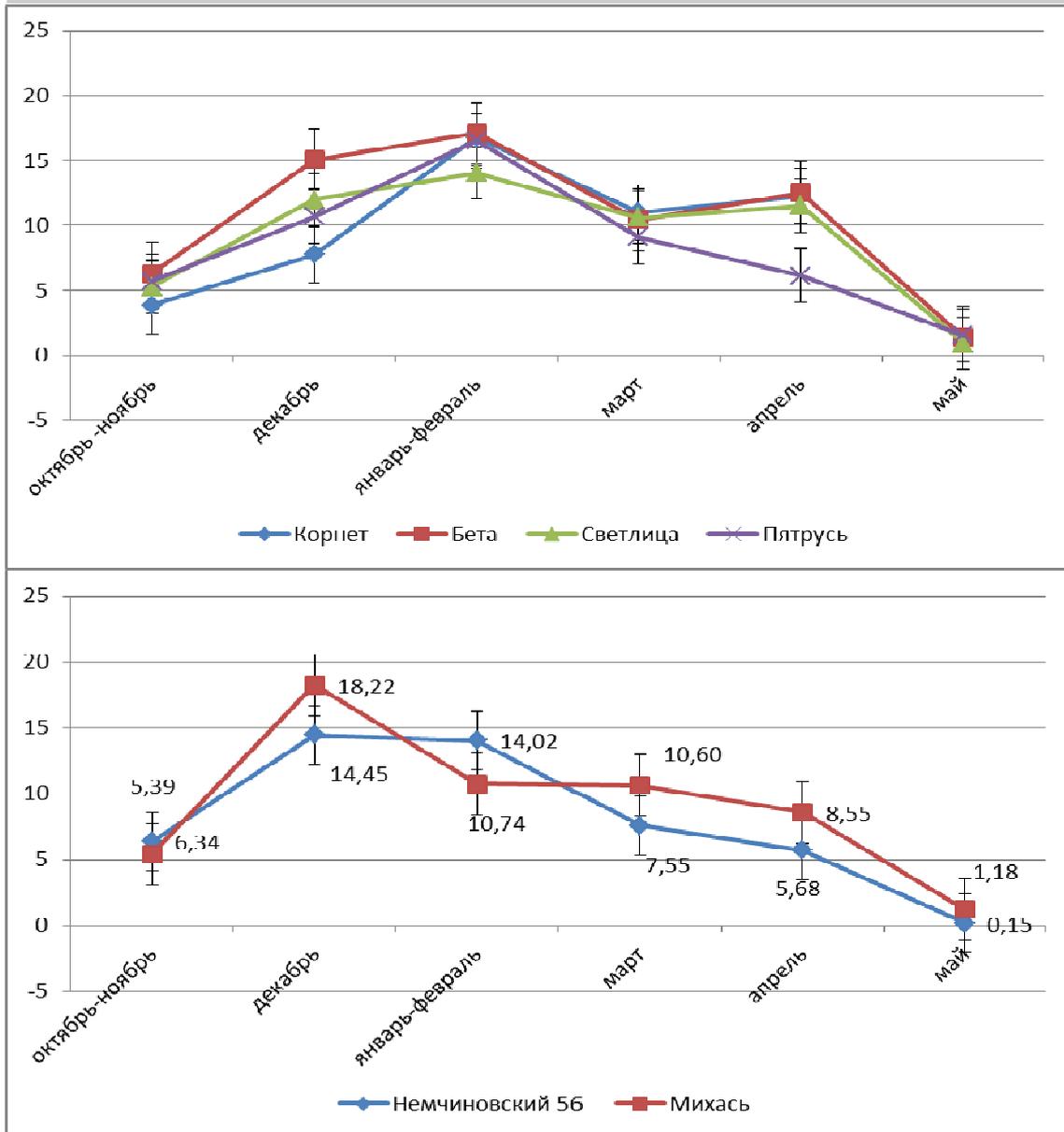


Рисунок 4 – Динамика содержания свободного пролина (мкмоль/г) в листьях озимой тритикале

лоты приходился на январь-февраль (рисунок 4А). Изменение содержания пролина у сортов Немчиновский 56 и Михась (2 группа) больше напоминает ржаной тип (с пиком в декабре) (рисунок 4В).

