

УДК 631.95:549.2/9(574)

Т. Л. ТАЖИБАЕВА

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ОБЩАЯ АДАПТАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

*(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы)*

Результатами лабораторных и полевых опытов установлена сортоспецифичность ячменя и пшеницы по металлоустойчивости. Показано, что устойчивость к тяжелым металлам обуславливает экологическую безопасность, рыночную ценность зерновых культур, способствует раскрытию в полной мере их общей адаптационной способности и пониманию защитно-приспособительных реакций ее формирующих.

Тяжелые металлы (ТМ) относятся к числу антропогенных факторов внешней среды. Это - техногенные загрязнители, вызванные нерациональной деятельностью человека. Промышленные выбросы горнодобывающей, металлургической промышленности и большинства химических производств, наряду с автомобильными выхлопами, применением пестицидов в сельском хозяйстве являются основными источниками поступления ТМ в окружающую среду. Однако, не следует забывать, что многие металлы – биофилы, в оптимальных количествах необходимы растениям для обеспечения их жизнедеятельности, входят в состав ферментов, биополимеров, принимают участие в поддержании структуры и колloidных свойств протоплазмы и т. д. [1]. В концентрациях, превышающих предельно-допустимые (ПДК), они становятся «тяжелыми», опасными для живых организмов. Для ТМ характерны высокая токсичность, мутагенный и канцерогенный эффекты. Они оседают в почве и активно воздействуют на сельскохозяйственные посевы.

Способность растений к выживанию, воспроизведению, саморазвитию и саморегуляции в постоянно изменяющихся условиях внешней среды зависит от их адаптивного потенциала, представляющего собой функцию взаимосвязи программ онтогенетической и филогенетической адаптации. Учение об адаптивном потенциале растений обосновано и творчески развивается А. А. Жученко [2]. В агробиологической литературе этот термин все чаще заменяется понятием общей адаптационной способности, т.е. рассматривается реальная, практическая реализация такого потенциала у растений [3]. Для сельско-

хозяйственных зерновых культур чрезвычайно важно, чтобы адаптация к широкому спектру стрессовых факторов сочеталась с их хозяйственно-ценными признаками и качественными характеристиками основного продукта - зерна. Такие растения должны обладать комплексом хозяйствственно-полезных признаков и проявлять устойчивость к действию абиотических, биотических и антропогенных факторов внешней среды.

В обеспечении общей адаптационной способности сельскохозяйственных растений устойчивость к сравнительно «молодому в эволюционном плане» антропогенному фактору – ТМ, носит в основном неспецифический характер и формируется за счет сходных защитно-приспособительных реакций, проявляющихся в ответ на действие других природных стрессоров [4].

Наибольшего внимания заслуживают, в основном, те металлы, которые широко используются в производственной деятельности и в значительной степени накапливаются в окружающей среде, представляя серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств.

Известно, что наиболее распространенными загрязнителями на территории Казахстана являются медь и кадмий, наряду со свинцом и цинком [5, 11].

Проблема устойчивости сельскохозяйственных растений к действию таких ТМ весьма приоритетна для Казахстана. В основном она касается зерновых культур, таких как пшеница и ячмень, широко используемых в пищевой промышленности и кормопроизводстве животных. Значительный интерес представляют вопросы сортоспецифики зерновых культур по отно-

шению к ТМ и роль отдельных органов растений в их накоплении. В условиях рыночной экономики экологическая безопасность казахстанского зерна приобретает особую значимость. Поэтому анализ товарного зерна, выращенного в различных регионах республики, на содержание ТМ придает особую актуальность настоящим исследованиям.

### Материалы и методы

В серии лабораторных опытов по влиянию ТМ на прорастание ячменя эксперименты проводили на 4 сортах: Арна; Донецкий - 8; Береке 54; Черниговский - 5, выращенных в условиях полива НПЦ земледелия и растениеводства. Для проращивания 7-дневных проростков ячменя ставили опыты с добавлением в питательный раствор ТМ: контроль – 0,1мM  $\text{CaSO}_4$ ; опыт - 1мM  $\text{CaSO}_4$  и 20мг/л солей меди (Cu) или кадмия (Cd).

