

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ СЕЛЕНА В ПОЧВЕ НА КУМУЛЯЦИЮ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕРНЕ И МУКЕ ИЗ ПШЕНИЦЫ, РИСА И КУКУРУЗЫ

**М.Г. Скальная^{1,2}, Н.Т. Пракаш³, О.П. Айсувакова^{1,2}, А.Р. Грабеклис^{1,2},
А.А. Киричук², М.М. Левина⁴, С.К. Джаисвал³, Р. Пракаш³, А.А. Тиньков^{1,2*}**

¹ Ярославский государственный университет, г. Ярославль, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³ Университет Тапар, Пенджаб, Индия

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Целью исследования явилось изучение влияния высокого уровня селена (Se) в почве на кумуляцию железа (Fe), меди (Cu), цинка (Zn) и марганца (Mn) в зерне и муке из пшеницы, риса и кукурузы методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Установлено, что культивация растений на богатой селеном почве приводит к увеличению аккумуляции элемента в зернах и муке из пшеницы, риса и кукурузы соответственно в 106 и 45, 107 и 80, а также 458 и 269 раз по сравнению с контрольными значениями. Воздействие селена сопровождается достоверным увеличением кумуляции Cu, Fe и Mn в образцах зерна и муки из пшеницы. Отмечено, что в отличие от пшеницы, содержание меди в зернах и муке из риса с высоким уровнем селена ниже контрольных значений. Культивация кукурузы на почвах с высоким содержанием селена приводит к достоверному снижению уровня меди в зернах кукурузы, в то время как уровень цинка характеризовался более чем 2-кратным повышением. В то же время показано, что уровень Cu, Fe и Mn в муке из кукурузы с высоким содержанием селена ниже соответствующих контрольных значений практически в 3 раза. Таким образом, пшеница, выращенная на селеноносных почвах, также может являться дополнительным источником других эссенциальных элементов, тогда как поступление данных элементов с обогащенной селеном кукурузой и продуктах из нее, напротив, может снижать потребление данных элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: селен, зерновые, железо, медь, цинк, selenium, grains, iron, copper, zinc.

ВВЕДЕНИЕ

Дефицит селена является одним из распространенных нарушений обмена микронутриентов, однако его частота не установлена (Fordyce, 2013). Дефицит селена связан с широким спектром нарушений, в том числе специфическими, такими как болезнь Кешана и Кашина–Бека (Rayman, 2017). Использование обогащенных селеном культур зерновых эффективный способ повышения обеспеченности организма селеном. Одним из методов обогащения зерновых селеном является культивация на почвах с высоким уровнем этого элемента (dos Reis et al., 2017), которые встречаются в КНР, Пуэрто-Рико, Колумбии, Индии и др. (Fordyce, 2013).

Показано, что культивация на почвах с высоким уровнем селена или с применением фортификации существенно увеличивает содержание селена в зерновых (Ducsay, Ložek, et al., 2009; Boldrin et al., 2013). Воздействие селена способно оказывать значительное влияние на уровень других элементов, например, достоверно снижая уровень токсичных металлов (Skalnaya et al., 2017). В то же время данные относительно влияния высокой концентрации селена на содержание эссенциальных элементов достаточно противоречивы (Pazurkiewicz–Kocot et al., 2008; Feng et al., 2013a; Wei et al., 2014; Tobiasz et al., 2014).

Процесс обработки зерна оказывает существенное влияние на содержание микроэлементов в муке и конечных продуктах (Ertl, Goessler, 2018). Так, содержание селена в муке зависит как от технологии, так и сорта пшеницы (Lyons et al., 2005). Однако данные о влиянии кумуляции се-

лени в зерновых (Ducsay, Ložek, et al., 2009; Boldrin et al., 2013). Воздействие селена способно оказывать значительное влияние на уровень других элементов, например, достоверно снижая уровень токсичных металлов (Skalnaya et al., 2017). В то же время данные относительно влияния высокой концентрации селена на содержание эссенциальных элементов достаточно противоречивы (Pazurkiewicz–Kocot et al., 2008; Feng et al., 2013a; Wei et al., 2014; Tobiasz et al., 2014).

