

УДК 631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

Н.Г. Халитов ¹, А.В. Ряховский ²

¹*Институт степи УрО РАН*

Россия, 460000, Оренбург, Пионерская, 11

²*Оренбургский государственный аграрный университет*

Россия, 460795, Оренбург, Челюскинцев, 18

Поступила в редакцию 21.04.03 г.

Экологическая оценка качества растениеводческой продукции в степной зоне Южного Урала. – Халитов Н.Г., Ряховский А.В. – Проведена экологическая оценка качества зерна и соломы полевых культур, выращенных при различном уровне минерального питания в степной зоне Южного Урала. Представлены результаты исследования растений зерновых культур в динамике их развития на предмет определения в них содержания металлов. Осуществлены расчеты по определению величины расхода металлов на образование единицы основной продукции с учетом побочной.

Ключевые слова: тяжелые металлы, нитраты, нитриты, экотоксиканты, зерно, солома, удобрения.

Ecological evaluation of the plant-growing production quality in the South Ural steppe zone. – Halitov N.G., Ryahovsky A.V. – The ecological quality of grain and straw of some cereals grown at different levels of their mineral nutrition in the South Ural steppe zone was evaluated. The cereals under study were regularly sampled and analyzed for heavy metals. The metal consumption per unit of the main production (with due attention to the side one) has been calculated.

Key words: heavy metals, nitrate, nitrite, ecotoxicants, grain, straw, fertilizer.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с расширением сельскохозяйственной деятельности и развитием промышленного производства резко обострилась проблема ухудшения экосистем. Увеличение уровня загрязнения окружающей среды техногенными выбросами привело к тому, что значительные площади посева сельскохозяйственных культур подвергаются воздействию токсичных веществ, вследствие чего ухудшается качество продукции, снижается продуктивность.

Повышенный уровень экотоксикантов в различных природных компонентах, с одной стороны, снижает биологическую ценность продуктов питания и кормов, а с другой – оказывает через них негативное влияние на человека и животных. Резко снизившийся в настоящее время уровень применения удобрений часто приводит к снижению плодородия окультуренных почв и, как следствие, к загрязнению почв и растительности тяжелыми металлами (ТМ). Все это обуславливает необходимость контроля содержания экотоксикантов в почве и растениеводческой продукции.

Особую группу загрязнителей представляют ТМ, сохраняющиеся в почве длительное время и поступающие в разные органы растений. Рост концентрации ТМ в окружающей среде способствует увеличению их содержания во всех компо-

нентах экосистемы. Ряд ТМ обладают кумулятивным эффектом, канцерогенным действием. К их числу относятся кадмий, свинец и некоторые другие (Коваленко, 1997).

Кадмий по сравнению с другими металлами в 2 – 20 раз токсичнее для растений (Ягодин и др., 1989).

Основными источниками антропогенного поступления кадмия в природную среду являются предприятия черной и цветной металлургии (85%), тепловые электростанции (10%). Загрязнение окружающей среды свинцом происходит главным образом в результате сжигания бензина (60%), производства металлов и сплавов (30%) (Ильин, 1991).

В пылегазовых выбросах промышленных предприятий ТМ присутствуют в разных химических формах. На долю оксидов приходится свыше 50%, водорастворимая форма составляет всего 5 – 7% от общего количества (Тарабрин, 1984).

Накопление ТМ выше предельных значений отрицательно влияет на активность почвенной микрофлоры, а у человека возникают специфические токсикозы и мутагенные эффекты. Растения могут снижать урожайность на 10% и более, ухудшать качество основной и побочной продукции, а в ряде случаев отмечается их гибель.

В настоящее время возникли вопросы исследования экологических последствий аккумуляции в биологических системах нитратов и нитритов.

Источником нитратов являются органические вещества почвы, в ходе минерализации которых и формируется нитратный фонд наземных и водных экосистем. Дополнительными источниками нитратов являются азотсодержащие минеральные удобрения, отходы и стоки животноводческих комплексов, сточные воды промышленных предприятий, коммунально-бытовые отходы, атмосферные осадки (Ряховский и др., 2001).

Токсическое воздействие нитритов связано с окислением железа в молекуле гемоглобина и переводом его из двухвалентной в трехвалентную форму. Образующийся при этом метгемоглобин не способен осуществлять обратимое связывание кислорода, что приводит к возникновению гипоксии (Соколов и др., 1990). Токсичность самих нитратов низкая, а их негативное воздействие обусловлено нитритом, продуктом восстановления первых микрофлорой пищеварительного тракта и тканевыми ферментами (Журавлев, Цапков, 1983; Зарубин, 1984). С учетом всех этих обстоятельств было принято решение изучить характер накопления нитратов и ТМ в основной и побочной продукции ряда зерновых культур.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись яровая пшеница, просо и гречиха. Норма высева – 3.5 млн всхожих семян на 1 га.