Для количественного сравнения металлоустойчивости и определения сортоспецифичности растений ячменя применяли коэффициент Уилкинса, рассчитываемый по формуле  $K = L_{\text{Me}}/L_k$ , где  $L$  - длина корня.

Закономерности поступления и распределения ионов меди по органам проростков ячменя определяли атомно-абсорбционным методом на приборе AAS1N (CARL ZEISS JENA) с применением пламени пропан-бутан-воздух. Содержание меди выражали в мкг/г растительной навески. Коэффициент накопления меди рассчитывали, исходя из содержания металла в соответствующих органах опытных и контрольных растений,  $K = \text{Сu опыт} / \text{Сu контроль}$ , а также рассматривали соотношение коэффициентов накопления данного металла в корне и побеге.

При проведении полевых испытаний объектом исследования служило зерно 22 коммерческих сортов яровой пшеницы *Taestivum*, выращенное на 48 сортоучастках в 10 областях Казахстана, урожай 2000г. Сортоучастки были расположены в различных почвенно-климатических условиях, охватывающих 6 агроландшафтных зон и большое разнообразие почвенного плодородия. В качестве сорта-стандарта использовали Саратовскую 29. Применили полевые методы и способы отбора проб, согласно государственному стандарту, 1990.

Содержание 24 металлов и их окислов в зерне определяли методами количественного спектрального (метод просыпки) и атомно-абсорбционного

анализов. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики, кластерным анализом.

Ресурсное обеспечение и большинство работ осуществлялись на базе лаборатории биохимии и качества зерна КазНИИ земледелия и растениеводства.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показано ингибирование роста изучаемых сортов ячменя под влиянием стрессовой концентрации ионов меди и кадмия. Ранее нами была установлена стрессовая, т.е. наиболее показательная для проявления эффекта угнетения развития растений концентрация ТМ в питательном растворе. Она оказалась равной 20 мг/л ТМ [6]. Ростовые показатели контрольных растений приняты за 100%.

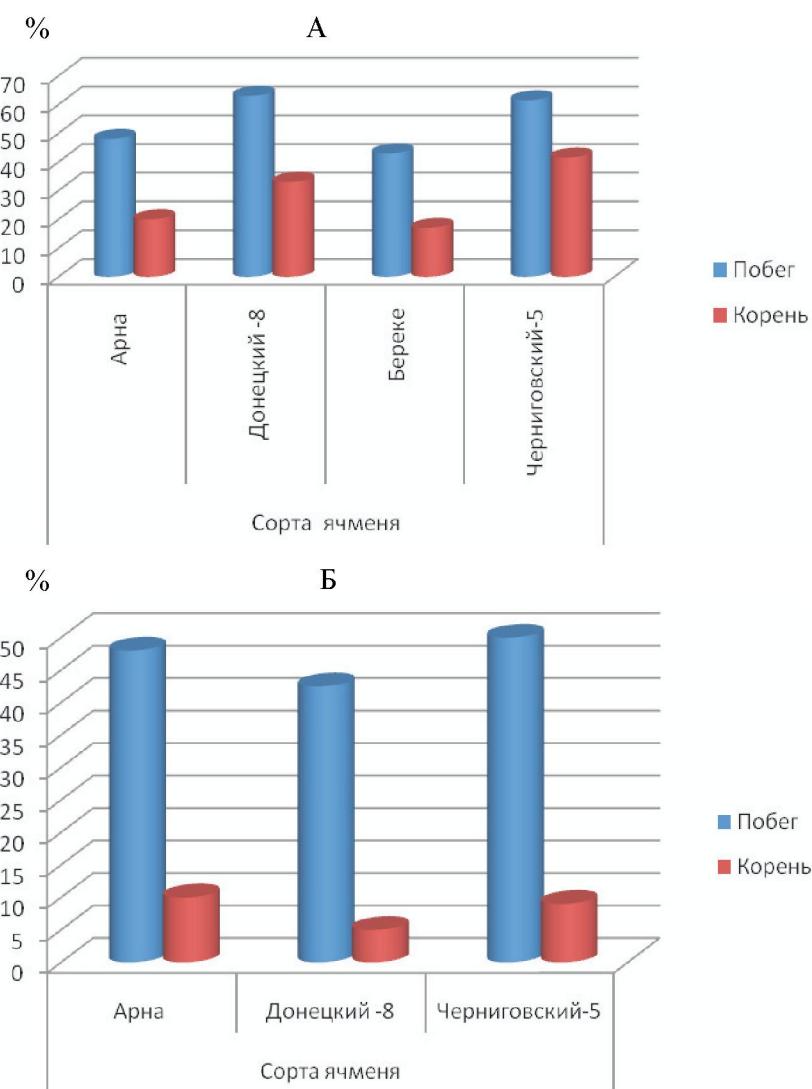
Выявлено, что под влиянием стрессовой концентрации ионов меди и кадмия наибольшим образом ингибируется рост корня. 20 мг/л ионов меди в питательной среде подавляли рост корней в среднем на 70% (рис. 1, А), а аналогичная концентрация кадмия – практически полностью, на 90%, ингибировала ростовые процессы в корне у изучаемых сортов ячменя (рис. 1, Б). Предыдущими опытами показано, что в унисон происходит угнетение биомассы проростков ячменя при действии этих металлов. Накопление ее ингибируется на 60-82 % под влиянием данных металлов [6]. Побеги менее подвержены влиянию ТМ, накопление биомассы и их рост замедляется при действии ионов меди на 30-46%, а под влиянием ионов кадмия – на 48-53% соответственно. Токсический эффект кадмия был в 2-4 раза выше, чем меди, что подтверждается результатами других авторов [7-9].

