

УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ К СНЕЖНОМУ ШЮТТЕ, КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСТЕНИЙ БОРОМ

Ялынская Е.Е.

Петрозаводск, Институт леса Карельского научного центра РАН

Подкормка сеянцев является одним из главных способов воздействия на их качество, поскольку только при постоянном обеспечении необходимыми элементами питания в оптимальных соотношениях на протяжении всего вегетационного периода возможно максимальное использование биологического потенциала растения. Известно, что посредством удобрений можно регулировать устойчивость к грибным болезням на разных этапах развития растений. В литературе приводятся данные о положительном влиянии внесения минеральных удобрений на рост, приживаемость и сохранность лесных культур, а также на повышение их устойчивости к некоторым грибным болезням и вредителям (Крутов, 1977; Kurkela 1983). Вместе с тем имеются и противоположные мнения, особенно когда речь идет о влиянии различных доз и сочетания удобрений (Kurkela, 1965; Pritchett, Smith, 1972).

Для того чтобы дать рекомендации по внесению удобрений (и тем более микроудобрений), необходимо знать оптимальные уровни содержания элементов минерального питания (ЭМП) в растениях. Такие данные имеются далеко не для всех сельскохозяйственных культур (Минеев, 2003), не говоря уже о лесных древесных растениях. В связи с тем, что механизмы поглощения и использования бора растениями до настоящего времени слабо изучены, методы точной диагностики обеспеченности бором хвойных растений еще не выявлены. Поиск способов диагностики обеспеченности бором древесных растений затрудняется в связи с тем, что не известен фермент, в состав которого входит бор, а также тем, что оптимальное для роста содержание бора в органах хвойных и некоторых других видов растений очень близко к токсичному. При этом, по абсолютному содержанию бора в органах сеянцев невозможно диагностировать обеспеченность микроэлементом хвойного растения, поскольку при одинаковом содержании бора в органах хвойных растений на разных фонах минерального питания оптимальные для роста и развития сеянцев уровни его содержания в органах различны (Чернобровкина и др., 2007). Перечисленные причины ограничивают возможности применения методов химической диагностики и объясняют необходимость разработки новых подходов в диагностике минерального питания растений (Минеев и др., 1993). Именно методы функциональной диагностики минерального питания позволяют оценить не только содержание того или иного элемента питания в фитомассе, но и потребность растения в нем. Потребность растений в ЭМП можно определить, контролируя интенсивность физиолого-биохимических процессов, одним из которых, в свою очередь, является устойчивость к патогенным грибам. Наиболее распространенным грибным заболеванием сеянцев сосны в Карелии является снежное шютте или фацидиоз (возбудитель *Phacidium infestans* Karst.), вызывающее поражение и преждевременное опадение хвои, приводящее к угнетению и гибели сеянцев (Мороз, 1962).

Целью работы являлась оценка возможности использования критерия устойчивости сеянцев сосны обыкновенной к снежному шютте, как интегрального показателя функциональной диагностики обеспеченности растений бором. В задачи исследования входило проведение эксперимента по заражению растений снежным шютте на фоне различного обеспечения бором и другими ЭМП, который позволил установить физиологически оптимальные уровни бора в растениях, обеспечивающие интенсивный рост и устойчивость к фитопатогену.

Исследования проводили в условиях петрозаводского лесхоза в южной части Карелии, на вырубке в сосняке брусничном. Супесчаные почвы экспериментального участка характеризовались оптимальной для роста сеянцев хвойных растений кислотностью – pH водн. 5,2–5,4. Для интенсивного роста сеянцев сосны эти почвы бедны ЭМП. Объектом исследования были двухлетние сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Сеянцы высаживали в цилиндрические, вкопанные в почву на глубину 30 см сосуды без дна – то есть с частично открытой корневой системой (объем сосуда $\approx 7800 \text{ см}^3$, на поверхности почвы – 260 см^2), из расчета 9 сосуда для каждого из вариантов опыта. В первую половину вегетационного периода 2006 г. в почву трижды вносили бор в виде борной кислоты в четырех дозах – 0,1; 0,3; 1,0; 3,0 г/м² на фоне низкого (без подкормок) и оптимального для роста сеянцев сосны уровня обеспечения элементами питания (Чернобровкина, 2001). Подкормка NPK проводилась азофоской (16%N 16%P 16%K) из расчета по азоту 60 кг д.в./га, дважды за вегетацию. В течение вегетационного периода поддерживали оптимальный уровень кислотности почвы (до pH 5,0) внесением доломитовой муки (200–300 г/м²), проводили рыхление и полив почвы до относительной влажности 70%.