По данным [20], среди сортов озимой тритикале в течение зимнего периода максимальное содержание пролина отмечалось у сорта Бета (16,4 мкмоль/г), что может быть связано с генетическими особенностями сорта, наименьшее – у сорта Пятрусь. У тритикале Немчиновский 56 максимальную концентрацию свободного пролина фиксировали в январе. Авторы полагают, что накопление пролина демонстрирует реакцию растений на пережитый стресс и адаптацию к нему. «Более высокое содержание пролина у озимой тритикале, по сравнению с рожью, свидетельствует о его

значительной реакции на зимний стресс и последующей приспособляемостью к ним. Озимая рожь в силу своих биологических особенностей способна лучше переживать зимние условия. Следовательно, пролиновый метод позволяет дифференцировать сорта в ответ на стрессовые воздействия комплекса неблагоприятных условий зимнего периода» [20].

В наших исследованиях показано, что средние значения содержания пролина у озимой ржи и тритикале с октября по декабрь повышались, а в феврале уменьшились. У озимой пшеницы шло дальнейшее повышение показателя. Амплитуда колебаний в декабре у озимой ржи составила 5.18-13.52 мкмоль/г, у озимой тритикале – 9.47-23.15 мкмоль/г, у озимой пшеницы – 25.81-32.98 мкмоль/г. Отмечается, что лимиты признака в этот месяц у

Таблица 1 – Изменчивость содержания пролина в листьях озимых злаковых культур

	Октябрь	Декабрь	Февраль
Озимая рожь			
Средняя	2,62±0,23	8,89±0,63	6,44±0,77
Амплитуда варьирования	1,35-4,25	5,18-13,52	2,87-12,62
Озимая тритикале			
Средняя	4,74±0,47	14,27±1,72	10,37±1,96
Амплитуда варьирования	2,95-6,96	9,47-23,15	4,57-19,34
Озимая пшеница			
Средняя	14,55 ±1,77	30,2 ±3,16	33,2 ±3,95
Амплитуда варьирования	7,93-21,21	25,81-32,98	17,9-58,71

сортов озимой ржи были меньшими, что подтверждает, что сорта озимой ржи по сравнению с сортами озимой тритикале и пшеницы более устойчивы к воздействию низких температур. Более высокий уровень морозоустойчивости растений озимой ржи по сравнению с двумя другими культурами, вероятно, связан с различиями в температурных оптимумах процесса дыхания и большей стабильностью ферментов, ответственных за дыхание.

Наибольшая изменчивость значений пролина у изучаемых культур отмечена в феврале. Обнаруженные нами различия в пробах, отобранных в декабре и последующие месяцы, вероятно, обусловлены повышением температуры в дневное время при высоком снежном покрове, что приводило к ответной реакции озимых культур.

Выводы. Таким образом, изучение содержания свободного пролина в листьях показало, что в условиях Республики Татарстан у разных озимых культур максимальная дифференциация по данному показателю наблюдается в различные периоды перезимовки и связана с генетическими особенностями изученных сортов. Сорта озимой ржи Татарская 1, Огонек и Тантана имели один декабрьский экстремум, а Памяти Кунакбаева, Таловская 41 и Радонь –

2 пика (декабрь и март). Сорта пшеницы показали неодинаковую динамику пролина. Более «плавный ход» пролина отмечен у сорта Казанская 560.