Используя коэффициент Уилкинса для измерения длины корней опытных и контрольных растений, построили ряд устойчивости сортов ячменя к ионам ТМ.

Си: Черниговский-5 (0,6) > Донецкий-8 (0,36) > Береке (0,29) > Арна (0,21)

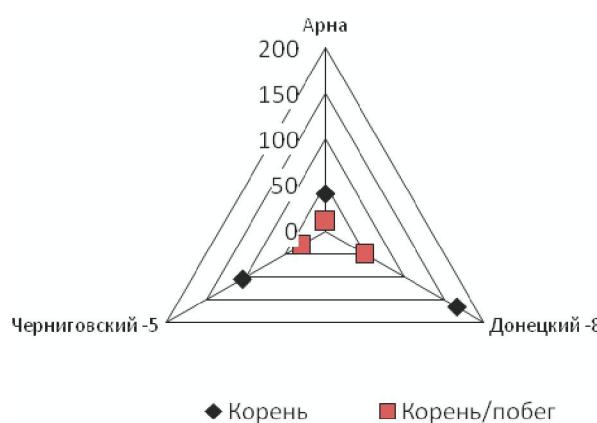
Cd: Арна (0,14) > Черниговский-5 (0,12) > Донецкий-8 (0,11)

Следует заметить, что ряд устойчивости к Cd заметно отличается от такого к Си, что подтверждается экспериментами R. Schnabel, Ch. Bunke [9] и других авторов [5, 10, 11] о видо- и сортоспецифичности растений к определенным металлам.



**Рис. 1.** Влияние ионов меди (А) и кадмия (Б) на прорастание ячменя

Атомно-абсорбционной спектрометрией установлена закономерность распределения меди по органам проростков ячменя, которая также свидетельствует о различной устойчивости изучаемых сортов ячменя к действию данного ТМ (рис. 2).



