

УДК 633.853.494:631.81.031:541.23

НАКОПЛЕНИЕ СЕЛЕНА В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОГО РАПСА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЕМЯН ПРИ УДОБРЕНИИ СЕЛЕНИТОМ НАТРИЯ

С. П. ТОРШИН, И. Ю. ЗАБРОДИНА, Т. М. УДЕЛЬНОВА, Н. И. КОНОВА, О. Б. ЧИВКУНОВА, А. В. ГРОМАДИН, Б. А. ЯГОДИН

(Кафедра агрохимии)

В вегетационных опытах (в почвенной культуре) изучали накопление селена растениями ярового рапса при внесении биселенита натрия из расчета 50 и 500 мкг Se на 1 кг почвы. В программу исследований включали также исследование жирнокислотного и элементного состава семян этой культуры. В опытных вариантах содержание селена в зеленой массе рапса повысилось соответственно до 466 и 966, в семенах — до 458 и 599 мкг/кг, т. е. в 2,5—5 и 2—3 раза. Внесение этого удобрения увеличивало урожай зеленой массы рапса без снижения выхода семян. Жирнокислотный состав масла семян при этом оставался неизменным, и даже наблюдалась тенденция к его улучшению: небольшое снижение ненасыщенности за счет увеличения суммарного содержания линолевой и олеиновой кислот. Исползованные дозы селена не влияли на поступление тяжелых металлов в семена рапса.

Первые исследования влияния удобрения селеном на урожай и содержание этого элемента в различных сельскохозяйственных растениях проводились во второй половине 30-х годов в США, Германии, Англии, Индии. В результате было обнаружено, что эффективность селена для большинства культур невелика и исследования по его применению в качестве микроудобрения сокра-

тились (цит. по [11, 15]). Однако уже в 70-е годы при широких биогеохимических и медицинских обследованиях ряда густонаселенных территорий выявились связи между дефицитом селена в производимых на этих площадях продуктах питания, кормах и в воде и состоянием здоровья человека — возникновением микроэлементозов. Это вновь привлекло внимание исследовате-

лей к физиологии и биохимии селена [2, 15]. Во многих странах Европы и Азии провели крупномасштабное картирование его содержания в почвах и водах и предприняли те или иные меры по регулированию содержания селена в пище человека, рационах животных [7, 13, 18].

Установлено, что при возделывании сельскохозяйственных культур внесение селена целесообразно проводить в составе основных удобрений из расчета 16 мг на 1 кг макроудобрений под зерновые и пропашные культуры и 6 мг/кг — под кормовые травы. Дозы селена не должны превышать 10—12 г селенатов и 50—100 г селенитов на 1 га [6, 15]. Такие количества, как правило, урожай не снижали, хотя у отдельных видов растений угнетение наблюдалось при разных концентрациях микроэлемента в среде. Люцерна, клевер, горох, соя и табак чувствительны к сравнительно низким его концентрациям (20 мкг/л), а кормовые травы без заметного подавления роста перенесли 100 мкг/л. Аналогичную реакцию наблюдали и у злаков [6, 11]. В предыдущей публикации [15, 19] нами было отмечено, что повышение содержания селена в дерново-подзолистых почвах до 650 мкг/кг незначительно увеличивало урожай укропа и редиса.

Сведения относительно влияния удобрения селеном на качество сельскохозяйственной продукции чрезвычайно скудны. Имеется работа [9] о вероятности действия селена на доступность и поступление тяжелых металлов в растения и исследование [10], в котором установлена зависимость между белковостью пшеницы и содержанием этого микроэлемента в зерне. Известно также, что в почве существуют сложные взаимоотношения селена с другими элементами минерального питания

растений. Показано, например, что внесение кобальта, цинка, никеля усиливает микробиологическое образование летучих соединений селена, в то время как удобрение бором и марганцем не влияет на эти процессы, а поступление молибдена, ртути, хрома и свинца ингибирует трансформацию соединений селена в летучие формы [11, 15].