Наиболее чувствительной культурой к зимнему стрессу оказалась озимая пшеница, у которой наблюдалось максимальное значение показателя, которое на протяжении зимнего периода увеличивалось. Для каждой из озимых культур была выявлена своя норма реакции по данному критерию. Однако существует и внутривидовая специфика динамики синтеза и распада свободного пролина. Среди изученных сортов и гибридов озимой ржи выделились 3 группы, отличающиеся между собой. Такое явление может быть обусловлено как сложным многофункциональным поведением самого пролина, так и посредством влияния других стресс-протекторных метаболитов растительных клетках. Концентрация пролина в листьях озимой тритикале приближалась к значениям озимой ржи, а по динамике накопления – к озимой пшенице.

Экспериментальные исследования озимых культур отличающихся по устойчивости к стрессорам требуют дополнительного и более глубокого изучения механизмов синтеза и деградации защитных метаболитов для воз-

Литература

1. Тупицын, Н.В. Экологическое испытание волжских сортов озимой пшеницы и ячменя в условиях северо-восточного региона беларуси /Н.В. Тупицын, Н.Н. Петрова, С.В. Егоров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – №1. – С. 18-22
2. Colton-Gagnon, K. Comparative analysis of the cold acclimation and freezing tolerance capacities of seven diploid *Brachypodium distachyon* accessions / K. Colton-Gagnon, A.B. Ali Mohamed, B.F. Mayer, R. Di-onne, A. Bertrand // *Ann. Bot.* – 2014. – V. 113. – P. 681-693
3. Megha, S. Regulation of low temperature stress in plants by microRNAs / S. Megha, U. Basu, N.N.V. Kav // *Plant, cell & environment.* – 2018. – Т. 41. – №. 1. – С. 1-15. doi: 10.1111/pce.12956
4. Пономарева, М.Л. Роль озимой ржи в современном растениеводстве/ М.Л. Пономарева, С.Н. Пономарев // *Нива Татарстана.* – 2015. – №. 4. – С. 7-10.
5. Гудкова, Г.Н. Анатомо-морфологические особенности строения нижних листьев озимых и зимующих сортов зерновых культур / Г.Н. Гудкова, М.В. Кузенко // *Новые технологии.* – 2016. – №3. – С. 95-99.
6. Николаев, П.Н. Результаты испытания озимых культур в условиях южной лесостепи западной сибирии / П.Н. Николаев, П.В. Поползухин // *Достижения науки и техники АПК.* – 2013. – №5. – С. 9-11.
7. Gilliham, M. Translating knowledge about abiotic stress tolerance to breeding programmers / M. Gilliham, J.A. Able, S.J. Roy // *The Plant Journal* - 2017. - 90: 898–917. doi: 10.1111/tpj.13456)
8. Challinor, A.J. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation / A.J. Challinor, J. Watson, D.B Lobell, S.M Howden, D.R Smith, N. Chhetri // *Nat. Clim. Change.* – 2014.- №4. – P.287–291
9. Liu, W. Genetic architecture of winter hardiness and frost tolerance in triticale / W. Liu, H.P. Maurer, G. Li,