**Рис. 2.** Накопление меди органами проростков ячменя

Коэффициент накопления ионов меди в корнях в 5–30 раз превышал таковой в побегах в зависимости от сорта. Наибольшее количество ТМ содержалось в корнях сортов Черниговский-5 и Donetsk-8. Сортовые различия также достаточно четко выявлялись при сравнении коэффициентов накопления металла в подземной и надземной части проростков. При этом содержание меди в побегах колебалось в интервале 20–80 мг/г, а в корнях – 10–80·10<sup>2</sup> мг/г растительной навески. В зависимости от сорта изучаемые показатели варьировали в значительных пределах, что дает основание для утверждения о наличии сортовой специфичности ячменя по признаку металлоустойчивости и позволяет судить о различном уровне адаптивного потенциала растений.

Наиболее полную информацию о раскрытии адаптивного потенциала и практической реализации общей адаптационной способности сельско-

хозяйственных растений можно получить в полевых опытах. Скрининг селекционного материала по показателям качества зерна и содержанию ТМ составил основу наших дальнейших исследований.

Важное научно-практическое значение для качественной классификации зерновой продукции в Центральной Азии имеют результаты многолетних исследований А. И. Абугалиевой [12]. Ранжирование зерна по 4 классам качества (1 и 2 – «отличное» и «хорошее», 3 и 4 классы – «худшее» и «плохое») позволило оценить его качественный уровень, урожайность, а также стабильность этих показателей по годам и агроэкологическим зонам выращивания [13]. Сорта пшеницы, имеющие зерно 1 и 2 классов качества, обладали достаточно высокой общей адаптационной способностью.

Однако реальная характеристика общей адаптационной способности сортового разнообразия пшеницы станет более полной, если учитывать важную составляющую его рыночной ценности, как содержание в зерне ТМ. Количество ТМ, локализованных в зерне, является не только лимитирующим фактором его экологической безопасности, но и характеризует экологическую обстановку на определенных сортоучастках различных агроландшафтных зон, является показателем устойчивости пшеницы к ТМ.

Между содержанием в зерне отдельных металлов и окислов металлов обнаружена достоверная корреляция (выше 0,7): Pb с Ag, Ti; MgO и CaO, FeO, Cr, а также  $\text{Al}_2\text{O}_3$  c V, Ni, Ti;  $\text{SiO}_{2\text{ и }}\text{Sn}$ , Ni,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Видимо, этот факт можно объяснить с точки зрения общебиологической закономерности взаимодействия ионов металлов между собой, проявлением синергизма или антагонизма между ними.

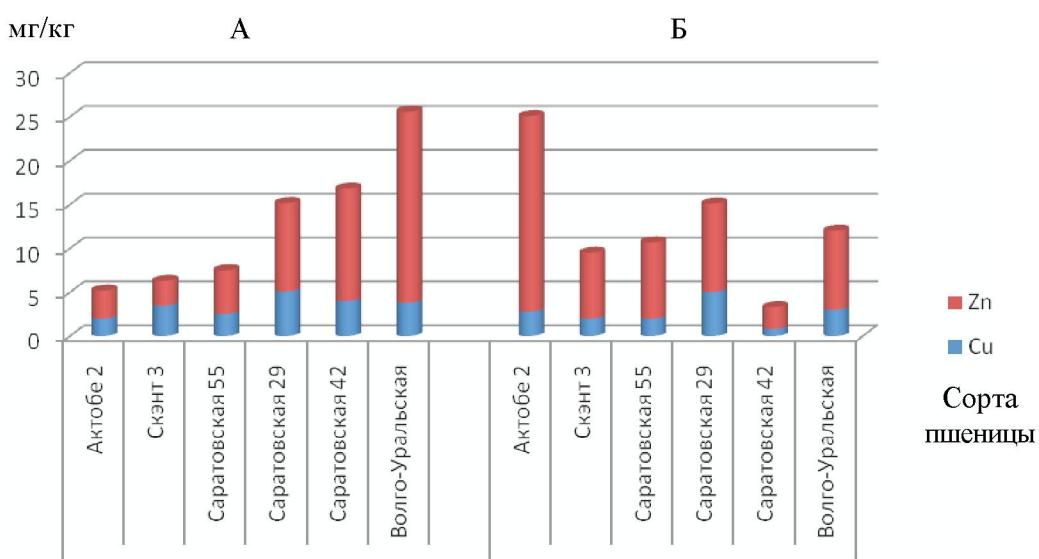
Результаты кластеризации показали сходства-различия изучаемых сортов по содержанию металлов в зерне, которые в значительной мере определяются зоной выращивания пшеницы, ее природно-климатическими условиями. Наблюдалось четкое разделение в разные кластеры пшениц, с одной стороны, выращенных на сортоучастках севера и в центральном Казахстане, с другой стороны, - в остальных регионах республики.

