

LITERATURE

1. Filová, A., Rovná, K., Skrzypek, E. Faktory ovlivňující kvalitu a distribuci taxolu v explantátových kulturách tisů (*Taxus* spp.) // In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2007. Praha: VURV, 2007. P. 492–497. ISBN 978-80-87011-00-3
2. Hillová, D. Adaptabilita bylinnej vegetácie k suchu a aridizácii a jej využitie v sadovníckej tvorbe // In: Trendy udržateľného rozvoja krajiny. Zborník z vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou. Nitra, 2002. P. 16–18. ISBN 80-7137-999-9
3. Hillová, D. Overovanie suchovzdorných trvaliek v meniacich sa podmienkach globálneho otepľovania na rôznych typoch konštrukčných systémov // In: Biotechnology 2006. České Budějovice: Scientific Pedagogical Publishing. P. 940–943. ISBN 8085645-53-X
4. Jureková, Z.
5. Larcher, W. Fyziologická ekologie rastlin. Praha: Academia, 1988. 361 p. ISBN 80-200-0586-2
6. Larcher, W. Physiological Plant Ecology. Berlin: Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2003. 488 p. ISBN 3-540-43516-6
7. Masarovičová, E., Repčák, M., Erdelský, K., Gašparíková, O., Ješko, T., Mistrík, I. Fyziológia rastlín. Bratislava: UK, 2002. 303 p. ISBN 80-223-1615-6
8. Olšovská, K., Brestič, M., Živčák, M., Kmet', J. Fyziológia a ekofyziológia rastlín: systematický výkladový slovník. Nitra: SPU, 2008. 160 p. ISBN 978-80-552-0089-7
9. Paganová, V., Lichtnerová, H., Dragúňová, M. Vodným stresom indukované fyziologické reakcie semenáčikov hrušky planej (*Pyrus pyraeaster* L. Burgsd) // In: Biotechnology. Scientific Pedagogical Publishing: 2008. P. 119–122. ISBN 80-85645-58-0
10. Slovák, L., Mistrík, I. Fyziologické procesy rastlín v podmienkach stresu. Bratislava: UK, 2007. 238 p. ISBN 978-80-223-2322-2
11. URL 1 http://ohioline.osu.edu/sc157/sc157_13.html. URL 2 <http://rsbweb.nih.gov/ij/>

DYNAMICS OF FREE AMINO ACIDS IN MALE CATKINS OF CURLY BIRCH

Repin A.V.

Forest Research Institute of Karelian Research Center of RAS, Petrozavodsk, E-mail: andyrepin@gmail.com

Abstract. Free amino acids composition and content in *Betula* sp. male generative organs were studied. 23 amino acids were detected. They were presented in all trees. The amino acid composition in birch catkins was found to change during their development. Citrulline was the main free amino acid transported in the xylem to stem, leaves and catkins. Citrulline plays an important role in nitrogen translocation. Proline prevails in male catkins after dormancy in spring. The newly formed male catkins accumulate arginine during the summer.

ДИНАМИКА СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ МУЖСКИХ СОЦВЕТИЙ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ

Репин А.В.

Учреждение Российской академии наук Институт леса КарНЦ РАН,
Петрозаводск, 185910, ул. Пушкинская, 11, E-mail: andyrepin@gmail.com

Карельская береза *Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, известная также как curly birch, является одной из ценных древесных пород Карелии. Ее древесина отличается от обычной березы более высокой плотностью и декоративностью и, по всей вероятности, является результатом аномального развития. Не вызывает сомнения, что узорчатая текстура древесины карельской березы обусловлена генетически и передается по наследству. Основными структурными звеньями, из которых строятся молекулы белков и нуклеиновых кислот, являются аминокислоты. Они являются также предшественниками многих других азотистых соединений и активно участвуют в обмене веществ, влияя тем самым на рост и развитие тканей и органов растений.

В последние десятилетия усилился интерес к сравнительному изучению метаболизма растений, характеризующихся нормальным и аномальным развитием. Основное внимание при этом уде-

ляется биохимическим показателям вегетативной сферы. Лишь немногочисленные работы посвящены изучению генеративных органов растений. Вследствие этого, основной целью нашей работы явилось изучение состава и динамики содержания свободных аминокислот мужских соцветий карельской березы по мере их роста и развития.

