

НАКОПЛЕНИЕ L-АРГИНИНА В ХВОЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО КРОНЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ РЕГУЛЯЦИИ АЗОТНОГО И БОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

© **Е.В. Робонен**¹, *вед. физик*

Н.П. Чернобровкина¹, *д-р биол. наук, доц.*

Т.Н. Макарова¹, *вед. химик*

В.П. Короткий², *чл.-кор. МАНЭБ, директор НТЦ «Химинвест»*

Ю.Н. Прытков³, *д-р с.-х. наук, проф.*

С.С. Марисов⁴, *асп.*

¹ Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910

E-mail: er51@bk.ru

² ООО НТЦ «Химинвест», ул. Нижне-Волжская набережная, 6/1, г. Нижний Новгород, Россия, 603001

E-mail: himinvest@sandy.ru

³ Аграрный институт Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, ул. Российская, 31, п. Ялга, г. Саранск, Россия, 430904

E-mail: agro-inst@adm.mrsu.ru

⁴ Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107

E-mail: himinvest@sandy.ru

Значительное количество биологически активных веществ древесной зелени сосны составляют водорастворимые фракции, к которым относятся и свободные аминокислоты, используемые при лечении многих заболеваний. Содержание и состав свободных аминокислот в растении варьирует в широких пределах в связи с обеспеченностью элементами минерального питания. Повышение уровня аминокислот в растительном сырье и изменение их количественного соотношения в соответствии с конкретными задачами можно осуществлять путем регуляции режима минерального питания растений. При внесении только азотных удобрений у хвойных происходит накопление аминокислот с высоким содержанием азота. Аргинин является основной аминокислотой для запасаания азота у многих хвойных. Качественный и количественный состав свободных аминокислот в хвое может варьировать в пределах кроны и зависеть от сроков внесения удобрений, что важно учитывать при заготовке растительного материала.

Цель работы – изучение влияния сроков внесения удобрений на накопление L-аргинина в хвое и его распределение в кроне сосны обыкновенной. Экспериментальный участок находился на юге Карелии, в 10-летнем молодняке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) естественного возобновления. Для построения распределения L-аргинина в кроне на модельном участке в почву в третьей декаде августа вносили азот в количестве 50,00 г/м² в виде сухой аммиачной селитры и бор в количестве 0,25 г/м² в виде водного раствора борной кислоты. Для оптимизации сроков на опытных участках в почву вносили азотные и борные удобрения в первой декаде июня, третьих декадах июля и августа. С учетом показателей, характеризующих соотношение масс хвои и стеблей в зависимости от положения в кроне дерева, а также распределения L-аргинина по мутовкам, можно рекомендовать сбор хвои первого и второго годов со 2-й – 4-й мутовки дерева. Внесение удобрений в первой декаде июня наиболее эффективно при заготовке обогащенной L-аргонином хвои сосны обыкновенной в осенне-зимний период.

Ключевые слова: минеральное питание, азот, бор, L-аргинин, *Pinus sylvestris* L.

Ежегодно в Республике Карелия вырубается около 30 тыс. га лесов (около 2/3 сосняки, 1/3 ельники), что приводит к образованию отходов в виде древесной зелени сосны (100...240 тыс. т) и ели (100...200 тыс. т). Древесная зелень и кора хвойных содержат комплекс веществ, обладающих высокой биологической активностью и представляющих практически все классы органических соединений, обнаруженных в растениях [15]. Успехи химии природных соединений и биотехнологии за последние десятилетия расширили возможности применения экстрактивных веществ, получаемых из растительного сырья, во многих областях медицины, ветеринарии, пищевой, парфюмерно-косметической, химической промышленности и сельском хозяйстве [3]. Ведутся работы по созданию новых, более эффективных лекарственных форм для ветеринарии, принципиально новых технологий их производства на основе природных соединений биомассы

