

СОСТАВ ДЕГИДРИНОВ РАЗНЫХ ВИДОВ БЕРЕЗЫ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНЫХ РЕГИОНОВ

И.В. Васильева¹, Т.Д. Татарина¹, Л.В. Ветчинникова², А.А. Перк¹,
А.Г. Пономарев¹, О.С. Серебрякова², Н.Е. Петрова²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия, ira_spira_vas@mail.ru

²Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия, vetchin@krc.karelia.ru

Аннотация. Изучены особенности изменений состава дегидринов *Betula pendula* в условиях холодных регионов Евразии (Якутия, Карелия). При сравнении дегидринов этого вида березы с таковыми *B. pendula* var. *carelica* и *B. pubescens*, произрастающими в Карелии, выявлено значительное сходство состава и характера сезонных изменений. У всех видов березы высокий уровень дегидринов достигался зимой. Предполагается, что стрессовые белки – дегидрины участвуют в формировании низкотемпературной устойчивости растений.

Ключевые слова: холодные регионы, *Betula* L., дегидрины, сезонная динамика, полиморфизм

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-180-184

Повсеместное распространение в Евразии рода *Betula* L. обусловлено высокой экологической пластичностью его видов [Ветчинникова, 2004]. Наблюдаемый у березы генетический полиморфизм обеспечивает оптимальную приспособленность отдельных популяций к климатическим различиям. В условиях холодных регионов растения подвергаются наибольшему воздействию стрессовых факторов, главными из которых являются низкие отрицательные температуры. К таким регионам относятся Якутия с ее резко континентальным климатом и Карелия с умеренно континентальным климатом, переходным к морскому. Для климата первой особенно характерны экстремальные зимние холода, а для последней – неустойчивые возвратные потепления в осенне-зимний период и похолодания – в весенне-летний. Вместе с тем, оба региона исследований располагаются на одинаковой географической широте, что предопределяет одинаковую долготу дня для произрастающих здесь растений. В Якутии, где проходит северо-восточная граница ареала березы, основным видом является береза повислая (*Betula pendula* Roth.). В Карелии, наряду с этим видом, распространена береза пушистая (*B. pubescens* Ehrh.), предпочитающая более влажные местообитания. В южной части Карелии аборигенным представителем дендрофлоры является также карельская береза (*B. pendula* Roth. var. *carelica* (Mercklin) Hamet-Ahti), рассматриваемая как ценная техническая разновидность березы повислой [Ветчинникова и др., 2013].

В физиолого-биохимических механизмах устойчивости древесных растений к абиотическим факторам, включая низкотемпературный, важная роль отводится белкам дегидринам [Аллагулова и др., 2003; Welling, Palva, 2006; Kosova et al., 2010]. Дегидрины представляют собой семейство белков LEA, которые синтезируются и накапливаются у сосудистых растений в ответ на стресс [Welling, Palva, 2006]. Различные сочетания консервативного К-сегмента и ряда других сегментов (Y-, S-, E-, A- и N-сегменты) определяют их функциональные свойства, связанные с криопротекторной, антифризной, антиоксидантной и металлсвязывающей функциями [Svensson et al., 2002; Welling, Palva, 2006; Kosova et al., 2010].

Целью работы являлось изучение особенностей дегидринов в почках березы повислой в условиях холодных регионов (на примере Якутии и Карелии), а также сравнение состава дегидринов этого вида березы с таковыми карельской березы и березы пушистой, произрастающих на территории Северо-Запада России (Карелия).

Объектом исследований служили почки 30–40-летних деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.). Сбор образцов осуществляли в Карелии (окрестности г. Петрозаводска, 62 °с.ш., 35 °в.д.) и Якутии (окрестности г. Якутска, 62 °с.ш., 130 °в.д.). Также были изучены березы *B. pendula* var. *carelica* (Mercklin) Hamet-Ahti и *B. pubescens* Ehrh. вышеупомянутой карельской локации. Значения многолетних температурных показателей регионов даны согласно: <http://www.pogodaiklimat.ru>. Выделение белков из растительного материала, аналитический электрофорез и иммуноблоттинг осуществляли согласно принятым методикам [Татарина и др., 2017, 2018]. Идентификацию дегидринов выполняли с использованием поликлональных антител против их консервативного К-сегмента («Agriseга», Швеция).

Независимо от особенностей природно-климатических условий Карелии и Якутии сравнительный анализ дегидринов в почках *Betula pendula* выявил определенное сходство их состава (таблица). Были обнаружены две группы дегидринов (56–73 и 14–21 кДа), причем 17 кДа дегидрин идентифицирован у всех изученных растений. Вместе с тем, в условиях Якутии спектры дегидринов в почках березы повислой в зимний период характеризовались более выраженным внутривидовым полиморфизмом, особенно в области 14–21 кДа. Также у отдельных растений якутской популяции идентифицированы дегидрины с мол. массами 14, 15, 18 и 21 кДа, отсутствующие в почках березы Карелии.