Процесс обработки зерна оказывает существенное влияние на содержание микроэлементов в муке и конечных продуктах (Ertl, Goessler, 2018). Так, содержание селена в муке зависит как от технологии, так и сорта пшеницы (Lyons et al., 2005). Однако данные о влиянии кумуляции се-

* Адрес для переписки:

Тиньков Алексей Алексеевич

E-mail: tinkov.a.a@gmail.com

лена в зерновых на уровень эссенциальных элементов в муке отсутствуют.

Цель исследования – изучение влияния высокого уровня селена в почве на кумуляцию железа, меди, цинка и марганца в зерне и муке из пшеницы (*Triticum aestivum*), риса (*Oryza sativa*) и кукурузы (*Zea mays*), имеющих наибольшее пищевое значений (Teklić et al., 2013).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы пшеницы (*Triticumaestivum*-PBW343), риса (*Oryzasativa*-PR122), и кукурузы (*Zeamays*-PMH7) были собраны в регионе Наваншар-Хошиарпур, Пенджаб, Индия (32.46° N, 74.32° E) с высоким содержанием селена в почвах (6,5±0,3 мг/кг). При этом растения, культивируемые на почвах с нормальным уровнем селена (1,08±0,23 мг/кг) в районе Паттала, Индия (30.33° N, 76.38° E), являлись контрольными. Сбор образцов производился в период сборки урожая (2018). Для анализа использовались семь различных образцов зерновых с высоким и нормальным содержанием селена. Наряду с зерном осуществлялся сбор образцов муки, изготовленной из сырья с различным уровнем селена. Для анализа использовались образцы цельнозерновой муки. Исследовались образцы муки каждой из культур, полученной из семи различных партий.

В процессе пробоподготовки 50–100 мг образца вносили в тefлоновые пробирки, содержащие концентрированную азотную кислоту, с последующим микроволновым разложением в системе Berghof Speed Wave 4 DAP-40 (Berghof Products + Instruments GmbH, Eningen, Germany) при 170–180 °C в течение 20 мин.

Анализ содержания селена, а также меди, железа, марганца и цинка проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой на спектрометре NexION 300D (Perkin Elmer Inc., CT, США), оснащенном автоматическим дозатором ESI SC DX4 (Elemental Scientific Inc., Omaha, США). Калибровка проводилась с использованием растворов элементов с различной концентрацией, изготовленных на основе Universal Data Acquisition Standards Kit (Perkin Elmer Inc., CT, США). В ходе анализа проводилась внутренняя онлайн стандартизация с использованием Yttrium (Y) and Rhodium (Rh) Pure Single-Element Standard (Perkin Elmer Inc.,

CT, США). Контроль качества осуществлялся посредством ежедневного анализа сертифицированного референтного образца GBW09101 («Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica», Китай). Процент соответствия полученных величин сертифицированным находился в пределах 91–108%.

