44. *Wheeler R.M., Peterson B.V., Stutte G.W.* Ethylene production throughout growth and development of plants // Hort. Sci. 2004. 39. P. 1541–1545.

45. *Wheeler R.M., Tibbitts T.W.* Growth and tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) under continuous light // Plant Physiol. 1986. 80. P. 801–804.

46. *Zijlstra S., Groot S.P.C., Jansen J.* Genotypic variation of rootstocks for growth and production in cucumber; possibilities for improving the root system by plant breeding // Sci. Hort.1994. 56(3). P. 185–196.

NITROGEN COMPOUNDS IN THE ORGANS OF SILVER BIRCH AND CURLY BIRCH SAPLINGS, AND THEIR RESPONSE TO NITROGEN TREATMENTS

Shulyakovskaya T.A., Repin A.V., Shreders S.M.

Forest research institute of Karelian research center of Russian academy of sciences, Petrozavodsk, Pushkinskaya St., 11.
Tel. (8142)768160. E-mail: sea39@rkmail.ru

Abstract. A study was carried out to find distinctions in the nitrogen status of plants of two forms of the birch species *Betula pendula* early in the ontogeny, and to compare their responses to nitrogen application to the soil. Compared to silver birch, curly birch had higher nitrogen supply to the organs, higher concentrations of the main transport nitrogen compound – amino acid citrulline – in the trunk, and the concentration of glutamic acid – a central link in nitrogen metabolism – in the leaves is maintained at a certain level during the growing season. Application of nitrogen fertilizers to the soil resulted in a notable rise in the content of protein nitrogen in the bark and wood of 3-year-old curly birch saplings during intensive cambial activity (July). High dose nitrogen treatments significantly enlarged the amount of amino acids in the leaves and, especially, in the bark of curly birch. Curly birch saplings responded to a moderate dose nitrogen treatment with weight increment, when the whole plant weight increased by 42 %, and the weight of axial organs – by 57 % compared to the control.

АЗОТИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ОРГАНАХ САЖЕНЦЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ И ИХ РЕАКЦИЯ НА ПОДКОРМКИ АЗОТОМ

Шуляковская Т.А., Репин А.В., Шредерс С.М.

Учреждение Российской академии наук Институт леса КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11. Тел. (8142)768160. E-mail: sea39@rkmail.ru

Азот является лимитирующим фактором роста и развития древесных растений [8]. Существует тесная взаимосвязь между скоростью обеспечения азотом и расходом его с одной стороны и скоростью роста с другой. Внутренний азотный статус дерева может воздействовать не только на суммарную скорость роста [6], но также на внутреннее разделение потребления C и N. Наибольшее количество азота потребляется на синтез белка и хлорофилла. Недостаток хлорофилла уменьшает фотосинтез и, таким образом, отрицательно сказывается на росте. Источником значительной части азота, используемого для формирования листьев весной, является ремобилизация его запасов в растении [5]. Листья используют энергию и углеродные соединения, созданные при фотосинтезе, для ассимиляции азота в первоначальные аминокислоты (глутамин и глутамат). Аминогруппы этих продуктов обмена затем перемещаются путем реакций трансаминирования для формирования множества аминокислот, необходимых для синтеза белков и других целей [4, 7, 8].

Ранние этапы онтогенеза березы повислой *Betula pendula* Roth и ее формы – карельской березы изучены очень мало. Теоретический интерес представляют сведения о том, различаются ли однолетние сеянцы двух форм березы одного вида в метаболическом плане; какие особенности азотного обмена (важнейшего из всех) намечаются в органах карельской березы, растущей в одинаковых условиях с березой повислой, на ранних этапах онтогенеза. Практический интерес представляют способы воздействия на метаболизм сеянцев березы для ускорения и усиления образования узорчатой древесины ствола карельской березы, и в результате – получения желаемой морфологической формы березы аномального строения. Целью работы являлось исследование динамики азотистых соединений у сеянцев карельской

березы в сравнении с одновозрастными сеянцами березы повислой на втором году жизни, выявление различий в азотном статусе растений разных форм березы одного вида на раннем этапе онтогенеза, растущих в одинаковых условиях; а также изучение влияния подкормок разными дозами азота на показатели азотного обмена и наращивание сухой массы 2–3-летних саженцев березы повислой и карельской березы, сравнение реакции двух форм березы вида *Betula pendula* на внесение в почву азота.