Кроме того, зерно одно и того же сорта, например, Саратовской 29, выращенное на определенных сортоучастках одной агрозоны, принад-

лежало к разным классам качества, имело неодинаковую урожайность, что обусловлено различной реализацией ОАС. Например, в Акмолинской области посевы Саратовской 29 на Шортандинском и Балкашинском сортоучастках (черноземы обыкновенные и черноземы южные) давали урожай зерна 24,3-25,3 т/га с минимальной выбраковкой по качеству, а на Целиноградском сортоучастке (темно-каштановые и каштановые почвы) урожай были значительно ниже, в среднем до 14,6 т/га с определенной долей зерна 3 и 4 классов, 38 и 8% соответственно. При сопоставлении данных по максимальной урожайности Саратовской 29 выделяется Курчумский орошаемый сортоучасток Восточно-Казахстанской агрозоны, где урожайность составляла в среднем 35,5 т/га, а зерно принадлежало только к 1 и 2 классам качества. Наряду с этим, минимальные урожай показали посевы, выращенные на Мугаджарском и Кобдинском сортоучастках в пределах Актюбинской области (6,2-8,8 т/га), зерно характеризовалось низким уровнем качества, встречаемость «плохого» зерна 4 класса составляла 59-71%.

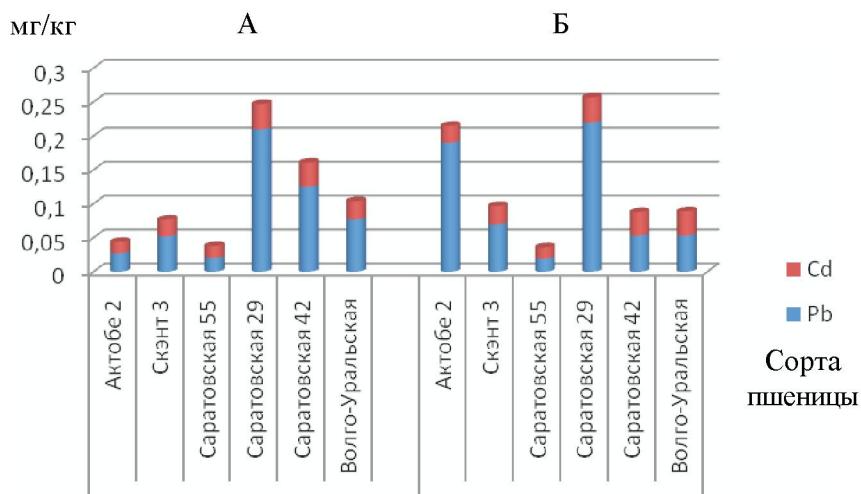
По накоплению металлов в зерне выявлен широкий диапазон изменчивости во всех зонах культивирования пшеницы, а также в пределах одной агроландшафтной зоны, но на разных сортоучастках (рис. 3 и 4).

Содержание меди в пробах зерна различных сортов пшеницы с Алгинского сортоучастка на 25% превышало таковой показатель в зерне, выращенном на Комсомольском участке Западно-Казахстанской области, а по накоплению свинца наблюдалась обратно пропорциональная зависимость (рис. 3 и 4). При этом значительной вариабельностью отличался сорт Саратовская 42, максимальное содержание меди в зерне которого зафиксировано на Алгинском участке, а наименьшее – на Комсомольском. На этом участке установлено превышение в содержании цинка в зерне лишь на 8-10% по сравнению с пшеницами, выращенными на Алгинском сортоучастке (рис. 3). Минимальное накопление свинца было отмечено для сорта Актобе 2 Алгинского сортоучастка, а наибольшее - в зерне Саратовской 29 обоих участков Западно-Казахстанского региона. Наибольший диапазон колебаний этого ТМ отмечен для сортов Актобе 2 и Волго-Уральская. Все сорта пшеницы обоих сортоучастков