Опыты проводились при использовании полевых методов исследований. Продолжительность исследований – три года (1998 – 2000 гг.). Место проведения полевых опытов – учхоз Оренбургского государственного аграрного университета, центральная степная зона Оренбургской области.

Полевые опыты проводились по рекомендациям Б.А. Доспехова (1973), В.Н. Перегудова (1978), Б.А. Ягодина (1982). В полевых опытах применялась полная факториальная схема опытов при четырех градациях азота и фосфора (0, 1, 2,

3). Это позволило нам выявить действие как отдельных видов удобрений, так и их сочетаний друг с другом в различных соотношениях, а также определить эффект взаимодействия между элементами питания.

При использовании полных факториальных схем с удобрениями для доз выбирается определенный «шаг», величина которого подсказывается практикой. Количество шагов определяется также задачами исследования (Перегудов, 1978).

При закладке полевых опытов использовался метод рендомизированных повторений (блоков) с целью более полного охвата пестроты плодородия почвы опытного участка. Согласно рекомендациям (Методика полевых ..., 1976) иметь в опыте три – четыре дозы вполне достаточно, но интервалы между ними должны быть велики, чтобы прибавки от соседних доз могли различаться на величину, превосходящую ошибку опыта.

Каждая единица градации в допосевном удобрении соответствовала 30 кг действующего вещества на га. Общее количество вариантов – 16 (4×4). Повторность – трехкратная. В каждом повторении контрольный вариант (без удобрений) размещался через 5 испытуемых фонов питания, что снижает ошибки варьирования в опыте, связанного с пестротой плодородия почвы.

Учетная площадь делянок в микрополевым опыте составляла 4 м² (2×2), площадь опытного участка – 504 м². Выбор такой площади делянок обусловлен объективной причиной: практически полным прекращением поставок минеральных удобрений в Оренбургскую область. При малом размере делянок мы использовали их квадратную форму, ибо это снижает влияние смежных вариантов на результаты исследований – «краевой эффект» (Ягодин, 1982).

Методическое обоснование правильности выбора небольшой площади делянок базируется на рекомендациях Б.А. Доспехова (1973), Б.А. Ягодина (1982). Б.А. Доспехов отмечает, что размеру делянок в опытном деле уделяется слишком большое внимание. Во многих странах мира в практике опытной работы крупные делянки вытесняются более мелкими, причем особенно полезным это является на пестрых по плодородию почвы участках. Б.А. Ягодин (1982) указывает, что определенных нормативов размера делянок для полевого опыта не существует, поэтому при выборе размера делянки необходимо руководствоваться минимальной площадью, которая бы в конкретных условиях обеспечивала необходимую точность опыта и получение достоверных данных.

Внесение удобрений (мочевины (N = 46%) и двойного суперфосфата (P₂O₅ = 47%)) осуществлялось вразброс, с осени, под отвальную вспашку почвы.

Основные исследования растений в динамике их развития с просом были приурочены к наступлению фаз кущения, трубкования, выметывания, молочной и полной спелости; с гречихой – к наступлению фаз ветвления, бутонизации, цветения, плодообразования.

Почва – чернозем южный среднегумусный среднесуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое составляет около 4%. Реакция почвы близка к нейтральной. Степень насыщенности почвы основаниями высокая и составляет 98%. Обеспеченность пахотного слоя почвы фосфором находится на уровне 35 мг/кг. Содержание обменного калия достигает 310 мг/кг. При определении содержания подвижных форм металлов в данной почве не отмечено превыше-

ния фактического их количества над величинами ПДК. Необходимость определения в почве содержания подвижных форм металлов обусловлена тем, что повышение их концентрации под воздействием антропогенных факторов нередко приводит к заметному увеличению их количества в растениях.

Метеорологические условия в годы исследований были неодинаковыми: 1998 г. – засушливый, 1999 – 2000 гг. – благоприятные. Гидротермические коэффициенты составляли соответственно 0.22 и 0.68 – 1.65. Суммарное водопотребление на посевах изучаемых культур при засухе было 1030 – 1110 м³/га, а в благоприятные годы – 1560 – 2820 м³/га.