Объектами изучения служили 20–30-летние деревья карельской березы *Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, произрастающие на экспериментальных участках Института леса Карельского НЦ РАН (Агробиологическая станция Института биологии КарНЦ РАН). Сбор мужских соцветий проводили в разные фазы их развития: от начала формирования (июнь) до полного созревания и высыпания пыльцы (май следующего календарного года). Подготовка образцов к анализу аминокислот проводили по методике, предложенной Г.Л. Калинкиной [3] с модификациями. К навеске измельченного растительного материала (50–150 мг воздушно сухой массы) добавляли 30 мл горячей дистиллированной воды и выдерживали в водяной бане в течение 10–15 мин. Экстракт отделяли от растительного материала и упаривали при 70°C. Перед введением в анализатор экстракт растворяли в цитрат-литиевом буфере (рН 2,2). Дозировка на хроматографическую колонку проводилась в количестве 100 мкл. Определение свободных аминокислот проводили на аминокислотном анализаторе «ААА-339» (Чехословакия). Содержание аминокислот в исследуемом материале рассчитывали, исходя из соотношений площадей пиков стандартных калибровочных растворов аминокислот и испытуемых образцов.

Исследования показали, что в мужских соцветиях карельской березы содержится более 20 свободных аминокислот: аспарагиновая кислота, гидроксипролин, треонин, серин, аспарагин, глутаминовая кислота, глутамин, пролин, глицин, аланин, цитруллин, валин, цистеин, метионин, изолейцин, лейцин, тирозин, фенилаланин, γ -аминомасляная кислота, орнитин, лизин, гистидин и аргинин.

Изучение динамики свободных аминокислот, содержащихся в мужских соцветиях карельской березы, выявило наличие двухвершинной кривой. Первая вершина максимального накопления аминокислот наблюдалась в начальный период (июнь) формирования мужской генеративной сферы (рис. 1). Затем, по мере роста и развития пыльцы в процессе синтеза белков происходило расходование аминокислот, в результате их содержание снижалось, достигая минимума к началу периода глубокого покоя (ноябрь), и сохранялось на этом уровне до окончания периода вынужденного покоя. Зимний период характеризовался значительным сокращением содержания всех свободных аминокислот, поскольку основная их часть концентрировалась в запасных белках.

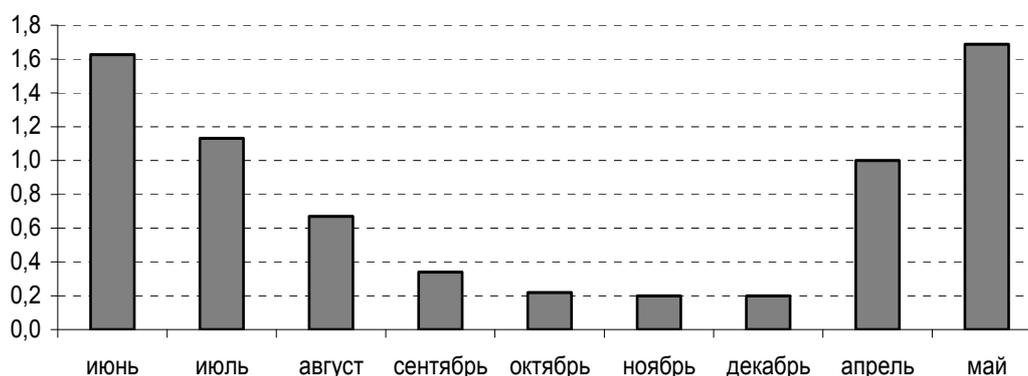


Рисунок 1. Динамика свободных аминокислот в мужских сережках карельской березы в течение года на примере треонина.

По вертикали: концентрация в нм/мг; по горизонтали сроки отбора образца

Пыльца по мере созревания в весенний период являлась активным акцептором, и доля свободных аминокислот в мужских соцветиях вновь постепенно повышалась (рис. 2), что соответствовало второму равноценному максимуму в динамике аминокислот. В период «пыления» растения березы «сбрасывали» богатую аминокислотами пыльцу и после освобождения пыльников (вторая декада мая) содержание свободных аминокислот в соцветиях резко падало.

