

УДК 634.11:634.1.15:631.81

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИКОВ РОДА *RUBUS L.* В УСЛОВИЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

*Л.И. Леонтьева, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур
302530, Орловская обл., Орловский р-н, д. Жилина,
leonteva@vniispk.ru*

Изучено содержание никеля в органах и тканях малины сорта Спутница и ежевики сорта Торнфри, выращенных без удобрений и при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$. Исследования проводили на территории ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур (Орловская обл.). Почва опытного участка – агросерая среднесуглинистая, имеющая благоприятные агрохимические показатели. Валовое содержание никеля в 2 раза превышало регионально-фоновый уровень, установленный для агросерых почв Орловской области. Отобранные в фазе плодоношения растения разделяли на органы: корень, корневище, двулетние побеги, однолетние побеги, плоды. От древесины побегов отделяли кору и флоэму. Также отдельно анализировали листья плодоносящих и однолетних побегов. На обоих агрохимических фонах наблюдалась аккумуляция Ni в корнях. При этом, в корнях растений ежевики накапливалось в 2 раза больше никеля, чем в корнях малины (0,656 и 0,257 мг/кг сух. в-ва соответственно). Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению концентрации Ni в корнях изучаемых генотипов. Корневища содержали достоверно меньше никеля, чем корни, но больше чем надземные органы. На неудобренном фоне кора, флоэма и древесина двулетних побегов ежевики и малины содержали больше никеля, чем аналогичные ткани однолетних побегов. При внесении минеральных удобрений такое различие наблюдалось только для коры и флоэмы. На неудобренном фоне плоды малины сорта Спутница и ежевики сорта Торнфри содержали Ni на уровне тканей однолетних побегов (0,123 и 0,139 мг/кг соответственно). При внесении минеральных удобрений в плодах малины накопление Ni увеличилось (0,149 мг/кг), а в плодах ежевики – уменьшилось (0,109 мг/кг).

Ключевые слова: малина, ежевика, никель, органы и ткани, минеральное питание.

DOI: DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.17

Малина и ежевика – ценные ягодные культуры, плоды которых обладают уникальными питательными и лечебными свойствами. Ягоды применяют как в свежем, так и в переработанном виде. Кроме того, в качестве лекарственного сырья широко используют другие органы растений – листья, побеги, соцветия и др. [5]. В России основные насаждения малины и ежевики сосредоточены в любительском садоводстве. Как правило дачные участки расположены вблизи шоссе и дорог и в зоне влияния промышленных центров, поэтому в растениях возможно накопление тяжелых металлов (ТМ). Изучение накопления и распределения элементов-токсикантов в культурных растениях – важная часть экологических исследований. Загрязнение окружающей среды ТМ является одним из самых опасных техногенных последствий. Эти металлы обладают высокой токсичностью, способностью накапливаться в живых организмах и длительное время циркулировать в биологических системах. Для широкого круга химических элементов, помимо прямого токсического эффекта, установлены отдаленные последствия в виде канцерогенных, мутагенных и других реакций, которые могут быть вызваны даже низкими концентрациями элементов [11, 12].

Никель относится к эссенциальным элементам: в ультрамалых количествах (0,01–5 мкг/г сухой массы) он необходим для поддержания метаболизма растений, а в высоких концентрациях – токсичен [14].

Цель исследований – выявить влияние минерального питания на поступление и распределение Ni в органах и тканях ягодных кустарников рода *Rubus L.*

Методика. Изучение распределения Ni в растениях малины и ежевики проводилось на территории, расположенной в садовом массиве института селекции плодовых культур (Орловская обл.). Почва опытного участка – агросерая хорошо окультуренная, со следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} 5,01–4,97; содержание подвижного фосфора – 193,89 – 184,59 мг/кг, обменного калия – 128,30 – 91,78 мг/кг, гумуса – 4,05 – 3,83%. Агрохимические показатели почвы определяли по стандартным методикам (Практикум, 1989).