Объектами исследования были однолетние сеянцы и 2–3-летние саженцы березы повислой *Betula pendula* Roth и карельской березы *B. pendula* var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, выращенные из сертифицированных семян от контролируемого опыления, закупленных в Финляндии в фирме Forelia OY. На второй год жизни сеянцы росли без покрытия теплицы пленкой и их брали на анализы в различные фенофазы: в середине мая, когда почки начали распускаться; в конце июня по завершении роста листьев; в середине июля – период активной камбиальной деятельности, т. е. при максимальной скорости роста стебля в толщину, и в ноябре – период глубокого покоя. Сеянцы отбирали по 7 штук каждой формы, делили на органы: почки, листья брахибластов, листья ауксибластов первой генерации и ауксибластов второй генерации, кору и древесину стволика, корни диаметром до трех миллиметров. 2–3-летние саженцы березы двух форм использовали при изучении влияния подкормок азотом на растения в течение 2006–2007 гг. с мая по август. На участке со средним уровнем азота вносили экофоску в количестве 5 г на м^2 каждые 10 дней, а на участке с высоким уровнем азота – экофоску и аммиачную селитру по 10 г на м^2. В качестве контроля использовали саженцы того же возраста и происхождения, выращиваемые на таких же участках, но без подкормок на почве с низким уровнем азота. Двулетние саженцы березы повислой и карельской березы выкапывали для анализов в конце апреля (период подготовки к росту), в начале июля (период активной камбиальной деятельности), а также в середине октября 2007 г. (глубокий покой). В начале вегетационного периода и по его окончании проводили биометрические измерения и взвешивания саженцев по 5–7 штук в каждой группе, полученные данные обрабатывали статистически. По 3 растения делили на органы: почки, листья, корни, кору и древесину стволика. Усредненные навески органов фиксировали в жидком азоте и высушивали в лиофильной сушилке. Общий и белковый азот в тканях определяли по методике [2]. Свободные аминокислоты экстрагировали из тканей горячей водой на водяной бане [1]. Состав и содержание аминокислот изучали с помощью автоматического аминокислотного анализатора ААА-339.

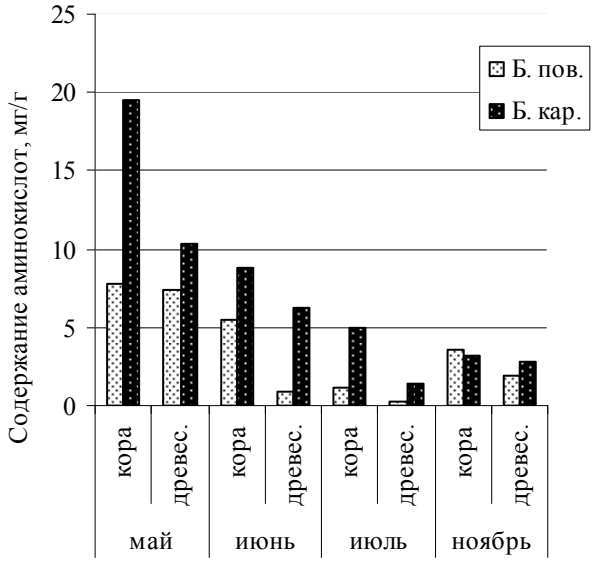


Рисунок 1. Суммарное содержание свободных аминокислот в стволовой части 1-летних сеянцев березы повислой и карельской березы в разные фенофазы

Сравнение сеянцев березы повислой и карельской березы показало, что во второй вегетационный период их жизни отмечалось явное преобладание карельской березы по уровню обеспечения тканей азотом. Ее корни активней поглощали азот и синтезировали аминокислоты, древесина и кора пропускали больший объем азотных соединений, снабжая ткани и органы сеянцев азотом (рис. 1). В периоды активных ростовых процессов стволовая часть сеянцев карельской березы содержала много