Контролем для вариантов опыта с низким уровнем минерального питания и для других вариантов опыта с оптимальным обеспечением ЭМП служили соответствующие по уровню питания сосу́ды, в почву которых не вносили бор.

Параллельно на том же экспериментальном участке был заложен опыт с аналогичным внесением доз борной кислоты в почву с искусственным заражением сеянцев снежным шютте на двух фонах минерального питания (ФМП). В конце октября 2006 г. было проведено заражение растений снежным шютте путем внесения пораженной хвои на поверхность почвы по методике В.К. Мороза, (1962). Весной проводили обследование посадок по состоянию биогрупп сосны, для оценки распространенности фацидиоза применяли известные методики (Мороз, 1962; Методы мониторинга... 2004). В середине вегетационного периода (III декада июля), а также весной следующего года (I декада апреля) проводили отбор растительного материала для определения содержания в нем фенолов в органах пораженных, не пораженных и контрольных растений (не подвергнутых заражению). Содержание фенолов определяли экстракционно-фотометрическим методом с калибровкой по кверцетину. Содержание бора в хвое определяли спектрофотометрическим методом с применением реактива азометина (Иготти, 2002).

Внесение в почву борной кислоты повышало содержание бора в хвое в соответствии с величинами доз (рис. 1а). С учетом внесенных в почву доз бора при выращивании сеянцев в условиях оптимального ФМП уровень бора в хвое был ниже по сравнению с сеянцами, выращенными в условиях низкого ФМП. Внесение в почву азота, фосфора и калия способствовало снижению поступления бора в хвою. В литературе отмечается, что в обеспечении бором древесных растений большое значение имеют почвенные условия – повышенное содержание в почве ионов NH_4^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} и повышение pH почвы при известковании способствуют закреплению бора почвенными частицами (Wikner, 1983).

Результаты биометрических исследований прироста сеянцев за вегетационный сезон в высоту показали, что дозы борной кислоты в $0,1 \text{ г/м}^2$ на низком ФМП и 1 г/м^2 на оптимальном ФМП стимулировали рост растений. Средние приросты в высоту составил 22,3 % (или 192,6% по отношению к контролю) и 33,6% (или 162,4% по отношению к контролю) в условиях низкого и оптимального ФМП соответственно.

Данные по учету сохранности и отпада сеянцев после заражения фацидиозом показали, что трехразовая подкормка бором на низком и оптимальном ФМП оказала заметное влияние на распределению сохранившихся сеянцев по категориям состояния.

Распределение сеянцев сосны обыкновенной по категориям состояния в вариантах опыта с заражением снежным шютте (% от количества растений, высаженных в варианте)

Фон обеспеченности ЭМП	Категории состояния (по степени пораженности)	Дозы борной кислоты г/м^2				
		0	0,1	0,3	1	3
Низкий	Без признаков ослабления	–	7	7	–	–
	Слабая (поражены < 25% хвои)	–	50	29	14	–
	Средняя (поражены 26–50% хвои)	–	22	36	21	7
	Сильная (поражены > 50% хвои)	7	14	14	21	7
	Погибшие	93	7	14	44	86
Оптимальный	Без признаков ослабления	–	–	7	–	–
	Слабая (поражены < 25% хвои)	–	57	57	14	–
	Средняя (поражены 26–50% хвои)	–	22	22	14	–
	Сильная (поражены > 50% хвои)	14	14	7	22	14
	Погибшие	86	7	7	50	86