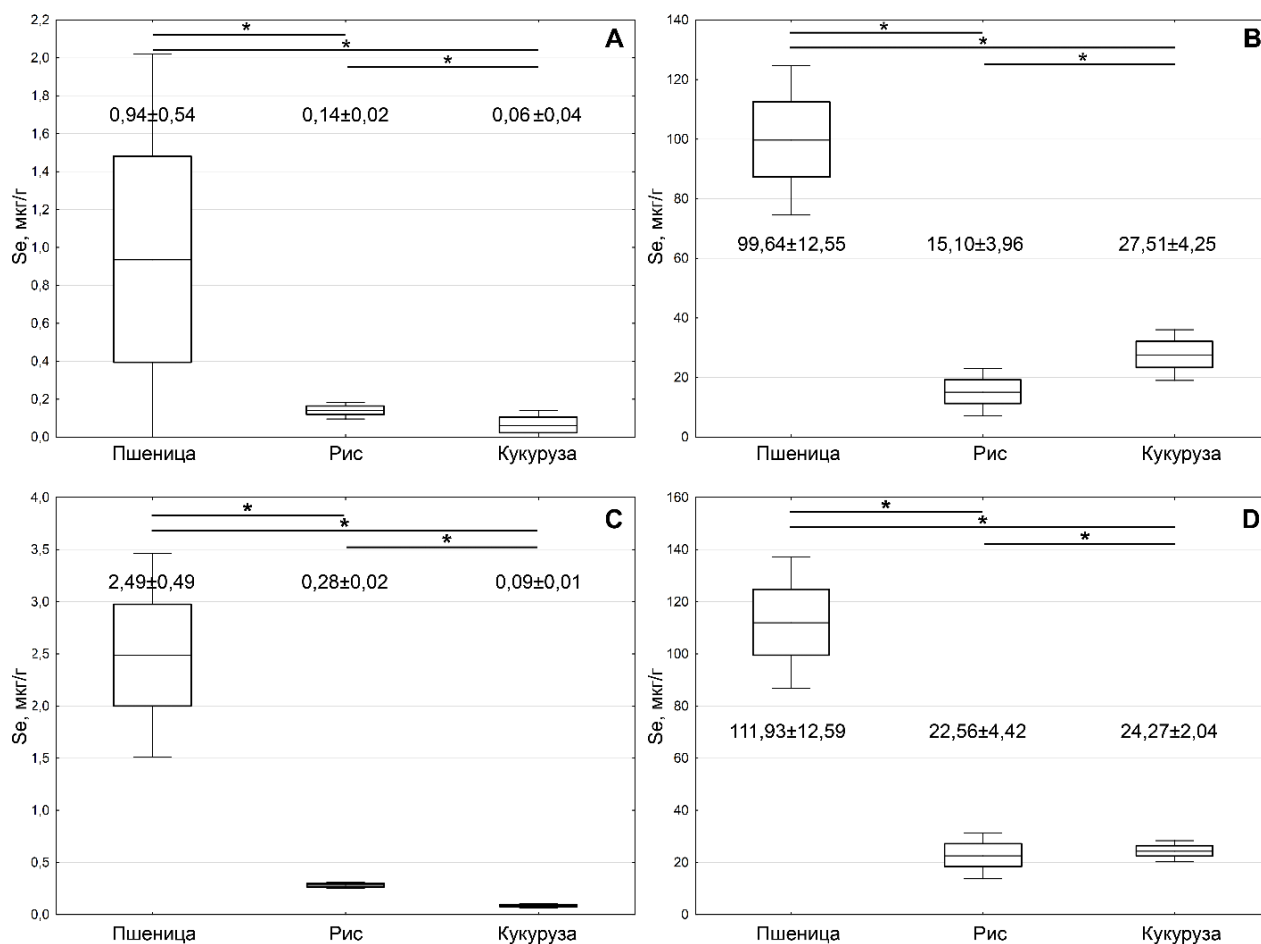
Статистический анализ проводился с использованием программного пакета Statistica 10.0 (Statsoft, OK, США). Данные представлены в виде средней арифметической величины и соответствующих значений среднеквадратического отклонения (Mean±SD). Погрупповое сравнение выполнялось посредством непараметрического U-критерия Манна–Уитни при уровне достоверности $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что содержание селена в зернах пшеницы, произрастающей на почвах с нормальным содержанием селена, превышало таковое в образцах зерен риса и кукурузы более чем в 6 и 15 раз соответственно (рисунок). При этом культивация растений на богатой селеном почве приводила к увеличению аккумуляции элемента в зернах пшеницы, риса и кукурузы в 106, 107 и 458 раз соответственно. Несмотря на то, что наиболее значимое увеличение отмечалось в случае кукурузы, среди культур, выращенных на почвах, богатых селеном, максимальное содержание данного металлоида также отмечалось в случае пшеницы, превышая соответствующие показатели у риса и кукурузы более чем в 6 и 3 раза.

При этом содержание селена в образцах муки, произведенной из исследуемых культур, характеризовалось сходными закономерностями (рисунок). В частности, максимальное содержание селена отмечалось в образцах муки из пшеницы, произрастающей на территориях как с нормальным, так и высоким содержанием селена, превышая соответствующие значения для риса и кукурузы в 9 и 5, а также 28 и 5 раз соответственно.

Стоит также отметить, что содержание селена в муке из пшеницы и риса достоверно превышало данный показатель в цельных зернах вне зависимости от региона произрастания. В то же время достоверных различий в содержании селена в зернах кукурузы и кукурузной муке выявлено не было.



