

УДК 634.723:632.122.1

DOI 10.36305/2019-1-150-44-49

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ СМОРОДИНЫ ЧЁРНОЙ К УСВОЕНИЮ Ni В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Вероника Вячеславовна Бобкова, Сергей Николаевич Коновалов,
Елена Константиновна Сашко

ФГБНУ ВСТИСП, РФ, 115598, Москва, ул. Загорьевская, 4
E-mail: vstisp.agrochem@yandex.ru

В работе проанализированы адаптационные способности сортов растений смородины чёрной к усвоению Ni из высоко окультуренных дерново-подзолистых почв, содержащих 10,7-14,1 мг/кг подвижного Ni. Мониторинг проводили в опытных насаждениях ФГБНУ ВСТИСП (Московская область) 9 сортов растений смородины чёрной: Орловская серенада, Белорусская сладкая, Загадка, Вологда, Тритон, Бирюлёвская, Титания, Орловский вальс, Экзотика. Определяли агрохимические свойства почв, содержание подвижного Ni в почве и его содержание в плодах растений смородины чёрной. На основании проведённых анализов рассчитаны коэффициенты усвоения Ni плодами растений смородины чёрной и определены статистические зависимости показателей его аккумуляции от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на различной глубине корнеобитаемого слоя. По результатам исследований построены регрессионные зависимости величин аккумуляции Ni в плодах смородины чёрной от показателей агрохимических свойств почвы и содержания в почве подвижного Ni. Установлено, что содержание Ni в плодах смородины чёрной в первую очередь зависело от кислотности почвы, от содержания в почве подвижного Ni, щелочногидролизуемого азота и подвижного калия. Сорта смородины чёрной Белорусская сладкая, Вологда, Тритон, Бирюлёвская, Титания были более устойчивы к загрязнению почвы Ni.

Ключевые слова: сорта смородины чёрной; усвоение Ni; агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы

Введение

В настоящее время остаются весьма актуальными проблемы изучения закономерностей загрязнения ягодных агроценозов тяжёлыми металлами (ТМ) (Бобкова, Коновалов, 2018). Поведение Ni в системе почва-растение изучено недостаточно (Леоничева *и др.*, 2015; Мотылёва, Соснина, 1996; Сенновская *и др.* 2003; Bhalerao *et al.*, 2015; Emamverdian *et al.*, 2015; Esfahani, Rezayatmand, 2015; Jamali *et al.*, 2013; Sai Kachout *et al.*, 2015). Ni считается ультрамикроэлементом и при концентрации 0,01-5 мкг/г сухой массы необходим для растений. По ряду физико-химических свойств Ni^{2+} не отличается от Zn^{2+} , однако Ni не играет такой важной роли в метаболизме растений, как Zn и Cu. Никель входит в состав металлофермента уреазы растений, для активации которой необходимо присутствие некоторого количества Ni, активирует действие гидрогеназы, имеет сродство к ароматическому азоту. При повышенных концентрациях Ni токсичен для растений. В растениях Ni связывает и нарушает действие большинства ферментов с SH-группами. При избытке Ni отмечался хлороз, связанный со снижением поглощения растениями Mg, Fe, Cu, Ca. Под действием Ni происходит снижение интенсивности фотосинтеза из-за нарушения ультраструктуры хлоропластов, ингибирования синтеза хлорофилла и недостаточного поступления Mg и Fe, нарушения транспорта электронов, ингибирования ферментов цикла Кальвина (Sai Kachout *et al.*, 2015).