Наиболее действенной оказалась доза борной кислоты в $0,1 \text{ г/м}^2$ на низком ФМП – сохранность сеянцев составила 93 %. При этом наблюдался и максимальный прирост сеянцев в высоту. Доза борной кислоты в 1 г/м^2 , максимально стимулировавшая рост растений на оптимальном ФМП, способствовала снижению повреждаемости сеянцев снежным шютте лишь до 50%. В то время как более низкие дозы борной кислоты на оптимальном ФМП – $0,1$ и $0,3 \text{ г/м}^2$ максимально повысили сохранность сеянцев до 93%. Данные показали, что не всегда определенное содержание микроэлемента в органах растения является оптимальным для роста растения и для устойчивости от патогена. В частности, на низком ФМП содержание бора в хвое – $114,5 \text{ мг/кг а.с.в.}$, является оптимальным и для роста и для его устойчивости. В то время как на оптимальном ФМП уровень содержания бора в хвое для оптимального роста оказался выше ($42,1 \text{ мг/кг а.с.в.}$), чем для максимальной устойчивости сеянцев к снежному шютте ($32,8 \text{ мг/кг а.с.в.}$).

Эффект от подкормки макроэлементами, как и микроэлементами, в частности бором, зависит от величины их дефицита в почвенном субстрате при данных условиях роста (Чернобровкина и др., 2007). В лесных почвах Карелии отмечается дефицит бора и внесение подкормок данным микроэлементом оказывает стимулирующее действие на рост сеянцев сосны. При этом следует отметить, что для бора характерен узкий

диапазон содержания его в почве, при котором он положительно влияет на рост и развитие хвойного растения. Большая часть бора локализуется в хвое, его содержание изменяется под воздействием обеспеченности бором растений в наибольшей степени по сравнению с другими органами. Содержание бора в хвое взрослых деревьев составляет 20-60 мг/кг, но не должно превышать 100 мг/кг (Fiedler, Hohne, 1984). Для семян сосны характерно более высокое содержание ЭМП в органах (Чернобровкина, 2001), в частности бора. Чем выше уровень обеспеченности семян ЭМП, тем в меньших количествах бор поступает в надземные органы, особенно в хвою, тем в меньшей степени обеспеченность бором растений отражается на изменении соотношения количества элемента, закрепленного в органах семени, тем более высокий уровень содержания бора в почве стимулирует рост растений. В зависимости от условий минерального питания содержание бора в органах семян могло варьировать в широком диапазоне (6–461 мг/кг сухого вещества) (Чернобровкина и др., 2007).

На территории Карелии ранее изучалось влияние азотно-фосфорно-калийных удобрений на сохранность культур сосны и распространение грибных болезней в природных условиях (Крутов и др., 1977; Крутов, Тимофеев, 1987). Согласно этим исследованиям одноразовая подкормка минеральными удобрениями не оказала заметного влияния, как на сохранность культур, так и на отпад и поражаемость грибными болезнями. При обогащении почвы ЭМП в течение нескольких лет подряд, наблюдали ускорение процесса дифференциации растений по высоте с отмиранием отстающих в росте. Неоднократное внесение азотных удобрений (из расчета 120 кг д.в./га) повлекло за собой увеличение вредоносности фацидиоза (отпад составил 30-35%, в контроле – 10%). Авторы объясняют данное явление накоплением в почве значительного количества аммонийного азота, избыток которого ведет к увеличению периода вегетации, вызывает чрезмерный рост растений и формирование у них тканей с тонкими оболочками. Такие растения оказываются малоустойчивыми к воздействию многих лесопатологических факторов (Kurkela, 1965; Крамер, Козловский, 1983). Другие исследователи также отмечают, что снежное шютте чаще поражает хорошо развитые семена сосны на богатых почвах (Björkman et al., 1967).