цитруллина – соединения, в виде которого азот транспортируется по растению. Абсолютные концентрации цитруллина в коре и древесине стволиков сеянцев карельской березы значительно выше таковых у березы повислой и в июне (периоде активного роста побегов, листьев), и в июле (времени роста стволика в толщину) (рис. 2). В июле снижался общий уровень свободных аминокислот, в том числе и цитруллина, в тканях сеянцев, но росла доля цитруллина в суммарном содержании аминокислот в коре и древесине стволика карельской березы. Одним словом, сохранялась важная роль этой аминокислоты в обеспечении растения азотом. В листьях ауксибластов сеянцев карельской березы отмечено преобладание над березой повислой по содержанию аминокислот, занимающих центральные позиции в обмене всех аминокислот, а именно глутаминовой и аспарагиновой кислот, а также резервных форм глутаминовой кислоты – глутамина и γ-АМК. Следует отметить, что при значительном снижении общего количества свободных аминокислот и отдельных их представителей в листьях сеянцев карельской березы в июле содержание глутаминовой кислоты сохранялось на определенном уровне, т. е. в листьях поддерживалась концентрация глутаминовой кислоты, являющейся главным поставщиком аминогрупп в реакциях переаминирования. Есть доказательства, что при большинстве обстоятельств растение способно поддерживать концентрацию глутамата в довольно узких пределах. Механизм этот включает ряд ферментов, присутствующих в различных клеточных компартментах, главным образом, глутаминсинтетаза, глутаматсинтаза и глутаматдегидрогеназа [3]. Итак, уже на раннем этапе онтогенеза карельской березы, а именно, на втором году жизни сеянцев, когда еще отсутствуют видимые отличия в строении древесины стволика, появляющиеся позднее, есть различия в показателях азотного обмена тканей и органов. По сравнению с березой повислой у карельской березы выше уровень обеспеченности органов азотом, более высокие концентрации основного транспортного соединения азота у березы – непротеиногенной аминокислоты цитруллина в стволовой части, а в листьях в период роста поддерживается на определенном уровне концентрация глутаминовой кислоты – центрального звена в обменных процессах азотистых соединений.

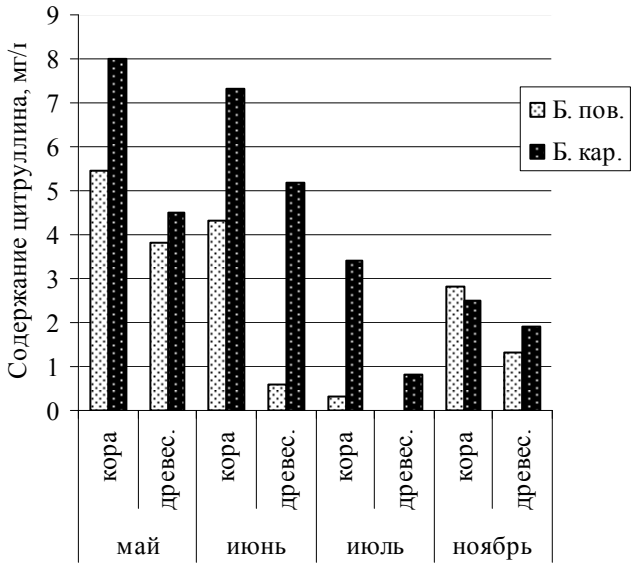


Рисунок 2. Содержание цитруллина в стволиках 1-летних сеянцев березы повислой и карельской березы в разные фенофазы

Внесение азотных удобрений в почву приводило к заметному повышению уровня белкового азота в коре и древесине 2-летних саженцев карельской березы в период активной деятельности камбия (июль) (рис. 3). Увеличение доли белкового азота от общего в древесине саженцев в данный период под влиянием высокой дозы азота позволяет предположить, что избыточный азот запасается в древесине в форме белков.

В контрольных саженцах карельской березы суммарное содержание свободных аминокислот превышало данный показатель у березы повислой в листьях – в 3 раза, в коре – в 2 раза. Подкормки высокими дозами азота способствовали существенному увеличению количества аминокислот в листьях и, особенно, в коре карельской березы, что говорит об ответной реакции саженцев на избыток азота в виде усиления синтеза аминокислот в листьях и их оттока по флоэме (часть коры) (рис. 4). В

древесине и корнях саженцев карельской березы наиболее эффективной по повышению уровня свободных аминокислот была средняя доза азота, что может подтверждать предположение о переходе избытка азота из небелковой формы в белковую в древесине.

