

УДК 581.13:[674.031.632.134:581.143]

Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен

Институт леса Карельского НЦ РАН

Чернобровкина Надежда Петровна родилась в 1950 г., окончила в 1972 г. Калининский государственный университет, доктор биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений Петрозаводского государственного университета, старший научный сотрудник Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 90 печатных работ по изучению роста, развития и минерального питания древесных растений.
E-mail: chernobrovkina@krc.karelia.ru



Робонен Елена Вильямовна родилась в 1951 г., окончила в 1975 г. Петрозаводский государственный университет, ведущий физик Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 40 печатных работ по изучению роста, развития и минерального питания древесных растений.
E-mail: er51@bk.ru



ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ БОРОМ НА РОСТ И НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ У БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

Изучено влияние различных доз бора на рост и накопление азота, фосфора и калия в органах и тканях березы повислой. Выявлены оптимальные, дефицитные и токсичные уровни бора.

Ключевые слова: минеральное питание, рост, диагностика, бор, азот, фосфор, калий, береза повислая.

В условиях Северо-Запада России наиболее дефицитными элементами питания для роста древесных растений являются азот и бор [5, 8]. Внешение их в лесную почву в качестве удобрений предполагает наличие сведений о закономерностях использования макро- и микроэлементов древесными растениями. Если данные об азоте в литературе представлены достаточно полно [8, 11], то о боре они ограничены и посвящены преимущественно изучению влияния дефицита микроэлемента на функциональную активность растений [5, 8, 10, 11, 13]. В естественных условиях может наблюдаться как дефицит, так и избыток бора в почве, что сказывается на физиологических процессах в растениях [12]. Положительное влияние бора отмечается только в очень узком диапазоне концентраций [6]. Исследования минерального питания проводятся преимущественно на хвойных породах, широко используемых в практических целях. Для березы этот вопрос освещен слабо [10, 13]. Целью нашей работы

было изучение влияния обеспеченности бором березы повислой на рост и накопление элементов минерального питания в органах и тканях растения.

Исследования проводили в условиях южной части Карелии. Супесчаные почвы исследуемых участков характеризовались оптимальной для роста древесных растений кислотностью – $\text{pH}_{\text{водн}} 5,3$, содержание азота составило 0,13, фосфора – 0,14, калия – 0,05, кальция – 0,29, бора – 0,0008, меди – 0,004, марганца – 0,021, цинка – 0,006, кобальта – $5 \cdot 10^{-4}$, молибдена – $1 \cdot 10^{-5}$ % от сухой массы почвы. Объектом исследования служили 5-летние растения березы повислой (*Betula pendula* Roth). В мае было заложено четыре варианта опыта на изолированных участках площадью 9 м² в трех повторностях. На каждом участке росло по 2 растения. В третьей декаде мая, перед распусканием листьев, в почву вносили борную кислоту в дозах 3, 10 и 30 кг·га⁻¹. Один вариант был контрольным. Почву рыхлили до и после подкормки, при необходимости в те-

чение вегетационного периода растения поливали из расчета 10 л воды на 1 м². Во второй декаде августа образцы растительного материала отбирали для определения биометрических показателей и анализа элементов минерального питания в органах и тканях. Содержание азота, фосфора и бора в образцах почвы и растений определяли спектрофотометрическим, калия – пламенно-фотометрическим [2], остальные элементы – атомно-абсорбционными методами [1]. На рисунках приведены средние арифметические из шести биологических повторностей и их стандартные ошибки. Обсуждаются различия, значимые при $P \geq 0,95$.

Результаты исследований показали, что в контроле уровень бора в органах 5-летней березы повислой составил 8,1...17,3 мг·кг⁻¹ сухого вещества. При внесении в почву борной кислоты в дозе 3 кг·га⁻¹ растения по внешнему виду не отличались от контрольных, листья были зелеными. В третьей декаде июня при дозе 10 кг·га⁻¹ окрашивались в желто-бурый цвет края листьев, а при 30 кг·га⁻¹ – половина листовой пластинки, что указывало на токсичность этих доз для растений.

При внесении борной кислоты в дозе 3 кг·га⁻¹ прирост за вегетацион-

ный период по диаметру и в высоту увеличился соответственно на 44 и 32 % по сравнению с контролем (рис. 1). Максимальная интенсивность роста березы наблюдалась при содержании бора в листьях, корнях, коре и древесине соответственно 331,2; 109,8; 35,3 и 26,1 мг·кг⁻¹ сухого вещества. Отмеченное свидетельствует об определенном дефиците бора в контроле. Прирост по диаметру и высоте, наблюдаемый при внесении борной кислоты в дозах 10 и 30 кг·га⁻¹, был меньше, чем в варианте с дозой 3 кг·га⁻¹. Визуально наблюдаемые признаки токсичности этих доз были подтверждены данными о росте березы. Минимальное содержание бора в органах растений, при котором отмечались признаки его токсичного влияния, составило в листьях, корнях, коре и древесине соответственно 502,4; 218,9; 103,9 и 21,7 мг·кг⁻¹ сухого вещества.