Процессы аккумуляции Ni растениями из почвы зависят, в первую очередь, от степени подвижности и доступности его в почве (Бобкова, Коновалов, 2018), а также от барьерных свойств самих растений. Почва способна до определенного предела переводить Ni в малоподвижное состояние. Около 20 % Ni поглощается почвой необменно. В фиксации Ni почвой основную роль играют её гумусированность, дисперсность, реакция среды и влажность. Существенное значение для снижения поступления Ni в растения имеет оптимизация условий их минерального питания. Наиболее существенно роль почвенных свойств проявляется при умеренном загрязнении почв Ni (не превышающем ОДК). Поступление Ni в растения ограничивается за счёт образования малорастворимых комплексов ионов металла с органическими кислотами, ионами Fe, из-за антагонизма с ионами Zn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} . Для поглощения растениями Ni имеет большое значение влияние Ca, так как поступление Ni в растения происходит через кальциевые каналы. По сравнению с другими токсичными ТМ, Ni более свободно передвигается в тканях растений, так как эндодерма не ограничивает его транспорт. По ксилеме Ni транспортируется в составе пасоки в виде комплексов с цитратом и малатом, аквакомплексов, соединений с гистидином. Также возможен транспорт Ni по флоэме. В клетках Ni локализуется преимущественно в протопластах, проникая внутрь клетки через плазмалемму (Серёгин, Кожевникова, 2006).

Между содержанием подвижных соединений Ni в почве и их концентрацией в тканях растений не наблюдается прямой зависимости. Это обусловлено тем, что растения обладают механизмами протекторного действия по отношению к ТМ, в том числе к Ni: действие карбоксильных групп уроновых кислот корневой слизи, металлосвязывающих пептидов-фитохелатинов в клетках растений, барьерные свойства эндодермы, депонирование кадмия в симпласте и коре, повышение активности антиоксидантных систем в ответ на токсическое действие Ni и другие процессы (Esfahani, Rezayatmand, 2015). Усвоение многолетними растениями ТМ из почвы также зависит от их количественного содержания на различной глубине корнеобитаемого слоя, поглотительной активности корней на данной глубине и от сортовых особенностей растений (Бобкова, Коновалов, 2018; Леоничева *и др.*, 2015; Мотылёва, Соснина, 1996; Сенновская *и др.* 2003). Адаптационный потенциал растений к усвоению Ni из почвы складывается из генетически обусловленного проявления растениями защитных барьерных свойств по отношению к Ni, а также из возможности ТМ поступать в корнеобитаемом слое почвы к активным всасывающим корням. Это зависит от степени подвижности Ni в почве, морфологического строения корневой системы, распределения корней растений по глубинам почвы, поглотительной активности корней на определённой глубине. Адаптационный потенциал растений по отношению к Ni в почве, который показывает, насколько растение способно противостоять его поступлению, реализуется по-разному на различных почвах и в конкретных почвенно-климатических условиях. Мерой количественной оценки адаптационного потенциала сорта к Ni, содержащемуся в почве, служит коэффициент усвоения (КУ) – отношение содержания Ni в плодах к содержанию подвижного Ni в почве. Коэффициент усвоения Ni зависит от барьерных свойств растений и от степени подвижности ТМ в почве.

Целью исследований было изучение влияния концентрации подвижного никеля на различной глубине почвы и некоторых агрохимических показателей на содержание Ni в плодах смородины чёрной.

Объекты и методы

Были изучены сортовые особенности показателей усвоения Ni растениями смородины чёрной и статистические связи их с агрохимическими свойствами корнеобитаемых горизонтов дерново-подзолистых почв. Исследования проводились в 2014 г. на Опытном поле №1 ФГБНУ ВСТИСП (Ленинский район Московской области, п. Измайлово). Опытное поле расположено в 500 м от МКАД. Ранее в почву вносили значительные дозы минеральных и органических удобрений. Это послужило одной из причин присутствия в корнеобитаемом слое почвы Ni. Валовое содержание в почве Ni не превышало ОДК (80 мг/кг). Исследовали растения сортов смородины чёрной различного эколого-географического происхождения 2005 г. посадки: Орловская серенада, Белорусская сладкая, Загадка, Вологда, Тритон, Бирюлёвская, Титания, Орловский вальс, Экзотика. Схема посадки насаждений 3x1 м. Обследовали по 7-8 кустов каждого изучаемого сорта смородины чёрной. Смешанные образцы почвы на анализ отбирали в 3-х точках по проекции кроны растений для каждого куста. В почве определяли рН_{KCl} потенциометрически, содержание щелочногидролизуемого азота – по ГОСТ 26107-84, подвижных фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91). Содержание подвижного Ni в почвенных образцах определяли атомно-абсорбционным методом в 1М HNO₃ вытяжке. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Содержание Ni в плодах определяли атомно-абсорбционным методом. Для количественной оценки степени аккумуляции Ni растениями из почвы рассчитывали показатель коэффициента усвоения (КУ) Ni: $KY = A/B \cdot 100\%$, где А – содержание Ni в плодах (мг/кг сухих плодов); Б – содержание подвижного Ni в почве (мг/кг) (Бобкова, Коновалов, 2018). Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ MS Excel.