Целью нашего исследования являлось выявление доз селенита натрия, внесение которых в посевах ярового рапса приводило бы к накоплению селена в растениях без ущерба для урожая и ухудшения качества продукции. Выбор ярового рапса (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg.) в качестве объекта исследования объясняется рядом соображений: это двуцелевая культура, широко возделываемая во многих странах для пищевых, кормовых и технических целей, имеются данные о хорошей его отзывчивости на удобрение серой [16, 17], о вероятности участия селена в реакции цикла Кребса и синтеза длинноцепотчатых жирных кислот [15], об использовании муки из семян рапса в промышленном птицеводстве в качестве кормовой добавки, богатой селеном [12].

Методика

Вегетационные опыты проводили в пластиковых сосудах на 6 кг сухой почвы. Почва — дерново-подзолистая, содержание гумуса — 1,7%, pH_{con} 6,8, содержание P_2O_5 — 140 и K_2O — 137 мг/кг, селена — 272 мкг/кг. В качестве фонового удобрения использовали растворы аммиачной селитры и одно- и двузамещенных фосфатов калия из расчета 0,5 г азота и по 0,6 г пятиокиси фосфора и окиси калия на сосуд. Селен вносили при набивке сосудов в виде бесселенита натрия из расчета 0, 50 и

500 мкг на 1 кг почвы (обозначение вариантов соответственно Se0, Se1 и Se2). Семена рапса сорта Ханна высевали по 10 шт. на сосуд, в котором после прорезивания оставляли по 3 растения для получения семян. Повторность опытов — 8-кратная. После уборки зеленую массу рапса высушивали при температуре 35°C и определяли в ней содержание селена флуорометрическим методом с 2,3-диаминонафталином. Нижний предел обнаружения — 0,0000001% [1]. Метилирование жирных кислот проводили в метиловом спирте, содержащем 5% раствор серной кислоты, при 70°C в течение 1,5 ч. Метиловые эфиры экстрагировали гексаном и анализировали методом газожидкостной хроматографии на приборе «Сром-5» (ЧССР), используя стеклянную колонку (3мм x 2м), заполненную полярной фазой SP-2330, и азот в качестве газа-носителя (30 мл/мин при 180°C). Жирные кислоты идентифицировали путем сравнения времени удерживания со стандартными препаратами фирмы Serva (ФРГ) и Sigma (США). Концентрации элементов определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе PERKIN-ELMER 5100РС. В течение вегетационного периода проводили наблюдения за ростом и развитием растений. Во все фазы вегетации визуальных различий по вариантам не выявлено.

Результаты

Внесение селена в дозе 500 мкг/кг увеличивало урожай зеленой массы рапса на 40% по сравнению с контролем (табл. 1), тогда как доза 50 мкг/кг не повлияла на этот показатель. Можно предположить, что наблюдаемое в опыте влияние селена аналогично положительному действию серы на урожай

рапса [16, 17]. Содержание данного микроэлемента в зеленой массе по-прежнему коррелировало с его содержанием в почве и было наибольшим в варианте Se2. Урожай семян рапса существенно не изменялся по вариантам опыта, тогда как содержание селена в них достоверно возрастало с увеличением дозы микроэлемента с 205 мкг/кг в контроле до 599 мкг/кг в варианте Se2. Оптимальным содержанием селена в кормах принято считать 100—200 мкг/кг, а токсичным — 3—5 мг/кг [13, 18]. Исходя из того, что значительные территории Российской Федерации относятся к остродефицитным по содержанию селена, получение кормов с высоким количеством этого элемента является важной задачей растениеводства [2, 4]. Необходимо также строгое нормирование таких кормов в рационе животных.

Качество семян рапса во многом характеризуется составом ненасыщенных жирных кислот и их содержанием (% к общему количеству жирных кислот запасных липидов). От содержания и степени ненасыщенности жирных кислот зависит окисляемость масла и, следовательно, его пищевая ценность.