В опыте изучали варианты без минеральных удобрений и с применением $N_{90}P_{90}K_{90}$. Удобрения вносили весной в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и сульфата калия. Повторность опыта трехкратная. В повторности 15 растений, площадь делянки с ежевикой – 7,5 м², с малиной – 5 м². Опыт проводился в 2013–2015 гг.

Для изучения содержания Ni в разных частях ягодных кустарников, растения разделяли на органы и ткани: корень, корневище, двулетние побеги, однолетние побеги, плоды. Также отдельно проводили анализ листьев с однолетних и двулетних побегов.

Для определения содержания Ni в растениях ягодных кустарников использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии по МУК 4.1.053-96.

Результаты и их обсуждение. Получение стабильных урожаев ягодных культур невозможно без применения минеральных удобрений. В свою очередь изменение условий минерального питания в значительной степени влияет на доступность тяжелых металлов рас-

тениям, что способно отразиться на качестве растительной продукции [7, 3, 15].

Малина и ежевика – кустарниковые растения, имеющие многолетнюю подземную часть, состоящую из корневища и многочисленных придаточных корней. Надземная часть имеет двулетний цикл развития: в

первый год отрастают однолетние побеги, на которых на следующий год формируется урожай, затем они отмирают [4].

Данные по распределению Ni в растениях малины и ежевики представлены в таблице.

Содержание Ni в органах и тканях малины и ежевики в зависимости от агрофона, мг/кг сух. в-ва						
Фактор А Органы и ткани растения	Фактор В Агрофон				Средние по фактору А	
	Без удобрений		N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀			
	малина	ежевика	малина	ежевика	малина (HCP ₀₅ A=0,04)	ежевика (HCP ₀₅ A = 0,05)
Корни	0,257	0,656	0,330	0,705	0,294	0,681
Корневища	0,170	0,423	0,240	0,473	0,205	0,448
Кора и флоэма двулетних побегов	0,231	0,259	0,190	0,218	0,211	0,239
Древесина двулетних побегов	0,190	0,252	0,140	0,164	0,165	0,208
Листья двулетних побегов	0,146	0,271	0,140	0,273	0,143	0,272
Кора и флоэма однолетних побегов	0,148	0,135	0,112	0,081	0,130	0,108
Древесина однолетних побегов	0,114	0,149	0,132	0,168	0,123	0,159
Листья однолетних побегов	0,118	0,183	0,166	0,189	0,142	0,186
Плоды	0,123	0,139	0,149	0,109	0,136	0,124
Средние по фактору В (HCP ₀₅ B =0,02)	0,168	0,274	0,170	0,264	HCP ₀₅ AB=0,06	HCP ₀₅ AB=0,07

Известно, что у растений существуют барьеры поглощения по отношению к большинству химических элементов, что обусловлено наличием специфических физиолого-биохимических механизмов. Разные органы растений накапливают элементы в тканях неодинаково: корни обычно характеризуются безбарьерным накоплением, а надземные органы – барьерным. Тип накопления элемента существенно зависит от его биохимических свойств [1].

Многие исследователи наблюдали слабую фиксацию никеля корнями и более равномерное (по сравнению с другими ТМ) распределение по органам разных видов растений [1, 8]. Однако другие авторы отмечали аккумуляцию никеля, как и иных тяжелых металлов, в корневой системе [2, 9].

В результате исследований установлено, что всем изучаемым генотипам свойственно накопление Ni в корневой системе. Причем корни ежевики аккумулируют в 2 раза больше этого элемента, чем корни малины. Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению концентрации Ni в корнях как малины, так и ежевики.

Концентрация Ni в тканях побегов ягодных кустарников зависела от их возраста. У всех изучаемых растений отмечена аккумуляция данного элемента в подземных многолетних побегах – корневищах.

