

УДК 635.5:631.811

**СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ И НИТРАТОВ В РАСТЕНИИ САЛАТА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЯРУСНОСТИ И ГЕНОТИПА****Е. М. КОНСТАНТИНОВА, Б. А. ЯГОДИН, В. Ф. ВОЛОБУЕВА**

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Исследовали накопление и распределение нитратов и кадмия по ярусам растения салата в зависимости от его генотипа и сезона выращивания. На характер распределения нитратов существенно влияли генотип растения и возраст листьев. Содержание кадмия по ярусам достоверно изменялось при осенней вегетации, а в зависимости от сорта — при весенней.

В последнее время в связи с усилением техногенного загрязнения окружающей среды вследствие мощного развития химической и других отраслей промышленности требуются решения не только нитратная проблема, но и вопрос воздействия на организм человека и окружающую среду тяжелых металлов и других токсикантов.

Одним из наиболее токсичных металлов является кадмий, который относится к элементам 1-й группы токсичности [3, 4, 12]. Воздействие повышенных концентраций кадмия вызывает все виды канцерогенеза в организме человека, разрушение эритроцитов, нарушение работы почек, семенников, респираторные заболевания, гастрит, дисфункции кишечника, размягчение костной ткани [1, 3]. У растений к видимым признакам кадмиевого токсикоза относятся покраснение листьев, стеблей и черешков [12].

Содержание кадмия в растениях может сильно варьировать в зависимости от их принадлежности к определенному семейству, виду, сорту [12, 14, 16, 17, 19, 22—24]. Большое количество этого металла

накапливают маревые, крестоцветные, пасленовые и сложноцветные. К последнему семейству принадлежит салат (*Lactuca sativa* L.), который, как считают многие исследователи [2, 10, 12 и др.], в наибольшей мере аккумулирует кадмий.

По мнению ряда авторов, устойчивость растений к определенным концентрациям кадмия является внутривидовым, узкоспецифическим признаком [12]:

Максимальное содержание кадмия [17] установлено в сахарной свекле (21,1 мг на 1 кг сухой массы), кресс-салате (21 мг/кг) и салате (15 мг/кг), минимальное — у редиса (1,8 мг/кг) и пастернака (2,5 мг/кг). Одни исследователи отмечают, что в условиях гидропонной культуры наиболее чувствителен к кадмию томат [22], другие указывают на умеренную устойчивость томата и ячменя, сильную — у кабачков и резкую депрессию роста у свеклы, бобов и турнепса [19]. В почвенной культуре наиболее чувствительны к кадмию шпинат, соя и салат, тогда как томат и капуста довольно устойчивы, рис нормально развивался при высоких (до 640 мг

на 1 кг) концентрациях элемента [13]. Разные виды *Nicotiniana* различались по способности поглощения кадмия той или иной частью растения [23]. Так, *N. tabacum* (турецкий табак) сильно аккумулировал его в листьях и корнях, тогда как *N. glauca* (махорка) — преимущественно в корнях.

Помимо видовой, существует и сортовая специфичность растений по накоплению кадмия. Так, вариабельность содержания кадмия у 9 сортов салата при его концентрации в среде 0,1 мг/л составляла 0,4—26 мг/кг [12]. При изучении 60 коммерческих и интродуцированных сортов нехрустящих типов салата отмечены достоверные различия в содержании элемента по генотипам; в 1983 г. уровень кадмия колебался от 2,24 до 5,16 мкг/г, в 1984 г. — от 2,13 до 6,98 мкг/г [24]. Такая же закономерность в изменении количества кадмия в салате (от 3,8 до 8,1 мкг/г) наблюдалась при изучении 51 генотипа [24]. Сортовые различия в аккумуляции кадмия установлены в опытах с ячменем, соей, кукурузой, пшеницей, морковью, огурцом и другими культурами.

Как видно из приведенных выше данных, в литературе накоплен определенный материал по видовой и сортовой специфичности различных растений в накоплении кадмия, однако малоизученным остается вопрос о его распределении по органам и тканям растений.