дерева [13]. В практике животноводства начинают использовать кормовые биологически активные добавки, восполняющие недостаток необходимых элементов питания – белков, витаминов, макро- и микроэлементов [6]. Вся история фармации и фармакологии свидетельствует о приоритетности соединений природного происхождения в ходе создания и применения лекарственных веществ самого разнопланового действия [12]. В качестве недостатка природных лекарственных соединений отмечают ограниченность природных источников, крупномасштабное использование которых может привести к экологическим проблемам. Использование древесной зелени, напротив, способствует решению, в том числе и природоохранных задач [5]. Значительное количество (до 30%) биологически активных веществ древесной зелени сосны составляют водорастворимые фракции, к которым относятся и свободные аминокислоты [18], используемые при лечении многих заболеваний. *L*-аргинин относится к группе полунезаменимых аминокислот и играет важную роль в жизнедеятельности организма, являясь предшественником оксида азота (NO), обладающего широким спектром биорегуляторных действий [2, 4, 9]. Разработана композиция *L*-аргинина в сочетании с растительными компонентами, синергически индуцирующая синтез NO и способствующая системной сосудистой релаксации [27]. Различные виды животных имеют разную способность к эндогенному синтезу *L*-аргинина и диетическую потребность в нем. Высокой потребностью в *L*-аргине отличаются хищные животные, рыбы, домашняя птица [19, 20]. Повышение в растительном сырье уровня доступных для усвоения аминокислот, обладающих высокой биологической активностью, и изменение их количественного соотношения в соответствии с конкретными задачами можно осуществлять путем регуляции минерального питания растений. Количественно наиболее важным элементом питания растений, одной из основных составляющих таких важнейших соединений, как хлорофилл, нуклеиновые кислоты, аминокислоты, пептиды, белки, является азот [29]. Из почвы растения поглощают азот как в минеральной, так и в органической форме (аминокислоты, пептиды и белки) [26]. Разбалансированность минерального питания хвойных растений приводит к изменению состава свободных аминокислот в их тканях [21, 22, 24, 25]. При избытке азота и дефиците фосфора у хвойных происходит накопление аминокислот с высоким содержанием азота (аргинин, лизин и орнитин). Ранее нами было показано стимулирующее влияние бора на накопление *L*-аргинина у сосны обыкновенной на фоне высокого обеспечения азотом и дефицита других элементов питания [17]. Качественный и количественный состав свободных аминокислот, в том числе *L*-аргинина, в хвое может варьировать в пределах кроны, имеет сезонную, суточную динамику, зависит от внешних воздействий [11, 16, 24, 25].

Крона дерева представляет собой большую, сложную, динамичную, морфологически и физиологически целостную систему. Исследованию ее структуры и развития у лесных древесных растений уделялось значительное внимание исследований [1, 14]. С точки зрения сбора растительного материала для дальнейшего использования в практических целях, важно выявить закономерности распределения *L*-аргинина в хвое в зависимости от расположения ее в кроне дерева. Качество полученного растительного материала (хвойная лапка, обогащенная *L*-аргонином, включающая как хвою, так и стебли) зависит также от доли (по массе), приходящейся на хвою. Одним из показателей при разработке технологии повышения уровня *L*-аргинина у хвойных растений является выявление сроков внесения азота и бора в почву.

Цель работы – изучение распределения *L*-аргинина в кроне сосны обыкновенной при внесении в почву азота в высокой и бора в оптимальной дозах и влияние сроков внесения на накопление *L*-аргинина в хвое.

Исследования проводили в 10-летнем молодняке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) естественного возобновления, сформировавшемся на расчищенной 10 лет назад трассе ЛЭП. Напочвенный покров при работах по расчистке был уничтожен с образованием «техногенного» ландшафта. Почва участков песчаная, напочвенный покров бедный (редкий) или отсутствовал.

На модельном участке в третьей декаде августа на 1 м² почвы вносили 50,00 г азота в виде сухой аммиачной селитры и 0,25 г бора в виде водного раствора борной кислоты. В апреле на опытном участке для построения распределения массы хвои по кроне отбирали 5 модельных деревьев высотой 2...4 м, определяли сырую массу хвои ($m_{x_{jn}}$) и стеблей ($m_{c_{jn}}$) отдельно по возрастам (i) для каждой мутовки (j) у каждого дерева (n), отбирали навески для определения влажности и расчета сухой массы по стандартной методике, выражали массу в процентах ($m'_{x_{ij}}$) от общей массы охвоенной части кроны каждого дерева (без учета ствола и неохвоенной части ветвей), полученной суммированием, и рассчитывали для выборки деревьев

средние

значения

($m'_{x_{jn}, \text{средн}}$). Построение распределения хвои по кроне проведено в относительных единицах, что позволило обобщить данные, полученные на деревьях, отличающихся по высоте и массе кроны, но имеющих одинаковое количество живых мутовок. Концентрацию *L*-аргинина в хвое определяли отдельно по годам, мутовкам и деревьям ($a_{x_{jn}}$, мкг/мг), умножали на соответствующую массу хвои ($m_{x_{jn}}$), определяли сумму *L*-аргинина, содержащуюся в хвое каждой мутовки для каждого дерева (A_{jn}), рассчитывали долю, приходящуюся на мутовку в процентах от суммы по дереву, что позволило построить распределение *L*-аргинина в кроне для каждого дерева на общем графике.