Под воздействием микроэлементов в семенах масличных культур происходит перераспределение жирных кислот

Таблица 1
Урожай рапса (г на сосуд) и содержание селена в зеленой массе и семенах (мкг на 1 кг сухой массы)

Вариант	Зеленая масса		Семена	
	урожай	Se	урожай	Se
Se0	35,9	193	6,8	205
Se1	36,1	466	6,5	458
Se2	50,2	966	6,2	599
НСР ₀₅	10,3	127	1,8	218

Таблица 2

Жирнокислотный состав семян рапса (%)

Кислота	Se0	Se1	Se2	НСР ₀₅
Пальмитиновая	3,87	3,77	4,17	0,80
Пальметоленовая	Сл.	Сл.	Сл.	—
Стеариновая	1,47	1,34	1,40	0,15
Олеиновая	62,64	63,05	61,97	4,01
Линолевая	20,64	21,95	22,30	3,08
Линоленовая	11,39	9,74	10,11	1,22

при неизменном общем содержании масла. Так, в семенах льна отмечалось снижение концентрации линолевой кислоты при внесении в почву молибдена [5], в масле семян рапса — увеличение на 1—2% содержания одно- и двунасыщенных жирных кислот по сравнению с содержанием линоленовой при применении молибдена, цинка и кобальта [3]. На основании приведенных данных и предполагая, что селен влияет на поступление в растения тяжелых металлов, в частности биофильных, в программу исследований мы включили определение содержания жирных кислот в масле семян рапса. Обнаружено (табл. 2), что в опытных вариантах относительное содержание олеиновой, пальмитиновой, пальметоленовой и стеариновой кислот достоверно не изменяется, но наблюдается тенденция к повышению уровня суммы олеиновой и линолевой кислот с соответствующим понижением содержания линоленовой в зависимости от концентрации селена в почве.

К критериям качества, как известно, относится элементный состав растений. Анализы на содержание ряда химических элементов в семенах рапса (табл. 3) и сравнение полученных результатов с литературными данными показали, что в нашем опыте содержание всех определяемых элементов, за исключением кобальта, было ниже, чем

указанное в обзоре [8] для семян рапса.

В условиях опыта как низкая, так и высокая доза селена не вызвала значительного снижения поступления биофильных тяжелых металлов — цинка и марганца. Не изменилось содержание кобальта и кадмия. Несколькое возросли концентрации лития, свинца, никеля, меди и хрома. Однако, поскольку содержание токсичных элементов в образцах находилось на уровне минимальных значений, отмеченных в литературе для семян, некоторое увеличение их концентрации, наблюдаемое в нашем опыте, не приводило к снижению качества продукции [8].

Таким образом, в условиях вегетационного опыта на дерново-подзолистой почве применение селена из расчета 50 и 500 мкг/кг позволило увеличить содержание этого микроэлемента в зеленой массе рапса до 466—966, а в семенах — до 458—599 мкг/кг, т. е. соответственно в 2,5—5 и 2—3 раза по сравнению с контролем. Внесение селена увеличивало урожай зеленой массы рапса без снижения выхода семян. Качество масла семян при этом оставалось неизменным, и даже наблюдалась тенденция к его улучшению: небольшое снижение ненасыщенности за счет

Таблица 3

Элементный состав семян рапса
(мг на 1 кг сухой массы)

Элемент	Se0	Se1	Se2
Li	0,1	0,3	0,2
Pb	1,7	1,1	3,2
Ni	0,6	0,8	1,0
Zn	22,7	20,1	20,9
Co	0,4	0,4	0,5
Fe	35,3	41,8	41,6
Cu	0,3	0,5	0,5
Mn	20,6	19,2	19,8
Cr	0,4	0,3	0,7
Cd	0,1	0,1	0,1