Было показано, что у ячменя, выращенного без NPK, кадмий в основном накапливался в листьях 2 нижних ярусов. При этом его количество в верхних листьях и стебле было соответственно в 7—16 и 2—4 раза меньше, чем в нижних, что зависело от дозы внесенного кадмия. В то же время в варианте с NPK таких резких различий в

распределении кадмия по растению ячменя не установлено [7].

В литературе приводятся данные об акропетальном распределении кадмия у ряда корнеплодов (пастернак, морковь, редис). В капусте и салате его уровень в листьях превышал концентрацию этого элемента в стебле. У всех видов растений максимальная локализация кадмия отмечена в корнях [17].

Детально изучено распределение тяжелых металлов по растению rapса. Наибольшее количество кадмия находилось в листьях средней части растения — 2,48—2,60 мг/кг, в нижних листьях его концентрация составляла 1,65, верхних — 1,49, а в самых маленьких верхних листочках — 0,35 мг/кг. Содержание элемента в стебле было на уровне 1,0—1,2 мг/кг, и лишь в самой нижней его части оно повышалось до 1,5 мг/кг [18].

При исследовании распределения кадмия по растениям табака и махорки установлено, что минимальное его количество содержалось в стебле, несколько большее — в жилках и максимальное — в листьях, причем с возрастом листьев содержание кадмия увеличивалось [23].

Что касается видовой и сортовой специфики накопления нитратов в растениях и распределения их по органам и тканям, то этот вопрос достаточно хорошо изучен [4, 5, 8—11, 15, 20]. Однако данные о взаимодействии нитратов и кадмия в растениях практически отсутствуют. В связи с этим в задачу наших исследований входило изучение распределения нитратов и кадмия по растению салата в зависимости от генотипа.

Методика

Объектом исследований был салат сортов Карло, Нью рэд файе и

Грин вэйв из коллекции зеленных Овощной опытной станции им. В. И. Эдельштейна, отобранных в фазу технической спелости: в мае (весенне-летний оборот) и октябре (осенний оборот) 1990 г.

Содержание кадмия и нитратов определяли в листьях нижнего — V (4—5 внешних листьев), среднего — IV (4—5 листьев), верхнего — III (4—5 листьев) ярусов, а также в молодых, активно растущих листьях — II ярус (4—5) и в маленьких листочках — I ярус (3—8), расположенных на вершине стебля. Анализировали также корни, которые очищали от грунта, тщательно промывали водопроводной и дистиллированной водой, разделяли на стержневой корень и боковые корешки.

Содержание нитратов определяли с помощью ионселективного электрода по общепринятой методике, кадмия (в сырой массе растений) — при использовании атомно-адсорбционного спектрофотометра ААС-3. Агрохимическая характеристика грунта была следующей: $pH_{\text{вод}}$ — 5,5, содержание NO_3^- — 16 мг/л, P_2O_5 — 100, K_2O — 140, Ca — 290, Mg — 160 мг/л.

Результаты

Содержание нитратов в листьях с увеличением их возраста повышалось — от I к V ярусу независимо от сорта и сезона выращивания (табл. 1). Их уровень был минимальный в самых маленьких внутренних листочках, максимальный — в нижних внешних листьях, что согласуется с литературными данными [8 и др.]. Однако отношение $NO_{3\text{max}}:NO_{3\text{min}}$ менялось в зависимости от сорта больше, чем от времени вегетации растений. Так, содержание нитратов в листьях V яруса превышало таковое в I при весенней и осенней вегетациях: у сорта Карло — соответственно в 4,4 и 2,2 раза, Нью рэд файе — 2,9 и 1,9, Грин вэйв — в 2,0 и 1,8 раза.

По накоплению нитратов в растениях весеннего и осеннего оборота сорта можно расположить в следующей последовательности: Карло > Нью рэд файе > Грин вэйв. Однако уровень нитратов у салата всех сортов осеннего оборота было в 1,4 раза выше, чем весеннего.

