

НАКОПЛЕНИЕ КАДМИЯ В ТЫКВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА И КОНЦЕНТРАЦИИ ЕГО В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ

А.В. Погорелов, А.И. Мельченко, В.А. Погорелова

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

E-mail: eternity1917@mail.ru

Для цитирования: Погорелов А.В., Мельченко А.И., Погорелова В.А. Накопление кадмия в тыквенных растениях в зависимости от сорта и концентрации его в атмосферных осадках // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 1(74). – С. 82–90. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-74-1-82-90.

Ключевые слова: накопление, кадмий, концентрации раствора, тыква, сорт, почва.

Реферат. Тыкву выращивают в различных регионах нашей страны, где для этого существуют благоприятные почвенные и климатические условия. Плоды этого растения обладают ценными питательными веществами и многими лечебными свойствами. Однако в последние десятилетия на территории Краснодарского края, где этой культуре уделяется большое внимание, по известным причинам наблюдается интенсивное загрязнение сельскохозяйственных растений тяжелыми металлами. Цель работы – определить накопление кадмия в тыквенном растении в зависимости от сорта и концентрации его в атмосферных осадках. Экспериментальные данные получены на лугово-черноземной почве рисового севооборота в 2020–2022 гг. В опытах использована общепринятая для Краснодарского края технология возделывания. В исследованиях приняли участие сорта тыквенных растений – Мраморная, Прикубанская и Ромашечка. Аэральное нанесение раствора CdSO_4 выполнялось в фазу цветения тыквы в концентрациях 1 ПДК и 5 ПДК. В процессе исследований было выявлено, что среди изучаемых сортов тыквы наибольшим накоплением кадмия отличается сорт Ромашечка. Содержание изучаемого химического элемента в стебле сорта Ромашечка оказалось выше, чем в стебле сортов Мраморная и Прикубанская при нанесении раствора в 1 ПДК соответственно на 12 и 22 %, при нанесении в 5 ПДК соответственно на 20 и 36 %. В листьях сорта Ромашечка больше содержится кадмия, чем в сортах Мраморная и Прикубанская, при нанесении раствора в 1 ПДК соответственно на 21 и 28 %, при нанесении в 5 ПДК соответственно на 24 и 30 %. В эксперименте наибольшее накопление кадмия в плодах тыквы установлено для сорта Ромашечка: при нанесении раствора в 1 ПДК превышение над сортами Мраморная и Прикубанская составило соответственно в 1,4 и 1,8 раза, при нанесении в 5 ПДК, соответственно в 1,4 и 2,2 раза. Содержание кадмия в семенах тыквы изучаемых сортов было незначительным, практически на уровне контроля.

ACCUMULATION OF CADMIUM IN PUMPKIN PLANTS DEPENDING ON THE VARIETY AND ITS CONCENTRATION IN PRECIPITATION

A.V. Pogorelov, A.I. Melchenko, V.A. Pogorelova

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

E-mail: eternity1917@mail.ru

Keywords: accumulation, cadmium, solution concentrations, pumpkin, variety, soil.

Abstract. Pumpkin is grown in various regions of our country, where favorable soil and climatic conditions exist for this. The fruits of this plant have valuable nutrients and many medicinal properties. However, in recent decades, in the Krasnodar Territory, where much attention is paid to this crop, for well-known reasons, intensive contamination of agricultural plants with heavy metals has been observed. The aim of the work is to determine the accumulation of cadmium in a pumpkin plant, depending on the variety and its concentration in atmospheric precipitation. Experimental data were obtained on meadow-chernozem soil of rice crop rotation in 2020 – 2022. In the experiments, the cultivation technology generally accepted for the Krasnodar territory was used. The research involved varieties of pumpkin plants – Marbled, Prikubanskaya and Chamomile. The aerial application of the CdSO_4 solution was performed during the pumpkin flowering phase at concentrations of 1 MPC and 5 MPC. In the course of research, it was revealed that among the studied pumpkin varieties, the Chamomile variety differs in the greatest accumulation of cadmium. The content of the studied chemical element in the stem of the Chamomile variety turned out to be higher than in the stem of the Marbled and Prikubanskaya varieties when applying a

solution in 1 MPC by 12 and 22%, respectively, when applied in 5 MPC, by 20 and 36%, respectively. The leaves of the Chamomile variety contain more cadmium than in the Marbled and Prikubanskaya varieties, when applying a solution of 1 MPC, respectively, by 21 and 28 %, when applied in 5 MPC, respectively by 24 and 30 %. In the experiment, the greatest accumulation of cadmium in pumpkin fruits was found for the Chamomile variety – when applying a solution of 1 MPC, the excess over the Marbled and Prikubanskaya varieties was 1,4 and 1,8 times, respectively, when applied in 5 MPC, 1,4 and 2,2 times, respectively. The cadmium content in pumpkin seeds of the studied varieties was insignificant, almost at the control level.

