

УДК 581.1

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА В УЗЛАХ КУЩЕНИЯ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ТЕЧЕНИЕ ОСЕННЕ-ВЕСЕННЕГО ПЕРИОДА

© 2015 г. Н. Б. Катыхева, А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев,
А. А. Пешкова, Е. Г. Рудиковская

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Сибирский институт физиологии и биохимии растений
Сибирского отделения Российской академии наук
(Иркутск, Россия)*

Изучена динамика содержания свободного пролина в узлах кущения озимых зерновых культур: ржи (*Secale cereale* L.), пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и тритикале (*Triticosecale hexaploidii* (derzhavinii) Kurk. et Filat) в течение осенне-весеннего периода. Обнаружены два пика в накоплении свободного пролина и период с низким содержанием этой аминокислоты. Показано, что сорт озимой пшеницы Иркутская отличался более низким содержанием свободного пролина в течение всего исследуемого периода. Предполагается, что содержание свободного пролина в узлах кущения озимых зерновых культур в конце зимовки может служить одним из показателей устойчивости растений к резким колебаниям температуры в этот период.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Triticosecale hexaploidii*, свободный пролин, низкотемпературный стресс

Впервые повышение содержания пролина было обнаружено в процессе увядания растений райграсса (Kemble, MacPherson, 1954). С тех пор в литературе накоплены многочисленные данные, свидетельствующие о существенной роли свободного пролина при стрессе (Кузнецов, Шевякова, 1999; Tatar, Gevrek, 2008; Гончарова и др., 2009; Szabados, Savoure, 2009; Радиокина и др., 2010; Колупаев, Ястреб, 2015). Проллин важен для первичного метаболизма как свободная аминокислота и как компонент белков, поскольку содержит вторичную аминогруппу и имеет особую циклическую структуру (Lehmann et al., 2010). Среди совместимых метаболитов, накапливающихся при стрессе, только для пролина был показан антиоксидантный эффект – он участвует в детоксикации синглетного кислорода и других активных форм кислорода, образующихся в первые часы действия стрессора (Alia Saradhi,

Mohanty, 1997; Matysik et al., 2002; Szabados, Savoure, 2009).

Механизмы, определяющие возможную защитную функцию пролина в условиях стресса, понятны далеко не полностью. Потенциально он может являться резервом углерода и азота, совместимым осмолитом, антиоксидантом, участвовать в поддержании цитозольного pH и редокс-статуса клетки (Smirnoff, Cumbes, 1989; Hare, Cress, 2003; Szabados, Savoure, 2009), регуляции соотношения НАД/НАДН (Verslues, Sharma, 2010). Возможно, что пролин способен действовать и как часть сигнального трансдукционного звена, предупреждающего растительные клетки о наличии стрессора и, следовательно, запускающего адаптивные ответы (Verslues, Sharma, 2010). В то же время быстрый катаболизм пролина направлен на смягчение последствий действия стрессора, поскольку он может быть источником восстановительных эквивалентов, которые поддерживают окислительное фосфорилирование в митохондриях и генерацию АТФ (Burritt, 2012).

Предполагается, что пролин повышает выживание растений в условиях действия

Адрес для корреспонденции: Катыхева Наталья Баировна, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033, а/я 317, ул. Лермонтова, 132, Иркутск, Россия;
e-mail: mitanova2014@yandex.ru

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА

стрессоров различной физиологической природы и является одним из существенных защитных компонентов клетки (Кузнецов, Шевякова, 1999; Szabados, Savoure, 2009; Колупаев, Ястреб, 2015). При этом относительный вклад протекторной, осморегуляторной и других функций пролина может изменяться в онтогенезе и определяться природой стрессора, интенсивностью и продолжительностью его действия (Кузнецов, Шевякова, 1999; Колупаев, Ястреб, 2015). В то же время существует мнение, что значительное накопление пролина в клетках растений во время стресса является не защитной реакцией, а индикатором повреждения клеток стрессовыми факторами (Lutts et al., 1996; Serraj, Sinclair, 2002).

Морозоустойчивые растения обладают комплексом механизмов адаптации к низким температурам, в частности увеличивается степень ненасыщенности жирных кислот в составе мембранных липидов, отмечается накопление дегидринов, известных как LEA-белки II группы (Swesson et al., 2002), повышается содержание сахаров, моно- и олигосахаридов и других веществ, защищающих ткани (криопротекторы), в том числе пролина (Mattioli et al., 2009). Связь повышения устойчивости растений к гипотермии с увеличением концентрации пролина была показана у многих культур, например, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (Munshaw et al., 2006), *Zea mays* L. (Chen, Li, 2002), *Triticum aestivum* L. (Dorffling et al., 1997; Колупаев и др., 2015).