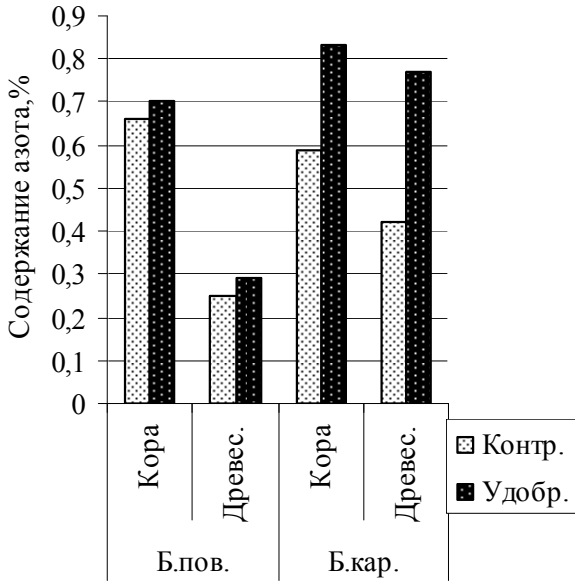


Рисунок 3. Содержание белкового азота в стволовой части 2-летних саженцев березы повислой и карельской березы при подкормках азотом, % от сух. в-ва.

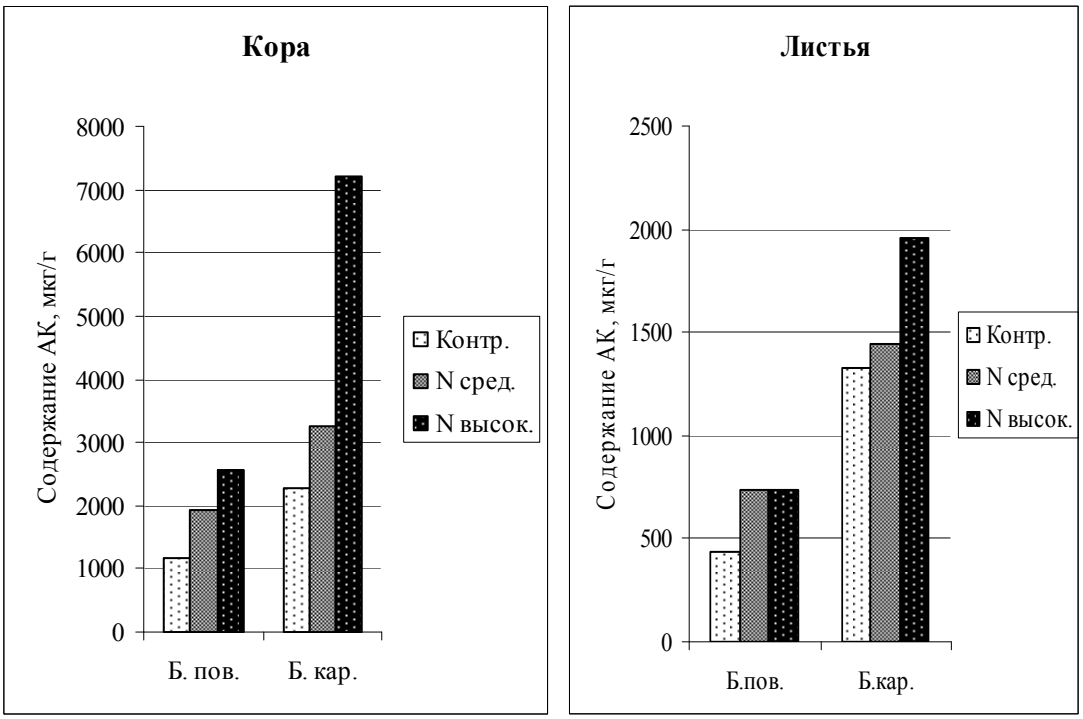


Рисунок 4. Общее содержание свободных аминокислот в листьях и коре 2-летних саженцев березы повислой и карельской березы при подкормках азотом.

(Контр. – контроль, Nсред. – средний уровень азота; Nвысок. – высокий уровень азота).