Образцы из Западно-Казахстанского региона  
А – Алгинский сортоучасток; Б – Комсомольский сортоучасток

**Рис. 3.** Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn) в зерне пшеницы



Образцы из Западно-Казахстанского региона  
А – Алгинский сортоучасток; Б – Комсомольский сортоучасток

**Рис. 4.–** Содержание тяжелых металлов (Pb, Cd) в зерне пшеницы

характеризовались сравнительно низким уровнем накопления кадмия в зерне, в среднем 0,026 мг/кг (рис. 4).

Пределы изменчивости содержания этих распространенных металлогрязнителей представлены в таблице.

Несмотря на вариабельность в содержании ТМ у различных сортов пшеницы как в разных агроландшафтных зонах их производства, так и на отдельных участках внутри одной агрозоны, уровень ТМ в зерне не превышал ПДК согласно

#### Содержание ТМ в зерне исследуемых сортов пшеницы, выращенных в различных агроэкологических зонах Казахстана

Наименование ТМ	Содержание ТМ в зерне (мг/кг)		
	минимум	максимум	ПДК, не более
Cd	0,016	0,036	0,1
Pb	0,027	0,214	0,5
Cu	0,8	5,4	10
Zn	2,8	21,8	50

санитарно-пищевым нормам (СанПин 2.3.2.560-96), что совпадает с данными Э.А.Барашковой и др. [14] и является чрезвычайно важным для пищевой ценности казахстанского зерна.

Каковы же приспособительные механизмы растений, обеспечивающие защиту зерна от проникновения в него высоких концентраций ТМ?

В настоящее время накоплен большой научно-практический материал по функционированию систем растительного организма под влиянием различных ионов ТМ, способности растений к их аккумуляции и существованию возможных механизмов металлоустойчивости [1, 5-10, 15-20].

Способность растений противостоять воздействию ТМ и развивать высокий уровень металлоустойчивости связаны с активизацией у них комплекса защитно-приспособительных реакций - возрастанием активности каталитических процессов детоксикации продуктов перекисного окисления через повышение деятельности пероксидазы, супероксиддисмутазы, каталазы, усиливением синтеза металлотионеинов и фитохелатинов, накоплением стрессовых белков, а также пролина и других свободных аминокислот, поливаринов и т.д. [15, 18-20]. Подобные защитные реакции растений формируются и при воздействии других абиотических (низкие и высокие температуры, засуха, засоление и т.д.) и биотических (патогены различной природы) стрессоров [4, 17]. Изучение металлоустойчивости проливает свет на существование единых защитно-приспособительных механизмов устойчивости растений к действию неблагоприятных факторов внешней среды, способствующих реализации определенного уровня общей адаптационной способности.

Известно, что наряду с растениями - гипераккумуляторами существуют растения – исключатели, к которым относятся пшеница и ячмень, а также другие зерновые культуры. В обзорной статье И. В. Серегина и А. Д. Кожевниковой [16] представлен детальный анализ роли тканей корня и побега в транспорте и накоплении ТМ у вышеуказанных контрастных групп растений. Выделены 6 разновидностей тканей: поглотители (ризодерма), выполняющие барьерную функцию (эндодерма и экзодерма), аккумуляторы и «презентаторы» ( многослойная кора для аппопластического транспорта ионов), коллекторы (перицикл для симпластического транспорта ионов),

межорганные транспортеры (ксилема и флоэма) и накопители (ткани апикального участка корня в зонах растяжения и деления за исключением покоящегося центра, а также корневой чехлик). Разные ткани, с одной стороны, могут выполнять неодинаковую функциональную роль в отношении разных металлов, а, с другой стороны, эти ткани по-разному функционируют у растений двух контрастных групп.