Для оптимизации сроков внесения удобрений в мае было заложено три опытных и один контрольный участок (площадь каждого 50 м²). На опытных участках в почву в первой декаде июня, третьих декадах июля и августа вносили азот (70,00 г/м²) в виде сухой аммиачной селитры и бор (0,25 г/м²) в виде водного раствора борной кислоты. На контрольном участке азот и бор в почву не вносили. В сентябре–декабре с третьих мутовок деревьев опытных и контрольного участков отбирали образцы хвои по годам отдельно и фиксировали методом лиофилизации. Экстракцию аминокислот из хвои проводили горячей (60° С) водой. Содержание *L*-аргинина в хвое определяли по методу Сакагучи [23]. Распределение массы хвои по кроне (от общей массы охвоенной части кроны дерева, но без учета стволовой части и скелетных неохоженных ветвей), построенное по данным 5 модельных деревьев (рис. 1), показало, что большая часть хвои первого года располагается на 2-й – 4-й мутовках (49,6 % от суммы хвои в кроне и 77,8 % от хвои первого года в кроне), второго года – на 3-й – 4-й мутовках (19,5 % от суммы хвои в кроне и 71,2 % от хвои второго года в кроне), а первого – третьего годов в сумме – на 3-й – 4-й мутовках (59,4 % от суммы хвои в кроне). В сумме масса хвои первого – третьего годов составила 69 % массы охвоенной части кроны.

Исследование распределения *L*-аргинина в хвое трех лет жизни по мутовкам 10-летней сосны обыкновенной, под которую были внесены азот и бор, показало, что аминокислота накапливалась преимущественно в хвое 2-й – 4-й мутовок (рис. 2).

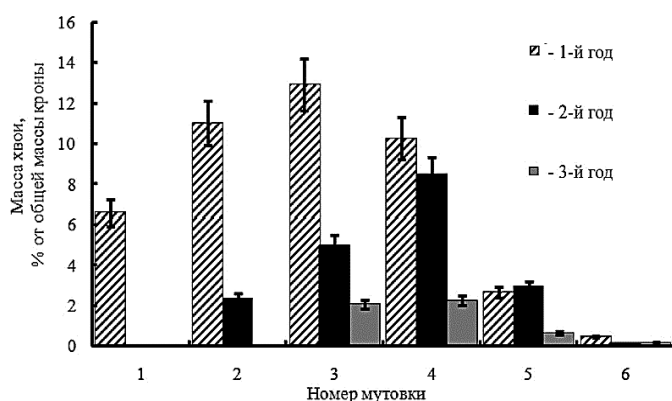


Рис. 1. Распределение массы хвои по кроне 10-летних деревьев сосны обыкновенной при избыточном обеспечении азотом (50,00 г/м²) и оптимальном обеспечении бором (0,25 г/м²), внесенных в почву в третьей декаде августа (массу хвои и побегов определяли в конце апреля)

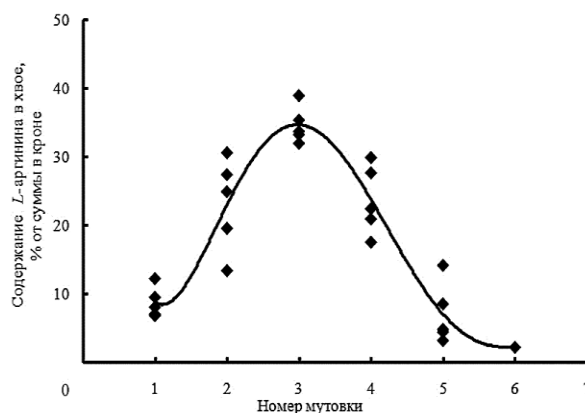


Рис. 2. Распределение содержания *L*-аргинина хвои по кроне 10-летних деревьев сосны обыкновенной при избыточном обеспечении азотом (50,00 г/м²) и оптимальном обеспечении бором (0,25 г/м²), внесенных в почву в третьей декаде августа (массу хвои и содержание *L*-аргинина в ней определяли в конце апреля)

При сборе растительного материала с деревьев в качестве сырья для получения органических соединений важным является показатель, характеризующий соотношение массы

органов в кроне дерева по мутовкам. Закономерности распределения фракций фитомассы в кроне активно исследовались [10, 14]. Показано, что для молодых деревьев характерен ярко выраженный акропетальный градиент вегетативного роста побегов. По направлению от вершины и периферии кроны уровень разнообразия и средний размер побегов сокращаются сначала очень резко, затем плавно [1]. Для оценки качества полученного растительного материала (хвойная лапка, обогащенная *L*-аргинином, включающая как хвою, так и стебель) определяли долю массы хвои в побеге (m_x/m_c) по годам в зависимости от положения в кроне (рис. 3).