Основные химические анализы растений выполнены в агрохимцентрах «Оренбургский» и «Бузулукский». Содержание ТМ в растительных образцах определялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на основе рекомендуемых методов исследований (ГОСТ 8.505.-84; МИ-858.-85). Расчетным методом на основе биологической массы и содержания в ней ТМ определена степень их сосредоточения в зерне и соломе изучаемых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В зерне злаковых культур нитраты обычно накапливаются в незначительных количествах (Хвощева, 1977; Кореньков, 1990; Соколов, 1990). Изучение влияния азотных удобрений на содержание нитратов в зерне также показывает, что их накопление выше ПДК не происходит. В наших исследованиях содержание нитратов в зерне изучаемых культур составляло 102 – 165 мг/кг и не превышало допустимых значений (табл. 1).

Таблица 1

Содержание нитратов и металлов в основной
и побочной продукции полевых культур, мг/кг (среднее за 2 года)

Полевые культуры и их побочная продукция	Нитраты	Металлы							
		Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Ni	Cr
Яровая пшеница									
Зерно	108	1.5	48	107	37	0.03	0.4	0.2	0.3
Солома	1140	1.6	28	200	30	0.02	0.3	0.5	0.6
Просо									
Зерно	110	5.8	16	23.1	12.5	0.01	0.5	4.1	0.5
Солома	575	3.9	3.9	149	34.9	0.02	0.7	3.4	0.4
Гречиха									
Зерно	135	7.7	16.3	40	21.1	0.03	0.3	3.9	0.8
Солома	7079	3.7	6.4	128	51.9	0.1	1.8	2.6	1.0
Временные предельно-допустимые уровни									
Зерно	300	10	50	100	-	0.1	0.5	1.0	0.5
Солома	1000	30	50	100	-	0.3	5.0	3.0	0.5

Солома отличалась повышенным содержанием нитрат-иона (1140 – 7079 мг/кг), за исключением проса (575 мг/кг). Высокое содержание нитратов в соломе можно объяснить следующими обстоятельствами: в посевах гречихи, яровой пшеницы надземная масса растений в большинстве случаев является более зеленой и сочной в силу как биологических особенностей, так и повышенной кустистости,

приводящей к образованию так называемых отстающих в развитии побегов – «подгонов» и «подседов». При этом именно в относительно более зеленой и молодой части растений всегда и отмечается повышенное содержание нитратов (Ряховский и др., 2001).

Содержание металлов первой группы опасности (ртуть, кадмий, свинец, цинк) в изучаемых объектах не превышало допустимых значений. Из элементов второй группы опасности допустимый уровень превышает хром (зерно гречихи, солома пшеницы и гречихи), железо (зерно пшеницы, побочная продукция всех зерновых культур) и никель (зерно крупяных культур, солома проса). Содержание меди в зерне и соломе полевых культур находилось на уровне 1.5 – 7.7 мг/кг и не превышало допустимых значений.

Впервые для условий степных районов Южного Урала было проведено исследование растений полевых культур в динамике их развития на предмет определения в них содержания ТМ (табл. 2).

Таблица 2

Динамика содержания металлов в надземной массе полевых культур, мг/кг

Фазы развития полевых культур	Металлы						
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Ni
Просо							
Трубкавание	3.83	11.2	55.4	37.3	0.12	1.06	4.3
Выметывание	3.11	8.5	23.6	25.4	0.08	1.00	3.5
Молочная спелость	2.13	7.7	22.9	23.9	0.06	0.68	2.9
Начало созревания	1.68	6.6	20.6	14.8	0.03	0.47	2.5
Гречиха							
Ветвление	5.64	28.0	72.2	65.0	0.18	8.62	1.9
Бутонизация	4.09	20.2	48.5	55.3	0.17	4.74	1.7
Цветение	3.85	13.3	37.2	39.5	0.15	2.98	1.1
Плодообразование	3.23	12.0	33.9	34.5	0.13	1.83	0.8
Созревание	2.67	11.5	28.8	25.0	0.08	1.21	0.6

В растениях гречихи было установлено более высокое содержание практически всех металлов, за исключением свинца, чем в растениях проса. Независимо от фаз развития концентрация железа и марганца была на более высоком уровне по сравнению с другими металлами. Далее, в порядке снижения, следуют цинк, медь, никель и свинец. Концентрация металлов с увеличением возраста растений снижалась, что свидетельствует о наличии эффекта «ростового разбавления» изучаемых элементов при увеличении биомассы изучаемых культур. Необходимо отметить, что в вегетирующих растениях проса и гречихи содержание металлов было на более высоком уровне по сравнению с соломой этих культур, исключение составляет только железо. В вегетирующих органах превышение предельно-допустимого уровня отмечено у проса в фазах трубкавания и выметывания.