Содержание селена (мкг/г) в зернах (А, В) и муке (С, Д) из пшеницы, риса, и кукурузы, произрастающих на территориях с нормальным (А, С) и высоким (В, Д) уровнем селена. Данные представлены в виде средней (line) и среднеквадратического отклонения (box);

* – достоверность отличий при $p < 0,05$

Таблица 1. Содержание эссенциальных микроэлементов (мкг/г) в зернах и муке из пшеницы, произрастающей на почвах с различным уровнем селена

Элемент	Зерно		Мука	
	N-Se	H-Se	N-Se	H-Se
Cu	$2,4 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,1$ *	$3,6 \pm 0,2$ †	$4,8 \pm 0,3$ *†
Fe	$22,7 \pm 3,4$	$33,8 \pm 6,0$ *	$54,4 \pm 5,9$ †	$76,2 \pm 20,4$ *†
Mn	$10,0 \pm 1,2$	$21,1 \pm 0,9$ *	$21,0 \pm 1,4$ †	$41,4 \pm 2,6$ *†
Zn	$22,8 \pm 1,9$	$25,8 \pm 1,8$	$41,1 \pm 2,0$ †	$40,5 \pm 2,2$ †

П р и м е ч а н и е : данные представлены в виде средней арифметической величины и соответствующих значений среднеквадратического отклонения; * – достоверность различий по сравнению с продуктом (зерна, мука) с нормальным содержанием селена; † – достоверность отличий между мукой и зерном с различным содержанием селена.

Также изучено влияние высокого уровня селена на содержание основных эссенциальных микроэлементов (Fe, Cu, Mn, Zn) в зернах культурных растений, а также муке. Установлено, что воздействие селена сопровождается достоверным увеличением кумуляции меди, железа и марганца в образцах зерен пшеницы на 41, 48 и 211%, соответственно (табл. 1). Аналогично, содержание данных элементов в пшеничной муке с высоким уровнем селена превышало соответствующие контрольные значения на 33, 40 и 97%. Стоит отметить, что культивация пшеницы на почвах с высоким уровнем селена не оказывала существенного влияния на содержание цинка как в зернах, так и муке. Вне зависимости от уровня селена в пшенице, содержание исследуемых элементов в муке достоверно превышало соответствующие значения для зерен.

В отличие от пшеницы, культивация риса на почвах с высоким уровнем селена не приводила к кумуляции эссенциальных элементов (табл. 2). Более того, содержание меди в зернах и муке из риса с высоким уровнем селена было ниже контрольных значений на 45 и 30%, соответственно. Достоверных различий в содержании железа, марганца и цинка в зернах и муке в зависимости

от уровня селена в рисе выявлено не было. При этом, как и в случае пшеницы, рисовая мука содержала большее количество эссенциальных элементов по сравнению с зернами.

Культивация кукурузы на почвах с высоким содержанием селена приводила к достоверному снижению уровня меди в зернах кукурузы на 41%, в то время как уровень цинка характеризовался более чем 2-кратным повышением (табл. 3). В то же время, уровень меди, железа и марганца в муке из кукурузы с высоким содержанием селена был ниже соответствующих контрольных значений практически в 3 раза. При этом снижение уровня цинка составило 46% относительно кукурузной муки с нормальным содержанием селена. Стоит также отметить, что достоверное увеличение содержания исследуемых элементов в муке имело место лишь в случае кукурузы с нормальным содержанием селена. При сравнении муки и зерен кукурузы с территорий с высоким уровнем селена, лишь содержание меди в муке достоверно превышало соответствующие значения для зерна на 70%. При этом уровень железа, марганца и цинка в муке, достоверно не отличался от такового в зернах кукурузы, культивируемой на почвах с высоким уровнем селена.