Содержание нитратов в листьях в пределах ярусов менялось в зави-

Таблица 1

Распределение нитратов по ярусам растений в зависимости от генотипа (мг на 1 кг сырой массы)

Дата уборки	Ярус листьев					Всего в растении
	I	II	III	IV	V	
	<i>Карло</i>					
7/V	856	1408	1797	2823	3770	2575
11/X	2142	2643	3501	3919	4711	3566
	<i>Нью рэд файе</i>					
7/V	1205	1545	3150	2382	3542	2381
11/X	2073	2826	3253	3418	3867	3306
	<i>Грин вэйв</i>					
7/V	1099	1415	1934	2670	2225	2112
11/X	1996	2467	2955	3203	3492	3018

симости от сезона выращивания и сорта. Разница в содержании нитратов между растениями, отобранными в мае и октябре, была наибольшей в I ярусе. Так, у салата сортов Карло, Нью рэд файе и Грин вэйв в октябре в листьях I яруса нитратов содержалось соответственно в 2,5; 1,7 и 1,8 раза больше, чем в мае. Достоверное влияние на количество нитратов в растениях оказали оба фактора: ярусность и сортовые особенности.

Закономерность в распределении кадмия была иной. У всех растений весеннего оборота независимо от сорта наибольшее количество этого элемента обнаружено в нижних листьях, а при осенней вегетации — в верхних (табл. 2). Возможно, такой характер распределения кадмия в растениях весенней и осенней вегетации в значительной степени связан с условиями освещенности, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Наиболее резкие различия в содержании кадмия по ярусам растений весеннего и осеннего оборотов отмечены у сорта Грин вэйв (табл. 2).

Больше всего кадмия в растении содержалось в корнях, причем количество элемента в боковых корешках на 30—40 % превышало его уровень в стержневом корне. Концентрация нитратов в корнях не определялась из-за малого количества используемого для исследований материала.

Характер взаимосвязи содержания нитратов и кадмия в растениях был неоднозначным.

Так, четко выраженный антагонизм в их содержании прослеживался у растений всех сортов осенней вегетации. Максимальному количеству нитратов в листьях V яруса соответствовало минимальное содержание кадмия, и наоборот, высокому уровню последнего в I ярусе — наименьшая концентрация нитратов (рис. 1—3). Для салата Карло и Грин вэйв весенней вегетации зависимость в распределении нитратов и кадмия можно выразить осевой симметрией (рис. 1—3), т. е. листья нижнего яруса характеризовались высоким содержанием кадмия и нитратов, а листья верхнего — низким.

При пересчете содержания нитра-

Таблица 2

Распределение кадмия по ярусам растений в зависимости от генотипа (мг на 1 кг сырой массы)

Дата уборки	Ярус листьев					Корни		В среднем
	I	II	III	IV	V	стержневые	боковые	
<i>Карло</i>								
7/V	0,029	0,031	0,032	0,036	0,036	—	—	0,033
11/X	0,34	0,034	0,031	0,022	0,021	0,039	0,054	0,024
<i>Нью рэд файе</i>								
7/V	0,024	0,016	0,023	0,021	0,027	—	—	0,022
11/X	0,038	0,033	0,031	0,026	0,024	0,034	0,048	0,031
<i>Грин вэйв</i>								
7/V	0,015	0,025	0,026	0,025	0,033	—	—	0,031
11/X	0,042	0,035	0,033	0,022	0,021	0,040	0,053	0,036

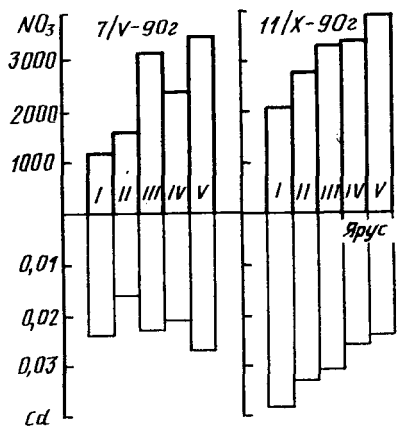


Рис. 1. Распределение NO_3 и Cd (мг/кг) по ярусам (I, II, III, IV, V) растения сорта Карло.