В районах с резко-континентальным климатом в конце зимнего периода наблюдаются значительные перепады среднесуточных температур от положительных в дневное время до отрицательных температур ночью при невысоком снежном покрове или его отсутствии. При оттепелях растения теряют свойства, приобретенные во время закаливания, и уровень их морозостойкости резко падает (Чиркова, 2002). В условиях Восточной Сибири резкие перепады температур в конце зимнего периода являются главным фактором, ограничивающим получение стабильных урожаев озимых зерновых культур. В отдельные годы потери от гибели растений могут достигать 80% (Винтер, 1981).

Большинство литературных данных, связанных с изучением содержания свободного пролина в растительных тканях, были получены в лабораторных условиях. Целью данного исследования явилось изучение динамики содержания свободного пролина, как криопротектора в узлах кущения озимых зерновых культур,

в течение осенне-весеннего периода в естественных условиях полевого эксперимента.

МЕТОДИКА

Объекты исследований: растения озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. (сорт Иркутская), озимой ржи *Secale cereale* L. (сортообразец 21), озимое тритикале *Triticosecale hexaploidii* (derzhavinii) Kurk. et Filat (сортообразец № 430-6002). Растительный материал (узлы кущения) для экспериментов отбирали в течение осенне-весеннего периода наблюдений 2011-2012 гг. и 2012-2013 гг. Срок посева разновозрастных растений озимого тритикале 10 августа, 20 августа и 30 августа 2012 г. Срок посева озимой ржи, тритикале и пшеницы в 2011 и 2012 гг. – 20 августа.

Для анализов были использованы образцы, предварительно высушенные при температуре 105 °С до абсолютно сухой массы. Для определения содержания свободного пролина растительный материал (60-80 мг) гомогенизировали в 10 мл 3% сульфосалициловой кислоты. К 2 мл фильтрата приливали 2 мл кислого нингидрина (30 мл ледяной уксусной кислоты, 20 мл 6 М H_3PO_4 и 1,25 г нингидрина) и 2 мл ледяной уксусной кислоты. Смесь инкубировали в течение 1 ч на водяной бане при температуре 90°С, реакцию останавливали охлаждением. Реакционную смесь экстрагировали 4 мл толуола. Оптическую плотность регистрировали на спектрофотометре (U-1100 НТАСН, Япония) при длине волны 520 нм (Bates et al., 1973).

Зимостойкость и выживаемость растений в период перезимовки определяли путем отбора монолитов. В течение зимы, в январе, феврале и марте, на посевах каждого варианта отбирали по четыре монолита. Монолиты вырубали длиной 20-30 см, шириной 12-15 и глубиной 10-12 см. В каждом монолите было не менее 25 растений. Монолиты оттаивали в течение суток при небольших положительных температурах (4 °С), а затем переносили в теплое помещение для отрастания растений (18-20°С). Через 15 дней подсчитывали число живых и мертвых растений и определяли состояние перезимовавших озимых на день взятия монолита (Третьяков и др., 2003).

Данные о температуре воздуха были получены в областной государственной метеостанции (г. Иркутск WMO ID 30710). Эксперименты по определению свободного пролина проводили в девяти повторностях, отбор монолитов – в трех повторностях.



Рис. 1. Агроклиматические условия 2011-2012 гг.