Независимо от варианта опыта, кора и флоэма молодых побегов малины и ежевики содержали меньше Ni, чем такие же ткани двулетних побегов. В древесине молодых побегов меньше никеля, чем в древесине плодоносящих ветвей. В варианте без применения минеральных удобрений содержание Ni в листьях молодых побегов малины (0,118 мг/кг) не превышало содержание элемента в тканях самих побегов (0,114 мг/кг). В листьях плодоносящих побегов концентрация Ni была значительно выше (0,146 мг/кг), чем в листьях однолетних побегов.

У ежевики зависимость концентрации Ni от возраста побегов проявлялась сильнее, чем у малины. Кора, флоэма и древесина молодых побегов ежевики содержали

меньше Ni, чем аналогичные ткани двулетних побегов. При этом проводящие ткани побегов одного возраста не различались между собой по уровню содержания изучаемого элемента. Для ежевики характерно более высокое содержание Ni в листьях как однолетних (0,183 мг/кг), так и двулетних (0,271 мг/кг) побегов по сравнению с тканями самих побегов (0,149 и 0,252 мг/кг соответственно). При внесении минеральных удобрений отмечено увеличение содержания Ni в корнях и корневищах. При этом наблюдается усиление работы физиологического барьера на границе подземных и надземных органов, так как практически во всех надземных органах выявлено снижение концентрации Ni по сравнению с вариантом без удобрений.

Считается, что в репродуктивных органах (семенах и плодах) микроэлементы накапливаются по барьерному типу, так как строго генетически контролируются [6]. На удобренном фоне плоды малины сорта Спутница и ежевики сорта Торнфри содержали Ni на уровне тканей однолетних побегов (0,123 и 0,139 мг/кг соответственно). При внесении минеральных удобрений в плодах малины накопление Ni увеличилось (0,149 мг/кг), а в плодах ежевики – уменьшилось (0,109 мг/кг). Превышение ПДК по содержанию никеля (1 мг/кг) в плодах не выявлено.

Заключение. Изучение особенностей распределения Ni в растениях малины и ежевики показало, что накопление этого элемента происходило прежде всего в корнях. Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению накопления никеля в подземных органах у обоих изучаемых генотипов. Концентрация Ni в тканях побегов ягодных кустарников зависела от их возраста. У всех изучаемых растений отмечена аккумуляция Ni в подземных многолетних побегах – корневищах. Независимо от агрохимического фона, кора и флоэма молодых побегов содержали меньше Ni, чем аналогичные ткани двулетних побегов. В древесине молодых побегов также было меньше этого элемента по сравнению с древесиной плодоносящих ветвей. Содержание Ni в листьях зависело от возраста побегов, на которых они

развивались. У ежевики зависимость концентрации Ni от возраста побегов проявлялась сильнее, чем у малины. Содержание Ni в плодах изучаемых культур не отличалось от такового в тканях однолетних побегов.