Дополнительное обеспечение бором привело к повышению его содержания во всех органах, особенно в листьях (рис. 2), где при дозе 30 кг·га⁻¹ оно достигало 800 мг·кг⁻¹ сухой массы. С увеличением доз бора повышался уровень азота в листьях, в других органах достоверного изменения не произошло. Под влиянием борной кислоты в дозах 3 и 10 кг·га⁻¹ содержание фосфора,

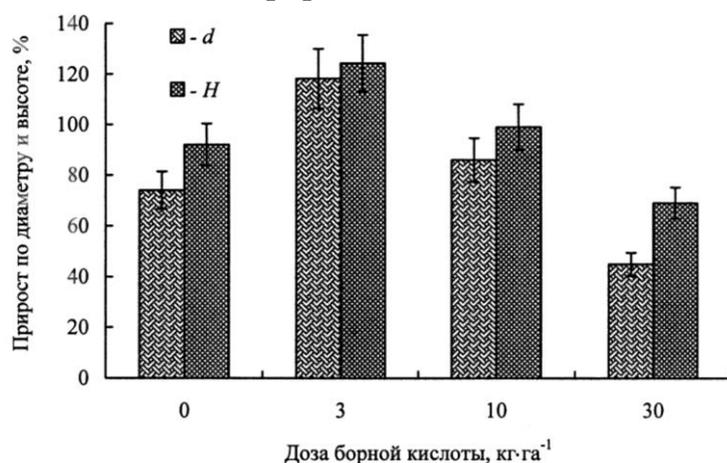


Рис. 1. Влияние обеспеченности бором березы повислой на прирост за сезон по диаметру (d) и высоте (H), % от исходного значения