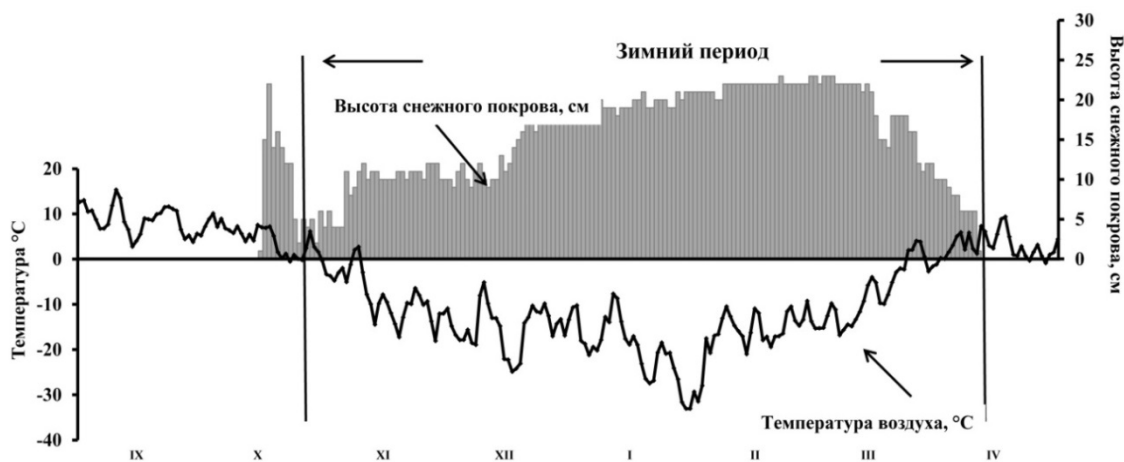


Рис. 2. Агроклиматические условия 2012-2013 гг.

Результаты исследований представлены в виде графиков, отображающих динамику накопления содержания свободного пролина. Для оценки различий между отдельными показателями использовали дисперсионный анализ и метод множественных сравнений Шеффе (Лапач и др., 2001). Нормальность распределения проверяли методами Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилко. Средние значения показателей приводятся в виде $M \pm m$, где M – среднее, m – ошибка среднего. Статистически значимыми приняты различия по величине уровня значимости p , не превышающие 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Температурные условия осенне-весеннего периода (г. Иркутск) 2011-2012 гг. были в пределах среднееголетних значений (рис. 1).

Тем не менее, в эти годы отмечалось более позднее установление снежного покрова, тогда как в 2012-2013 гг. снежный покров уста-

навливался раньше, с третьей декады октября (рис. 2).

Сход снежного покрова отмечали в третьей декаде марта во все годы исследований, но продолжительность времени бесснежного периода в конце зимы в 2012 года составила – 1 день, в 2013 году – 17 дней. По среднееголетним данным длительность этого периода равна 10 дням.

Для оценки зимостойкости и выживаемости растений в период перезимовки озимых зерновых культур в январе, феврале и марте были отобраны монолиты. Процент живых растений в январе был очень высоким: у всех трех изучаемых культур он составлял 94,8-100% во все годы наблюдений. В феврале у озимой ржи и тритикале процент живых растений составлял в 2012 г. – 93,3 %, в 2013 г. – 90,9 и 83,3%, соответственно. В марте наблюдали самые низкие показатели выживаемости растений у менее зимостойкой озимой пшеницы в 2012 г. – 70,8%, в 2013 г. – 10%. Следует отметить, что