Тыква выращивается на Кубани уже не одно десятилетие. В овощном севообороте она занимает одно из ведущих мест. Еще с переселения казаков на Кубань овощные растения, сады и виноградники считались одними из основных культур, которые обязательно должен был выращивать каждый двор.

В настоящее время выращивание сельскохозяйственных растений сопряжено с их возможным загрязнением. Оно происходит как при обработке растений химическими препаратами, так и при переносе загрязнителя воздушными потоками от различных источников.

Практически все загрязняющие окружающую среду вещества в той или иной степени оказывают негативное влияние на растительные организмы [1–4].

В последние десятилетия всё больше внимания уделяется тяжелым металлам, как опасным загрязнителям сельскохозяйственных растений [5–8]. В Краснодарском крае в последние 30–35 лет наблюдается высокий темп строительных работ. По данным Росстата, Кубань занимает второе место в России по строительству жилых комплексов, что, несомненно, ведет к загрязнению окружающей среды, в том числе тяжелыми металлами. Для строительства новых жилых комплексов требуется не только новая территория, но и более интенсивная работа заводов по выпуску строительных материалов. Кроме того, начиная с середины апреля до середины ноября десятки миллионов единиц автотранспорта проходит по дорогам, которые ведут в Крым и другие места черноморского побережья. Это дополнительный источник тяжелых металлов, которые легко распространяются воздушными потоками на различные расстояния. И, конечно, тяжелые металлы поступают на сельскохозяйственные поля Кубани при переносе их воздушными потоками из других регионов. Насколько далеко может происходить распространение загрязняющих веществ показала авария на ЧАЭС в 1986 г. Загрязнению подверглись не только территории близко расположенных от аварии республик, но и страны дальнего зарубежья. Большие площади выбыли

из сельскохозяйственного оборота, многие были переведены в статус заповедников.

Спектр влияния тяжелых металлов на растительные организмы довольно большой. Во многом это определяется свойствами самих тяжелых металлов, но немалую роль в этом воздействии играют и растения: их видовые различия, сортовые особенности, климатические и почвенные условия.

Краснодарский край в основном занимается сельскохозяйственным производством. На его территории выращивается довольно большой спектр сельскохозяйственных растений, а с 1970-х гг. выращивается рис. Для этих целей созданы и продолжают эксплуатироваться рисовые чеки. Конечно, при длительном затоплении водой некоторые свойства черноземов изменяются. Для составления рекомендаций по увеличению количества сельскохозяйственных растений, участвующих в севообороте, на полях, где выращивается рис, следует проводить дополнительные исследования. На территории Краснодарского края выполнены исследования по возможному выращиванию тыквы на таких полях. Дополнительно проведены исследования по накоплению кадмия при аэральном его выпадении на тыквенные растения нескольких сортов.

Исследования по накоплению этого химического элемента в тыквенных растениях при выращивании их на полях рисового севооборота ранее на территории Краснодарского края не проводились.

Цель исследования – определить влияние сортовых особенностей тыквенного растения и концентрации раствора кадмия в атмосферных осадках на его накопление в вегетативных и генеративных органах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2020–2022 гг. на севообороте Федерального научного центра риса г. Краснодара. На Кубани несколько сортов тыквы имеют наибольшие площади выращи-

вания, среди них Мраморная, Прикубанская и Ромашечка.

Объектом исследований являются тыквенные растения сортов Мраморная, Прикубанская и Ромашечка.

По сроку созревания сорта Мраморная и Ромашечка – позднеспелые, а Прикубанская – среднего срока созревания. Масса плодов и урожайность выше для сорта Ромашечка. Различие по урожайности между сортом Ромашечка и Прикубанская составляет до 10 т/га. Содержание сахара и сухих веществ выше для сортов Ромашечка и Мраморная в сравнении с сортом Прикубанская.

На накопление различных химических элементов в тыквенном растении может сыграть определенную роль даже форма плода. Так, форма плодов у сортов Мраморная и Ромашечка сплюснутая, глубоко сегментированная. В месте прикрепления плодов наблюдается глубокое блюдце, где определенное время находится вода после выпадения осадков.

Плоды тыквы сорта Прикубанская имеют цилиндрическую форму с утолщением у цветочного конца. В месте прикрепления плода блюдца не наблюдается, они более обтекаемые в сравнении с плодами Мраморная и Ромашечка.

