
АНАЛИЗ ИНДУЦИРОВАННОГО СВИНЦОМ УМЕРЕННОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО СТРЕССА ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.)

Л.Р. Берников, Е.С. Роньжина

Научно-исследовательский центр биологии и биотехнологии растений
Управление научно-исследовательской деятельностью
ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»
Советский проспект, 1, Калининград, Россия, 236000

Изучено действие умеренных концентраций Pb^{2+} на физиолого-биохимические показатели листовых пластинок первых настоящих листьев проростков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с целью анализа биологического стресса при использовании общепринятых маркеров. Показано наличие стрессовых изменений, начиная с концентрации ионов свинца 0,03 мг/л, продемонстрировано переключение фаз стресса. Наблюдавшиеся процессы обсуждаются с точки зрения целесообразности подходов к дальнейшему изучению биологического стресса, индуцируемого свинцом.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, проростки, свинец, биологический стресс, стрессовые маркеры.

Тема биологического стресса в настоящее время является самой упоминаемой в литературных источниках по физиологии растений [1—3; 5; 7—11; 13—19]. Действительно, серьезная экологическая опасность ставит перед наукой задачу разработать механизм выживания, в первую очередь выживания человека в непростых условиях техногенного загрязнения биосферы. Тем не менее в проблеме необходимо выделять два компонента: чисто практический, который обеспечивает финансовые вложения в современную рыночную биотехнологию, и чисто научный интерес, продвижение которого обусловлено личным энтузиазмом исследователей и не связано с извлечением актуальной экономической прибыли. Постановка проблемы в практическом русле диктует конкретные разработки в области сельского и лесного хозяйства, легкой, фармацевтической промышленности, дизайна и прочих отраслей экономики. С другой стороны, теоретический интерес, как известно, также невозможно относить исключительно к области непрactical. Поскольку за человеческим интересом так или иначе кроется ощущение той или иной пользы, такие разработки объясняются именно отдаленной практической выгодой, которую сейчас невозможно ни как следует оценить, ни привязать к современному хозяйству. Тем не менее, на наш взгляд, не все подобные идеи приносят пользу сами по себе, поскольку интерес к ним может быть продиктован и определенными заблуждениями, причем подобное явление может иметь не только личный, но и коллективный характер.

Данная тема предлагается нами к обсуждению в связи с результатами, полученными при изучении модельной системы биологического стресса проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.), индуцированного свинцом. Исследования в данном направлении велись нами более трех лет [2; 15; 16]. Мы разработали экспериментальную систему, в которой водная культура проростков пшеницы подверга-

ется воздействию ионов свинца, присутствующих в прикорневом растворе. В отличие от подавляющего большинства подобных физиологических исследований, направленных на создание условий эффективного биологического стресса, мы использовали умеренные, встречающиеся в естественных условиях концентрации тяжелого металла (0—1 мг/л; более высокие (и то всего лишь на порядок) зарегистрированы лишь в экстремальных примерах хлоридных термальных вод [4]). Нами было обнаружено, что в этих условиях свинец воздействует на рост, развитие и водный обмен растений, вызывая, однако, изменения лишь невысокой интенсивности [2; 15; 16]. В данной работе мы подвергли исследуемую систему анализу, используя общепризнанные критерии оценки биологического стресса растений: морфологические характеристики, уровень выхода электролитов через клеточные мембраны, флуоресценция хлорофилла, содержание фотосинтетических пигментов. Полученные результаты не только дают возможность охарактеризовать в общих чертах явление биологического стресса в данных условиях, но и позволяют делать выводы о целесообразности тех или иных направлений дальнейших исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Растительный материал. Использовались листовые пластинки первых настоящих листьев 10—11-дневных проростков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта «Эстер» (урожай 2011 г.), выращенных на питьевой артезианской воде Sovlit (ООО «Совлит», г. Советск, Россия) с добавлением $Pb(NO_3)_2$ в дозах, необходимых для достижения концентраций Pb^{2+} 0,01; 0,03; 0,10; 0,30; 1,00 мг/л. Контрольные растения выращивали без добавления свинца. Интенсивность освещения составляла 70 Вт/м² ФАР (лампы ЛД-20), температура воздуха была естественной и изменялась в диапазоне 20—25 °С.