Для растений – исключателей, в частности, пшеницы и ячменя, характерно достаточно яркое проявление «барьерной», «накопительной» и «фильтрующей» функций тканей корня. При этом надземная часть «страдает» гораздо меньше, что обуславливается «эффектом задержания» в корнях ионов металлов и согласуется с данными ряда исследователей [6, 7, 15]. Однако, показано, что при более низкой температуре выращивания и высокой концентрации металла в среде барьера и сайты связывания кальция, функционирующие в клетках и тканях корня, недостаточны, чтобы предотвратить его поступление в побеги [20].

Благодаря проявлению своей общей адаптационной способности, растения-исключатели, такие как пшеница и ячмень, реализуя заложенный в них адаптивный потенциал, в процессе онтогенеза стремятся «задержать» ТМ в определенных тканях корня и проростка, не «пропустить» нарушающие нормальный метаболизм вещества к генеративным органам и зерну, стараются «защитить» потомство от высоких концентраций ТМ, ценой даже собственной гибели на ранних этапах развития. Накопление значительных количеств ТМ в корнях проростков ячменя – экспериментальное тому подтверждение. Исследователи сходятся во мнении, что способность корней растений поглощать ТМ зависит от условий выращивания, типа и плодородия почв, РН-почвенно-го раствора и других факторов [5, 10, 11, 14]. Вместе с тем, общая адаптационная способность растений пшеницы реализуется в разной мере в зависимости от условий произрастания в различных агроландшафтных зонах, а также в пределах одной агрозоны с учетом почвенного состава и климатических условий, чему свидетельство - диапазон изменчивости урожайности, качества зерна и содержание ТМ в нем. Металлоустойчивость изучаемых сортов пшеницы достаточно высока, что проявляется в содержании ТМ в зерне, не превышающем ПДК.

В полевых и лабораторных опытах наблюдалась сортоспецифичность изучаемых зерновых культур по отношению к ТМ. Вклад металлустойчивости в реализацию общей адаптационной способности сельскохозяйственных растений чрезвычайно велик. Именно устойчивость к металлам обуславливает экологическую безопасность, рыночную ценность зерновых культур, способствует раскрытию в полной мере их адаптивного потенциала и пониманию защитно-приспособительных реакций ее формирующих. Эlimинирующая, «барьерная» функция корня в поглощении ТМ у ячменя, пшеницы и других растений относится к числу защитных механизмов реализации общей адаптационной способности, приводящих к тому, что содержание ТМ в зерне соответствует санитарно-пищевым нормам. Это означает, что товарное зерно Казахстана обладает экологической и пищевой безопасностью. Содержание ТМ в зерне, не превышающее ПДК, наряду с урожайностью и классами качества зерна является показателем общей адаптационной способности пшеницы, выращенной в различных агроэкологических зонах Казахстана.