Результаты исследования

Участок, на котором проводили исследования, расположен на высоко окультуренных дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах. Почва в корнеобитаемом слое 0-60 см содержит очень высокое количество фосфора и от среднего до очень высокого – калия (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы и содержание в ней подвижного Ni под растениями смородины чёрной

Table 1

Agrochemical indicators of the soil and its content of fluent Ni under the black currant plants

Глубина, см / Depth, cm	Содержание подвижного Ni, мг/кг Fluent Ni content, mg/kg		pH _{KCl}		N мг/г, мг/100 г / N mg/g, mg/100 g		P ₂ O ₅ мг/100 г / P ₂ O ₅ mg/100 g		K ₂ O мг/100 г / K ₂ O mg/100 g	
	среднее / mean	v*	среднее / mean	v	среднее / mean	v	среднее / mean	v	среднее / mean	v
0-10	14,0	30,8	5,52	7,3	14,94	8,5	50,1	39,9	39,7	14,8
10-20	13,6	43,6	5,51	9,4	12,07	8,5	52,8	39,1	25,2	18,9
30-40	14,1	23,5	5,72	8,6	11,78	8,1	55,9	31,3	16,1	20,1
50-60	10,7	45,0	5,58	9,5	9,88	15,1	59,7	33,3	13,6	18,1

v* – коэффициент вариации, %

v* - coefficient of variation, %

Выявлено, что содержание подвижного Ni в почве сильно варьировало, а на глубине 50-60 см оно заметно снижалось по сравнению с верхними горизонтами.

В наибольшей степени Ni усваивался растениями смородины чёрной сортов Орловская серенада, Загадка, Орловский вальс, Экзотика (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты усвоения Ni плодами сортов смородины чёрной для различных глубин почвы

Table 2

Ni absorption coefficients by the fruits of black currant cultivars for different soil depths

Сорт / Cultivar	Содержание Ni в плодах, мг/кг сухих ягод / Ni content in fruits, mg/kg of dry berries	КУ Ni для различной глубины почвы, см / Ni recovery rate for different soil depths, cm				Среднее значение КУ для слоя почвы 0-60 см / Mean recovery rate value for soil layer 0-60 cm
		0-10	10-20	30-40	50-60	
Орловская серенада	1,51	15,0	11,7	12,9	20,7	15,1
Белорусская сладкая	0,83	7,4	4,6	7,1	11,4	7,6
Загадка	1,59	11,6	17,4	9,7	17,0	13,9
Вологда	0,82	4,0	4,3	4,7	8,4	5,4
Тритон	0,59	3,1	3,2	3,5	3,1	3,2
Бирюлёвская	1,26	7,4	7,4	7,4	6,7	7,2
Титания	0,74	5,2	5,6	4,9	10,2	6,5
Орловский вальс	1,67	15,7	9,9	15,1	15,9	14,2
Экзотика	1,45	17,0	17,1	11,0	21,0	16,5

Коэффициенты усвоения Ni плодами изученных сортов смородины чёрной для разных сортов, в зависимости от глубины корнеобитаемых слоёв, и их среднее значение для слоя почвы 0-60 см были различными.