Морфологические исследования. У полученных 10-дневных проростков измеряли длину, площадь (по формуле $S = \frac{2}{3} \cdot l \cdot d$, где S — площадь, l — длина, d — ширина листовой пластинки) и сухую массу листовой пластинки первого настоящего листа.

Выход электролитов через клеточные мембраны оценивали для 10-дневных проростков согласно [12], используя для кондуктометрических измерений портативный мультипараметровый прибор MultiLine P3 (WTW, Германия). Для анализа стрессовых изменений использовали процент выхода электролитов, а также коэффициент повреждения плазмалеммы — показатель, предложенный в [12]:

$$k = (L_o - L_k) / (100\% - L_k) \cdot 100\%,$$

где L_o — выраженный в %% выход электролитов в опытном, L_k — в контрольном образце.

Содержание фотосинтетических пигментов оценивали в 10-дневных проростках в ацетоновом экстракте при длинах волн 470, 645 и 662 нм, по [20], на спектрофотометре UNICO модели 2100, США.

Флуоресценцию хлорофилла регистрировали в квазистационарной фазе на нативных листьях 11-дневных проростков с помощью однолучевого флуориметра (спектрофлуориметр «Панорама-92-С-Э», Россия) при длине волны 684 нм. Длина волны возбуждающего света — 480 нм.

Биологическая повторность опытов — трехкратная (за исключением морфологических измерений, проводившихся параллельно с другими экспериментами и, таким образом, не исключавших большую повторность).

Рисунки выполнены в полулогарифмической шкале, за исключением точки 0,00 мг/л Pb^{2+} , вынесенной в начало координат.

Результаты обработаны статистически. Достоверность всех выводов о форме полученных графиков апробированы вероятностным моделированием парных сравнений по Терстоуну-Мостеллеру. На рис. 1 представлены средние арифметические значения и их стандартные отклонения.