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА

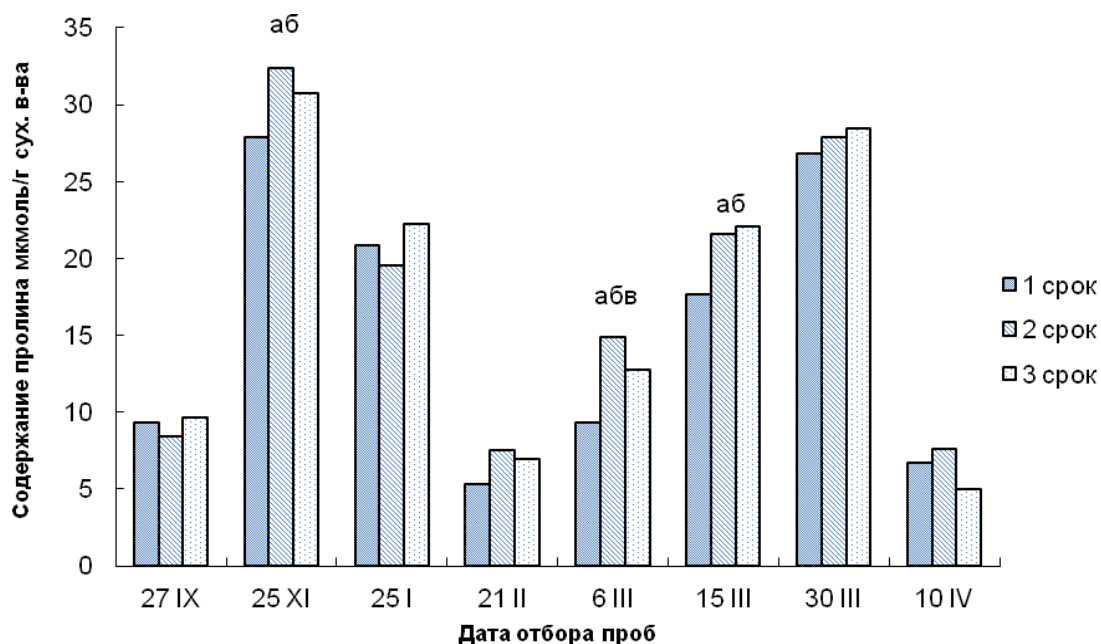


Рис. 3. Содержание свободного пролина в узлах кушения разновозрастных растений озимого тритикале (мкмоль/г сухого вещества), $M \pm m$, $n = 9-12$, $p \leq 0,05$ (2011-2012 гг.) а – тритикале первого срока отличается от тритикале второго срока; б – тритикале первого срока отличается от тритикале третьего срока; в – тритикале второго срока отличается от тритикале третьего срока.

значимых различий в зимостойкости у растений озимой ржи и тритикале обнаружено не было (91 и 86% соответственно).

На рис. 3 представлена динамика изменения содержания свободного пролина у разновозрастных растений озимого тритикале.

Изменение содержания свободного пролина у разновозрастных растений озимого тритикале в течение всего периода наблюдений происходило практически одинаково независимо от срока посева. Отмечали два пика увеличения количества свободного пролина в узлах кушения озимого тритикале – осенний и весенний. В точке отбора проб 27 сентября 2012 г. содержание свободного пролина было практически на одном уровне у растений всех трех сроков посева. В ноябре наблюдалось резкое увеличение содержания свободного пролина, тем не менее, у растений второго и третьего сроков посева оно было выше, чем у растений первого срока посева. В период вынужденного покоя (январь, февраль) наблюдали снижение содержания свободного пролина у растений всех трех сроков посева. На протяжении всего марта наблюдалось постепенное увеличение содержания свободного пролина у всех трех сроков посева. В точке отбора проб (6 марта) наибольшее содержание пролина отмечено у тритикале второго срока посева, а наименьшее у тритикале первого срока посева. В следующей точке наблюдений (15 марта) у тритикале

второго и третьего сроков посева содержание свободного пролина было практически одинаковым и большим в сравнении с тритикале первого срока посева. Максимальное содержание пролина в марте (30 марта) отмечено у всех трех сроков посева. К следующей точке наблюдений (10 апреля) содержание свободного пролина резко снизилось у растений всех трех сроков посева и статистически не различалось.

Подобное изменение содержания свободного пролина регистрировали и у растений разных видов озимых зерновых культур: пшеницы, тритикале, ржи.

На рис. 4 представлена динамика накопления свободного пролина в узлах кушения озимых зерновых культур в течение осенне-весеннего периода за 2011-2012 гг.

В конце сентября (27 сентября 2011 г.) содержание пролина у всех трех изучаемых культур было практически на одном уровне, а в начале зимы (25 ноября) его содержание увеличилось в три раза, причем у озимой ржи и озимого тритикале оно было выше, чем у озимой пшеницы (рис. 4). В январе у озимой ржи и тритикале содержание свободного пролина немного понизилось, а у озимой пшеницы осталось практически без изменений по сравнению с предыдущей точкой отбора проб (25 ноября). В феврале отмечалось резкое снижение содержания свободного пролина у всех трех культур. С марта наблюдалось постепенное повышение