- M.R. Tucker, M., Gowda, E.A. Weissmann, T. Würschum // PLoS One. – 2014. – Т. 9. – №. 6. – С. e99848)
10. Гончарова, Э.А. Стратегия диагностики и прогноза устойчивости сельскохозяйственных растений к погодно-климатическим аномалиям / Э.А. Гончарова // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – Т. 1. – С. 24-31
11. Kavi Kishor, P.B. Is proline accumulation *per se* correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? / P.B. Kavi Kishor, N. Sreenivasulu // Plant, Cell & Environment, - 2014. - 37:300–311. doi:10.1111/pce.12157
12. Fichman, Y. Evolution of proline biosynthesis: enzymology, bioinformatics, genetics, and transcriptional regulation. / Y. Fichman, S. Y. Gerdes, H. Kovács, L. Szabados, A. Zilberstein, L.N. Csonka // Biological Reviews – 2015. - 90:1065–1099. - doi:10.1111/brv.12146
13. Радюк, М.С. Влияние низкотемпературного стресса на генерацию активных форм кислорода, содержание низкомолекулярных антиоксидантов и активность специфической к фенолам пероксидазы в зеленых листьях ячменя (*Hordeum vulgare*) / М.С. Радюк, И.Н. Доманская, Р.А. Щербаков, Н.В. Шалыго // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук – 2009 - №3 - С.57-63
14. Колупаев, Ю.Е. Физиологические функции неэнзиматических антиоксидантов растений / Ю.Е. Колупаев, Т.О. Ястреб // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2015. – Вип. 2 (35). – С. 6-25.
15. Serraj, R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? / R. Serraj, T.R. Sinclair // Plant, cell & environment. – 2002. – V. 25. – №. 2. – С. 333-341
16. Калинкина, Л.Г. Модифицированный метод выделения свободных аминокислот для определения на аминокислотном анализаторе / Л.Г. Калинкина, Л.В. Назаренко, Е.Е. Гордеева // Физиология растений. – 1990. – Т.37. – № 3. – С.617 – 621.
17. Liu, J. K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis* / J. Liu, J. Zhu // Plant Physiology. – 1997. – V.114. – №. 2. – С. 591-596
18. Шихалеева, Г.Н. Модифицированная методика определения пролина в растительных объектах / Г.Н. Шихалеева и др. // Вестн. Харьковского ун-та. Сер. «Биология». – 2014. – Вып. 21. - №1112. С. 168-172
19. Bates, L.S. Rapid determination of free proline for water-stress studies / L.S. Bates, R.P. Waldren, I.D. Teare // Plant and soil. – 1973. – Т. 39. – №. 1. – С. 205-207.
20. Пономарев, С.Н. Динамика содержания пролина и легкорастворимых углеводов у сортов озимой тритикале в зимний период/ Пономарев С.Н., Гильмуллина Л.Ф., Пономарева М.Л., Тагиров М.Ш., Маннапова Г-ра.С. // Земледелие.– 2015. –№8. –С. 42-45.

Сведения об авторах:

Гильмуллина Лилия Фирдавиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела озимых культур, e-mail: lilya-muslima@mail.ru.
 Маннапова Гульназ Сулеймановна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела озимых культур, e-mail: mgs1980@mail.ru
 Маннапова Гульнара Сулеймановна – научный сотрудник отдела озимых культур, e-mail: gulnara.mannapova@yandex.ru
 Илалова Любовь Валентиновна – научный сотрудник отдела озимых культур, e-mail: love_bulkina@mail.ru.
 Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН), г. Казань, Россия.

COMPARATIVE STUDY OF WINTER CROPS VARIETIES ON ACCUMULATION OF PROLINE IN THE AUTUMN-WINTER PERIOD

Gilmullina L.F., Mannapova G-z.S., Ilalova L.V., Mannapova G-ra.S.

Abstract. Winter hardiness of plants depends on many factors: plant species, variety, duration of quenching phase and meteorological conditions. The reaction to stressful influences during the autumn-winter period is the changes in the cellular metabolism, in which the accumulation of various substances that protect plants from death occurs. Proline is a multifunctional amino acid, that accumulates in high concentrations in response to various abiotic stresses. The purpose of this study is to identify species and varietal differences in the accumulation of proline in winter crops in the Republic of Tatarstan. The material for research was the leaves of winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.), winter rye (*Secale cereale* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Witt.). The experiments were carried out under conditions of natural stress factors of three consecutive growing seasons of 2014-2017. To determine the state of wintering plants in dynamics, the content of free proline was determined by the Bates method. It is shown that the average values of proline content in winter rye and triticale increased from October to December, but decreased in February. Winter wheat had a further increase in the indicator. The amplitude of the oscillations in December in winter rye was 5.18-13.52 $\mu\text{mol/g}$, in winter triticale - 9.47-23.15 $\mu\text{mol/g}$, in winter wheat - 25.81-32.98 $\mu\text{mol/g}$. The greatest variability of proline values in the studied cultures was noted in February. For each of the winter crops, its reaction rate according to this criterion was revealed. However, there is an intraspecific specific character of the dynamics of the synthesis and breakdown of free proline. Among the studied varieties and hybrids of winter rye, 3 groups differed among themselves. The concentration of proline in the leaves of winter triticale approximated to the values of winter rye, and according to the dynamics of accumulation - to winter wheat.

