

DOI: 10.15393/j2.art.2019.5022

УДК 630

Статья

Обогащение древесной зелени сосны обыкновенной L-аргинином путём оптимизации азотно-борного питания

Робонен Елена Вильямовна

научный сотрудник, Институт леса Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск (Российская Федерация), er51@bk.ru

Чернобровкина Надежда Петровна

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт леса Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск (Российская Федерация), chernobr@krc.karelia.ru

Зайцева Мария Игоревна

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск (Российская Федерация), 2003bk@bk.ru

Получена: 24 декабря 2019 / Принята: 30 декабря 2019 / Опубликовано: 14 января 2020

Аннотация: Предложено рассматривать хвойные как источник получения богатого L-аргинином растительного сырья. Отмечается способность хвойных накапливать значительное количество L-аргинина в органах и тканях при высоком уровне азотного питания и разбалансированности общего фона других элементов минерального питания. Бор влияет на активность ферментов азотного обмена, стимулирует поступление азота в хвойное растение и накопление L-аргинина в его тканях. Оптимизация технологии получения обогащённой L-аргинином древесной зелени хвойных требует выявления диапазонов эффективных доз внесения азотно-борных подкормок. Эксперимент, проведённый в 15-летнем молодняке сосны обыкновенной, произрастающем на песчаной почве с низким уровнем минерального питания, показал дозу борной кислоты $3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ как наиболее эффективную из испытанных на фоне внесения азота в форме аммиачной селитры в дозе $150 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ по д. в. Полученную информацию предлагается использовать при построении цепочек лесохозяйственных мероприятий для повышения их рентабельности путём получения дополнительного продукта — древесной зелени с модифицированным биохимическим составом.

Ключевые слова: L-аргинин, бор, азот, *Pinus sylvestris* L.; древесная зелень; рубки ухода.

DOI: 10.15393/j2.art.2019.5022

Article

Enrichment of common pine green mass with L-arginine by optimizing nitrogen-boron nutrition

Elena V. Robonen

Researcher Forest Research Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk (Russian Federation) er51@bk.ru

Nadezhda P. Chernobrovkina

Doctor of biological Sciences, leading researcher, Forest Research Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk (Russian Federation) er51@bk.ru

Maria I. Zaitseva

PhD in engineering, associate Professor, Petrozavodsk State University, Petrozavodsk (Russian Federation) 2003bk@bk.ru

Received: 24 December 2019 / Accepted: 30 December 2019/ Published: 14 January 2020

Abstract: Conifers may be considered as a source of plant materials rich in L-arginine. Conifers are noted with the ability to accumulate a significant amount of L-arginine in organs and tissues with a high level of nitrogen nutrition and an imbalance in the general background of other elements of mineral nutrition. Boron affects the activity of nitrogen metabolism enzymes, stimulates the flow of nitrogen into the coniferous plant and the accumulation of L-arginine in its tissues. Optimization of the technology to obtain coniferous green mass enriched with L-arginine requires the identification of ranges of effective doses of nitrogen-boron top dressing. An experiment carried out in a 15-year-old pine stand, growing on sandy soil with a low level of mineral nutrition, showed the most effective dose of boric acid $3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ tested against the background of the addition of nitrogen in the form of ammonium nitrate at a dose of $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ by active substance. The obtained information might be used to construct chains of forestry measures to increase their profitability by obtaining an additional product – green mass of a modified biochemical composition.

Keywords: L-arginine, boron, nitrogen, *Pinus sylvestris* L.; green mass; thinning

1. Введение

При изыскании новых сырьевых источников биологически активных веществ рассматривается возможность разработки способов целенаправленного изменения биохимического состава и фармакологических свойств растительного сырья. Экстрактивные вещества из растительного сырья широко применяются в фармацевтической, химической промышленности, сельском хозяйстве. Для северо-запада России особый интерес представляет использование древесной зелени хвойных как огромного неиспользуемого биоресурса. Биотехнология повышения уровня L-аргинина в древесной зелени хвойных пород и получения из неё хвойных препаратов — хвойной муки и водного хвойного экстракта предлагается как один из способов глубокой переработки отходов лесного комплекса [1—8].