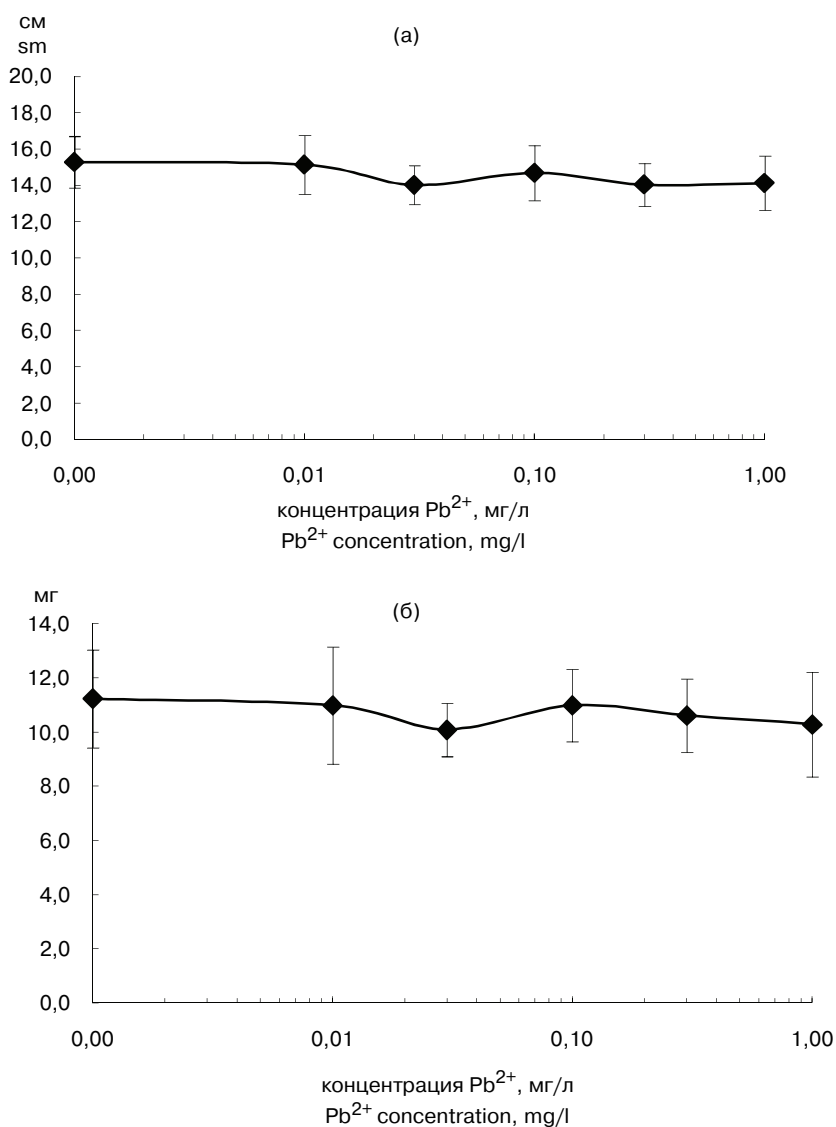


Рис. 1. Концентрационная зависимость влияния свинца на длину (а) и сухую массу (б) листовых пластинок первых настоящих листьев проростков яровой пшеницы

Представленные показатели являются результатом анализа средней пробы большого числа листьев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нашей экспериментальной модели для морфологических характеристик зарегистрирована характерная динамика (см. рис. 1): падение вплоть до 0,03 мг/л Pb^{2+} с плечом или максимумом (в случае сухой массы, согласно данным статистического анализа) при 0,01 мг/л, далее — максимум при 0,10 мг — и при большем содержании тяжелого металла — дальнейшее снижение показателей (см. рис. 1). Падение измеренных величин при 0,03 и 1,00 мг/л не превышало 10% (см. рис. 1).

Анализ выхода электролитов через клеточные мембраны (рис. 2) выявил относительно небольшую амплитуду стрессовых изменений ($k \leq 2,5\%$) (рис. 2б). Зарегистрированы характерные максимумы измерявшихся показателей при концентрации свинца 0,03 мг/л и возрастание, начиная с 1,00 мг/л.

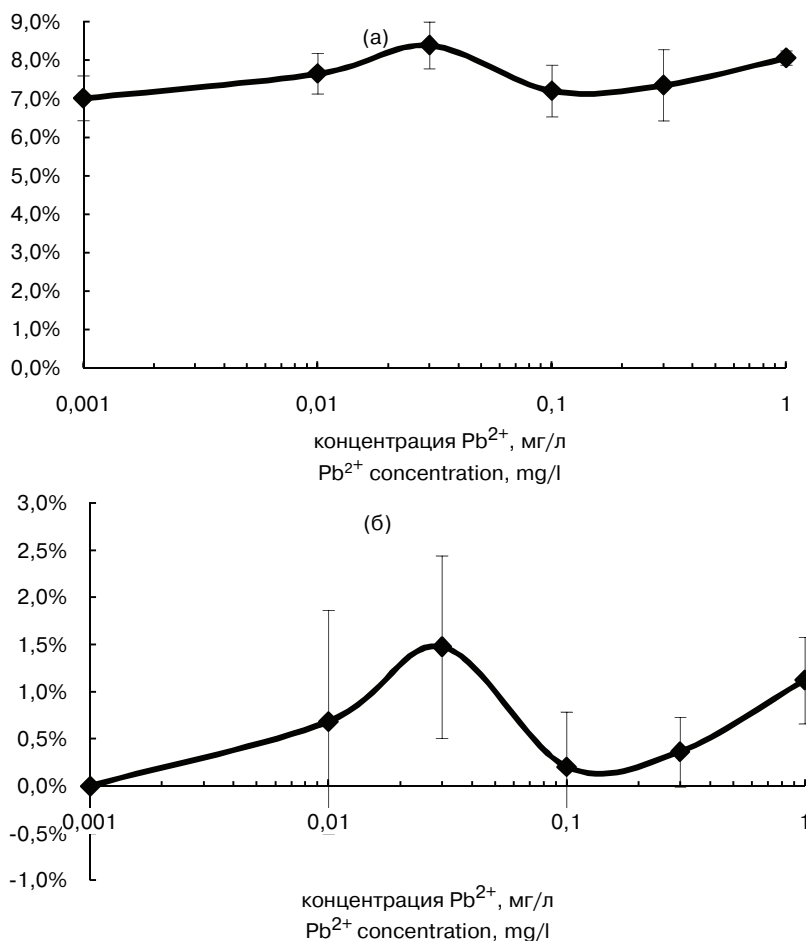


Рис. 2. Концентрационная зависимость влияния свинца на выход электролитов через клеточные мембраны (а) и величину коэффициента повреждения плазмалеммы (б) для листовых пластинок первых настоящих листьев проростков пшеницы

Определение содержания фотосинтетических пигментов не выявило статистически достоверной динамики зависимости содержания хлорофилла *a* и каротиноидов (данные не приведены) от концентрации Pb^{2+} . Содержание хлорофилла *b* претерпевало некоторый максимум при минимальных значениях (0,01—0,10 мг/л) исследуемого диапазона концентраций свинца (рис. 4). В том случае, если концентрация пересчитывалась на площадь поверхности листа, рост величины составлял примерно 20% уровня контроля (при 0,01 мг/л Pb^{2+}) (рис. 3).