В сезонных изменениях дегидринов в почках березы повислой в условиях Карелии и Якутии проявляются общие черты. Так, в почках изученных популяций березы низкомолекулярные дегидрины (14–21 кДа), преобладающим из которых являлся 17 кДа дегидрин, характеризовались выраженной сезонной динамикой. Напротив, среднемолекулярные дегидрины (56–73 кДа) были представлены круглогодично почти на одинаковом уровне. Низкомолекулярные дегидрины синтезировались в конце лета – начале осени (август–сентябрь) при подготовке растений к покою и сохранялись в течение всего периода с низкими зимними температурами, но полностью исчезали по мере распускания почек в начале вегетации (май). При этом обнаружено, что их содержание в почках было значительно выше у растений в условиях Якутии по сравнению с таковым в Карелии. Также показано, что накопление и исчезновение низкомолекулярных дегидринов в межсезонье у березы повислой значительно быстрее происходит в условиях криолитозоны, что может свидетельствовать об особенностях обменных процессов, связанных с коротким вегетационным периодом, а также более резким повышением температуры в весенний период и более ранним ее снижением осенью в Якутии по сравнению с Карелией.

Во второй части исследования было проведено сравнение сезонных изменений состава дегидринов основных видов березы, произрастающих в условиях Северо-Запада Евразии (Карелии). У изученных растений *B. pendula*, *B. pendula* var. *carelica* и *B. pubescens* дегидрины выявлены в двух, ранее отмеченных нами выше, областях – 56–73 и 14–17 кДа, причем дегидрин с мол. массой 17 кДа обнаружен у всех растений. Максимальное накопление этих низкомолекулярных стресс-белков происходило к концу фенологической осени и устойчиво сохранялось в течение зимнего периода у всех берез, независимо от их видовой принадлежности, в отличие от среднемолекулярных дегидринов, представленных круглогодично. Одновременно, во время зимнего покоя в почках основных видов березы Карелии внутри- и межвидовой полиморфизм мажорных дегидринов не был выявлен, а обнаруженные у отдельных растений различия носили, в основном, количественный характер.

Таблица.

Температурные показатели климата и сезонная динамика дегидринов* в почках разных видов березы, произрастающих в условиях Якутии и Карелии

Месяцы/ дегидрины	II	III	IV	V	VIII	IX	X	XI
Многолетняя температура воздуха, °С (г. Якутск)								
минимальная	-38,2	-27,4	-11,8	1,0	8,9	1,2	12,2	-31,0
средняя	-33,8	-20,1	-4,8	7,5	15,2	6,1	-7,8	-27,0
максимальная	-28,6	-12,3	1,7	13,2	21,5	11,5	-3,6	-23,1
<i>Betula pendula</i> , якутская популяция								
56-73 кДа	139	135	134	100	73	94	118	124
17 кДа	119	116	56	0	55	147	161	163
Многолетняя температура воздуха, °С (г. Петрозаводск)								
минимальная	-12,3	-7,0	-1,6	3,9	10,7	6,3	1,4	-5,2
средняя	-9,1	-3,7	2,3	8,7	14,5	9,5	3,8	-2,8
максимальная	-5,9	-0,3	6,5	13,6	18,6	13,1	6,4	-0,5
<i>B. pendula</i> , карельская популяция								
56-73 кДа	166	215	243	247	208	132	139	185
17 кДа	128	80	32	0	24	87	105	137
<i>B. pendula</i> var. <i>carelica</i> , карельская популяция								
56-73 кДа	96	147	106	116	96	77	69	142
17 кДа	48	17	12	0	2	15	52	66
<i>B. pubescens</i> , карельская популяция								
56-73 кДа	156	164	175	118	252	110	128	155
17 кДа	51	19	21	0	0	19	109	128

*денситометрическая плотность (ДП, отн. ед.) 17 кДа дегидрина в мае принята за нулевой уровень.

Имеющиеся литературные данные также связывают динамику некоторых дегидринов с формированием устойчивости к холоду. Так, в условиях Финляндии при наступлении низких температур у *B. pendula* ранее был обнаружен 36 кДа дегидрин [Puhakainen et al., 2004]. В другой работе максимум содержания 24 кДа дегидрина в почках *B. pubescens* в тех же условиях отмечался в течение всего осенне-зимнего периода, 30 кДа дегидрина – только в холодный сезон, а 33 кДа дегидрина – в течение всего года [Rinne et al., 1998]. Ранее нами было показано, что в почках якутской популяции березы повислой самый высокий уровень 17 кДа дегидрина выявлялся в зимний период при низких температурах [Пономарев и др., 2014; Татарина и др., 2017, 2018]. У других видов древесных растений, например, кизила (*Cornus sericea*), дегидрины также накапливались при подготовке к зиме, чему предшествовало уменьшение содержания воды в тканях [Karlson et al., 2003].