Литература

- Björkman E., Lundeberg G., Nommik H. Distribution and balance of ^{15}N labelled fertilizer nitrogen applied to young pine trees (*Pinus silvestris* L.) // *Studia forest. Suecica*. 1967. 48 p.
- Dixon R.A., Paia N.L. Stress-Induced phenylpropanoid Metabolism // *Plant Cell*. 1995. V. 7. P.1085–1097
- Fiedler H.J., Hohne H. Die bor-ernahrung von koniferen und ihre beziehung zum gehalt calcium and kalium in den assimilationsorganen // *Beitrag fur. forstw.* 1984. V. 18. №3. S. 128–132.
- Furniss M.M., Solheim H., Christiansen E. Transmission of blue-stain fungi by *Ips typographus* in Norway spruce // *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 1990. V.83. P. 712–716.
- Kurkela T. Fungal disturbances associated with nutritional growth disturbances of Scots pine // *Commun. Inst. Forest. Fenn.* 1983. №116. P. 77–83.
- Kurkela T. Metsänlannoitus ja sienitaudit // *Metsätaloudellinen aikakauslehti*. 1965. №9. P. 345–349.
- Pritchett W.L., Smith W.H. Fertilizer responses in young pine plantations // *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1972. V.36. №4. P. 660–663.
- Shrimpton D.M. Extractives associated with wound response of lodgepole pine attacked by the mountain pine beetle and associated microorganisms // *Can. J. Bot.* 1973. V. 51. №3. P. 527–534.
- Wikner, B. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems / B. Wikner // *Communications Institution Forestalis Fenniae*. –1983. – №116. – P. 131–141.
- Wong B.L., Berryman A.A. Host resistance to the fir engraver beetle. 3. Lesion development and containment with *Trichosporium symbioticum* // *Can. J. Bot.* 1977. V. 55. № 17. P. 2358–2365.
- Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев., 1969. 516 с.
- Воронцов А.И. Патология леса. М., 1978. 270 с.
- Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений. М., 1974. 213 с.
- Запрометов М.Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и функции в растениях. М., 1993. 272 с.
- Игotti С.А. Определение бора в органах хвойных и лиственных древесных растений // Сборник работ аспирантов и соискателей Института леса. Петрозаводск, 2002. С. 31–36.
- Кибаленко А.П. Роль бора в процессе формирования и дыхания растений // *Доп. АН УССР*. 1965. № 9. С. 1231–1235.
- Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М., 1983. 464 с.
- Крутов В.И. Интегрированный метод защиты от грибных болезней – основа успешного выращивания сосны в лесных питомниках Карелии // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере. Петрозаводск. 1977. С. 19–23.
- Крутов В.И., Волкова И.П., Кивиниеми С.Н., Тимофеев А.Ф. Влияние удобрений на сохранность культур сосны и распространение грибных болезней и энтомофитов // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере. Петрозаводск, 1977. С. 93–113.
- Крутов В.И., Соколов А.И. Искусственное лесовосстановление и проблемы лесозащиты в Российской Карелии // Лесовосстановление на Европейском Севере. Бюллетень Научно-исследовательского института леса Финляндии. 2000. Т. 772. С. 177–182.

- Крутов В.И., Тимофеев А.Ф.* О влиянии минеральных удобрений на устойчивость сосны к снежному шютте и сосновому вертуну // Удобрения и гербициды в лесных питомниках и культурах. Петрозаводск, 1987. С.127–140.
- Методы мониторинга вредителей и болезней леса. Справочник болезни и вредители в лесах России / под общ. ред. В.К. Тузова. М., 2004. 200 с.
- Минеев В.Г.* Агрохимия. М., 2003. 206 с.
- Минеев В.Г., Мазур Т., Дебрецени И.* Биологическое земледелие и минеральные удобрения. М., 1993. 216 с.
- Мороз В.К.* Фацидиоз – опасная болезнь сосны. Петрозаводск, 1962. 58 с.
- Рикала Р.* Производство посадочного материала в Финляндии // Лесовосстановление на Европейском Севере. Бюллетень Научно-исследовательского института леса Финляндии. 2000. Т. 772. С. 133–146.
- Фуксман И.Л., Новицкая Л.Л., Исидоров В.А., Роцин В.И.* Фенольные соединения хвойных деревьев в условиях стресса // Лесоведение. 2005. № 3. С. 4–10.
- Фуксман, И.Л.* Влияние природных и антропогенных факторов на метаболизм веществ вторичного происхождения у древесных растений. Петрозаводск, 2002. 164 с.
- Чернобровкина Н.П.* Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. С.Пб., 2001. 174 с.
- Чернобровкина Н.П., Робонен Е. В., Изотти С. А., Дорофеева О. С., Шенгелиа И. Д.* Влияние обеспеченности бором на рост сеянцев сосны обыкновенной // Лесоведение. 2007. № 5. С. 69–76.
- Школьник М.Я.* Микроэлементы в жизни растений. Л., 1974. 324 с.