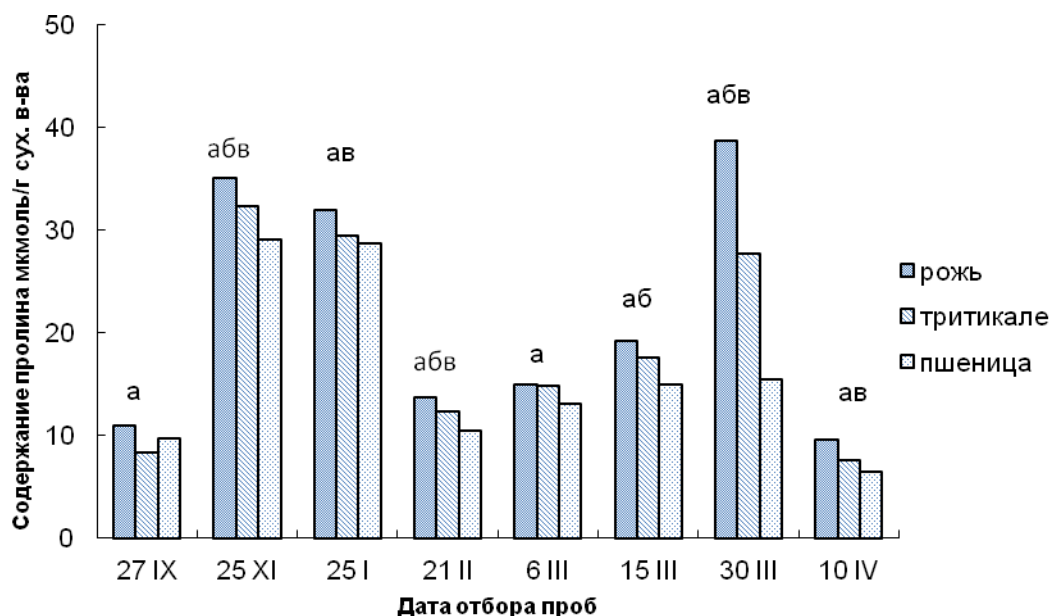


Рис. 4. Содержание свободного пролина в узлах кущения озимых зерновых культур в течение осенне-весеннего периода 2011-2012 гг. (мкмоль/г сухого вещества), $M \pm m$, $n=9-12$, $p \leq 0,05$. а – рожь отличается от пшеницы; б – тритикале отличается от пшеницы; в – рожь отличается от тритикале.

содержания свободного пролина, а к концу месяца (30 марта) – резкое увеличение у озимой ржи и тритикале. У озимой пшеницы 30 марта наблюдали более низкое его содержание по сравнению с другими культурами. В начале апреля содержание пролина у всех трех культур снизилось.

Подобная закономерность наблюдалась и в следующем году эксперимента 2012-2013 гг. (рис. 5).

Как и в ноябре 2011 года отмечено резкое повышение содержания свободного пролина в узлах кущения всех трех изучаемых культур по сравнению с пробами, отобранными 27 сентября (рис. 5). В дальнейшем его содержание снижалось к 25 января, но по сравнению с 25 января 2012 года оно было более выражено. Так же как и 21 февраля 2012 года в феврале 2013 года отмечено самое низкое содержание свободного пролина у всех трех изучаемых культур. В марте количество свободного пролина в узлах кущения озимых культур увеличивалось у озимой ржи и тритикале, у пшеницы максимальное его содержание было в точке отбора проб 15 марта, тогда как в 2012 г. – 30 марта. В апреле наблюдали резкое снижение содержания пролина у всех трех культур.

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование динамики изменения содержания свободного пролина в узлах кущения озимых зерновых культур в течение осенне-

весеннего периода показало, что присутствуют два периода увеличения содержания этой аминокислоты – осенью (ноябрь) и весной (март). Кроме того, выявляются два периода с наименьшим содержанием свободного пролина – январь и апрель. Данная закономерность сохранялась во все годы наблюдений. Так, увеличение пролина в осенний период отмечали в точке отбора проб 25 ноября во все годы эксперимента. В это время растения проходят вторую фазу закаливания и, как следствие, происходят изменения в водном статусе растений, снижается оводненность тканей, и увеличивается содержание сухого вещества. В этот период, по-видимому, накопление свободного пролина может быть связано как с реакцией растения на снижение температуры воздуха, так и с реакцией на обезвоживание. Известно, что свободный пролин способен заменять воду в гидратной оболочке белков, тем самым способствуя сохранению их нативной конформации при стрессе (Колупаев и др., 2014; Колупаев, Ястреб, 2015; Кузнецов, Шевакова, 1999).

В условиях проведенных экспериментов наиболее уязвимым периодом перезимовки озимых зерновых культур оказался конец зимы, который календарно приходится на вторую половину марта – начало апреля. Именно в марте наблюдались резкие перепады температуры воздуха в течение суток от положительных в дневное время до низких отрицательных температур ночью. При оттепелях происходит раз-