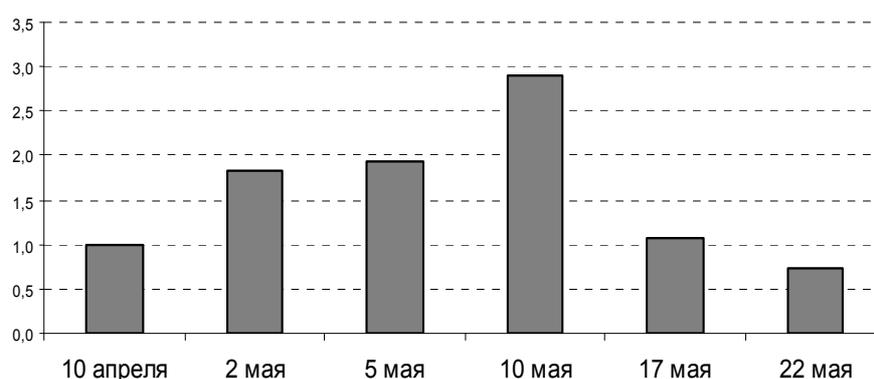


Рисунок 2. Динамика свободных аминокислот в мужских сережках карельской березы конец апреля – май на примере треонина.

По вертикали: концентрация в нм/мг; по горизонтали сроки отбора образца

Другая картина наблюдалась в динамике содержания аргинина (рис. 3). На начальных этапах формирования мужских соцветий (июнь) его накопление происходило более медленно по сравнению с другими аминокислотами. Резкое увеличение доли аргинина (более чем в четыре раза) выявлено в период активной ассимиляционной деятельности фотосинтетического аппарата. Подобная тенденция увеличения концентрации к середине июля отмечалась также для цитруллина, но его концентрация возрастала не столь значительно (не более чем в два раза) по сравнению с июнем. В дальнейшем, к осени, концентрация аргинина в мужских соцветиях постепенно убывала, достигая наиболее низких величин в зимний период. В период весеннего развития по мере созревания пыльцы вследствие распада запасных белков наблюдался второй максимум в увеличении концентрации аргинина (рис. 4), но он значительно уступал по уровню, отмеченному в период активной вегетации растений.

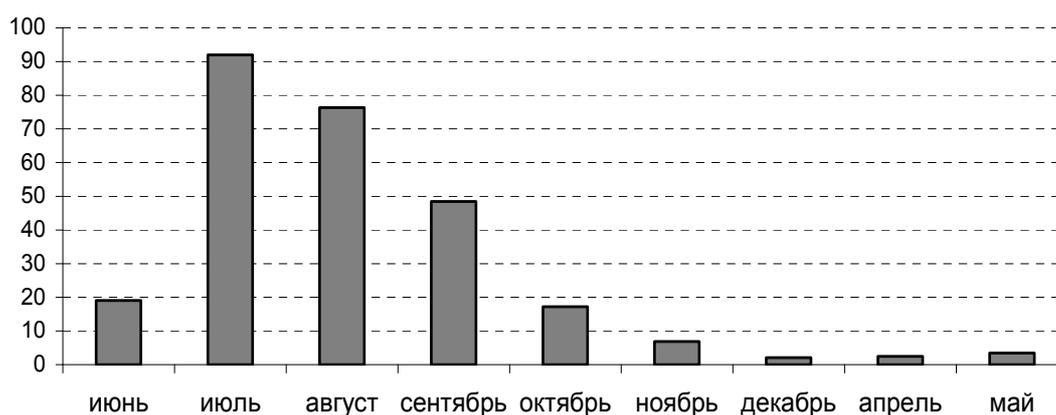


Рисунок 3. Динамика аргинина в мужских сережках карельской березы в течение года.

По вертикали: концентрация в нм/мг; по горизонтали сроки отбора образца.

Следует отметить исключительное накопление пролина в мужских соцветиях ранней весной в период сокодвижения березы. Так, на этом этапе развития его доля составляла почти 30 % (рис. 5), а вместе с глутамином и аргинином достигала 50 % от суммарного содержания изученных аминокислот. Как отмечалось нами ранее [10], цитруллин является одним из основных органических азотсодержащих компонентов киселемного сока березы, который через орнитинный цикл превращается в аргинин, и наблюдаемая высокая концентрация аргинина обусловлена наибольшей потребностью этой аминокислоты в синтезе запасных белков. Этот резерв аргинина, вероятно, реализуется ранней весной для синтеза пролина.