Таблица 2. Уровень меди, железа, марганца и цинка (мкг/г) в рисовых зернах и муке в зависимости от уровня селена

Элемент	Зерно		Мука	
	N-Se	H-Se	N-Se	H-Se
Cu	2,2±0,4	1,2±0,2 *	3,0±0,3 †	2,1±0,2 *†
Fe	2,6±1,3	2,2±0,7	6,7±1,4 †	7,2±1,5 †
Mn	5,7±0,8	4,7±1,0	6,9±0,6 †	6,9±1,1 †
Zn	11,0±1,9	7,9±1,5	12,8±2,6 †	11,3±1,6 †

П р и м е ч а н и е : Данные представлены в виде средней арифметической величины и соответствующих значений среднеквадратического отклонения; * – достоверность различий по сравнению с продуктом (зерна, мука) с нормальным содержанием селена; † – достоверность отличий между мукой и зерном с различным содержанием селена.

Таблица 3. Влияние культивации на почвах с различным уровнем селена на содержание эссенциальных элементов в зернах и муке из кукурузы (мкг/г)

Элемент	Зерно		Мука	
	N-Se	H-Se	N-Se	H-Se
Cu	1,7±1,1	1,0±0,2 *	4,5±0,7 †	1,7±0,1 *†
Fe	16,1±13,4	13,5±5,9	60,3±7,9 †	19,2±1,8 *
Mn	4,9±1,4	4,2±1,8	16,2±2,0 †	5,3±0,7 *
Zn	9,3±2,4	21,8±9,3 *	43,2±5,5 †	23,2±2,0 *

П р и м е ч а н и е : см. табл. 2.

Полученные данные свидетельствуют о достоверном влиянии содержания селена в почвах на его уровень в зерне и муке, а также аккумуляцию других эссенциальных элементов. Наблюдаемая кумуляция селена в зерновых, выращенных на почвах с высоким уровнем селена в Пенджабе (Индия), согласуется с ранее полученными данными (Aureli et al., 2012, Sharma et al., 2014; Skalnaya et al., 2018). Показано, что пшеница способна аккумулировать до 12% всего растворимого селена почвы (Keskinen et al., 2010). При этом содержание селена в зернах пшеницы коррелирует с уровнем металлоида в почве (Lee et al., 2011b).

Отметим, что наряду с общим уровнем селена, ряд других факторов, включая химическую форму селена (Zhao et al., 2005), pH и содержание органических веществ (Eich-Greathorex et al., 2007), а также уровень серы и фосфора (Lee et al., 2011a) могут оказывать значительное влияние на биодоступность селена для зерновых культур.

В ряде исследований продемонстрировано влияние воздействия селена на уровень эссенциальных элементов в культурах. Так, установлено, что воздействие селена сопровождается повышением уровня железа и снижением содержания марганца в образцах риса (Feng et al., 2013b). Напротив, результаты исследования, проведенного с использованием риса, выращенного на селеноносных почвах провинции Цзянси (КНР) выявили положительное влияние селена на уровень меди (Wei et al., 2014). Ранее проведенные работы также продемонстрировали стимулирующее влияние воздействия селена на аккумуляцию меди в пшенице (Landberg, Greger, 1994). При исследовании влияния селенита натрия на растения кукурузы установлено увеличение содержания железа на фоне снижения уровня меди (Pazurkiewicz-Kocot et al., 2008).

В то же время непосредственные механизмы влияния селена на аккумуляцию эссенциальных элементов не установлены. Предполагается, что селен оказывает существенное влияние на транслокацию металлов, в первую очередь железа, в растениях (Feng et al., 2013b). Взаимодействие селена и железа в организме растений может происходить на нескольких уровнях. В частности, продемонстрировано увеличение содержания железа в прикорневом слое (ironplaque) при воздействии селена (Chang et al., 2013). Наряду с

этим возможно взаимодействие между элементами на уровне транспортеров. Учитывая различия во влиянии селена на аккумуляцию эссенциальных микроэлементов в растениях (пшеница – увеличение, кукуруза – снижение), справедливо предположить, что данные механизмы являются видоспецифическими.

Интересно, что содержание эссенциальных элементов в исследуемых образцах муки характеризовалось достоверным увеличением относительно зерна. Несмотря на то, что большинство работ свидетельствует о потерях эссенциальных микроэлементов в процессе обработки зерна (Lyons et al., 2005), в ходе настоящего исследования установлено увеличение содержания железа, меди, цинка, марганца и селена в образцах муки. Вместе с тем результаты исследования хлебобулочной продукции и сырья, проведенного в Австрии, показали, что цельнозерновая мука содержит большее количество элементов по сравнению с зернами пшеницы (Ertl, Goessler, 2018). Это согласуется с указаниями на прямую связь между степенью помола и снижением степени экстракции нутриентов (Teklić et al., 2013).