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА

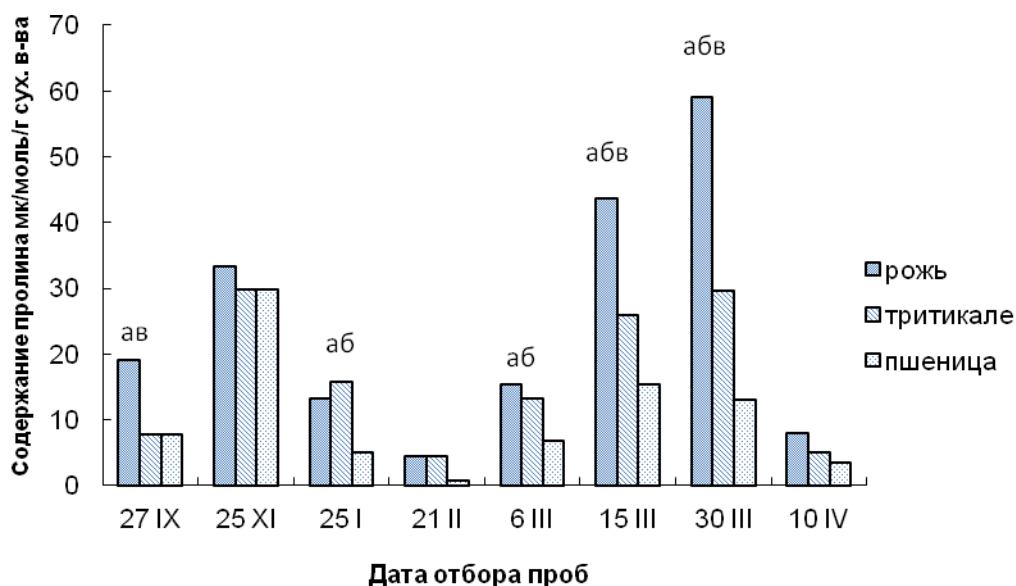


Рис. 5. Содержание свободного пролина в узлах кушения озимых зерновых культур в течение осенне-весеннего периода 2012-2013 гг. (мкмоль/г сухого вещества), $M \pm m$, $n=9-12$, $p \leq 0,05$. а – рожь отличается от пшеницы; б – тритикале отличается от пшеницы; в – рожь отличается от тритикале.

закаливание растений, переход их в активно вегетирующее состояние, активируются процессы дыхания и, как следствие, появляется свободная вода в клетке. Смена оттепелей сильными похолоданиями при низком снежном покрове или его отсутствии приводит к образованию кристаллов льда в клетках и межклетниках. Кристаллы льда могут не только сжимать клетку, но и повреждать плазмалемму, приводя к повреждению или гибели растения.

Возможно, что быстрое накопление свободного пролина в течение всего марта в узлах кушения озимых культур, впервые показанное нами, является одним из важных элементов механизма защиты при действии низких отрицательных температур.

Наибольшее содержание свободного пролина в марте отмечено у более морозостойкой озимой ржи (рис. 3, 4). У озимой пшеницы во все годы наблюдений в начале весны было самое низкое содержание свободного пролина, а также самая низкая выживаемость среди исследуемых культур (рис. 3, 4).

Известно, что активация протеаз в растениях происходит в ответ на стрессоры различной природы, в том числе на действие отрицательной температуры (Вовчук и др., 1994; Колупаев, 1995; Колупаев, Карпец, 2010). Умеренное усиление протеолиза может вызвать увеличение пула свободных аминокислот, которые проявляют протекторные свойства по отношению к биополимерам и мембранным

комплексам (Колупаев, 1995, Колупаев, Карпец, 2010).

Известно, что до 10% структурных белков клеточной стенки приходится на долю оксипролин-богатых белков (Шакирова, 2001). Например, структурный белок экстенсин – гликопротеин, в состав которого входит оксипролин, является компонентом клеточной стенки, также может играть определенную роль в повышении содержания свободного пролина. Усиление деградации биополимеров и липидов – это одна из многих неспецифических ответных реакций, отражающих структурно-функциональную перестройку растительного организма, попавшего в экстремальные условия (Тарчевский, 1992).

В то же время накопление свободного пролина происходит и за счет синтеза *de novo*. Так, показано, что после промораживания закаленных проростков злаков проявлялись отличия, связанные с морозоустойчивостью: у резистентных ржи и мягкой пшеницы содержание пролина увеличивалось, тогда как у неустойчивых твердой пшеницы и ячменя не изменялось (Колупаев и др., 2015). Предполагается, что у морозоустойчивых злаков, в отличие от неустойчивых, под влиянием отрицательных температур или сразу после оттаивания происходило повышение активности ферментов, задействованных в синтезе пролина и, как следствие, повышение морозоустойчивости растений

(Konstantinova et al., 2002; Колупаев и др., 2015).

Несомненно, физиологический механизм морозостойкости закреплен генетически и реализуется в определенных стрессовых условиях. Озимая рожь обладает большей возможностью адаптации к повторяющимся оттепелям по сравнению с озимой пшеницей. И одним из возможных механизмов устойчивости к резким изменениям температурного режима весеннего периода является повышение содержания свободного пролина в узлах кущения. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что повышение содержания свободного пролина в узлах кущения озимых зерновых культур в отдельные периоды осенне-весенней вегетации является одним из важных защитных механизмов, направленных на выживание растений в зимний период.