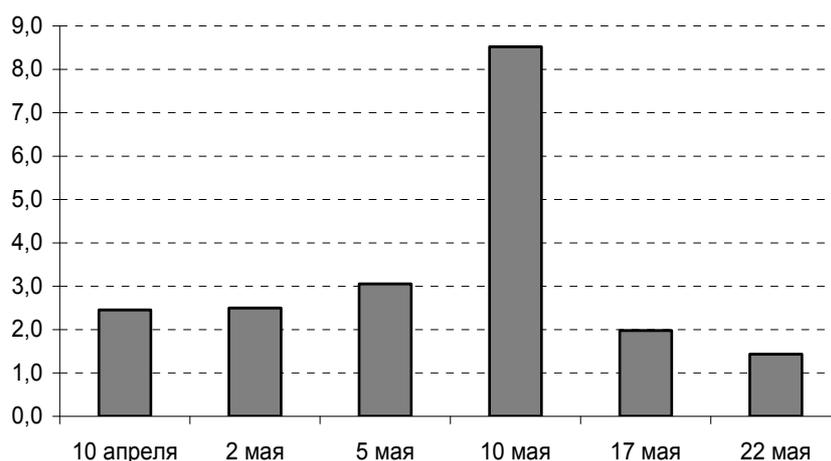


Рисунок 4. Динамика аргинина в мужских сережках карельской березы в течение мая.

По вертикали: концентрация в нм/мг; по горизонтали сроки отбора образца

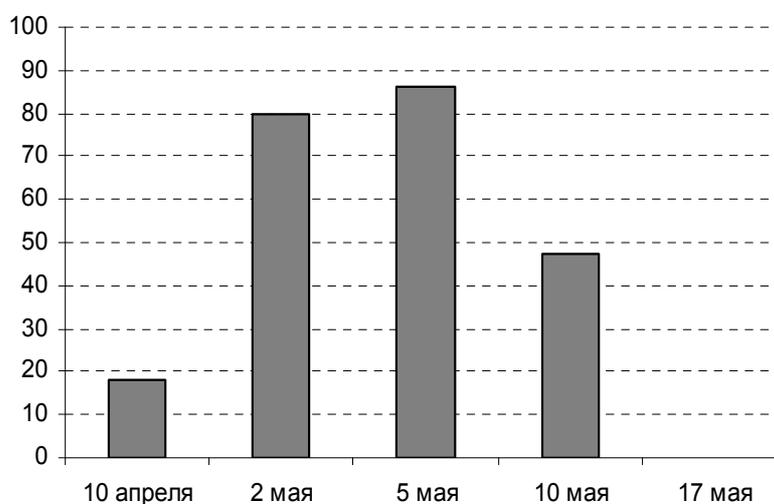


Рисунок 5. Динамика пролина в мужских сережках карельской березы в течение конец апреля – начало мая.

По вертикали концентрация в н/м/мг; по горизонтали сроки отбора образца.

Высокое содержание свободного пролина отдельные авторы обнаруживали при изучении пыльцы березы [11], а другие – пыльцы хвойных растений, например, лиственницы (8–10 %), сосны (30 %), кедра (56 %) [4]. Кроме того, при сравнительном изучении мужской стерильности у различных видов растений отмечены изменения в соотношении отдельных аминокислот в аминокислотном пуле, поскольку количественный и качественный состав аминокислот обусловлены механизмами цитоплазматической регуляции и спецификой метаболизма растения. Исключительно высокое содержание пролина в тканях гаметофита обуславливает определенную физиологическую «нагрузку», которую он выполняет в процессах формирования пыльцы. Пролин пыльцы, по мнению Е.А. Бритикова [1], вовлекается в самые ранние фундаментальные реакции гаметогенеза, а его дефицит в пыльниках может иметь прямое отношение к abortивности пыльцы. Массовое накопление свободного пролина начинается после завершения мейоза, а в фазе тетрад он был обнаружен в заметных количествах. У нормально развивающихся растений накопление свободного пролина происходит после редукционного деления и осуществляется за счет притока пролина из вегетативных органов, которое впоследствии, вероятно, расходуется на построение пыльцевой трубки [1].