Важно знать и степень сосредоточения металлов в основной продукции полевых культур, так как зерно и продукты его переработки используются в рационе питания человека и сельскохозяйственных животных.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

В зерне яровой пшеницы сосредоточивалась преобладающая часть марганца (54%), цинка (52%) и кадмия (50%). У проса этот показатель составлял в зависимости от металла 11 – 75% (меньше – железо, больше – никель, медь, цинк). У гречихи отмечена сравнительно невысокая степень сосредоточения ТМ в зерне, пределы колебаний были на уровне 7 – 35% (табл. 3).

Таблица 3

Вынос и расход металлов полевыми культурами (среднее за 2 года)

Показатель	Металлы							
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Ni	Cr
Зерно яровой пшеницы								
Вынос, % от общего выноса	31	52	26	54	50	46	20	34
Расход, г/1 т зерна	8.0	92.0	126.0	129.0	0.06	0.8	1.0	1.4
Зерно проса								
Вынос, % от общего выноса	50	75	11	19	41	36	49	36
Расход, г/1 т зерна	11	18.5	235	61	0.05	1.5	10	0.6
Зерно гречихи								
Вынос, % от общего выноса	31	35	8	10	8	7	29	19
Расход, г/1 т зерна	19.5	38	428.5	202.5	0.39	6.80	13.1	4.1

Расход металлов в зависимости от культуры достигал следующих размеров: цинк – 18.5 – 92.0; железо – 126.0 – 428.5; марганец – 61.0 – 202.5; медь – 8.0 – 19.5; свинец – 0.8 – 6.8; никель – 1.0 – 13.0; хром – 0.6 – 4.1; кадмий – 0.05 – 0.39 г/т зерна. Наиболее высокий их расход отмечен у гречихи.

Установлено, что расход металлов на 1 тонну зерна сокращался при одностороннем внесении азотных и фосфорных удобрений, особенно резкое снижение происходило при внесении фосфорных удобрений. При совместном внесении азота и фосфора расход металлов оставался на уровне контроля.

Полученные значения по содержанию экотоксикантов в растительной продукции могут служить для определения доли их участия в рационе питания человека и сельскохозяйственных животных. Данные о расходе металлов следует использовать при расчете общего их выноса биологическим урожаем полевых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.
- Журавлев В.Ф., Цапков М.М. Токсичность нитратов и нитритов // Гигиена и санитария. 1983, №1. С. 62 – 66.
- Зарубин Г.П., Дмитриев М.Т., Приходько Е.И., Мищенко В.А. Гигиеническая оценка нитратов в пищевых продуктах // Гигиена и санитария. 1984, №7. С. 49 – 52.
- Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 152с.
- Коваленко С.Г. Влияние Cd и Pb на продуктивность кукурузы (на зеленый корм) при корневом и некорневом поступлении их в растения // Совершенствование методологии агрохимических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 384 – 388.
- Кореньков Д.А. Вопросы агрохимии азота и экологии // Агрохимия. 1990. №11. С. 28.
- Лихочвор В.В. Нитраты в зерне // Зерновые культуры. 1990. №6. С. 25, 26.

Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / Под ред. А.В. Соколова, Д.Л. Аскинази. М.: Наука, 1976. 184 с.

Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 182 с.

Ряховский А.В., Титков В.И., Халитов Н.Г., Сидельников Н.А. Экологическая оценка качества зерна и соломы зерновых культур в Центральной зоне Оренбургской области // Наука и хлеб: Сб. науч. работ. Оренбург: Изд-во НИИСХ, 2001. Вып. 7. С. 222 – 225.

Соколов О.А. Экологические аспекты применения азотных удобрений // Агрохимия. 1990. №1. С.3 – 14.

Соколов О.А., Семенов В.М., Агаев В.А. Нитраты в окружающей среде. Пушино: НЦБИ, 1990. 316 с.

Тарабрин В.П. Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. Киев: Наук. думка, 1984. С. 34 – 36.

Хвоцьева Б.Г. Некоторые проблемы, возникающие при применении высоких доз азотных удобрений // Сельское хозяйство за рубежом. 1977. №12. С. 10 – 14.

Ягодин Б.А. Агрохимия. М.: Колос, 1982. 592 с.

Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва – удобрения – растения – животные организмы и человек // Агрохимия. 1989. № 5. С. 118 – 131.