При выполнении работ по селекции растений селекционерами решаются определенные задачи, поэтому каждый сорт сельскохозяйственного растения имеет особенности, характерные только для него. Они в конечном итоге играют заметную роль при накоплении того или иного элемента, тяжелого металла. К таким особенностям может быть отнесена продолжительность периода вегетации, размеры вегетативной массы, урожайность.

Исследования выполнялись на делянках, каждая размером 5×5 м.

Схема расположения опытных делянок на лугово-черноземной почве рисового севооборота следующая:

Сорт тыквы Мраморная: 1-й вариант – концентрация раствора CdSO_4 при аэральном нанесении 1 ПДК, 2-й вариант – 5 ПДК.

Сорт тыквы Прикубанская: 3-й вариант – концентрация раствора CdSO_4 при аэральном нанесении 1 ПДК, 4-й вариант – 5 ПДК.

Сорт тыквы Ромашечка: 5-й вариант – концентрация раствора CdSO_4 при аэральном нанесении 1 ПДК, 6-й вариант – 5 ПДК.

Сульфат кадмия наносили в пересчете на кадмий. Повторность в опыте 6-кратная.

Между вариантами заложены боковые защитные полосы для исключения влияния соседних

растений. Концевые защитные полосы заложены шириной 5 м для предохранения учетной части делянки от случайных повреждений.

Одним из опасных химических элементов, которые загрязняют окружающую среду, является кадмий. Известно, что основным поставщиком этого опасного загрязнителя окружающей среды является человек.

Кадмий – довольно токсичный элемент для биотических организмов. Даже небольшое превышение ПДК этого металла в почве ведет к пагубным последствиям. Кадмий отличается довольно высокой мобильностью в почве, хорошо накапливается в почвенной биоте. При длительном воздействии изучаемый химический элемент может угнетать или даже уничтожать почвенную биоту. Следует подчеркнуть, что кадмий хорошо накапливается в растениях, причем он может накапливаться как корневым путем – «почва–растение», так аэральным – «осадки из атмосферы–растение».

В исследованиях многих авторов кадмий приводится как аналог кальция [6, 11]. Поэтому он довольно хорошо накапливается в некоторых почвенных организмах. Однако кадмий можно отнести к токсичным тяжелым металлам, который даже при небольших концентрациях и накоплениях может привести к тяжелым последствиям для биотических организмов.

Длительный период воздействия раствора кадмия, хроническое или при определенных условиях кратковременное, провоцирует варианты нарушения процесса фотосинтеза. Кроме того, при нахождении в почве кадмий затрудняет поглощение корневой системой растений многих микроэлементов, которые требуются для нормального роста и развития растительного организма. Наблюдается хлороз листьев.

Было установлено, что изучаемый химический элемент задерживает нормальное развитие растений, а это, в свою очередь, ведет к снижению образования репродуктивных органов или к их недоразвитости [9, 10]. Кадмий оказывает негативное влияние на содержание зеленых пигментов в листьях.

Известно токсичное влияние цинка на растительные организмы при определенных концентрациях. Кадмий более токсичен для растений, чем цинк.

Конечно, степень токсичности многих тяжелых металлов зависит и от вида сельскохозяйственных растений. Причиной этого может быть избирательность в потребности многих

элементов или их аналогов для растений. Поэтому при одинаковых почвенных и климатических условиях ответ растений на действие тех или иных химических элементов может быть разным.

Но даже если высокие концентрации кадмия не оказывают заметного влияния на урожай сельскохозяйственных культур, его накопление в продукции изменяет качественные показатели плодов.

В то же время нет информации о конкретном накоплении тяжелых металлов в вегетативной и генеративной части тыквенных растений, выращиваемых в условиях Краснодарского края. Кроме того, отсутствует информация о содержании этих загрязнителей в семенах тыквы, а они, как известно, довольно активно используются в пищевой промышленности, также семена тыквы можно использовать в пищу в сушеном и жареном виде. Нет информации и о влиянии различных концентраций тяжелых металлов на урожай тыквенных растений и т.д.

По данным [1, 6, 10] кадмий легко поглощается растениями, среднюю степень поглощения имеют цинк, молибден, медь, свинец, кобальт, мышьяк. Однако, как указывают авторы, могут быть довольно значительные различия в конкретных системах «почва–растение».

Экспериментальные данные о влиянии этого химического элемента на тыквенные растения в условия Краснодарского края в настоящее время отсутствуют. Известна информация о том, что кадмий в очень малых концентрациях требуется для организма человека. Он в основном принимает участие в регуляции сахара в крови. Однако содержание в повышенных от оптимальных значений концентрациях в организме человека может привести к токсичному воздействию. Кроме того, обнаружено его отрицательное влияние на скелет человека или другого живого организма. Это проявляется в ломкости костей.

Описание лугово-черноземной почвы рисового севооборота, на которой выполнялись исследования, приведено в работах [5, 11, 12].