Регрессионные зависимости величин аккумуляции Ni в плодах смородины чёрной от показателей агрохимических свойств почвы и содержания в ней Ni имели следующий вид.

Для глубины 0-10 см: $y = -0,7875 + 0,6785a + 0,1946b - 0,1879c$, где:

y – содержание Ni в плодах, мг/кг; a – рН_{KCl} почвы; b – содержание щелочногидролизующего азота в почве, мг/100 г; c – содержание Ni в почве, мг/кг. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,82$.

Для глубины 10-20 см: $y = 3,439 - 0,427a - 0,0524b + 0,0144c$, где:

y – содержание Ni в плодах, мг/кг; a – содержание Ni в почве, мг/кг; b – рН_{KCl} почвы; c – содержание в почве щелочногидролизующего азота, мг/100 г. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,92$.

Для глубины 30-40 см: $y = 4,273 - 0,6346a + 0,4081b + 0,0931c$, где:

y – содержание Ni в плодах, мг/кг; a – содержание щелочногидролизующего азота в почве, мг/100 г; b – рН_{KCl} почвы; c – содержание калия в почве, мг/100 г. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,56$.

Для глубины 50-60 см: $y = 5,019 - 1,3423a - 0,0989b + 0,0659c$, где:

y – содержание Ni в плодах, мг/кг; a – рН_{KCl} почвы, мг/100 г; b – содержание калия в почве, мг/100 г; c – содержание Ni в почве, мг/кг. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,71$.

Содержание Ni в плодах смородины чёрной в первую очередь зависело от кислотности почвы и от содержания в ней подвижного Ni. Также было заметным влияние на содержание Ni в плодах обеспеченности почвы щелочногидролизующим азотом, а в более глубоких слоях – подвижным калием. Это, по-видимому, связано с мобилизующей способностью к поглощению Ni растениями смородины чёрной повышенного содержания азота в верхних корнеобитаемых горизонтах почвы.

Выводы

Сорта смородины чёрной Белорусская сладкая, Вологда, Тритон, Бирюлёвская, Титания более устойчивы к загрязнению почвы Ni по сравнению с сортами Орловская серенада, Белорусская сладкая, Загадка, Орловский вальс, Экзотика. Усвоение Ni растениями смородины чёрной при возделывании на высококультуренных дерново-подзолистых почвах с содержанием подвижного Ni 10,7-14,1 мг/кг зависит от сортовых барьерных свойств растений, а также от мобильности Ni, зависящей в первую очередь от кислотности почвы, содержания в ней подвижного Ni и от её обеспеченности щелочногидролизующим азотом и подвижным калием.

Литература / References

Бобкова В.В., Коновалов С.Н. Агроэкологические параметры аккумуляции никеля растениями земляники садовой в интенсивных технологиях возделывания на дерново-подзолистых почвах/ Мат. 52-й Международной науч. конф., посв.200-летию со дня рождения Я. А. Леоновского «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства»: М., 2018. С. 240-242.

[*Bobkova V.V., Kononov S.N.* Agroecological parameters of Nickel accumulation by strawberry plants in intensive cultivation technologies on sod-podzolic soils / Proc. 52nd International conference. Conf. Ded.200th anniversary of the birth of J.A. Lemovskoy "Agroecological and economical aspects of the use of chemicals in terms of biologization and ecologization of agricultural production": Moscow, 2018: 240-242].

Леоничева Е.В., Леонтьева Л.И., Шавыркина М.А. Оценка содержания тяжёлых металлов в плодах новых сортов и перспективных генотипов смородины чёрной // Вестник Орловского государственного аграрного университета, 2015. Т. 57. № 6. С. 61-64.

[*Leonicheva E.V., Leontiev L.I., Shvyrkina M.A.* Assessment of heavy metals content in the fruits of new varieties and promising genotypes of black currant. Bulletin of Orel State Agrarian University. 2015. 57(6): 61-64].