Под влиянием азотных подкормок возрастала доля цитруллина в коре и древесине. У хорошо обеспеченных азотом саженцев карельской березы в коре обнаруживали почти половину всех свободных аминокислот саженца, и из них 68 % представлено цитруллином.

В конце вегетационного периода было обнаружено небольшое повышение массы саженцев березы повислой (всего растения и его осевых органов) под влиянием высокой дозы азота. Саженцы карельской березы реагировали нарастанием массы на среднюю дозу подкормки азотом, когда масса всего растения увеличивалась на 42 %, а осевых органов – на 57 % по сравнению с контролем. Высокая доза подкормки не стимулировала наращивание массы саженцев карельской березы.

ВЫВОДЫ

• Уже на второй год жизни сеянцев двух форм *Betula pendula* Roth заметна разница в их азотном статусе. По сравнению с березой повислой карельская береза активней синтезировала в листьях и корнях аминокислоты, лучше обеспечивала органы сеянца азотом, пропуская больший объем цитруллина по осевым органам.

• Внесение азотных удобрений в почву приводило к заметному повышению содержания белков в коре и древесине 2-летних саженцев карельской березы в период активной деятельности камбия. Подкормки высокими дозами азота стимулировали синтез аминокислот в листьях карельской березы и отток их по коре. В итоге саженцы карельской березы реагировали на азотные удобрения нарастанием массы всего саженца и, особенно, его осевых органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калинкина Л.Г., Назаренко Л.В., Гордеева Е.Е.* Модифицированный метод выделения свободных аминокислот для определения на аминокислотном анализаторе // Физиология растений. 1990. Т. 37. Вып. 3. С. 617-621.

2. *Чикина, П.Ф.* Азотный обмен // Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере. Л.: Наука, 1985. С. 57–82.

3. *Forde B.G., Lea P.J.* Glutamate in plants: metabolism, regulation and signaling, // Journal of Experimental Botany. 2007. Vol. 58. № 9. P. 2339–2358.

4. *Maimann S., Wagner C., Kreft O., Zeh M., Willmitzer L., Hőfgen R., Hesse H.* Transgenic potato plants reveal the indispensable role of cystathionine ß-lyase in plant growth and development // The Plant Journal. 2000. Vol. 23. P. 747–758.

5. *Millard P.* Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth // J. Plant Nutr. Soil Sci. 1996. Vol. 159. P. 1–10.

6. *Millard P., Proe M.F.* Nitrogen uptake, partitioning and internal cycling in Picea sitchensis (Bong) Carr. as influenced by nitrogen supply // New Phytol. 1993. Vol. 125. P. 113–119.

7. *Roessner U., Luedemann A., Brust D., Fiehn O., Linke T., Willmitzer L., Fernie A.R.* Metabolic profiling allows comprehensive phenotyping of genetically or environmentally modified plant systems // The Plant Cell. 2001. Vol. 13. P. 11–29.

8. *Suarez M.F., Avila C., Gallardo F., Canton F.R., Garcia-Gutierrez A., Claros M.G., Canovas F.M.* Molecular and enzymatic analysis of ammonium assimilation in woody plants // Journal of Experimental Botany. 2002. Vol. 53. № 370. P. 891–904.

LIPID COMPOSITION OF TRUNK TISSUES IN CURLY BIRCH SAPLINGS AS RELATED TO FIGURED GRAIN FORMATION

Shulyakovskaya T.A., Ilyinova M.K., Kanyuchkova G.K.

Forest research institute of Karelian research center of Russian academy of sciences,
Petrozavodsk, Pushkinskaya St., 11. Tel. (8142)768160. E-mail: sea39@rkmail.ru

Abstract. The content and fatty acid composition of three lipid fractions (neutral lipids, glycolipids, and phospholipids) in the trunk tissues of 7–8-year-old curly birch saplings were studied. The parameters were compared in saplings with normal and abnormal trunk development. The results show that neutral lipids in curly birch saplings with abnormal trunk development are distributed so that in the upper part of the trunk they are plentiful in the phelloderm, and in the lower part – in the wood. Thus, the most figured (lower) section of the trunk contains more neutral lipids in the wood than in the phelloderm. In addition, we found significantly higher content and unsaturation of phospholipid fatty acids in figured wood, mostly owing to linoleic acid (fatty acid with two double bonds). Comparison between curly birch plants with normal and abnormal development