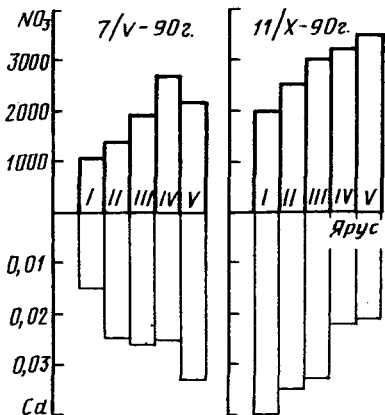


Рис. 2. Распределение NO_3 и Cd (мг/кг) по ярусам растения сорта Green Wave.

тов и кадмия на массу листьев яруса (табл. 3 и 4) закономерности их распределения отличались от приведенных выше. Количество нитратов повышалось с увеличением возраста листьев у растений всех сортов (табл. 1), но максимум содержания нитратов у сорта Карло приходился на листья IV яруса, Нью рэд файе — V, Грин эйв — III яруса. Уровень нитратов в листьях I и II ярусов у растений всех сортов был примерно одинаковый и колебался от 14,13 до 15,12 мг в I ярусе и от 19,58 до 21,87 мг во II. Значительные различия между сортами наблюдались по накоплению нитратов в нижних ярусах (табл. 3).

Наибольшей вариабельностью отношения $\text{NO}_{3\text{max}}:\text{NO}_{3\text{min}}$ отличался сорт Грин эйв.

Картина распределения кадмия была иной (табл. 4). Наибольшее количество этого элемента независимо от сорта приходилось на листья III яруса (физиологически наиболее активные). Разница в его содержании в листьях I и V яру-

сов у разных сортов была неодинаковая. У растений сорта Карло эти величины мало различались (2,30 и 2,22 мг), большие различия наблюдались у сорта Нью рэд файе (2,32 и 3,82 мг) и наибо-

Рис. 3. Распределение NO_3 и Cd (мг/кг) по ярусам растения сорта New Red.

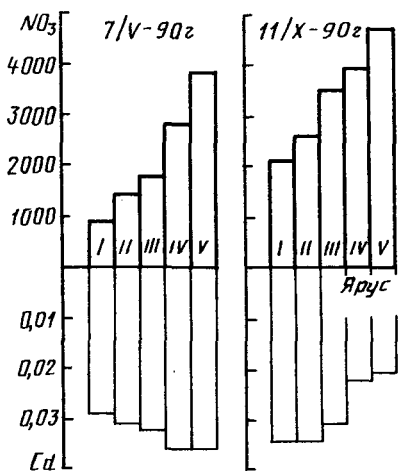


Таблица 3

Содержание нитратов (мг) в пересчете на массу листьев разных ярусов

Сорт	Ярус листьев					Всего в растении
	I	II	III	IV	V	
Карло	14,13	21,50	48,63	59,40	49,53	193,19
Нью рэд файе	14,79	21,87	54,78	56,53	62,01	209,98
Грин вэйв	15,12	19,58	136,51	89,25	120,93	381,39

лее значительные — у сорта Грин вэйв (1,41 и 4,72 мг). Наибольшей вариабельностью содержания кадмия, как и уровня нитратов, характеризовался последний сорт, размах колебаний между минимальным (в I ярусе — 1,41 мг) и максимальным (в III ярусе — 10,28 мг кадмия) содержанием

кадмия составил 730 %, тогда как у сортов Карло и Нью рэд файе — соответственно 180 и 230 %.