Мотылёва С.М., Соснина М.В. О накоплении тяжёлых металлов в листьях и плодах различных сортов чёрной смородины в зависимости от фазы вегетации // Сельскохозяйственная биология, 1996. №1. С. 67-70.

[*Motyleva S.M., Sosnina M.V.* On the accumulation of heavy metals in leaves and fruits of different varieties of black currant depending on the vegetation phase. Agricultural biology. 1996. 1: 67-70].

Сенновская Т.В., Зарубин А.Н., Сашко Е.К. Особенности накопления тяжёлых металлов в плодах и листьях некоторых сортов смородины // Плодоводство и ягодоводство России, 2003. Т. X. С. 366-375.

[*Sennovskaya T.V., Zarubin A.N., Sashko E.K.* Features of accumulation of heavy metals in fruits and leaves of some currant cultivars. Fruit and berry growing of Russia. 2003.10: 366-375].

Серёгин И.В., Кожеевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения/ Физиология растений. 2006. Том 53, №2. С. 285-308.

[Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. Physiological role of Nickel and its toxic effect on higher plants. *Plant Physiology*. 2006. 53(2): 285-308].

Bhalerao S.A., Sharma A.S., and Poojari A.C. Toxicity of Nickel in Plants/ *Inter. J. Pure App. Biosci*, 2015, v. 3. P. 345-355.

Emamverdian A., Ding Y., Mokhberdoran F., Xie Y. Heavy metal stress and some mechanisms of Plant Defense Response/ *The Sci. World J.* 2015. P. 18.

Esfahani H., Rezayatmand Z. Evaluation of some physiological and biochemical parameters of variety of sunflower sanbaro (*Helianthus annuus* L.) under nickel toxicity/ *Ind. J. Fund. Appl. Life Sci.*, 2015. V. 5. P. 88-99.

Jamali B., Eshghi S., Taffazoli E. Vegetative growth, yield, fruit quality and fruit and leaf composition of strawberry cv. 'Pajaro' as influenced by salicylic acid and nickel sprays / *J. of plant nutrition*, 36 (7), 2013. P. 1043-1055.

Sai Kachout S., Ben Mansoura A., Ennajah A., Leclerc J.C., Ouerghi Z., Karray Bouraoui N. Effects of Metal Toxicity on Growth and Pigment Contents of Annual Halophyte (*A. hortensis* and *A. rosea*)/ *Int. J. Environ. Res.*, 2015, v. 9. P. 613-620.

Статья поступила в редакцию 02.04.2019

Bobkova V.V., Konovalov S.N., Sashko E.K. Comparative evaluation of adaptation potential of black currant to uptake Ni in sod-podzolic soil // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2019. № 1 (150). P. 44-49.

The paper analyzes the adaptive abilities of black currant cultivars of plants for the assimilation of nickel from highly cultivated sod-podzolic soils containing 10.7-14.1 mg / kg of fluent nickel. Plantings were monitored at experimental plantings of ARHIBAN (Moscow region) on 9 black currant cultivars: Oryol Serenade, Belarusskaja sladkaja, Zagadka, Vologda, Triton, Biryulevskaya, Titania, Orlowsky waltz, Exotica. The agrochemical properties of the soil, the content of fluent nickel in the soil, and its content in the fruits of black currant plants were determined. Based on the analysis, the coefficients of nickel assimilation by black currant plants were calculated and statistical dependencies of its accumulation indicators on agrochemical properties of sod-podzolic soils at different depths of the root layer were determined. According to the results of research, regression dependences of the accumulation of nickel in black currant fruits on the indicators of the agrochemical properties of the soil and the content in the soil of fluent nickel were constructed. It was established that the nickel content in black currant fruits primarily depended on the acidity of the soil, on the content in the soil of fluent nickel, alkaline hydrolysable nitrogen and fluent potassium. Black currant cultivars Belarusskaja sladkaja, Vologda, Triton, Biryulevskaya, Titania were more resistant to soil pollution with nickel.

Keywords: *black currant cultivars; Ni absorption; agrochemical properties of sod-podzolic soil*