По данным других исследователей, содержание пролина начинает снижаться на стадии мейоза и становится прогрессивным к периоду интерфазы микроспор, когда уже наблюдается дегенерация пыльцевого зерна. Дефицит пролина может быть следствием некоторых дефектов в мейозе или в предшествующей стадии микроспорогенеза [12]. Параллельное накопление глутаминовой кислоты в стерильных пыльниках свидетельствует о торможении процессов превращения последней в пролин, предшественником которого она является. Относительно высокое содержание аспарагина в пыльниках растений с мужской стерильностью также обусловлено, по всей вероятности, метаболическими отклонениями [8]. Следовательно, высокая концентрация пролина в пыльце является физиологической нормой, но не исключено также и влияние стрессовых факторов. Аргинин, γ -аминомасляная кислота и глутамин (глутаминовая кислота), метаболизм которых связан с пролином, по мнению Н.Е. Судачковой [6], также выполняют важную роль в весеннем повышении концентрации свободных аминокислот.

Подобный рост концентрации пролина зафиксирован многими исследователями перед началом активного роста почек березы [9, 2] и сосны [2], что совпадает по фазе с созреванием пыльцы, формирующейся в мужских сережках. По мнению Н.Е. Судачковой [7], накопление пролина в распускающихся почках сосны (до 50 % от суммы аминокислот), наблюдаемое перед началом активного роста побегов, связано с недостаточной оводненностью тканей вследствие продолжительного действия низких температур в зоне корневой системы в весенний период. Содержание свободного пролина в растениях, произрастающих в условиях, оптимально обеспеченных влагой, обычно незначительно. Высокая осмотическая активность и слабый ингибирующий эффект высоких концентраций пролина позволяют ему выполнять регуляторную роль в распределении влаги в условиях ее дефицита. Не исключено, что подобное явление при весеннем сокодвижении может наблюдаться и у березы.

Таким образом, изучение динамики содержания свободных аминокислот показало, что по мере развития мужских сережек у карельской березы изменения в концентрации свободных аминокислот носят двухвершинный характер с максимальными значениями в начальный период формирования соцветий и в фазу полного созревания пыльцы. В весенний период в мужских соцветиях отмечено накопление пролина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бритиков Е.А. Биологическая роль пролина. М., «Наука», 1975. 87 с.
2. Ветчинникова Л.В. Карельская береза и другие редкие представители рода *Betula* LM., "Наука", 2005. 266 с.
3. Калинин Л.Г., Назаренко Л.В., Гордеева Е.Е. Модифицированный метод выделения свободных аминокислот для определения на аминокислотном анализаторе // Физиол., раст. 1990. Т. 37. № 3. С. 617–621
4. Надеждин В.В., Аларкон НЛ., Митрофанова ТК., Толкачев ОН. Исследование химического состава пыльцы лиственниц // Лесоведение. 1983. № 4. С. 71–73.
5. Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф. Азотный обмен у сосны на Севере. Л., «Наука», 1980. 166 с.
6. Судачкова Н.Е. Метаболизм хвойных и формирование древесины. Новосибирск, «Наука», 1977. 231 с.
7. Судачкова Н.Е., Гирс Г.И., Прокушкин С.Г. Физиология сосны обыкновенной. Новосибирск. «Наука», Сиб. отд-ние, 1990. 248 с.
8. Федин М.А., Кузнецова Т.А. Гаметоциды и их применение в селекции. М., 1977.
9. Чернобровкина Н.П., Иванова Р.П. Исследование аминокислотного состава семян и почек березы карельской в осенне–зимне–весенний период // Лесоведение. 1978. № 4.
10. Шуляковская Т.А., Ветчинникова Л.В., Ильинова М.К., Канючкова Г.К., Ретин А.В., Веселкова Л.Л. Аминокислотный, жирнокислотный и углеводный состав сока некоторых видов рода *Betula* // Растительные ресурсы. 2006. Т. 42. Вып. 2. С. 69–77.
11. Krizo Milan, Liska Ivo. Aminokyseliny v peli vybranych druhov lesnych drevin // Biologia (CSSR). 1987. Vol. 42. № 5. P.431–438.
12. Rai R. K., Stoskopf N.C. Amino acid comparisons in male sterile wheat derived from *Triticum timopheevi* Zhuk. cytoplasm and its fertile counterpart // Theoret. Appl. Genetics. 1974. Vol. 44. № 3. P. 124–127.