Предложено рассматривать хвойные как возможный источник получения богатого L-аргинином растительного сырья [1]. Отмечается способность хвойных накапливать значительное количество L-аргинина в органах и тканях при высоком уровне азотного питания и разбалансированности общего фона других элементов минерального питания [9—12]. Бор влияет на активность ферментов азотного обмена, стимулирует поступление азота в хвойное растение и накопление L-аргинина в его тканях [1—3]. Эти положения явились теоретической основой разрабатываемой технологии обогащения L-аргинином древесной зелени хвойных.

В России производство подавляющей части лекарственных средств в настоящее время характеризуется сырьевой импортозависимостью [13]. К импортозависимым по сырью относятся и аргинин-содержащие препараты. Для оптимизации технологии получения обогащённой L-аргинином древесной зелени хвойных требуется выявление диапазонов эффективных доз внесения азотно-борных подкормок.

Целью работы было выявление диапазона эффективных доз бора при фиксированном фоне азотного питания для накопления L-аргинина в хвое сосны обыкновенной.

2. Материалы и методы

Исследования проводили в условиях южной Карелии, в 15-летнем молодняке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) естественного возобновления, сформировавшемся на месте песчаного карьера. Почва участков песчаная, напочвенный покров редкий, представлен преимущественно вереском (*Calluna vulgaris*).

На пробной площади были заложены 7 опытных и 1 контрольный участки. На опытных участках в первой декаде июня в почву вносили азот и бор по вариантам эксперимента (см. таблицу). Азот вносили в виде сухой аммиачной селитры в одной дозе — 150 г · м⁻² по действующему веществу (д. в.), бор — в виде водного раствора борной кислоты. Дозы

борной кислоты в диапазоне от 0 до $100 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ ($0\text{—}23 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ по д. в.) рассчитывали с равным шагом по логарифмической шкале. Аммиачную селитру и борную кислоту равномерно распределяли по каждому участку. На контрольном участке азот и бор в почву не вносили.

Таблица. Схема внесения азота в виде сухой аммиачной селитры и бора в виде водного раствора борной кислоты на опытных участках в 15-летнем молодняке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Вносимый элемент	№ варианта							
	1 (Контроль)	2	3	4	5	6	7	8
Азот, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	0	150	150	150	150	150	150	150
Бор, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$	0	0,00	0,02	0,07	0,23	0,69	6,9	23,0

Образцы растительного материала для анализа отбирали в середине сентября этого же года, в ясный солнечный день, в полуденное время (с 13:00 до 14:00 м. в.) с третьей мутовки от вершины дерева, с юго-западной стороны кроны. Секатором отделяли охвоенные побеги текущего и прошлого годов отдельно, до анализа растительный материал хранили в морозильной камере при температуре $-70 \text{ }^\circ\text{C}$. Для одного анализа использовали 200 мг растительного материала. Экстракцию аминокислот из хвои проводили горячей водой ($60 \text{ }^\circ\text{C}$) [19]. Содержание L-аргинина в однолетней и двулетней хвое определяли в трёхкратной повторности методом цветной реакции Сакагучи; кроме того, в однолетней хвое — на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА-339 («Микротехна», Чехия), результаты сопоставляли.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

3. Результаты и обсуждение

Результаты анализа, полученные методом цветной реакции Сакагучи, были сопоставимы с результатами, полученными на автоматическом аминокислотном анализаторе. Содержание L-аргинина в однолетней и двулетней хвое 15-летних деревьев сосны обыкновенной, удобренных в начале июня азотом в виде аммиачной селитры в дозе $150 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ по д. в. без внесения бора, составляло 61,3 и 55,7 мкмоль \cdot г абсолютно сухого вещества (а. с. в.), что многократно превосходило контрольный вариант — около 0,2—0,5 мкмоль \cdot г а. с. в. (см. рисунок). При увеличении дозы бора от 0,02 до $0,23 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ содержание L-аргинина незначительно повышалось в однолетней хвое и практически не изменялось в двулетней.