Литература

1. Андреева И.В., Говорина В.В. К вопросу о возможных причинах высокой подвижности Ni в растениях // *Агрохимия*. - 2008. - №6. - С. 68-71.
2. Белопухов С.Л., Сюняев Н.К., Тютюнькова М.В., Сюняева О.И. Массоперенос никеля в агроэкосистеме с дерново-подзолистой супесчаной почвой при длительном применении осадков сточных вод // *Агрохимия*. - 2017. - №5. - С.86-90.
3. Гомонова Н.Ф., Скворцова И.Н., Зенова Г.М. Результаты длительного применения различных видов и сочетаний удобрений на дерново-подзолистых почвах // *Почвоведение*. - 2007. - №4. - С.498-504.
4. Грюнер Л.А. Ежевика. // *Помология. Земляника. Малина Орехоплодные и редкие культуры*. Т.V / Под ред. Седова Е.Н., Грюнер Л.А. - Орел: ВНИИСПК, 2014. - С.300-308.
5. Казаков И.В. Малина // *Помология. Земляника. Малина Орехоплодные и редкие культуры*. Т.V / Под ред. Седова Е.Н., Грюнер Л.А. - Орел: ВНИИСПК, 2014. - С.97-181.
6. Кашин В.К., Убузунов Л.Л. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье // *Агрохимия*. - 2012. - №4. - С.68-76.
7. Кинжаев Р.Р., Гомова Н.Ф., Карпова Е.А. Последствие агрохимических средств на подвижность тяжелых металлов в почве и накопление их растениями // *Плодородие*. - 2004. - №2. - С.38-40.
8. Коротченко И.С., Львова В.А. Миграция кадмия и никеля в растениях-фиторемедиантах // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. - 2015. - №11. - С.251-254.
9. Леонтьева Л.И., Корнилов Б.Б., Прудников П.С., Леоничева Е.В. Накопление цинка и меди в органах и тканях малины при разном уровне минерального питания // *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. - 2015. - Т.57. - №6. - С.65-70.
10. Методика определения тяжелых металлов (Pb, Ni, Zn и Cu) в пищевых продуктах, пищевом сырье и в вытяжках модельных сред из тароупаковочных материалов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. МУК 4.1.053-96. - М.: Госкомсанэпиднадзор, 1996. - 29 с.
11. Моисеенко Т.И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. - М.: Наука, 2006. - 261с.
12. Никитина И.А. Разработка системы экотоксикологического мониторинга тяжелых металлов на ООПТ // В сб.: *Современные проблемы регионального развития. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Еврейской автономной области*/ Под ред. Е.Я. Фрисмана. - 2014. - С. 132-134.
13. *Практикум по агрохимии* / Под ред. В.Г.Минеева. - М.: Изд-во МГУ, 1989. - 304 с.
14. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // *Физиология растений*. - 2006. - Т. 53. - С. 285-308.
15. Ali L., Alsanius B.W., Rosberg A.K., Svensson B., Nielsen T., Olsson M.E. (2012) Effects of nutrition strategy on the levels of nutrients and bioactive compounds in blackberries // *European Food Research and Technology*. №234 p. 33-44

DISTRIBUTION OF NICKEL IN THE ORGANS AND TISSUES OF RUBUS L. BERRY BUSHES UNDER CONDITIONS OF MINERAL NUTRITION

L.I. Leontyeva

All-Russian Scientific and Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina der., 302530, Russia,
e-mail: leonteva@vniispk.ru

The content of nickel (Ni) was studied in organs and tissues of raspberry cultivar *Sputnitsa* and blackberry cultivar *Thornfree* cultivated without fertilizers and with the N90P90K90 application. The studies were carried out on the territory of Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (Orel region). The soil of the experimental plot was gray forest, medium loam with favorable agrochemical indicators. The gross nickel content was twice more than the regional background level set for gray forest soils of the Orel region. The plants were selected in the fruiting phase and divided into organs: root, rhizome, biennial (fruiting) shoots, annual shoots and fruits. The bark and phloem of the shoots were separated from the wood and these tissues were analyzed separately. The leaves of fruiting and annual shoots were also analyzed separately. The accumulation of nickel in the roots was observed on both agrochemical backgrounds. Herewith, nickel was accumulated twice more in the roots of blackberry than in the roots of raspberry plants (0.656 and 0.257 mg/kg of dry substance, respectively). The application of mineral fertilizers contributed to an increase in the nickel concentration in the roots of the studied genotypes. The rhizomes contained significantly less nickel than the roots, but more than the ground organs. On the non-fertilized background, bark, phloem and wood of biennial shoots of blackberry and raspberry contained significantly more nickel than the similar tissues of annual shoots. When applying mineral fertilizers, this difference was observed only for bark and phloem. On the non-fertilized background, the fruits of raspberry *Sputnitsa* and blackberry *Thornfree* contained nickel at the level of the tissues of the annual shoots (0.123 and 0.139 mg/kg, respectively). When applying mineral fertilizers, the accumulation of nickel in raspberries increased (0.149 mg/kg), while in blackberry fruit it decreased (0.109 mg/kg).

Key words: raspberries, blackberry, nickel, organs and tissues, mineral nutrition.