Для определения фонового содержания кадмия в почве были отобраны её образцы. После подготовки и анализа почвы определено содержание изучаемого химического элемента (подвижная форма), оно составило 0,1 мг/кг. Пробы почвы отбирали в пахотном горизонте.

Черноземные почвы в силу своих характеристик [5, 11, 13] довольно хорошо снижают вертикальную миграцию многих химических

элементов, поэтому основная их часть в основном находится в верхнем слое.

На Кубани более 50 лет выращивают рис. Чеки для выращивания риса были подготовлены на лугово-черноземных почвах. За этот период в почвах произошли значительные изменения, многие из которых имеют необратимый характер. Увеличилась плотность, объемная масса почвы, снизилась пористость и водопроницаемость. Произошли безвозвратные изменения водно-физических свойств почв.

Почвы рисовых севооборотов приобретают склонность к набуханию при переувлажнении [5, 11].

Дополнительная задача, которая будет находиться в исследовании в течение следующих лет, – это возможность включить в рисовый севооборот выращивание тыквы.

Содержание кадмия в почве сельскохозяйственных угодий может различаться [5, 6, 8].

Нанесение $3\text{CdSO}_4 \times 8\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.) было выполнено в фазу начала цветения.

После сбора урожая в испытательной лаборатории «Центр качества пищевой продукции» НИИ биотехнологии и сертификации пищевой продукции, расположенной на территории Кубанского государственного аграрного университета, было определено содержание кадмия в плодах и семенах тыквы в зависимости от сорта и концентрации нанесенного раствора.

Наиболее подходящий метод для определения тяжелых металлов в растениях – метод ААС. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии позволяет в довольно краткие сроки с большой точностью определить содержание многих тяжелых металлов в растениях. Использован спектрометр атомно-абсорбционный модификации МГА-1000. Он внесен в Государственный реестр средств измерений РФ под № 58356-14. Методика М 01-57-2017.

Агротехника возделывания тыквы – общепринятая для данного региона.

Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики [14, 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время большая часть тяжелых металлов попадает на растения и почву в виде аэрозолей. И чем больше требуется растению питательных веществ, тем больше загрязнителя в него проникает.

Известны сдерживающие факторы поступления тяжелых металлов в растения. Например, высокое содержание органического вещества в почве довольно сильно сдерживает миграцию этих токсикантов. Это же в полной мере относится и к содержанию глины в почве. Однако этот фактор очень важен при корневом поступлении загрязнителя в растение. При аэральном пути поступления поллютанта на растение в большей степени проявляется уже внекорневое проникновение загрязнителя, поэтому следует учитывать их биологические особенности.

Большую роль при этом играет пространственное расположение растения, площадь его листа, имеющееся опущение или его гидрофобность, общая масса вегетативной части растения, продолжительность вегетационного периода, глубина проникновения корневой системы, из-

бирательность в накоплении тех или иных элементов и т.д.

На лугово-черноземных почвах рисового севооборота были заложены опыты по определению влияния сортовых особенностей тыквы при нанесении кадмия. В исследовании приняли участие три сорта – Мраморная, Прикубанская и Ромашечка. Результаты исследований по накоплению кадмия в стеблях тыквы изучаемых сортов приведены на рис. 1.

В результате эксперимента получен достоверный практический материал, который позволил сделать заключение о том, что наибольшее накопление кадмия произошло в стебле тыквы сорта Ромашечка.

При нанесении раствора кадмия на растения тыквы в 1 ПДК различие в накоплении между сортами Ромашечка и Мраморная составило 12 %, а между сортами Ромашечка и Прикубанская 22 %.

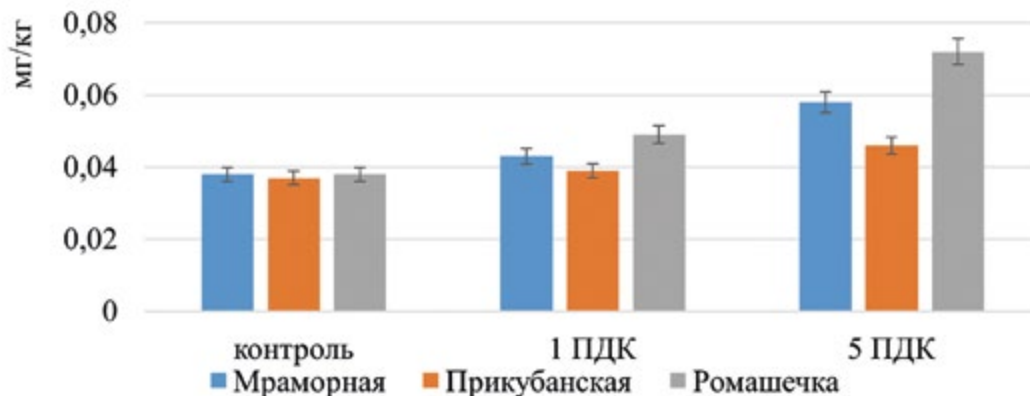


Рис. 1. Содержание кадмия в стебле тыквы сортов Мраморная, Прикубанская и Ромашечка на лугово-черноземных почвах рисового севооборота (2020–2022 гг.)