Key words: winter crops, rye, wheat, triticale, varieties, hybrids, winter stress, proline, Bates method.

References

1. Testing of wheat and barley of Volga varieties in the conditions of the North-Eastern region of Belarus. [Ekologicheskoe ispytanie volzhskikh sortov ozimoy pshenitsy i yachmenya v usloviyakh severo-vostochnogo regiona

belarusi]. / N.V. Tupitsyn, N.N. Petrova, S.V. Egorov // *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. – *The Herald of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. – 2007. – №1. – P. 18-22

2. Colton-Gagnon, K. Comparative analysis of the cold acclimation and freezing tolerance capacities of seven diploid *Brachypodium distachyon* accessions / K. Colton-Gagnon, A.B. Ali Mohamed, B.F. Mayer, R. Di-onne, A. Bertrand // *Ann. Bot.* – 2014. – V. 113. – P. 681-693

3. Megha, S. Regulation of low temperature stress in plants by microRNAs / S. Megha, U. Basu, N.N.V. Kav // *Plant, cell & environment*. – 2018. – T. 41. – №. 1. – C. 1-15. doi: 10.1111/pce.12956

4. Ponomareva M.L. The role of winter rye in modern plant growing. [Rol ozimoy rzhi v sovremennom rastenievodstve]. / M.L. Ponomareva, S.N. Ponomarev // *Niva Tatarstana*. – *Niva of Tatarstan*. – 2015. – №. 4. – P. 7-10.

5. Gudkova G.N. Anatomico-morphological features of the structure of the lower leaves of winter and wintering varieties of grain crops. [Anatomo-morfologicheskie osobennosti stroeniya nizhnikh listev ozimoykh i zimuyuschikh sortov zernovykh kultur]. / G.N. Gudkova, M.V. Kuzenko // *Novye tekhnologii*. – *New Technologies*. – 2016. – №3. – P. 95-99.

6. Nikolaev P.N. Results of testing of winter crops in the conditions of the southern forest-steppe of western Siberia. [Rezultaty ispytaniya ozimoykh kultur v usloviyakh yuzhnoy lesostepi zapadnoy Sibiri]. / P.N. Nikolaev, P.V. Popoluzhkin // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*. – 2013. – №5. – P. 9-11.

7. Gilliam, M. Translating knowledge about abiotic stress tolerance to breeding programmers / M. Gilliam, J.A. Able, S.J. Roy // *The Plant Journal* - 2017. – 90: 898–917. doi: 10.1111/tpj.13456)

8. Challinor, A.J. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation / A.J. Challinor, J. Watson, D.B. Lobell, S.M. Howden, D.R. Smith, N. Chhetri // *Nat. Clim. Change*. – 2014. – №4. – P.287–291

9. Liu, W. Genetic architecture of winter hardiness and frost tolerance in triticale / W. Liu, H.P. Maurer, G. Li, M.R. Tucker, M., Gowda, E.A. Weissmann, T. Würschum // *PLoS One*. – 2014. – T. 9. – №. 6. – C. e99848)

10. Goncharova E.A. The strategy of diagnosis and prediction of the resistance of agricultural plants to weather and climatic anomalies. [Strategiya diagnostiki i prognoza ustoychivosti selskokhozyaystvennykh rasteniy k pogodno-klimaticheskim anomalijam]. / E.A. Goncharova // *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. – *Agricultural Biology*. – 2011. – Vol. 1. – P. 24-31

11. Kavi Kishor, P.B. Is proline accumulation *per se* correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? / P.B. Kavi Kishor, N. Sreenivasulu // *Plant, Cell & Environment*, - 2014. – 37:300–311. doi:10.1111/pce.12157