При дозе бора $0,69 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ наблюдали резкое увеличение содержания L-аргинина как в однолетней хвое — до $345,4 \text{ мкмоль} \cdot \text{г а. с. в.}$, так и двулетней — до $157,2 \text{ мкмоль} \cdot \text{г а. с. в.}$ При дальнейшем увеличении дозы внесения бора содержание L-аргинина в хвое понижалось, но по-прежнему значительно превосходило контрольный вариант. Полученные результаты позволяют считать, что при данном уровне азота выявлен диапазон наиболее эффективных доз бора для получения древесной зелени сосны обыкновенной, обогащённой L-аргином. Дальнейшее увеличение доз бора не эффективно для достижения поставленной цели. Более того, на участке с максимальной дозой бора наблюдали появление хвои красно-бурого цвета, что характерно для избыточных доз бора. Таким образом, можно считать, что верхняя граница диапазона толерантности в эксперименте охвачена, дальнейшее увеличение дозы может привести к угнетению роста в связи с сокращением фотоассимилирующего аппарата.

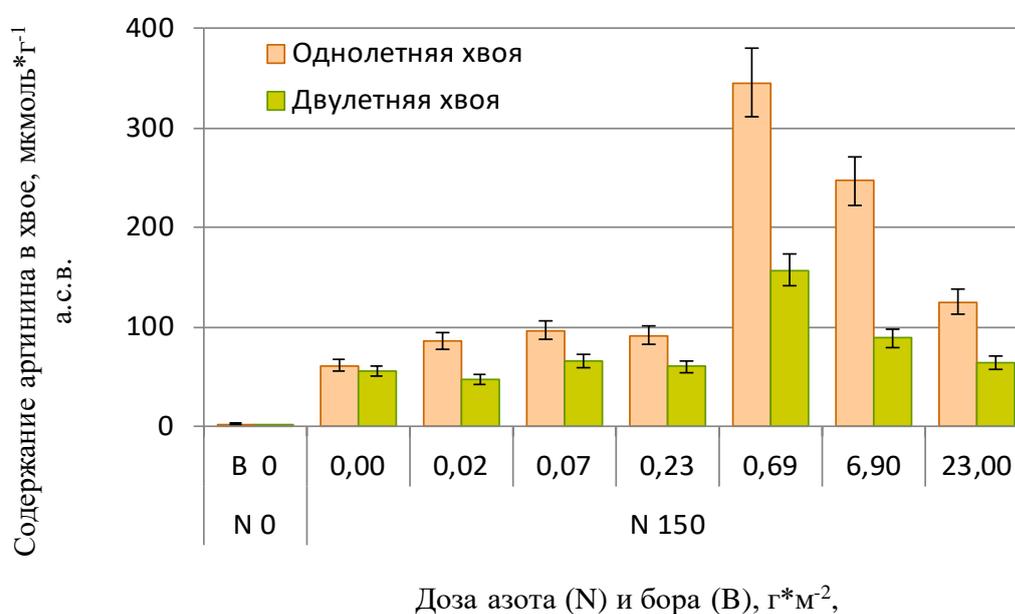


Рисунок. Содержание L-аргинина в однолетней и двулетней хвое сосны обыкновенной в зависимости от дозы внесения в почву борной кислоты при низком (N 0) и высоком (N 150) уровне азотного питания

Доза борной кислоты $3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ ($0,69 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ по д. в.) оказалась наиболее эффективной из испытанных для накопления L-аргинина в хвое. Прделанную работу следует считать первым этапом оптимизации технологии по дозам бора. В дальнейшем имеет смысл испытать более дробно дозы в диапазоне от $0,23$ до $6,9 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Полученную информацию предлагается использовать при построении цепочек лесохозяйственных мероприятий,

повышающих их рентабельность путём получения дополнительного продукта — древесной зелени с модифицированным биохимическим составом.