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что выращивание культур на почвах с высоким уровнем селена оказывает существенное влияние на аккумуляцию эссенциальных элементов как в зерне, так и произведенной из него муке. При этом пшеница, выращенная на богатых селеном почвах также может являться дополнительным источником других эссенциальных элементов, железа, марганца, цинка, тогда как поступление данных элементов с обогащенной селеном кукурузой и продуктах из нее может, напротив, снижать потребление этих элементов.

Полученные данные необходимо учитывать при планировании мероприятий, направленных на коррекцию элементной обеспеченности населения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (17-55-45027) «Локализация селена и других микроэлементов в сельскохозяйственных культурах, выращенных на почвах с высоким содержанием селена» и Department of Science and Technology, Government of India (INT/RUS/RFBR/P-252)

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Aureli F., Ouerdane L., Bierla K., Szpunar J., Tejo Prakash N., Cubadda F. Identification of selenosugars and other low-molecular weight selenium metabolites in high-selenium cereal crops. *Metallomics*. 2012, 4: 968-978. <https://doi.org/10.1039/c2mt20085f>.
- Boldrin P.F., Faquin V., Ramos S.J., Boldrin K.V.F., Ávila F.W., Guilherme L.R.G. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013, 31: 238-244. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.06.002>.
- Chang H., Zhou X.B., Wang W.H., Zhou Y.X., Dai W.C., Zhang C.M., Yu S.H. Effects of selenium application in soil on formation of iron plaque outside roots and cadmium uptake by rice plants. In J. Bu, Y.-H. Kim (Eds.), *Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications Inc. 2013, 1573-1576.
- dos Reis A.R., El-Ramady H., Santos E.F., Gratao P.L., Schomburg L. Overview of selenium deficiency and toxicity worldwide: affected areas, selenium-related health issues, and case studies. In: Pilon-Smits E., Winkel L., Lin Z.Q. (Eds.), *Selenium in plants*. Plant Ecophysiology. Cham: Springer. 2017, 209-230.
- Ducsay L., Ložek O., Varga L. The influence of selenium soil application on its content in spring wheat. *Plant, Soil and Environment*. 2009, 55: 80-84.
- Eich-Greatorex S., Sogn T.A., Øgaard A.F., Aasen I. Plant availability of inorganic and organic selenium fertiliser as influenced by soil organic matter content and pH. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2007, 79: 221-231. <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9109-3>.
- Ertl K., Goessler W. Grains, whole flour, white flour, and some final goods: an elemental comparison. *European Food Research and Technology*. 2018, 244(11): 2065-2075.
- Feng R., Wei C., Tu S. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*. 2013a, 87, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.002>.
- Feng R., Wei C., Tu S., Liu Z. Interactive effects of selenium and antimony on the uptake of selenium, antimony and essential elements in paddy-rice. *Plant and soil*. 2013b, 365: 375-386. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1399-9>.
- Fordyce F.M. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In Selinus O. (Ed.) *Essentials of Medical Geology*. Dordrecht: Springer. 2013, 375-416. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_16.
- Keskinen R., Turakainen M., Hartikainen H. (2010). Plant availability of soil selenate additions and selenium distribution within wheat and ryegrass. *Plant and soil*. 2010, 333: 301-313. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0345-y>.
- Landberg T., Greger M. Influence of selenium on uptake and toxicity of copper and cadmium in pea (*Pisum sativum*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum*. 1994, 90: 637-644. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02518.x>.
- Lee S., Woodard H.J., Doolittle J.J. Effect of phosphate and sulfate fertilizers on selenium uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Soil Science and Plant Nutrition*. 2011a: 57, 696-704. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.623282>.
- Lee S., Woodard H.J., Doolittle J.J. Selenium uptake response among selected wheat (*Triticum aestivum*) varieties and relationship with soil selenium fractions. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2011b: 57, 823-832. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.641909>.
- Lyons G.H., Genc Y., Stangoulis J.C., Palmer L.T., Graham R.D. Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content. *Biological Trace Element Research*. 2005, 103(2): 155-168.
- Pazurkiewicz-Kocot K., Kita A., Pietruszka M. (2008). Effect of Selenium on Magnesium, Iron, Manganese, Copper, and Zinc Accumulation in Corn Treated by Indole-3-acetic Acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2008, 39: 2303-2318. <https://doi.org/10.1080/00103620802292343>.
- Rayman M. (2017). Selenium intake and status in health disease. *Free Radical Biology and Medicine*. 2017, 112: 5. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.10.353>.
- Sharma S., Goyal R., Sadana U.S. Selenium accumulation and antioxidant status of rice plants grown on seleniferous soil from northwestern India. *Rice Science*. 2014, 21: 327-334. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(14\)60270-5](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(14)60270-5).
- Skalnaya M.G., Jaiswal S.K., Prakash R., Prakash N.T., Grabeklis A.R., Zhegalova I.V., Zhang F., Guo X., Tinkov A.A., Skalny A.V. The Level of Toxic Elements in Edible Crops from Seleniferous Area (Punjab, India). *Biological Trace Element Research*. 2018, 184: 523-528. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1216-7>.
- Teklić T., Lončarić Z., Kovačević V., Singh B.R. Metallic trace elements in cereal grain—a review: how much metal do we eat?. *Food and Energy Security*. 2013, 2(2): 81-95.
- Tobiasz A., Walas S., Filek M., Mrowiec H., Samsel K., Sieprawska A., Hartikainen H. Effect of selenium on distribution of macro- and micro-elements to different tissues during wheat ontogeny. *Biologia Plantarum*. 2014, 58: 370-374. <https://doi.org/10.1007/s10535-014-0407-8>.
- Wei Y.H., Zhang J.Y., Luo L.G., Tu T.H. Simultaneous determination of Se, trace elements and major elements in Se-rich rice by dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry (DRC-ICP-MS) after microwave digestion. *Food chemistry*. 2014, 159: 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.057>.
- Zhao C., Ren J., Xue C., Lin E. Study on the relationship between soil selenium and plant selenium uptake. *Plant and Soil*. 2005, 277: 197-206. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-7011-9>.