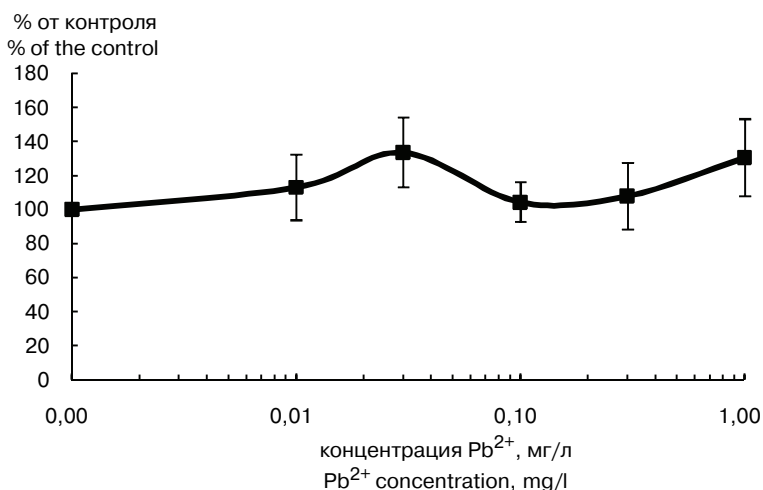


Рис. 3. Концентрационная зависимость влияния свинца на флуоресценцию хлорофилла листовых пластинок первых настоящих листьев проростков пшеницы

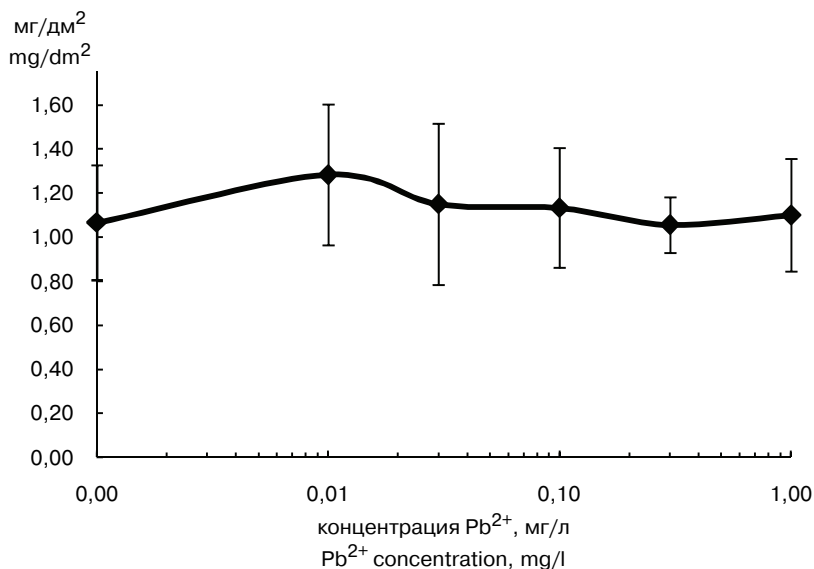


Рис. 4. Концентрационная зависимость влияния свинца на содержание хлорофилла *b* в единице поверхности листовой пластинки первых настоящих листьев проростков яровой пшеницы

В экспериментах по исследованию флуоресценции хлорофилла I настоящих листьев была получена кривая, аналогичная по форме графику динамики уровня выхода электролитов (см. рис. 3). При этом, как указывалось выше, содержание хлорофилла b (который содержится только во II светособирающем комплексе и в основном вызывает измеряющуюся флуоресценцию) в единице поверхности листа претерпевало при 0,03 мг/л гораздо менее существенное (около 10%) возрастание, а при 1,00 мг/л мало отличалось от такового в контроле (см. рис. 4). Таким образом, рост флуоресценции в обоих случаях не мог объясняться исключительно изменением концентрации хромофора.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как известно, при взаимодействии с повреждающим фактором организм сначала претерпевает фазу стресс-реакции, при которой включаются имеющиеся в норме механизмы непосредственного ответа. Следующая фаза — специализированная адаптация — включает уже экспрессию ранее молчавших генов и синтез белков *de novo* [10]. Процесс смены этих стадий малоизучен.