Древесную зелень, обогащённую L-аргинином, предлагается заготавливать при проведении таких видов уходов в молодняках, как осветления, прочистки, обрезка живых ветвей и внесение удобрений. Однако для этого предлагается изменить последовательность мероприятий и проводить внесение удобрений до рубок, в отличие от традиционной схемы. Построение такой последовательности позволит в процессе проведения этих затратных мероприятий получать ценное сырьё — хвою, обогащённую L-аргинином. Доза внесения азота, используемая в эксперименте, находится в пределах диапазона наиболее используемых при проведении уходов в сосняках, произрастающих на бедных азотом почвах. В условиях Фенноскандии дефицитным для роста хвойных растений, наряду с азотом, является бор [4]. По потребности в боре виды растений сильно различаются, что отражается в его оптимальных концентрациях в тканях листьев [14]. Дефицит бора является широко распространённой в мире проблемой, особенно на песчаных и щелочных почвах [15]. Области, где обнаружены почвы с низким содержанием бора, кроме Северной Европы, включают Южную и Юго-Восточную Азию, Восточную Австралию и Новую Зеландию, Африку, Северную и Южную Америку [16]. У корней недостаток бора ингибировал удлинение в точках роста, а в наиболее экстремальных случаях вызывал некроз этих тканей. Вследствие гибели клеток снижался рост корней, особенно боковых [17], [18]. Дефицит бора приводил к задержке роста надземных органов [19], [20]. У многих древесных растений при длительном дефиците бора наблюдали снижение качества древесины [15]. Бор наиболее часто является дефицитным микроэлементом в хвойных лесах [21], [22]. Оптимизация борного питания, наряду с азотным, перспективна при интенсификации процесса выращивания леса.

4. Заключение

Предложено рассматривать хвойные как источник получения богатого L-аргинином растительного сырья. Древесную зелень, обогащённую L-аргинином, предлагается заготавливать при проведении таких видов уходов в молодняках, как осветления, прочистки, обрезка живых ветвей и внесение удобрений. Для этого предлагается проводить внесение удобрений до рубок, в отличие от традиционной схемы. Наиболее эффективной для накопления L-аргинина в хвое, из испытанных на фоне внесения азота в форме аммиачной селитры в дозе $150 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ по д. в., оказалась доза борной кислоты $3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Содержания L-аргинина достигало 345,4 и 157,2 мкмоль · г а. с. в. в однолетней и двулетней хвое соответственно. Оптимизация борного питания, наряду с азотным, перспективна при интенсификации процесса выращивания леса.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Список литературы

1. Чернобровкина Н. П., Робонен Е. В., Зайцева М. И. Накопление L-аргинина в хвое сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения / Н. П. Чернобровкина, Е. В. Робонен, М. И. Зайцева // Химия растительного сырья. 2010. № 3. С. 71—75.
2. Чернобровкина Н. П., Робонен Е. В., Морозов А. К., Макарова Т. Н. Накопление L-аргинина в хвое ели европейской при регуляции азотного и борного обеспечения // Труды КарНЦ РАН. 2013. № 3. С. 159—165.
3. Чернобровкина Н. П., Робонен Е. В., Унжаков А. Р., Тютюник Н. Н. Аргинин в жизни хвойных растений // Сибирский экологический журнал. 2016. № 5. С. 729—738.
4. Робонен Е. В., Чернобровкина Н. П., Чернышенко О. В., Зайцева М. И. Источники получения древесной зелени для производства аргининового иммуностимулятора // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2012. Т. 86, № 3. С. 11—15.
5. Робонен Е. В., Чернобровкина Н. П., Макарова Т. Н., Короткий В. П., Прытков Ю. Н., Марисов С. С. Накопление L-аргинина в хвое и распределение по кроне сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения // Известия высших учебных заведений. — Лесной журнал. 2014. Т. 339, № 3. С. 67—78.
6. Робонен Е. В., Чернобровкина Н. П., Чернышенко О. В., Зайцева М. И., Унжаков А. Р., Егорова А. В. Перспективы биотехнологии обогащения древесной зелени хвойных L-аргинином и ингибиторами его катаболизма // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 23—37.
7. Унжаков А. Р., Антонова Е. П., Сергина С. Н., Башишникова И. В., Чернобровкина Н. П., Робонен Е. В. Влияние обогащенного L-аргинином хвойного экстракта на биохимические показатели крови щенков-гипотрофиков норок // Кролиководство и звероводство. 2017. № 3. С. 104—105.
8. Патент № 2515015 (РФ). Хвойная биологически активная добавка, обогащённая L-аргинином, для повышения продуктивных качеств кур-несушек / В. П. Короткий, Ю. Н. Прытков, С. С. Марисов, Н. И. Гибалкина, А. А. Кистина, Н. П. Чернобровкина, Е. В. Робонен. 06.07.2012.
9. Nasholm T., Ericsson A. Seasonal changes in amino acids, protein and total nitrogen in needles of fertilized Scots pine trees // Tree Physiol. 1990. Vol. 6. P. 267—281. DOI: 10.1093/treephys/6.3.267.
10. Gezelius K., Nasholm T. Free amino acids and protein in Scots pine seedlings cultivated at different nutrient availabilities // Tree Physiology. 1993. Vol. 13, No 1. P. 71—86.
11. Huhn B. G., Schulz H. Contents of free amino acids in Scots pine needles from field sites with different levels of nitrogen deposition // New Phytol. 1996. Vol. 134. P. 95—101.
12. Nordin A., Ugglä C., Nasholm T. Nitrogen forms in bark, wood and foliage of nitrogen-fertilized Pinussylvestris // Tree Physiology. 2001. No 21. P. 59—64.
13. Лин А. А., Соколов Б. И., Слепнев Д. М. Фармацевтический рынок: производство лекарственных средств в России // Проблемы современной экономики. 2013. № 1 (45). С. 191—195.
14. Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