Таким образом, в почках березы повислой, произрастающей в Карелии и Якутии – холодных регионах, различающихся по абсолютным значениям минимальных показателей зимней температуры, выявлены специфические сезонные изменения стрессовых белков-дегидринов. Также впервые в почках карельской березы и березы пушистой северо-западных популяций определен состав дегидринов и проведен сравнительный анализ их динамики в годовом цикле. Внутривидовой полиморфизм дегидринов более выражен у березы повислой в условиях резко континентального климата

Якутии в отличие от более умеренного в Карелии. Вероятно, это обусловлено особенностями адаптации древесных растений к экстремально низким зимним температурам, характерным для криолитозоны. Значительных различий в сезонных вариациях дегидринов в почках основных видов березы Карелии не выявлено. В целом, особенности сезонной динамики отдельных дегидринов, например, дегидрина с мол. массой 17 кДа, полученные в ходе изучения разных видов березы удаленных популяций, позволяют предположить вероятное участие этих белков в биохимических процессах, ассоциированных с формированием низкотемпературной устойчивости.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания ИБПК СО РАН (регистрационный номер АААА-А17-117020110054-6) и ИЛ КарНЦ РАН (тема № 0220-2014-0009).

Литература

Аллагулова Ч.Р., Гималов Ф.Р., Шакирова Ф.М., Вахитов В.А. Дегидрины растений: структура и предполагаемые функции // Биохимия. – 2003. – Т. 68. – С. 1157–1165.

Ветчинникова Л.В. Береза: вопросы изменчивости (морфо-физиологические и биохимические аспекты). – М.: Наука, 2004. – 183 с.

Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Кузнецова Т.Ю. Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. – 312 с.

Пономарев А.Г., Татарина Т.Д., Перк А.А., Васильева И.В., Бубякина В.В. Дегидрины, ассоциированные с морозоустойчивостью березы плосколистной Восточной Сибири // Физиология растений. – 2014. – Т. 61, № 1. – С. 114–120.

Татарина Т.Д., Бубякина В.В., Ветчинникова Л.В., Перк А.А., Пономарев А.Г., Васильева И.В. Стрессовые белки-дегидрины в почках березы повислой в контрастных по климату регионах // Цитология. – 2017. – Т. 59, № 2. – С. 156–160.

Татарина Т.Д., Ветчинникова Л.В., Бубякина В.В., Перк А.А., Пономарев А.Г., Васильева И.В. Дегидрины в почках основных видов березы в условиях Карелии // Физиология растений. – 2018. – Т. 65, № 2. – С. 153–160.

Karlson D.T., Zeng Y.V.E., Stirm R., Joly J., Ashworth E.N. Photoperiodic regulation of a 24-kDa dehydrin-like protein in red-osier dogwood (*Cornus sericea* L.) in relation to freeze-tolerance // Plant Cell Physiol. – 2003. – V. 44. – P. 25–34.

Kosova K., Prasil I.T., Vitamvas P. Role of dehydrins in plant stress response // Handbook of Plant and Crop Stress. – Tucson: CRC Press, 2010. – P. 239–285.

Puhakainen T., Li Ch., Boije-Malm M., Kangasjarvi J., Heino P., Palva E.T. Short day potentiation of low temperature-induced gene expression of a C-repeat-binding factor-controlled gene during cold acclimation in silver birch // Plant Physiol. – 2004. – V. 136. – P. 4299–4307.

Rinne P., Welling A., Kaikuranta P. Onset of freezing tolerance in birch (*Betula pubescens* Ehrh.) involves LEA proteins and osmoregulation and is impaired in an ABA deficient genotype // Plant Cell Environ. – 1998. – V. 21. – P. 601–611.

Svensson J., Ismail A.M., Palva E.T., Close T.J. Dehydrins // Cell and molecular responses to stress. – Amsterdam: Elsevier Press, 2002. – P. 155–171.

Welling A., Palva E.T. Molecular control of cold acclimation in trees // Physiol. Plant. – 2006. – V. 127. – P. 167–181.

COMPOSITION OF DEHYDRINES IN DIFFERENT BIRCH TYPES IN CONDITIONS OF COLD REGIONS

I.V. Vasilieva¹, T.D. Tatarinova¹, L.V. Vetchinnikova², A.A. Perk¹, A.G. Ponomarev¹,
O.S. Serebryakova², N.E. Petrova²

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, ira_spira_vas@mail.ru

²Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia, vetchin@krc.karelia.ru

Abstract. The peculiarities of the changes in the composition of dehydrin *Betula pendula* in the conditions of the cold regions of Eurasia (Yakutia, Karelia) are studied. When comparing dehydrins of this species of birch with those of *B. pendula* var. *carelica* and *B. pubescens*, growing in Karelia, revealed a significant similarity in the composition and nature of seasonal changes. In all types of birch, a high level of dehydrin was achieved in the winter. It is assumed that stress proteins-dehydrins participate in the formation of low-temperature resistance of plants.

Keywords: cold regions, *Betula L.*, dehydrins, seasonal dynamics, polymorphism