Метод изучения выхода электролитов через клеточные мембраны [12] оценивает повреждение плазмалеммы, наблюдающееся при любом виде биологического стресса [7; 12]. Предложенный в [12] коэффициент повреждения мембран (k) [12] близко отражает процент мембранной поверхности, претерпевший деградацию в результате стресса. В представленном случае эта величина была невелика (в среднем до 1,5%) (см. рис. 2б); за достижением этого уровня при 0,03 мг/л ионов свинца наступал спад (см. рис. 2б). Очевидно, это объясняется наступлением фазы специализированной адаптации, при которой происходит репарация мембран. Существенно, что при этом процессы адаптации преобладают над токсическим действием стрессора (см. рис. 2). Далее показатель вновь рос (см. рис. 2), что свидетельствует о критическом углублении стресса.

Флуоресценция хлорофилла является другим общепризнанным критерием стрессового состояния растений [6]. Известно, что 90% флуоресценции хлорофилла интактного растения приходится на излучение света с длиной волны около 680 нм фотосистемой II (ФС II). Поскольку тепловая диссипация света благодаря особой системе регуляции компенсирует избыток возбуждающей энергии, не использующийся при фотосинтезе, флуоресценция в квазистационарной фазе F является суммой двух составляющих: F_0 и $(F-F_0)$. Первая составляющая обратно коррелирует с эффективностью использования энергии в электрон-транспортной цепи, вторая пропорциональна доле единиц ФС II, имеющих восстановленный первичный акцептор электронов. Таким образом, значение F характеризует в целом степень поврежденности ФС II [6].

Методы оценки биологического стресса растений по измерению выхода электролитов через мембраны клеток и по флуоресценции хлорофилла нативных листьев объединяет то обстоятельство, что в обоих случаях принимается во внимание непосредственное повреждение растения, а не ответ на него. Несмотря на различие мишеней стрессового повреждения, которые подвергаются анализу, были получены очень близкие кривые измеряемых показателей (см. рис. 2, 3). Таким образом,

по-видимому, выводы относительно чередования фаз биологического стресса, сделанные выше, справедливы и для повреждения ФС II.

В то же время при добавлении свинца нами не зарегистрировано статистически достоверного снижения содержания хлорофиллов. Более того, неизменным оставался уровень каротиноидов, которые являются также одними из важнейших антиоксидантов [7, 11]. Следовательно, изменения, связанные с окислительным стрессом (при котором затрагивался бы пул каротиноидов), в данных опытах не зарегистрированы. Такое состояние растений в состоянии стресса, индуцированного тяжелыми металлами, мало исследовано. Впрочем, плазмалемма в данном случае повреждалась (см. выше), и одной из причин этого могла быть все же избыточная генерация активных форм кислорода.

Вообще морфологические изменения весьма соответствуют зарегистрированным показателям стрессовой реакции (ср. рис. 1—3). Таким образом, концентрационная зависимость ростовых показателей листовой пластинки имеет очевидное объяснение. Существенно изменения роста листа не превышали 10% вплоть до более чем 30-кратных концентраций стрессора (см. рис. 1), хотя и были статистически достоверными.

В то же время исследования биологического стресса растений, индуцированного свинцом, в подавляющем большинстве своем велись при концентрациях ионов тяжелого металла не ниже 0,3—1,0 мг/л [1; 7; 18; 19], что было обусловлено, по-видимому, эффективностью угнетения в данном случае реперного показателя — ростовых функций. Однако, согласно нашим результатам, сопротивляемость растений в таких условиях уже не компенсирует в существенной мере стрессовые повреждения. В связи с этим встает вопрос: имеет ли смысл научный поиск, когда его объектом является растение с низкоэффективным механизмом защиты? Если исходить из того, что смысл изучения биологического стресса состоит в раскрытии физиологии и биохимии устойчивости растения, на этот вопрос вполне справедливо дать отрицательный ответ. Значение для физиологии растений имеет понимание механизма запрограммированной смерти клеток, но эту цель подобные исследования, как правило, не ставят.