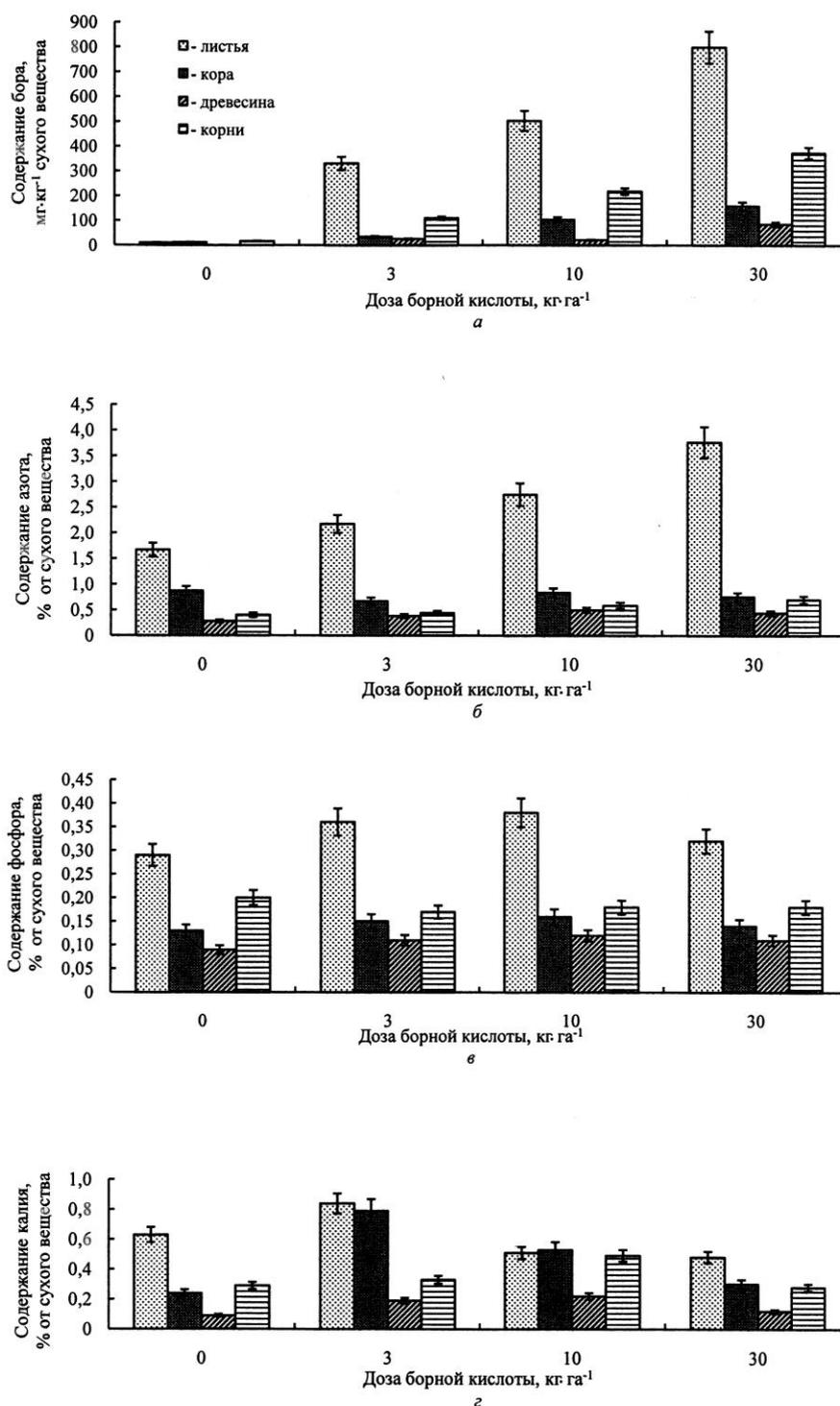


Рис. 2. Влияние обеспеченности бором на содержание элементов минерального питания в органах и тканях березы повислой в августе: *а* – бор; *б* – азот; *в* – фосфор; *г* – калий

как и азота, возросло только в листьях. Оптимизация борного питания способствует накоплению элементов минерального питания преимущественно в ассимиляционном аппарате, где осуществляется синтез метаболитов для всего растительного организма [3, 4, 7–9].

Содержание калия увеличивалось во всех органах березы при использовании стимулирующей рост растений дозы борной кислоты 3 кг·га⁻¹. Одной из причин большего поступления элементов минерального питания в саженцы березы повислой при оптими-

зации обеспечения бором может быть усиление образования микоризы на корнях и соответственно повышение их поглотительной функции. Было показано, что семена березы повислой при низком уровне бора в органах ($4...5 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухого вещества) могут сохранять жизнеспособность длительное время, пока не начнется интенсивный рост или формирование почек [10]. В этот период проблема дефицита бора в почве, отразившаяся на микоризе, проявляется и на надземных органах в виде торможения развития, усыхания вершин, кустистости.

Таким образом, наиболее показательными органами для диагностики обеспеченности бором древесного растения являются листья березы повислой. При содержании бора $10,6 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухого вещества не отмечается видимых признаков его дефицита. Однако этот уровень недостаточен для интенсивного роста, поскольку повышение содержания до $331,2 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ оказывало стимулирующее влияние на рост растений в высоту и по диаметру ствола, а также способствовало накоплению азота, фосфора и калия в листьях. При этом калий аккумулируется во всех органах, а уровень азота в листьях зависел от дозы борной кислоты. В листьях березы может накапливаться большое количество бора – до $800 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухого вещества. При концентрации $502,4 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ и выше отмечаются признаки токсичного влияния бора на растения: желто-бурая окраска листьев, снижение содержания в них фосфора и калия, а также интенсивности роста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическое обеспечение мониторинга лесных экосистем / М.В. Козлов [и др.] // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 278–285.
2. Аринушкина С.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.

3. Влияние обеспеченности бором на рост семян сосны обыкновенной / Н.П. Чернобровкина [и др.] // Лесоведение. 2007. № 5. С. 69–76.
4. Жирнокислотный состав суммарных липидов хвои семян сосны обыкновенной в связи с обеспеченностью бором / Н.П. Чернобровкина [и др.] // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 3. С. 404–411.
5. Ивонис И.Ю., Чернобровкина Н.П. Влияние микроэлементов и гибберсина на рост и семеношение сосны обыкновенной // Лесоведение. 2002. № 3. С. 79–84.
6. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений/пер. с англ. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 464 с.
7. Рудакова Э.В., Каракис К.Д., Сидоришина Т.Н. Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях. Киев: Наук. думка, 1987. 186 с.
8. Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 174 с.
9. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.
10. Boorin merkitys puiden hienojuurille ja mykorrhitsille / T. Lehto [et al.] // Puiden kasvuhairiot viljavilla kivennaismaille. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy, 2004. N 934. P. 53–57.
11. Brockley R.P. Effects of nitrogen and boron fertilization on foliar boron nutrition and growth in two different lodgepole pine ecosystems // Can. J. For. Res. 2003. Vol. 33. P. 988–996.
12. Camacho-Cristóbal J.J., Rexach J., González-Fontes A. Boron in Plants: Deficiency and Toxicity // Journ. of Integrative Plant Biology. 2008. Vol. 50, N 10. P. 1247–1255.
13. Rikala R., Vuorinen M. Koivikoiden booripitoisuuden ja kasvuhairioiden yhteys // Puiden kasvuhairiot viljavilla kivennaismaille. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy, 2004. N 934. P. 64–68.

Поступила 29.01.2009

N.P. Chernobrovkina, E.V. Robonen
Forest Research Institute, Karelian Research
Centre of RAS

Effect of Boron Provision on Silver Birch Growth and Accumulation of Mineral Nutrition Elements

The effect of different boron doses and accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in organs and tissues of silver birch is studied. The optimal, deficient and toxic levels of boron are revealed.

Keywords: mineral nutrition, growth, diagnostics, boron, nitrogen, phosphorus, potassium, silver birch.