Cadmium content in the stem of pumpkin varieties Mramornaya, Prikubanskaya and Romashechka on meadow-chnozem soils of rice crop rotation (2020–2022)

При нанесении раствора кадмия в 5 ПДК разница между сортами в накоплении кадмия в стебле тыквы составила соответственно 20 и 36 %. То есть накопление кадмия в стебле тыквы при аэральном его выпадении зависит от сорта.

Более интенсивно накопление кадмия происходит в стебле сорта Ромашечка: различие в содержании этого тяжелого металла между контролем и вариантом с нанесением раствора в 1 ПДК составляет 23 %. Тогда как для сортов Мраморная и Прикубанская это различие составляет соответственно 12 и 5 %.

Наибольшим накоплением кадмия в стебле тыквенного растения отличается сорт Ромашечка и при нанесении раствора в концентрации 5 ПДК. После выполненной математической обработки материала было установлено, что различие в

содержании изучаемого химического элемента в стебле тыквы между сортом Ромашечка и сортами Мраморная и Прикубанская составило соответственно 20 и 36 %.

Различие в содержании кадмия в стебле тыквы сортов Мраморная, Прикубанская и Ромашечка при нанесении раствора в 5 ПДК с контролем составляет соответственно в 1,5; 1,2 и 1,9 раза.

Лист в жизни растений играет важнейшую роль, выполняя многие функции, в том числе фотосинтез. Однако листва также играет большую роль в жизни животных, которые питаются листвой, а некоторые проживают в опаде. Микроорганизмы участвуют в трофических цепях на изучаемой территории. Поэтому важно знать, сколько содержится изучаемого загрязнителя в листьях, так как они играют заметную роль в

накоплении тяжелых металлов в органах растений и животных. Результаты исследований по

накоплению кадмия в листьях тыквы изучаемых сортов приведены на рис. 2.

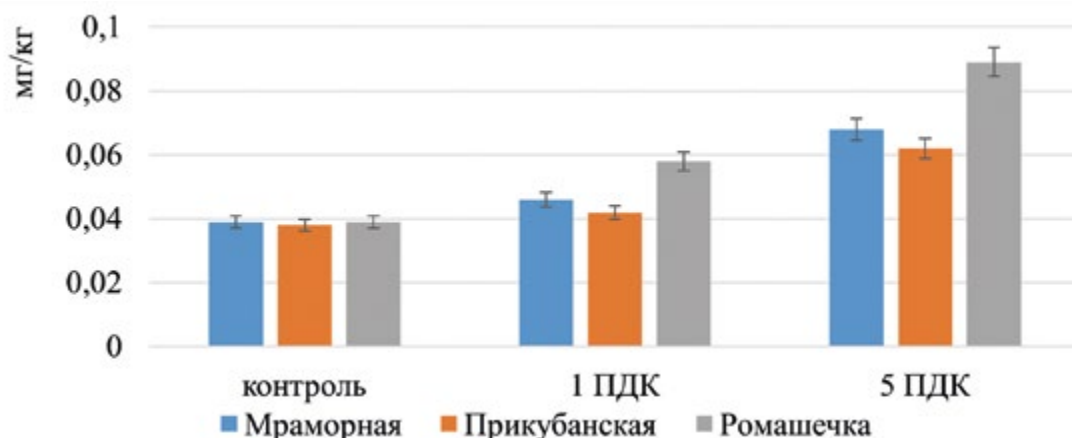


Рис. 2. Содержание кадмия в листьях тыквы сорта Мраморная, Прикубанская и Ромашечка на лугово-черноземных почвах рисового севооборота (2020–2022 гг.)

Cadmium content in pumpkin leaves of the Mramornaya, Prikubanskaya and Romashechka varieties on meadow-chnozem soils of rice crop rotation (2020–2022)

При поверхностном нанесении изучаемого химического элемента на растения основную роль в накоплении играет вегетативная часть.

По площади лист тыквы имеет на занимаемой почвенной территории большое превосходство над стеблем. При поверхностном нанесении загрязнителя на растение именно листва играет решающую роль в накоплении изучаемого поллютанта.