15. Wang N., Yang C., Pan Z., Liu Y., Peng S. Boron deficiency in woody plants: various responses and tolerance mechanisms // *Front. Plant Sci.* 2015. P. 6—916. DOI: 10.3389/fpls.2015.00916.
16. Lehto T., Ruuhola T., Dell B. Boron in forest trees and forest ecosystems // *For. Ecol. Manag.* 2010. No 260. P. 2053—2069. DOI: 10.1016/j.foreco. 2010.09.028.
17. Mei L., Sheng O., Peng S. A., Zhou G. F., Wei Q. J., Li Q. Growth, root morphology and boron uptake by citrus rootstock seedlings differing in boron-deficiency responses // *H. Sci. Hortic.* 2011. No 129. P. 426—432. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.04.012.
18. Zhou G. F., Peng S. A., Liu Y. Z., Wei Q. J., Han J., Islam M. Z. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency // *Trees.* 2014. No 28. P. 295—307. DOI: 10.1007/s00468-0130949-y.
19. Möttönen M., Lehto T., Aphalo P. J. Growth dynamics of mycorrhizas of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings in relation to boron supply // *Trees.* 2001. No 15. P. 319—326.
20. Wojcik P., Wojcik M., Treder W. Boron absorption and translocation in apple rootstocks under conditions of low medium boron // *J. Plant Nutr.* 2003. No 26. P. 961—968. DOI: 10.1081/PLN-120020068.
21. Shorrocks V. M. The occurrence and correction of boron deficiency // *Plant and Soil.* 1997. No 193. P. 121—1489.
22. Khan R. U., Anderson C. W. N., Loganathan P., Xue J., Clinton P. Response of *Pinus radiata* (D. Don) to boron fertilisation under greenhouse conditions // 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1—6 August. 2010, Brisbane, Australia. P. 208—211.

References

1. Chernobrovkina N. P., Robonen E. V., Zaitseva M. I. Accumulation of L-arginine in pine needles during regulation of nitrogen and boron supply // *Himija rastitel'nogo syr'ja.* 2010. No 3. P. 71—75. (In Russ.)
2. Chernobrovkina N. P., Robonen E. V., Morozov A. K., Makarova T. N. Accumulation of L-arginine in European spruce needles during regulation of nitrogen and boron supply // *Trudy KarNC RAN.* 2013. No 3. P. 159—165. (In Russ.)
3. Chernobrovkina N. P., Robonen E. V., Unzhakov A. R., Tyutyunik N. N. Arginine in the life of conifers // *Sibirskij jekologicheskij zhurnal.* 2016. No 5. P. 729—738. (In Russ.)
4. Robonen E. V., Chernobrovkina N. P., Chernyshenko O. V., Zaitseva M. I. Sources of woody greens for the production of arginine immunostimulant // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoj vestnik.* 2012. Vol. 86, No 3. P. 11—15. (In Russ.)
5. Robonen E. V., Chernobrovkina N. P., Makarova T. N., Korotkiy V. P., Prytkov Yu. N., Marisov S. S. Accumulation of L-arginine in needles and distribution on the crown of Scots pine during regulation of nitrogen and boron supply // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal.* 2014. Vol. 339, No 3. P. 67—78. (In Russ.)
6. Robonen E. V., Chernobrovkina N. P., Chernyshenko O. V., Zaitseva M. I., Unzhakov A. R., Egorova A. V. Prospects of biotechnology enrichment of green wood conifers with L-arginine and inhibitors of its catabolism // *Himija rastitel'nogo syr'ja.* 2019. No 1. P. 23—37. (In Russ.)
7. Unzhakov A. R., Antonova E. P., Sergina S. N., Baishnikova I. V., Chernobrovkina N. P., Robonen E. V. Effect of coniferous extract enriched with L-arginine on blood biochemical parameters of mink hypotrophic puppies // *Krolikovodstvo i zverovodstvo.* 2017. No 3. P. 104—105. (In Russ.)
8. Patent No 2515015 (RF). Coniferous biologically active supplement enriched with L-arginine to increase the productive qualities of laying hens / V. P. Korotkiy, Ju. N. Prytkov, S. S. Marisov, N. I. Gibalkina, A. A. Kistina, N. P. Chernobrovkina, E. V. Robonen. 06.07.2012. (In Russ.)