THE INFLUENCE OF HIGH SOIL SELENIUM ON CUMULATION OF ESSENTIAL ELEMENTS IN WHEAT, RICE AND MAIZE GRAINS AND FLOUR

***M.G. Skalnaya^{1,2}, N.T. Prakash³, O.P. Ajsuvakova^{1,2}, A.R. Grabeklis^{1,2}, A.A. Kirichuk²,
M.M. Levina⁴, S.K. Jaiswal³, R. Prakash³, A.A. Tinkov^{1,2}***

¹ Yaroslavl State University, Yaroslavl, 150000, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, 105064, Russia

³ Tapar University, Punjab, Patiala, 147004, India

⁴ IM SechenovFirst Moscow State Medical University, Moscow, 119146, Russia

ABSTRACT. The purpose of study was an investigation of the impact of high soil selenium (Se) on iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), and manganese (Mn) in grain and flour from wheat, rice and maize. Determination of trace elements level was performed using mass spectroscopy with inductively coupled plasma after microwave digestion. It was established that cultivation on seleniferous soils results in an increase of Se accumulation in grain and wheat, rice and maize flour by a factor of 106 and 45, 107 and 80, and also 458 and 269, compared to control values, relatively. Selenium exposure is accompanied by significant elevation of Cu, Mn, and Fe accumulation in wheat grain samples by 41%, 48%, and 211%, whereas similar increase in flour was estimated to be 33%, 40%, and 97% respectively. In contrast to wheat, copper level in rice grain and powder with high selenium level was lower than the control values by 45% and 30%, respectively. Maize cultivation on the seleniferous soils lead to significant decrease of copper level in maize grain by 41% while, zinc level was characterized by a more than 2-fold increase. At the same time, Cu, Fe, and Mn level in high selenium maize flour was nearly 3-fold lower than respective control values. Therefore, wheat grown on selenium-rich soils may be considered as an additional source of other essential elements, whereas their intake with selenium rich maize and its foods could be insufficient.

KEYWORDS: selenium, cereals, iron, copper, zinc.