При нанесении кадмия в концентрации 1 ПДК содержание загрязнителя в листьях сорта Мраморная оказалось выше, чем в сорте Прикубанская на 9 %, но ниже, чем в сорте Ромашечка на 21 %. Наибольшее накопление изучаемого химического элемента в листьях тыквы определено для сорта Ромашечка, больше, чем в сорте Прикубанская в 1,4 раза.

Интенсивность в накоплении изучаемого химического элемента выше для сорта Ромашечка, различие между контролем и вариантом с нанесением раствора кадмия в 1 ПДК составляет 33 %. Для других изучаемых сортов она менее выражена: для сорта Мраморная – 16 %, а для сорта Прикубанская – 10 %.

При нанесении раствора кадмия на листовую поверхность тыквенного растения в концентрации 5 ПДК было установлено, что наибольшее его накопление произошло в листьях сорта Ромашечка. Превышение над сортами Мраморная и Прикубанская соответственно составило 24 и 30 %.

Различие в накоплении кадмия в листьях сортов Мраморная, Прикубанская и Ромашечка

при нанесении раствора изучаемого химического элемента в 5 ПДК и контролем составило соответственно 1,7; 1,6 и 2,3 раза.

Конечно, листья тыквенных растений участвуют в некоторых пищевых цепях животных организмов, но выращивают тыкву для получения плодов. Так как плоды тыквы составляют определенную долю в пищевом режиме человека, требуется выяснить, сколько накапливается в них кадмия. От этого будет зависеть, каким образом их можно будет использовать. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Известно, что исследования, выполненные в полевых условиях, в отличие от эксперимента, проведенного в вегетационных сосудах, не требуют дополнительных, проверочных. В полевых условиях растение находится под влиянием всех факторов окружающей среды. Полученный экспериментальный материал позволил сделать вывод о том, что наибольшим накоплением кадмия в плодах тыквы отличается сорт Ромашечка.

В результате проведенного полевого эксперимента было установлено, что при нанесении раствора кадмия на растения в концентрации 1 ПДК содержание загрязнителя в плодах тыквы сорт Ромашечка было выше, чем для сорта Мраморная в 1,4 раза, а для сорта Прикубанская – в 1,8 раза. При нанесении раствора кадмия на растения в 5 ПДК, содержание загрязнителя в плодах тыквы сорта Ромашечка, по сравнению с сортом Мраморная, увеличилось в 1,4 раза, а с сортом Прикубанская – в 2,2 раза.

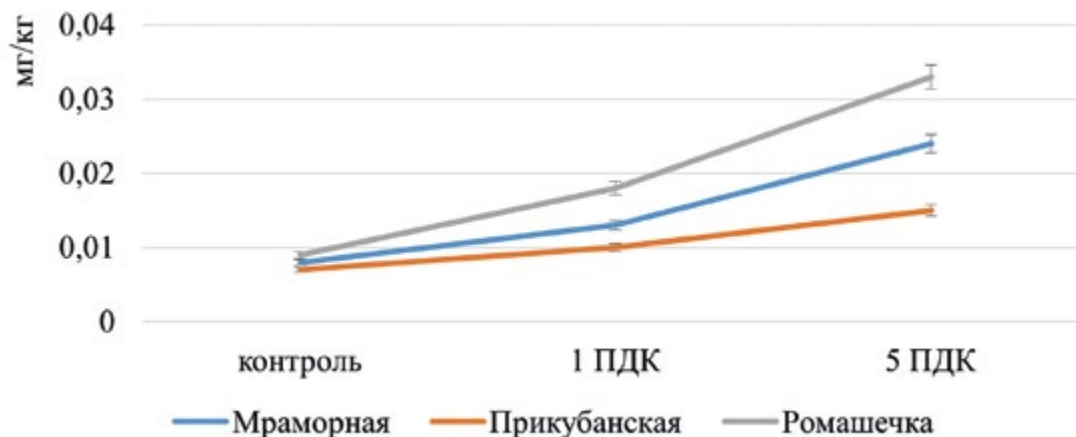


Рис. 3. Содержание кадмия в плодах тыквы сорта Мраморная, Прикубанская и Ромашечка на лугово-черноземных почвах рисового севооборота (2020–2022 гг.)

Cadmium content in pumpkin fruits of the Mramornaya, Prikubanskaya and Romashechka varieties on meadow-chnozem soils of rice crop rotation (2020–2022)

В результате эксперимента установлена существенная разница (на 5%-м уровне значимости) в содержании кадмия в плодах тыквы в зависимости от сорта, как при нанесении раствора в 1 ПДК, так и в 5 ПДК (см. рис. 3).

При нанесении раствора кадмия в 5 ПДК на растения тыквы накопление загрязнителя в плодах сорта Ромашечка превысило значения допустимых концентраций для употребления их в пищу. ПДК содержания кадмия в плодах тыквы для возможного употребления их в пищу составляет 0,03 мг/кг.