Вышеприведенные результаты послужат основой для расшифровки механизмов физиолого-биохимического и генетического контроля экологической толерантности к техногенному загрязнению у сельскохозяйственных растений, будут способствовать эффективному ведению селекционного процесса, направленного на создание сортов зерновых культур с высокой общей адаптационной способностью, позволяющего оптимизировать их аэrolандшафтное районирование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кветисадзе Г.И., Хатисашвили Г.А., Садунцвили Т.А., Евстигнеева З.Г. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. М.: Наука, 2005. 197 с.
2. Жученко А.А. Генетическая природа адаптивного потенциала возделываемых растений // Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР, 2005. С. 36-101.
3. Тажибаева Т.Л., Абугалиева А.И. К вопросу об изучении общей адаптационной способности ячменя // Междун. конф. «Развитие ключевых направлений сельскохозяйственной науки в Казахстане: селекция, биотехнология, генетические ресурсы» (Астана, 4-6 августа 2004 г.). Алматы: ТОО Изд-во «Бастау», 2004. Т. 1. С. 262-267.
4. Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите А., Жукаускайте И. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 2. С. 165-173.
5. Панин М.С., Касымова Ж.С. Влияние различной антропогенной нагрузки на закономерности поведения форм соединений кадмия, свинца, меди и цинка в системе «почва – растение» // Вестник университета «Семей». 1998. № 2. С. 62-71.
6. Тажибаева Т.Л., Сарсенбаев Б.А., Ермагамбетов А.М., Абугалиева А.И., Головченко О.Ю. Влияние тяжелых металлов на физиологические параметры прорастания ячменя // Вестник КазГУ. Сер. хим. 1999 (II Беремжановский съезд по химии и новым химическим технологиям). № 3(15). С. 243-246.
7. Барсукова В.С., Гамзикова О.И., Ван Децин. Реакция пшеницы на присутствие кадмия // Сибирский экологический журнал. 1995. Т. 2, № 6. С. 515-521.
8. Singh D.N., Singh R.P., Srivastava H.S. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of some cultivars // Proc. Nat. Acad. Sci. India Bui. 1991. Т. 61, N 2. P. 245-247.
9. Schnabel R., Bunke Ch. Zur Aufnahmer toxischer schwemalleaus dem Budem durch versohiedene Pflanzen narten // Mengen und Spurenelem.: Arbeitstag dgrarwiss und Chem. Ges. DDR. 21-22 Dez. 1987. Leipzig, 1987. P. 247-252.
10. Ильин В.Б., Гармаш Г.А. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 1985. № 6. С. 90-100.
11. Атабаева С.Д., Сарсенбаев В.А. Физиология устойчивости растений к ионам тяжелых металлов и фитомелиорация загрязненных почв // Известия МН-ВО РК. 1999.
12. Качество зерна пшеницы в Центральной Азии / Сб. под ред. А. И. Абугалиевой, А. И. Моргунова. Алматы, 2003. 134 с.
13. Tazhibayeva T., Abugaliyeva A. Agrolandscape zones of wheat security production in Kazakhstan / Book of Abstracts. 17 World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, 2002. V. III. Symposia 22-36 (30). P. 1044.
14. Барацкова Э.А., Грабовец А.И. и др. Отбор доносчиков адаптивности среди сортов и коллекционных образцов озимой пшеницы для ресурсосберегающих технологий и получения экологически безвредной продукции. СПб.: ВИР, 1998. 27 с.
15. Prasad M.N.V., Stralka K. Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants. Kluewer Academic Publishers. Dordrecht, 2002. 432 р.
16. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 1. С. 3-26.
17. Таланова В.В., Титов А.Ф., Боеva Н.П. Влияние возрастающих концентраций тяжелых металлов на рост проростков ячменя и пшеницы // Физиология растений. 2001. Т. 48, № 1. С. 119-123.
18. Юан К.Х., Ши Ж.К., Жао Ж., Жань Х., Ху К.С. Физиологический и протеомный анализ *Alternanthera philoxeroides* в условиях цинкового стресса // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 4. С. 546-554.
19. Ли Т.К., Лу Л.Л., Жу Е., Гутта Д.К., Ислам Е., Янг Х.Е. Антиоксидантная система в корнях двух контрастных экотипов *Sedum alfredii* при повышенных концентрациях цинка // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 6. С. 886-894.
20. Гармаш Е.В., Головко Т.К. Влияние кадмия на рост и дыхание ячменя при двух температурных режимах выращивания // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 3. С. 382-387.

### **Резюме**

Зертханалық және далалық тәжірибелердің нәтижесінде арпа мен бидайдың айшықталған түрінің металға тәзімділігі көрсетілген. Дәнді дақылдардың ауыр металдарға деген тәзімділігі олардың экологиялық қауіпсіздігін, нарықтық құндылығын белгілейтіндігі негізделіп, олардың бейімделу мүмкіншілігінің толыққанды ашылуына және қорғаныс-бейімдеушілік реакциясының қалыптасуын түсінуге ықпал етеді.

### **Summary**

The results of laboratory and field experiments have established the specificity of wheat and barley varieties for a heavy metal resistance. It was shown that the heavy metal resistance causes environmental security, the market value of crops contributes to the full extent of their general adaptability and understanding of its protective and adaptive reactions.