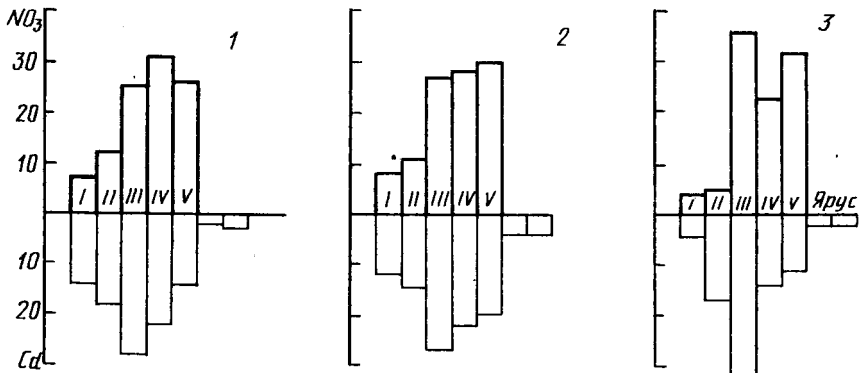
Данные о распределении нитратов и кадмия по ярусам в % к общему количеству в растении представлены на рис. 4.

На рис. 2 и 4 видно, что только у растений сорта Грин вэйв за-

Таблица 4

Содержание кадмия (мкг) в пересчете на массу листьев разных ярусов и корней

Сорт	Ярус листьев					Корни		Всего в растении (с учетом корней)
	I	II	III	IV	V	стержневые	боковые	
Карло	230	271	406	334	222	37	48	1548
Нью рэд файе	232	286	520	430	382	75	80	2005
Грин вэйв	141	584	1028	470	472	74	81	2850

Рис. 4. Распределение NO_3 и Cd по ярусам растений сорта Карло (1), New Red (2) и Green Wave (3) (% к общему количеству).

кономерность распределения нитратов и кадмия по ярусам была одинаковой.

Итак, единой закономерности в распределении нитратов по ярусам растений (при пересчете их содержания на массу листьев яруса) изучаемых сортов не установлено. Максимальное количество кадмия у растений всех сортов накапливалось в листьях III яруса — физиологически наиболее активных.

Полученные нами результаты позволяют оценить салат как диетический продукт. Необходимость такой оценки обусловлена повышением концентрации тяжелых металлов в системе почва — растение — пища в связи с высоким уровнем антропогенного загрязнения среды. Согласно данным Международной организации ВОЗ при ФАО, допустимая норма нитратов не должна превышать 5 мг NaNO_3 в сутки в расчете на 1 кг массы человека, что соответствует примерно 220 мг нитратов для человека массой 60 кг. Принято считать, что с овощами в организм поступает около 70 % нитратов. Исходя из этого, суточное потребление их с овощной продукцией составит 150 мг. При средней массе одного растения (осенней вегетации) сорта Карло и Нью рэд файе 60 г и сорта Грин вэйв 120 г человек может съесть соответственно 193, 210 и 380 мг нитратов (табл. 3). Это несколько выше приведенных ПДК, но ниже крайней границы, при которой не проявляется токсичное действие нитратов — суточная норма до 10 мг на 1 кг живой массы [8]. Таким образом, целесообразно употреблять в пищу не более 50 г салата в сутки.

Допустимая еженедельная норма кадмия, по рекомендациям Международной организации ВОЗ при

ФАО, считается 490 мкг, или 70 мкг в сутки. При этом около 80 % элемента вводится в организм человека в основном с овощами [12]. Следовательно, с овощами в сутки можно потреблять до 56 мкг кадмия. Полученные нами величины для осенней и весенней вегетации (1,5—7,9 мкг кадмия на растение) вполне приемлемы и угрозы здоровью не представляют.

Заключение

На характер распределения нитратов существенное влияние независимо от сезона выращивания оказывали ярусность и генотип растения. Изменения в содержании кадмия по ярусам были достоверны для осенней вегетации, а по сортам — для весенней.