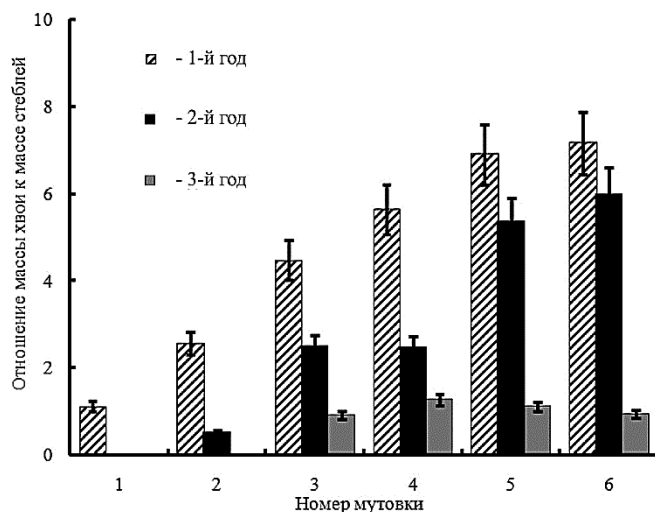


Рис. 3. Отношение массы хвои первого – третьего годов к массе стеблей соответствующего возраста по мутовкам 10-летних деревьев сосны обыкновенной

Для побегов первого года жизни этот показатель увеличивался от вершины дерева к основанию от 1,1 на 1-й мутовке до 7,2 на 6-й мутовке, для побегов второго года – от 0,5 до 6,0 (рис. 3). Отношение массы хвои третьего года жизни к массе стеблей того же возраста не изменялось заметно по мутовкам дерева и имело низкие значения. Масса хвои первого и второго годов жизни со 2-й – 4-й мутовок дерева в сумме составляла 50 % от общей массы охвоенной части кроны и содержала 78,0 % *L*-аргинина, накопленного в хвое всей кроны. С учетом хвои третьего года на 2-й – 4-й мутовках содержалось до 83,6 % *L*-аргинина кроны. На основании полученных данных можно заключить, что при заготовке хвойной лапки, обогащенной *L*-аргинином, наиболее целесообразно отбирать хвою первого и второго годов жизни со 2-й – 4-й мутовок дерева.

Среднее за период с конца сентября до середины декабря содержание *L*-аргинина в хвое 10-летней сосны обыкновенной в контроле (без внесения удобрений) составляло 0,1 ... 0,2 % от сухой массы (рис. 4), а при внесении азота и бора в почву в первой декаде июня оно было в 23 раза больше у хвои первого года, в 6 раз – у хвои второго года. *L*-аргинин является подвижной формой азота, позволяющей регулировать содержание его минеральных форм, выполняет запасную функцию азота в хвойных растениях [11, 22, 24]. Запас *L*-аргинина в органах хвойных растений обеспечивает азотом процессы их раннего весеннего роста и сезонного развития. При июльском внесении удобрений в почву *L*-аргинин преимущественно накапливался в хвое первого года. К концу сентября его концентрация в хвое опытных деревьев в 10 раз превосходила концентрацию в хвое первого года у контрольных деревьев, в двух- и трехлетней хвое – соответственно в 8 и 3 раза. Наименьшее количество *L*-аргинина успело накопиться к концу сентября – середине декабря при внесении удобрений в почву в третьей декаде августа. Содержание *L*-аргинина в одно- и двухлетней хвое повышалось в 3 раза, в трехлетней хвое оставалось на уровне контроля. Эксперимент по выявлению зависимости накопления *L*-аргинина в хвое сосны обыкновенной от сроков внесения удобрений убедительно показал, что при сборе растительного сырья в осенне-зимний период наиболее эффективным из исследованных является вариант внесения удобрений в июне.