ЛИТЕРАТУРА

- Вовчук С.В., Макаренко О.А., Мусич В.Н., Левицкий А.П.* Возможные механизмы активации пептид гидролаз проростков озимой пшеницы при закаливании // Физиология растений. – 1994. – Т. 41, № 4. – С. 494-499.
- Винтер А.К.* Физиолого-биохимические изменения в растениях при действии и последствии весенних заморозков // Заморозки и их последствия на растения. – Новосибирск, 1981. – С. 33-80.
- Гончарова Л.И., Селезнева Е.М., Белова Н.В.* Изменение интенсивности перекисного окисления липидов и накопление свободного пролина в листьях ячменя в условиях загрязнения почвы медью и цинком // Докл. Росс. акад. с.-х. наук. – 2009. – № 2. – С. 12-14.
- Колупаев Ю.Е., Вайнер А.А., Ястреб Т.О.* Проллин: физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2014. – Вип. 2 (32). – С. 6-22.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В.* Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. – Киев: Основа, 2010. – 350 с.
- Колупаев Ю.Е., Рябчун Н.И., Вайнер А.А., Ястреб Т.О., Обозный А.И.* Активность антиоксидантных ферментов и содержание осмолитов в проростках озимых злаков при закаливании и криострессе // Физиология растений. – 2015. – Т. 63, № 4. – С. 533-541.
- Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О.* Физиологические функции неэнзиматических антиоксидантов растений // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2015. – Вип. 2 (35). – С. 6-25.
- Колупаев Ю.Є.* Низькомолекулярні сполуки азоту в рослинах за умов стресів: особливості метаболізму та можливе фізіологічне значення // Физиология и биохимия культ. растений. 1995– Т. 27, № 5/6. – С. 324-335.
- Кузнецов В.В., Шевякова Н.И.* Проллин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 2. – С. 321 – 336.
- Лапач С.Н. Чубенко А.В., П.Н. Бабич П.Н.* Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. – Киев: МОРИОН, 2001. – 408 с.
- Радюкина Н.Л., Шашукова А.В., Манелли С., Шевякова Н.И., Кузнецов В.В.* Проллин регулирует уровень полиаминов в растениях шалфея в нормальных условиях и при УФ-В облучении // Физиология растений. – 2010. – Т. 57, № 3. – С. 449-457.
- Тарчевский И.А.* Регуляторная роль деградации биополимеров и липидов // Физиология растений. – 1992. – Т. 39, № 6. – С. 1215-1223.
- Третьяков Н.Н., Паничкин Л.А., Кондратьев М.Н.* Практикум по физиологии растений. – М.: Колос, 2003. – 288 с.
- Чиркова Т.В.* Физиологические основы устойчивости растений. – С-Пб.: СПбГУ, 2002. – 244 с.
- Шакирова Ф.М.* Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.
- Alia Saradhi P.P., Mohanty P.* Involvement of proline in protecting thylakoid membranes against free radical-induced photodamage // J. Photochem. Photobiol. – 1997. – V. 38. – P. 253-257.
- Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D.* Rapid determination of free proline for water- stress studies // Plant Soil. – 1973. – V. 39. – P. 205-207.
- Burrit D.J.* Proline and the cryopreservation of plant tissues: functions and practical applications // Current Frontiers in Cryopreservation / Ed. K. Katkov. – InTech Open Access Publisher, 2012. – P. 415-430.
- Chen W.P., Li P.H.* Membrane stabilization by abscisic acid under cold aids proline in alleviating chilling injury in maize (*Zea mays* L.) cultured cells // Plant Cell Environ. – 2002. – V. 25. – P. 955-962.
- Dorffling K., Dorffling H., Lesselich G.* Heritable improvement of frost tolerance in winter wheat by *in vitro*-selection of hydroxyproline-resistant proline overproduction mutants // Euphytica. – 1997. – V. 93. – P. 1-10.
- Hare P.D., Cress W.A.* Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants // Plant Growth Regul. – 2003. – V. 21. – P. 79-102.
- Kemble A.R., MacPherson H.T.* Liberation of amino acids in perennial rye grass during wilting // Biochem. J. – 1954. – V. 58. – P. 46-49.
- Konstantinova T., Parvanova D., Atanassov A., Djilianov D.* Freezing tolerant tobacco, trans-