Семена тыквы обладают ценными питательными и лечебными свойствами [16, 17]. Их потребляют в пищу не только человек, но представители животного мира. Из семян тыквы получают ценнейшие масла, муку, которая потом с успехом применяется при выпечке хлебобулочных изделий. По этой причине была определена концентрация кадмия в семенах тыквы в зависимости от исследуемых сортов и концентраций аэрального нанесения раствора изучаемого химического элемента.

После выполненной экспериментальной работы было установлено, что содержание кадмия

в семенах изучаемых вариантов не превышало содержания его в контрольных образцах.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что сорт Ромашечка отличается наибольшим накоплением кадмия в вегетативных и генеративных органах.

2. Содержание кадмия больше в стебле сорта Ромашечка, чем стебле сортов Мраморная и Прикубанская, при нанесении раствора в 1 ПДК соответственно на 12 и 22 %, при нанесении в 5 ПДК соответственно на 20 и 36 %.

3. Больше содержится кадмия в листьях сорта Ромашечка, чем в сортах Мраморная и Прикубанская, при нанесении раствора в 1 ПДК соответственно на 21 и 28 %, при нанесении в 5 ПДК – соответственно на 24 и 30 %.

4. В плодах тыквы сорта Ромашечка содержалось кадмия больше, чем в плодах сорта Мраморная и Прикубанская, при нанесении раствора в 1 ПДК соответственно в 1,4 и 1,8 раза, при нанесении раствора в 5 ПДК соответственно в 1,4 и 2,2 раза.

5. Содержание кадмия в семенах тыквы изучаемых сортов было не значительным, практически на уровне контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Науменко О.А., Саблина Е.В., Кабышева М.И. Исследование механизма повреждающего действия избыточных концентраций кадмия на состояние антиоксидантных ферментов кресс-салата // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 10(159). – С. 205–207. – EDN: ROBJJJ.

2. Гераськин С.А., Дикарев А.В., Лыченкова М.А. Дифференциация сортов ячменя по устойчивости к кадмию сохраняется на протяжении всего жизненного цикла растений // *Агрохимия*. – 2021. – № 2. – С. 78–85. – DOI: 10.31857/S0002188121020071.
3. Четырбоцкий В.А., Четырбоцкий А.Н. Оценка загрязнения кадмием агроценоза методами математического моделирования // *Агрохимия*. – 2020. – № 4. – С. 85–93. – DOI: 10.31857/S0002188120040031.
4. Влияние приемов биологизации на содержание некоторых тяжелых металлов в почве и виноградном растении / О.Е. Клименко, Ю.В. Плугарь, Н.И. Клименко, Н.Н. Клименко // *Агрохимия*. – 2019. – № 7. – С. 83–96. – DOI: 10.1134/S0002188119070056.
5. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. – Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального ун-та, 2010. – 416 с. Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/47072.html> (дата обращения: 20.12.2024).
6. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л., 1987. – 140 с. – EDN: SGUQRR.
7. Влияние природных и антропогенных факторов на физико-химические свойства чернозема выщелоченного и его загрязнение тяжелыми металлами / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим, Н.Г. Гайдукова, И.В. Шабанова // *Агрохимия*. – 2019. – № 1. – С. 19–28. – DOI: 10.1134/S0002188119010095.
8. Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2016. – № 6. – С. 42–48. – EDN: XCDFND.
9. Влияние ионов кадмия на некоторые биофизические параметры и ультраструктуру клеток *Ankistrodesmus* sp. В-11 / Б.К. Заядан, А.К. Садвакасова, Д.Н. Маторин [и др.] // *Физиология растений*. – 2020. – Т. 67. – № 5. – С. 501–511. – DOI: 10.31857/S0015330320040193.
10. Казнина Н.М. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Poaceae // *Успехи современной биологии*. – 2013. – Т. 133, № 6. – С. 588–603. – EDN: RTMBWN.
11. Изменение свойств лугово-черноземной почвы рисового агроценоза при применении удобрений / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, Х.Д. Хурум, Ю.Н. Ашинов // *Плодородие*. – 2023. – № 2. – С. 80–82. – DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.18.
12. Гуторова О.А., Романенков В.А., Шеуджен А.Х. Динамика показателей плодородия лугово-черноземной почвы при длительном возделывании риса // *Агрохимия*. – 2019. – № 10. – С. 25–34. – DOI: 10.1134/S0002188119100077.
13. Оценка экотоксичности почв в условиях загрязнения тяжелыми металлами / И.О. Плеханова, О.А. Золотарева, И.Д. Тарасенко, А.С. Яковлев // *Почвоведение*. – 2019. – № 10. – С. 1243–1258. – DOI: 10.1134/S0032180X19100083.
14. Статистические методы анализа данных / И.А. Кацко, Н.Х. Ворокова, А.Е. Жминько, А.Е. Сенникова. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 203 с. – EDN: ZTJSRL.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш.-х. уч. завед. – М., 2011. – 351 с. – EDN: QLCQEP.
16. Исследование свойств семян сортообразцов тыквы (*Cucurbita*) для механизированного выращивания в условиях умеренной зоны / А.В. Гончаров, В.Г. Шаген, А.Г. Левшин [и др.] // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. – 2022. – Т. 15, № 1(72). – С. 121–128. – DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_121.
17. Сапожников А.Н., Копылова А.В., Габрельян Е.Э. Использование муки из мякоти и семян тыквы в рецептурах мучных изделий // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 3. – С. 199–209. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-199-209.