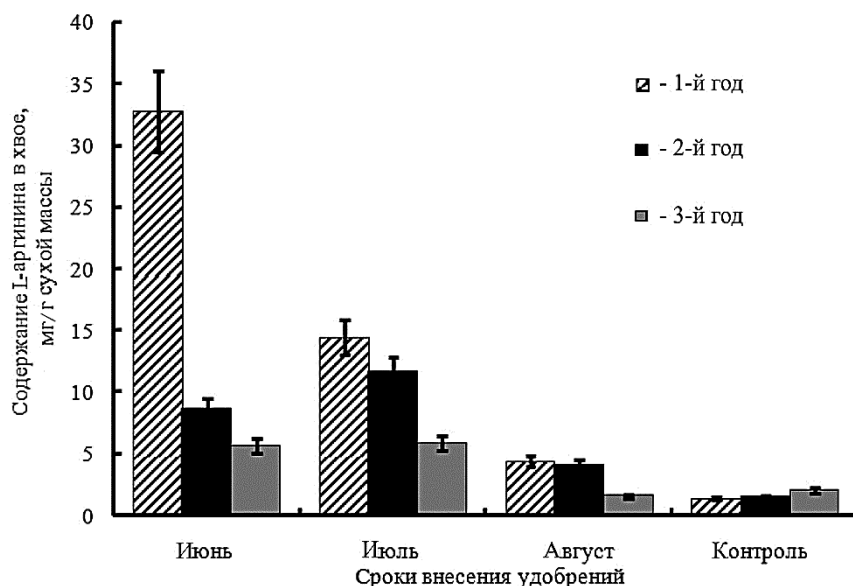


Рис. 4. Зависимость концентрации *L*-аргинина в хвое 10-летних деревьев сосны обыкновенной в осенне-зимний период (сентябрь–декабрь) от сроков внесения удобрений в почву (азот – 70,00 г/м²; бор – 0,25 г/м²)

Следует подчеркнуть, что рекомендуемый способ внесения удобрений не является способом ухода в целях повышения продуктивности древостоя. Относительно доз внесения удобрений под сосну имеется обширная литература [8, 16]. Недавними исследованиями, в частности, показано, что поток ассимилятов, направляемый от кроны 14-летних деревьев сосны обыкновенной к корням и почвенной биоте снижался на 60 % через год после внесения азотных удобрений [28]. Повышенная доза азота в первый год у сосны нарушала ассимиляцию CO₂, отток из хвои углеродных продуктов и в целом вела к снижению продуктивности деревьев [7].

С учетом показателей, характеризующих долю массы хвои к массе стеблей в зависимости от положения в кроне дерева, а также распределения *L*-аргинина по мутовкам, можно рекомендовать заготовку хвои первого и второго годов со 2-й – 4-й мутовки дерева. Внесение удобрений в первой декаде июня наиболее эффективно для накопления *L*-аргинина в хвое сосны обыкновенной в осенне-зимний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горошкевич С.Н.* Пространственно-временная и структурно-функциональная организация кроны кедра сибирского: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2011. 61 с.
2. *Граник В.Г.* Метаболизм *L*-аргинина (обзор) // Хим.-фарм. журн. 2003. Т. 37, № 3. С. 3–20.
3. *Журавлева Л.Н.* Переработка древесной зелени хвойных с использованием сжиженных углеводов: автореф. ... канд. техн. наук: Красноярск, 2005. 24 с.
4. Использование нингидриновой реакции для количественного определения α-аминокислот в различных объектах: метод. рек. / А.В. Симонян, А.А. Саламатов, Ю.С. Покровская, А.А. Аванесян. Волгоград: ВолгГМУ, 2007. 106 с.
5. Источники получения древесной зелени для производства аргининового иммуностимулятора / Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина, О.В. Чернышенко, М.И. Зайцева // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 3. С. 11–15.
6. *Клопова Н.М.* Экономические аспекты развития кормопроизводства // Экономика и социум. 2012. № 2. С. 200–202. Режим доступа: <http://www.iupr.ru/1-2011-g/> (Обращение 12 янв. 2013 г.)
7. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Влияние дозы азота при подкормках на отток ¹⁴C-ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 7–12. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Листов А.А., Коновалов В.Н.* Влияние минеральных удобрений на сезонный рост сосны в высоту // Лесоведение. 1988. № 1. С. 33–42.
9. *Марков Х.М.* *L*-аргинин – оксид азота в терапии болезней сердца и сосудов // Кардиология. 2005. № 6. С. 87–95.
10. *Нагимов З.Я.* Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 43 с.
11. *Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф.* Азотный обмен у сосны на Севере. Л.: Наука, 1980. 166 с.