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА

- formed to accumulate osmoprotectants // *Plant Sci.* – 2002. – V. 163. – P. 157-164.
- Lehmann S., Funck D., Szabados L., Rentsch D.* Proline metabolism and transport in plant development // *Amino Acids.* – 2010. – V. 39. – P. 949-962.
- Lutts S., Kinet J.M., Bouharmont J.* NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance // *Ann. Bot.* – 1996. – V. 78. – P. 389-398.
- Mattioli R., Costantino P., Trovato M.* Proline accumulation in plants: not only stress // *Plant Signal Behav.* – 2009. – V. 4. – P. 1016-1018.
- Matysik J., Alia Bhalu B., Mohanty P.* Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants // *Curr. Sci.* 2002. – V. 82. – P. 525-532.
- Munshaw G.C., Ervin E.H., Shang C., Askew S.D., Zhang X., Lemus R.W.* Influence of late-season iron, nitrogen, and seaweed extract on fall color retention and cold tolerance of four bermudagrass cultivars // *Crop Sci.* – 2006. – V. 46. – P. 273-283.
- Smirnov N., Cumbes Q.J.* Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes // *Phytochem.* – 1989. – V. 28. – P. 1057-1060.
- Serraj R., Sinclair T.R.* Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? // *Plant Cell Environ.* – 2002. – V. 25. – P. 333-341.
- Svensson J., Ismail A.M., Palva E.T., Close T.J.* Dehydrins // *Sensing, Signalling and Cell Adaptation* / Eds. K.B.Storey, J.M. Storey. – Elsevier Science, 2002. – P. 155-171.
- Szabados L., Savoure A.* Proline: a multifunctional amino acid // *Trends Plant Sci.* 2009. – V. 15. – P. 89-97.
- Tatar O., Gevrek M.N.* Influence of water stress on proline accumulation, lipid peroxidation and water content of wheat // *Asian J. Plant Sci.* – 2008. – V. 7. – P. 409-412.
- Verslues P.E., Sharma S.* Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction // *Arabidopsis Book.* – 2010. – V. 8: e.0140, doi: 10.1199/tab.0140.

Поступила в редакцию
22.09.2015 г.

DYNAMICS OF PROLINE CONTENT IN TILLERING NODES OF WINTER CEREAL CROPS DURING AUTUMN-SPRING PERIOD

N. B. Katysheva, A. V. Pomortsev, N. V. Dorofeev, A. A. Peshkova, E. G. Rudikovskaya

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
(Irkutsk, Russia)
e-mail: mitanova2014@yandex.ru*

The dynamics of free proline content in tillering nodes of winter cereal crops: rye (*Secale cereale* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and triticale (*Triticosecale hexaploidii* (derzhavinii) Kurk. et Filat) during the autumn-spring period was studied. There were founded two spikes in free proline accumulation and a low proline period. It was shown that winter wheat variety Irkutsk had less content of free proline during the entire study period. It is assumed that the content of free proline in tillering nodes of winter cereals in late winter could serve as one of indicators of plant resistance to sudden temperature fluctuations of late winter.

Key words: *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Triticosecale hexaploidii*, free proline, low-temperature stress

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА

ДИНАМІКА ВМІСТУ ПРОЛІНУ У ВУЗЛАХ КУЩІННЯ ОЗИМИХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ПРОТЯГОМ ОСІННЬО-ВЕСНЯНОГО ПЕРІОДУ

Н. Б. Катишева, А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев, А. А. Пешкова, Є. Г. Рудиковська

*Федеральна державна бюджетна установа науки
Сибірський інститут фізіології і біохімії рослин
Сибірського відділення Російської академії наук
(Іркутськ, Росія)
e-mail: mitanova2014@yandex.ru*

Досліджено динаміку вмісту вільного проліну у вузлах кущіння озимих зернових культур: жита (*Secale cereale* L.), пшениці (*Triticum aestivum* L.) і тритикале (*Triticosecale hexaploidii* (derzhavinii) Kurk. et Filat) протягом осінньо-весняного періоду. Виявлено два піки накопичення вільного проліну та період з низьким вмістом цієї амінокислоти. Показано, що сорт озимої пшениці Іркутська відрізнявся нижчим вмістом вільного проліну протягом усього періоду досліджень. Висловлено припущення, що вміст вільного проліну у вузлах кущіння озимих зернових культур наприкінці зимівлі може бути одним із показників стійкості рослин до різких змін температури в цей період.

Ключові слова: *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Triticosecale hexaploidii*, вільний пролін, низькотемпературний стрес