9. Nasholm T., Ericsson A. *Seasonal changes in amino acids, protein and total nitrogen in needles of fertilized Scots pine trees* // *Tree Physiol.* 1990. Vol. 6. P. 267—281. DOI: 10.1093/treephys/6.3.267.
10. Gezelius K., Nasholm T. *Free amino acids and protein in Scots pine seedlings cultivated at different nutrient availabilities* // *Tree Physiology.* 1993. Vol. 13, No 1. P. 71—86.
11. Huhn B. G., Schulz H. *Contents of free amino acids in Scots pine needles from field sites with different levels of nitrogen deposition* // *New Phytol.* 1996. Vol. 134. P. 95—101.
12. Nordin A., Uggla C., Nasholm T. *Nitrogen forms in bark, wood and foliage of nitrogen-fertilized Pinussylvestris* // *Tree Physiology.* 2001. No 21. P. 59—64.
13. Lin A. A., Sokolov B. I., Slepnev D. M. *Pharmaceutical market: production of medicines in Russia* // *Problemy sovremennoj jekonomiki.* 2013. No 1 (45). P. 191—195. (In Russ.)
14. Marschner H. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* New York: Academic Press, 1995. 889 p.
15. Wang N., Yang C., Pan Z., Liu Y., Peng S. *Boron deficiency in woody plants: various responses and tolerance mechanisms* // *Front. Plant Sci.* 2015. P. 6—916. DOI: 10.3389/fpls.2015.00916.
16. Lehto T., Ruuhola T., Dell B. *Boron in forest trees and forest ecosystems* // *For. Ecol. Manag.* 2010. No 260. P. 2053—2069. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.09.028.
17. Mei L., Sheng O., Peng S. A., Zhou G. F., Wei Q. J., Li Q. *Growth, root morphology and boron uptake by citrus rootstock seedlings differing in boron-deficiency responses* // *H. Sci. Hort.* 2011. No 129. P. 426—432. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.04.012.
18. Zhou G. F., Peng S. A., Liu Y. Z., Wei Q. J., Han J., Islam M. Z. *The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency* // *Trees.* 2014. No 28. P. 295—307. DOI: 10.1007/s00468-0130949-y.
19. Möttönen M., Lehto T., Aphalo P. J. *Growth dynamics of mycorrhizas of Norway spruce (Piceaabies) seedlings in relation to boron supply* // *Trees.* 2001. No 15. P. 319—326.
20. Wojcik P., Wojcik M., Treder W. *Boron absorption and translocation in apple rootstocks under conditions of low medium boron* // *J. Plant Nutr.* 2003. No 26. P. 961—968. DOI: 10.1081/PLN-120020068.
21. Shorrocks V. M. *The occurrence and correction of boron deficiency* // *Plant and Soil.* 1997. No 193. P. 121—1489.
22. Khan R. U., Anderson C. W. N., Loganathan P., Xue J., Clinton P. *Response of Pinusradiata (D. Don) to boron fertilisation under greenhouse conditions* // *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1—6 August. 2010, Brisbane, Australia.* P. 208—211.