12. Племенков В.В. Природные соединения – основной базис поиска химиотерапевтических субстанций // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всерос. конф., 21–23 апреля 2009 г. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. Кн. 2. С. 11–14.
13. Разработка новых технологий получения лекарственных форм для ветеринарной медицины на основе живицы сосновой / В.П. Короткий, В.И. Великанов, Н.И. Богданович, В.И. Рошин, И.Ф. Водопьянов, И.В. Четч // Лесн. журн. 2012. № 5. С. 125–133. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Распределение фитомассы в сосняке лишайниковом / Н.Г. Балыков, Л.М. Виликайнен, Е.В. Робонен, А.В. Смирнов // Лесоведение. 1989. № 6. С. 57–63.
15. Ушанова В.М., Степень Р.А., Репях С.М. Переработка древесных отходов хвойных деревьев // Химия раст. сырья. 1998. № 2. С. 17–23.
16. Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
17. Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И. Накопление L-аргинина в хвое сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения // Химия раст. сырья. 2010. № 3. С. 71–75.
18. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени / Под ред. Ю.И. Холькина. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 224 с.
19. Ball R.O., Urschel K.L., Pencharz P.B. Nutritional consequences of interspecies differences in arginine and lysine metabolism // J. Nutr. 2007. Vol. 137, N 6. P. 1626–1641.
20. Cengiz Ö., Küçükersan S. Effects of graded contents of arginin supplementation on growth performance, haematological parameters and immune system in broilers // Revue Méd. Vét. 2010. Vol. 161, N 8–9. P. 409–417.
21. Engvild K.C. The “Red” Decline of Norway Spruce or “Røde Rødgraner” – Is it Ammonium Overload or Top-Dying? // Risø National Laboratory. April, 2005. 16 p.
22. Gezelius K., Näsholm T. Free amino acids and protein in Scots pine seedlings cultivated at different nutrient availabilities // Tree Physiology. 1993. Vol. 13, N 1. P. 71–86.
23. Greenstein J.P., Winitz M. Chemistry of Amino Acids. New York, London: John Velej and Sons, 1961. IV. P. 1847–1848.
24. Huhn B.G., Schulz H. Contents of free amino acids in Scots pine needles from field sites with different levels of nitrogen deposition // New Phytologist. 1996. Vol. 134. P. 95–101.
25. Näsholm T., Ericsson A. Seasonal changes in amino acids, protein and total nitrogen in needles of fertilized Scots pine trees // Tree Physiology. 1990. Vol. 6. P. 267–281.
26. Näsholm T., Kielland, K. Ganeteg U. Uptake of organic nitrogen by plants // Tansley Review New Phytologist. 2009. Vol. 182. P. 31–48.
27. Pat. 6340480. (IPC1-7): A61K35/78 AN 09/473105 01/22/2002. Natural composition for the treatment of circulatory conditions United States / Duckett M.J., Moore K.
28. Quantification of effects of season and nitrogen supply on tree below-ground carbon transfer to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest / M.N. Högberg, M.J.I. Briones, S.G. Keel, D.B. Metcalfe, C. Campbell, A.J. Midwood, B. Thoornton, V. Hurry, S. Linder, T. Nasholm, P. Hogberg // New Phytologist. 2010. Vol. 187. P. 485–493.
29. Tegeder M., Rentsch D. Uptake and Partitioning of Amino Acids and Peptides // Molecular Plant. 2010. Vol. 3, N 6. P. 997–1011.

Поступила 11.02.13

Accumulation of L-Arginine in Scots Pine Needles and Its Distribution over the Crown Under Regulation of Nitrogen and Boron Supply

E.V. Robonen¹, Leading Physicist

N.P. Chernobrovkina¹, Doctor of Biology, Associate Professor

T.N. Makarova¹, Leading Chemist

V.P. Korotky², Corresponding Member of the International Academy of Ecology, Human Safety and Nature, Director of the Science and Technology Center "Himinvest"

Yu.N. Prytkov³, Doctor of Agriculture, Professor

S.S. Marisov⁴, Postgraduate Student

¹ Forest Research Institute KRC RAS, Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russia

E-mail: er51@bk.ru

² Science and Technology Center "Himinvest", Nizhne-Volzhskaya naberezhnaya, 6/1, Nizhny Novgorod, 603001, Russia

E-mail: himinvest@sandy.ru

³ Institute of Agriculture, Ogarev Mordovia State University, Rossiyskaya 31, Yalga, Saransk, 430904, Russia

E-mail: agro-inst@adm.mrsu.ru

⁴ Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russia

E-mail: himinvest@sandy.ru

A significant number of biologically active substances in pine wood green are water-soluble fractions, such as free amino acids which are used in the treatment of many diseases. The content and composition of free amino acids in a plant vary greatly depending on nutrient concentration. The level of amino acids in plant materials can be raised and their proportion can be changed, in accordance with a specific task, by regulating mineral nutrition of

plants. Fertilization with nitrogen alone greatly increases the amount of amino acids rich in nitrogen in the organs of conifers. Arginine is the major amino acid for nitrogen storage in many conifers. The quality and quantity of free amino acids composition in the needles can vary within the crown and may depend on the date of fertilization. This is important to consider when harvesting plant materials.