REFERENCES

1. Naumenko O.A., Sablina E.V., Kabysheva M.I., *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No. 10(159), pp. 205–207, EDN: ROBJJJ. (In Russ.)
2. Geraskin S.A., Dikarev A.V., Lychenkova M.A., *Agrokhimiya*, 2021, No. 2, pp. 78–85, DOI: 10.31857/S0002188121020071. (In Russ.)
3. Chetverbotsky V.A., Chetverbotsky A.N., *Agrokhimiya*, 2020, No. 4, pp. 85–93, DOI: 10.31857/S0002188120040031. (In Russ.)
4. Klimenko O.E., Plugar Yu.V., Klimenko N.I., Klimenko N.N., *Agrokhimiya*, 2019, No. 7, pp. 83–96, DOI: 10.1134/S0002188119070056. (In Russ.)
5. Valkov V.F., Denisova T.V., Kazeev K.S., *Plodorodie pochv i sel'skokhozyaystvennyye rasteniya: ekologicheskie aspekty* (Soil fertility and agricultural plants: ecological aspects), Rostov-na-Donu: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo un-ta, 2010, 416 p., URL: <https://www.iprbookshop.ru/47072.html>.

6. Alekseev Yu.V., *Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh* (Heavy metals in soils and plants), Leningrad, 1987, 140 p., EDN: SGUQRR.
7. Sheudzhen A.H., Neschadim N.N., Gaidukova N.G., Shabanova I.V., *Agrokimiya*, 2019, No. 1, pp. 19–28, DOI: 10.1134/S0002188119010095. (In Russ.)
8. Aristarkhov A., Lunev M., Pavlikhina A., *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2016, No. 6, pp. 42–48, EDN: XCDFND. (In Russ.)
9. Zayadan B.K., Sadvakasova A.K., Matorin D.N. i dr., *Fiziologiya rasteniy*, 2020, T. 67, No. 5, pp. 501–511, DOI: 10.31857/S0015330320040193. (In Russ.)
10. Kaznina N.M., *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2013, No. 133(6), pp. 588–603, EDN: RTMBWN. (In Russ.)
11. Sheudzhen A.H., Gutorova O.A., Hurum H.D., Ashinov Yu.N., *Plodorodie*, 2023, No. 2, pp. 80–82, DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.18. (In Russ.)
12. Gutorova O.A., Romanenkov V.A., Sheudzhen A.H., *Agrokimiya*, 2019, No. 10, pp. 25–34, DOI: 10.1134/S0002188119100077. (In Russ.)
13. Plekhanova I.O., Zolotareva O.A., Tarasenko I.D., Yakovlev A.S., *Pochvovedenie*, 2019, No. 10, pp. 1243–1258, DOI: 10.1134/S0032180X19100083. (In Russ.)
14. Katsko I.A., Voronkova N.H., Zhminko A.E., Sennikova A.E., *Statisticheskie metody analiza dannykh* (Statistical methods of data analysis), Krasnodar: KubGAU, 2017, 203 p., EDN: ZTJSRL.
15. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methodology of field experience with the basics of statistical processing of research results), Moscow, 2011, 351 p., EDN: QLCQEP.
16. Goncharov A.V., Shagen V.G., Levshin A.G., Pivovarov V.F., Gasparyan I.N., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, Vol. 15, No. 1(72), pp. 121–128, DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_121. (In Russ.)
17. Sapozhnikov A.N., Kopylova A.V., Gabrelyan E.E., *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 3, pp. 199–209, DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-199-209. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.В. Погорелов, соискатель

А.И. Мельченко, доктор биологических наук, профессор

В.А. Погорелова, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

A.V. Pogorelov, the applicant

A.I. Melchenko, doctor of biological sciences, professor

V.A. Pogorelova, candidate of biological sciences, associate professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.