12. Fichman, Y. Evolution of proline biosynthesis: enzymology, bioinformatics, genetics, and transcriptional regulation. / Y. Fichman, S. Y. Gerdes, H. Kovács, L. Szabados, A. Zilberstein, L.N. Csonka // *Biological Reviews* – 2015. – 90:1065–1099. – doi:10.1111/brv.12146

13. Radyuk M.S. Influence of low-temperature stress on the generation of reactive oxygen species, the content of low-molecular antioxidants and the activity of phenol-specific peroxidase in green barley leaves (*Hordeum vulgare*). [Vliyaniye nizkotemperaturnogo stressa na generatsiyu aktivnykh form kisloroda, sodержanie nizkomolekulyarnykh antioksidantov i aktivnost spetsificheskoy k fenolam peroksidazy v zelenykh listyakh yachmenya (*Hordeum vulgare*)]. / M.S. Radyuk, I.N. Domanskaya, R.A. Scherbakov, N.V. Shalygo // *Izvestiya natsionalnoy akademii nauk Belarusi*. – *Seriya biologicheskikh nauk – News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences*. 2009. – №3. – P. 57-63

14. Kolupayev, YU.Ye. Fiziologicheskiye funktsii neenzimativnykh antioksidantov rasteniy / YU.Ye. Kolupayev, T.O. Yastreba // *Visn. Kharkiv. nats. agrarn. un-tu. Ser. Biologiya*. – 2015. – Vip. 2 (35). – S. 6-25.

15. Serraj, R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? / R. Serraj, T.R. Sinclair // *Plant, cell & environment*. – 2002. – V. 25. – №. 2. – S. 333-341

16. Kalinkina L.G. Modified method for the isolation of free amino acids for determination on an amino acid analyzer. [Modifitsirovanny metod vydeleniya svobodnykh aminokislot dlya opredeleniya na aminokislotnom analizatore]. / L.G. Kalinkina, L.V. Nazarenko, E.E. Gordeeva // *Fiziologiya rasteniy*. – *Physiology of plants*. – 1990. – Vol.37. – №3. – P. 617 – 621.

17. Liu, J. K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis* / J. Liu, J. Zhu // *Plant Physiology*. – 1997. – V.114. – №. 2. – P. 591-596

18. Shikhaleeva G.N. Modified technique for determining proline in plant objects. [Modifitsirovannaya metodika opredeleniya prolina v rastitelnykh obektakh]. / G.N. Shikhaleeva and others. // *Vestn. Kharkovskogo un-ta. Ser. "Biologiya"*. – *The Herald of Kharkiv University. Ser. "Biology"*. – 2014. – Vyp. 21. – №1112. P. 168-172

19. Bates, L.S. Rapid determination of free proline for water-stress studies / L.S. Bates, R.P. Waldren, I.D. Teare // *Plant and soil*. – 1973. – T. 39. – №. 1. – P. 205-207.

20. Ponomarev S.N. Dynamics of the content of proline and readily soluble carbohydrates in winter triticale varieties in winter. [Dinamika sodержaniya prolina i legkorastvorimyykh uglevodov u sortov ozimoy tritikale v zimniy period]. / Ponomarev S.N., Gilmullina L.F., Ponomareva M.L., Tagirov M.Sh., Mannapova G-ra.S. // *Zemledelie. – Agriculture*. 2015. – №8. – P. 42-45.

Authors:

Gilmullina Liliya Firdavisovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Senior Researcher of Winter crops Department, e-mail: lilya-muslima@mail.ru.

Mannapova Gulnaz Suleymanovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Senior Researcher of Winter crops Department, e-mail: mgs1980@mail.ru

Mannapova Gulnara Suleymanovna – Researcher of Winter crops Department, e-mail: gulnara.mannapova@yandex.ru

Ilaova Lyubov Valentinovna – Researcher of Winter crops Department, e-mail: love_bulkina@mail.ru.

The Tatar Scientific Research Institute of Agriculture - the separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center" Kazan Research Center of the Russian Academy of Sciences "(TatNIISK FIT KazNC RAS), Kazan, Russia