The authors studied the influence of fertilization date on the content of L-arginine in Scots pine needles and its distribution in the crown. The experimental site was located in the south of Karelia. The stand consisted of naturally regenerated 10-year-old Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.). To determine the distribution of L-arginine in the crown, we added to the soil a 50 g/m² dose of nitrogen in the form of dry ammonium nitrate and a 0.25 g/m² dose of boron in the form of aqueous solution of boric acid in late August. Nitrogen and boron fertilizers were applied at the model sites during the first ten days of June, in late July and late August to optimize fertilization dates. Taking into account the ratio between the weight of needles and the weight of stems, depending on the position in the tree crown, and the distribution of L-arginine on the whorls, we recommend harvesting first and second year needles of the 2nd – 4th whorls of the tree. The most efficient period for fertilizing is early June, if the harvesting of pine needles enriched with L-arginine is carried out in autumn or winter.

Keywords: mineral nutrition, nitrogen, boron, L-arginine, *Pinus sylvestris* L.

REFERENCES

1. Goroshkevich S.N. *Prostranstvenno-vremennaya i strukturno-funktsional'naya organizatsiya krony kedra sibirskogo*: avtoref. dis. ... d-ra. biol. nauk [Spatio-Temporal and Structural-Functional Organization of Siberian Cedar Crown: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Tomsk, 2011.
2. Granik V.G. Metabolizm L-arginina (obzor) [Metabolism of L-Arginine (A Review)]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2003, vol. 37, no. 3, pp. 3–20.
3. Zhuravleva L.N. *Pererabotka drevesnoy zeleni khvoynykh s ispol'zovaniem szhizhennykh uglevodorodov*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Treatment of Wood Green of Conifers Using Liquefied Hydrocarbons: Cand. Tech. Sci. Diss. Abs.]. Krasnoyarsk, 2005. 24 p.
4. Simonyan A.V., Salamatov A.A., Pokrovskaya Yu.S., Avanesyan A.A. *Ispol'zovanie ningidrinovoy reaktsii dlya kolichestvennogo opredeleniya aminokislot v razlichnykh ob'ektakh: metod. rek.* [The Use of Ninhydrin Test for Quantification of Amino Acids in Various Objects: Guidelines]. Volgograd, 2007. 106 p.
5. Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Zaytseva M.I. Istochniki polucheniya drevesnoy zeleni dlya proizvodstva argininovogo immunostimulyatora [Sources of Foliage for Arginine Immunostimulant Manufacturing]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 3, pp. 11–15.
6. Klopikova N.M. Ekonomicheskie aspekty razvitiya kormoproizvodstva [Economic Aspects of Forage Production Development]. *Ekonomika i sotsium*, 2012, no. 2, pp. 200–202. Available at: <http://www.iupr.ru/1-2011-g/> (accessed 12 January 2013).
7. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Vliyanie dozy azota pri podkormkakh na ottok ¹⁴C-assimilyatov u sosny v sosnyakh lishaynikovykh [Impact of Nitrogen Dose on the ¹⁴C-Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 7–12.
8. Listov A.A., Konovalov V.N. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na sezonnyy rost sosny v vysotu [Influence of Fertilizers on the Seasonal Height Growth of Pine]. *Lesovedenie*, 1988, no. 1, pp. 33–42.
9. Markov Kh.M. L-arginin–oksid azota v terapii bolezney serdtsa i sudov [L-Arginin – Nitric Oxide System in the Therapy of Diseases of the Heart and Vessels]. *Kardiologiya*, 2005, no. 6, pp. 87–95.
10. Nagimov Z.Ya. *Zakonomernosti rosta i formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh drevostoev*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Mechanisms of Growth and Formation of Aboveground Phytomass of Pine Stands: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Yekaterinburg, 2000. 43 p.
11. Novitskaya Yu.E., Chikina P.F. *Azotnyy obmen u sosny na Severe* [Nitrogen Metabolism in Pine in the North]. Leningrad, 1980. 166 p.
12. Plemenkov V.V. Prirodnye soedineniya – osnovnoy bazis poiska khimioterapevticheskikh substansiy [Natural Compounds – Basic in Searching for Chemotherapeutic Substances]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy IV Vseros. konf.* [Advances in Chemistry and Chemical Engineering of Bioorganic Materials: Proc. 4th All-Russian Conf.]. 21–23 April 2009. Barnaul, 2009, vol. 2, pp. 11–14.
13. Korotkiy V.P., Velikanov V.I., Bogdanovich N.I., Roshchin V.I., Vodop'yanov I.F., Chechet I.V. Razrabotka novykh tekhnologiy polucheniya lekarstvennykh form dlya veterinarnoy meditsiny na osnove zhivitsy sosnovoy [Development of New Techniques to Produce Pine Resin-Based Drugs for Veterinary Medicine]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 5, pp. 125–133.
14. Balykov N.G., Vilikaynen L.M., Robonen E.V., Smirnov A.V. Raspredelenie fitomassy v sosnyake lishaynikovom [Phytomass Distribution in the Lichen Pine Forest]. *Lesovedenie*, 1989, no. 6, pp. 57–63.
15. Ushanova V.M., Stepen' R.A., Repyakh S.M. Pererabotka drevesnykh otkhodov khvoynykh derev'ev [Recycling of Waste Wood from Coniferous Trees]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 1998, no. 2, pp. 17–23.