увеличения суммарного содержания линолевой и олеиновой кислот. Исползованные в наших опытах дозы селена не влияли на поступление тяжелых металлов в семена рапса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ермаков В. В.* Флуорометрическое определение Se в продуктах животноводства, органах (тканях) животных и объектах окружающей среды.— В кн.: *Метод. указания по определению пестицидов в биолог. объектах.* М.: ВАСХНИЛ, 1985, с. 28—35.— 2. *Ермаков В. В., Ковальский В. В.* Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974.— 3. *Забродина И. Ю., Бизяев Е. Ф., Торшин С. П., Савидов Н. А., Ягодин Б. А.* Влияние микроэлементов на жирнокислотный состав семян рапса.— В сб.: *Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине/ XI Всесоюз. конфер., Самарканд, Архангельск, 1990, Правда Севера, с. 285—286.*— 4. *Коновая Н. И.* К вопросу о биогеохимии селена в различных геохимических условиях.— *Микроэлементы в СССР, 1992, вып. 33, с. 18—21.*— 5. *Кремин В. В.* Влияние макро- и микроудобрений на продуктивность и качество льна-долгунца.— Автореф. канд. дис. М.: ТСХА, 1991.— 6. *Постников А. В., Илларионова Э. С.* Новое в использовании селена в земледелии. М.: ВНИИТЭСХ, 1991.— 7. *Флоринский М. А., Седова Е. В.* Селен в окружающей среде.— *Агрохимия, 1992, № 5, с. 122—129.*— 8. *Ягодин Б. А., Торшин С. П., Удельнова Т. М., Кокурин Н. Л., Забродина И.*

Ю. Вариабельность элементного состава семян основных масличных культур.— *Агрохимия, 1992, № 3, с. 85—94.*— 9. *Ягодин Б. А., Удельнова Т. М., Торшин С. П., Забродина И. Ю. и др.* Содержание селена в растениях укропа и редиса при различных дозах селенита натрия.— *Изв. ТСХА, 1992, вып. 3, с. 54—57.*— 10. *Barclay M. N. J., MacPherson A.*— *J. Sci. Food Agric., 1986, vol 37, № 11, p. 1133—1138.*— 11. *Bollard E. J.*— *Encyclopedia of plant physiology. New Series., Berlin: Springer Verlag, 1983, vol. 15B, p. 695—744.*— 12. *Bragg D. B., Seier L.* *Poultry Sci., 1974, vol. 53, № 1, p. 22—26.*— 13. *Combs G. F., Spallholz J. E., Levander O. A., Oldfield J. E. (eds.).*— *Selenium in biology and medicine.*— 3rd Int. Simp. Beijing (part A), N. Y.: Van nostrand Reinhold Company, 1987.— 14. *Fisher S. E., Munshower F. F., Parady F.* *Selenium.*— *Reclaiming mine soils and overburden in the Western United States, USA, Iowa: Soils Cons. Soc. of Am., 1988, p. 109—133.*— 15. *Klayman D. L., Ganter W. H. H. (eds.).* *Organic selenium compounds: their chemistry and biology.* N. Y., L., Sydney, Toronto: Wiley-Interscience, 1973.— 16. *Stoltenberg J.*— *Top Agrar., 1988, Bd 3, S. 62—63.*— 17. *Vernet S.*— *Defense Veget., 1987, vol. 41, № 245, p. 17—21.*— 18. *Wendel A. (ed.)* *Selenium in biology and medicine.*— 4nd Int. Simp. Berlin: Springer Verlag, 1989.— 19. *Zingaro R. A., Copper W. Ch. (eds.).* *Selenium.*— N. Y.: Van Nostrand Reinhold Company, 1974.

Статья поступила 26 июля 1993 г.

SUMMARY

In greenhouse experiments (in soil culture) accumulation of selenium by spring rape plants with application of sodium biselenite (50 and 500 mkg of selenium per 1 kg of soil) was studied. Investigation of fatty acid and element composition of seed of this crop is also included into the programme.

In experimental variants the amount of selenium in green mass of rape increased up to 466 and 966, in seed — up to 458 and 599 mkg/kg, that is 2,5—5 and 2—3 times. Application of this fertilizer increased the yield of green mass of rape without reducing the output of seed. Fatty acid composition of seed oil did not change, and there was even tendency for its improvement: small reduction of non-saturation at the expense of the increase in total content of linoleic and oleic acids. The used doses of selenium did not affect the ingress of heavy metals into rape seed.