Оценивая растения в целом, можно отметить, что содержание нитратов при весеннем выращивании салата всех сортов было ниже ПДК (3000 мг/кг), а уровень кадмия — на 10 % выше ПДК (0,03 мг на 1 кг сырой массы) у сорта Карло. При осеннем выращивании количество нитратов было в норме у растений сорта Грин вэйв, а содержание кадмия — у сорта Карло.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. — М.: Медицина, 1991. — 2. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат. Ленинград. отделение, 1987. — 3. Бандман А. Л., Гудзовский Т. А., Дубейковская Л. С. и др. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I—IV групп. Справ. изд. / Под ред. В. А. Филова и др. Л.: Химия, 1988. — 4. Габович Р. Д., Прилугина Л. С. Гигиенические основы охраны продуктов питания от вредных химических ве-

- ществ.— Киев: Здоровье, 1987.— 5. *Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда.*— М.: Агропромиздат, 1990.— 6. *Муханова Ю. И. Зеленые культуры (3-е изд.)* М.: Московский рабочий, 1989.— 7. *Первунина Р. И. Состояние Со в дерново-подзолистых почвах и поступление его в растения.*— Автореф. канд. дис. Обнинск, 1983.— 8. *Попов В. Г., Герасимов С. О. О влиянии форм и способов внесения минеральных удобрений на содержание нитратов в овощных культурах защищенного грунта.*— Роль абиотических факторов в селекции и технологии овощных культур. М.: Изд-во МСХА, 1989.— 9. *Пругар Я., Пругарова А. Избыточный азот в овощах / Пер. со словац. И. Ф. Бугашко. М.: Агропромиздат, 1991.*— 10. *Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы / Пер. с румын. К. И. Станькова; под ред. В. К. Стефана. М.: ВО Агропромиздат, 1986.*— 11. *Соколов О. А., Семенов В. М., Агаев В. А. Нитраты в окружающей среде.*— Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1988.— 12. *Ягодин Б. А., Виноградова С. Б., Говорина В. В. Кадмий в системе почва — удобрение — растения — животные организмы и человек.*— Агрохимия, 1980, № 5, с. 114—117.— 13. *Bingham F. T., Page A. L., Mahler K. J., Ganje T. J.*— J. Environ. Qual., 1975, vol. 4, p. 207—211.— 14. *Chang A. C., Page A. L., Foster K. N., Jones T. E.*— J. Environ. Qual., 1982, vol. 11, N 3, p. 409—412.— 15. *Gysi C., Ryser J. P., Lüthi J.*— Schweiz. Landw. Fo., 1985, vol. 24, N 3—4, p. 203—212.— 16. *Harrison H. C.*— Plant Anal., 1986, vol. 17, N 2, p. 159—172.— 17. *Jarns S. C., Jones L. H., Hopper M. J.*— Plant a. Soil., 1976, vol. 44, N 1, p. 179—191.— 18. *Lehn H., Bopp M.*— Angew. Botanik, 1987, vol. 61, p. 467—481.— 19. *Page A. L., Bingham F. T., Nelson C.*— J. Environ. Qual., 1972, vol. 1, N 3, p. 288—291.— 20. *Reinink K., Eenink A. H.*— Scientia Horticulturæ, 1988, vol. 37, p. 13—24.— 21. *Reuss J. O., Dooley H. L., Griffis W.*— J. Environ. Qual., 1978, vol. 7, N 1, p. 128—132.— 22. *Turner M. A.*— J. Environ. Qual., 1973, vol. 2, N 1, p. 118—120.— 23. *Wagner G. J., Yeagan R.*— Plant Physiol., 1986, vol. 82, p. 274—279.— 24. *Juran G. T., Harrison H. C.*— J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1986, vol. III, N 4, p. 491—494.

(Статья поступила 10 декабря 1991 г.)

SUMMARY

The effect of varietal properties of salad on accumulation and distribution of nitrates and cadmium in the plant in different growing seasons is studied. The nature of NO₃ distribution is considerably influenced by genotype and leaf age. Variations in cadmium content in layers were reliable for autumn vegetation, while those in varieties — for spring vegetation.