16. Chernobrovkina N.P. *Ekofiziologicheskaya kharakteristika ispol'zovaniya azota sosnoy obyknovennoy* [Ecophysiological Characteristics of the Use of Scots Pine Nitrogen]. St. Petersburg, 2001. 175 p.
17. Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaytseva M.I. Nakoplenie L-arginina v khvoe sosny obyknovennoy pri regul'yatsii azotnogo i bornogo obespecheniya [L-Arginine Storage in Scots Pine Needles Under Controlled Nitrogen and Boron Nutrition]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 71–75.
18. Yagodin V.I. *Osnovy khimii i tekhnologii pererabotki drevesnoy zeleni* [Fundamentals of Chemistry and Technology of Wood Green Processing]. Leningrad, 1981. 224 p.
19. Ball R.O., Urschel K.L., Pencharz P.B. Nutritional Consequences of Interspecies Differences in Arginine and Lysine Metabolism. *J. Nutr.*, 2007, vol. 137, no. 6, pp. 1626–1641.
20. Cengiz Ö., Küçüksan S. Effects of Graded Contents of Arginine Supplementation on Growth Performance, Haematological Parameters and Immune System in Broilers. *Revue Méd. Vét.*, 2010, vol. 161, no. 8–9, pp. 409–417.
21. Engvild K.C. *The “Red” Decline of Norway Spruce or “Røde Rødgraner” – Is It Ammonium Overload or Top-Dying?* Risø National Laboratory. April 2005. 16 p.
22. Gezelius K., Näsholm T. Free Amino Acids and Protein in Scots Pine Seedlings Cultivated at Different Nutrient Availabilities. *Tree Physiology*, 1999, vol. 13, no. 1, pp. 71–86.
23. Greenstein J.P., Winitz M. *Chemistry of Amino Acids*. New York, London, 1961, pp. 1847–1848.
24. Huhn B.G., Schulz H. Contents of Free Amino Acids in Scots Pine Needles from Field Sites with Different Levels of Nitrogen Deposition. *New Phytologist*, 1996, vol. 134, pp. 95–101.
25. Näsholm T., Ericsson A. Seasonal Changes in Amino Acids, Protein and Total Nitrogen in Needles of Fertilized Scots Pine Trees. *Tree Physiology*, 1990, vol. 6, pp. 267–281.
26. Näsholm T., Kielland K., Ganeteg U. Uptake of Organic Nitrogen by Plants. *New Phytologist*, 2009, vol. 182, pp. 31–48.
27. Duckett M.J., Moore K. *Natural Composition for the Treatment of Circulatory Conditions*. United States Patent 6340480. (IPC1-7): A61K35/78 AN 09/473105 01/22/2002.
28. Högborg M.N., Briones M.J.I., Keel S.G., D.B. Metcalfe, C. Campbell, A.J. Midwood, B. Thoornton, V. Hurry, S. Linder, T. Nasholm, P. Hogberg. Quantification of Effects of Season and Nitrogen Supply on Tree Below-Ground Carbon Transfer to Ectomycorrhizal Fungi and Other Soil Organisms in a Boreal Pine Forest. *New Phytologist*, 2010, vol. 187, pp. 485–493.
29. Tegeder M., Rentsch D. Uptake and Partitioning of Amino Acids and Peptides. *Molecular Plant*, 2010, vol. 3, no. 6, pp. 997–1011.
-