Кроме того, исследование растений при низких концентрациях поллютанта, как указывается в настоящей работе, способно объяснить многие стороны именно сопротивляемости растений, и в первую очередь на сравнительно мало изученные динамику и механизм смены фаз биологического стресса, происходящей, как показано нами, при низкой амплитуде видимых ростовых изменений.

Кроме того, растения, испытывающие стрессовое воздействие свинца, тем не менее способны, например, производить практически не содержащие тяжелый металл и вполне жизнеспособные семена [7; 18]. Таким образом, налицо механизм почти полной защиты определенных органов и систем растения, накопление биохимических комплексов, позволяющих эффективно очищать организм от тяжелого металла даже в условиях сильного загрязнения. Идея применения подобного эффекта в современной медицине весьма заманчива. Тем не менее и здесь должны быть существенные ограничения. Дело в том, что в силу обратимости химических реакций биотехнологические препараты, полученные из ослабленных растений, будут низкоэффективны, так как система «стрессовая реакция — ослабленный

организм — защитный биохимический комплекс» в силу единства организации жизни, по-видимому, способна порождать у пациента, использующего данный биохимический продукт, обратную цепочку, приводящую к усугублению патологии. Очевидно, что медицинские эксперименты в этом смысле целесообразны только на растениях, находящихся в состоянии эффективной относительно развития стресса защитной реакции. В нашем случае это концентрации Pb^{2+} порядка 0,1 мг/л.

Вместе с тем следует учитывать, что в использовавшихся нами неестественных условиях постоянного освещения проростков концентрация стрессовых изменений могла снизиться. Однако вывод о соответствии фазы преимущественной сопротивляемости растения низким значениям изменений роста это, по-видимому, не затрагивает, хотя и не исключает насущной необходимости воспроизведения наших выводов в системе с периодическим освещением проростков.

Наши исследования продемонстрировали очевидную целесообразность применения умеренных, встречающихся в естественных условиях концентраций свинца для наиболее полного и содержательного исследования стрессового поведения растений. Согласно нашим результатам, в данных условиях обнаруживается максимальный диапазон реакций стрессового ответа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Башмаков Д.И. Влияние синтетического регулятора роста цитодеф и тяжелых металлов на окислительный статус растений огурца / Д.И. Башмаков, Н.А. Пыненкова, К.А. Сазанова, А.С. Лукаткин // Физиология растений. — 2012. — Т. 59, № 1. — С. 67—73.
- [2] Берников Л.Р. Оценка индуцированной свинцом стрессовой реакции в растениях яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Л.Р. Берников, Е.С. Роньжина // Труды X междунар. науч. конф. «Инновации в науке, образовании и бизнесе-2012» Калининград, ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2012 в 2-х ч. / КГТУ. — Калининград. Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2012. — Ч. 1. — С. 153—156.
- [3] Дмитриев А.П. Сигнальные молекулы растений для активации защитных реакций в ответ на биологический стресс // Физиология растений. — 2003. — Т. 50, № 3. — С. 465—474.
- [4] Зенин А.А. Гидрохимический словарь / А.А. Зенин, Н.В. Белоусова. — Л.: Гидрометеорологиздат, 1988.
- [5] Зыкова В.В. Участие активных форм кислорода в реакции митохондрий растений на низкотемпературный стресс / В.В. Зыкова, А.В. Колесниченко, В.К. Войников // Физиология растений. — 2002. — Т. 49, № 2. — С. 302—310.
- [6] Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. — К.: Альтерпрес, 2002.
- [7] Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: Учебник. — М.: Дрофа, 2010.
- [8] Креславский В.Д. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений / В.Д. Креславский, Д.А. Лось, С.И. Аллахвердиев, Вл.В. Кузнецов // Физиология растений. — 2012. — Т. 59, № 2. — С. 163—178.
- [9] Кузнецов Вл.В. Полиамины при стрессе: биологическая роль, метаболизм и регуляция / Вл. В. Кузнецов, Н.Л. Радюкина, Н.И. Шевякова // Физиология растений. — 2006. — Т. 53, № 5. — С. 658—683.

- [10] Кузнецов Вл.В. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / Вл. В. Кузнецов, Н.И. Шевякова // Физиология растений. — 1999. — Т. 46, № 2. — С. 321—336.
- [11] Кузнецов Вл.В. Физиология растений. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Вл.В. Кузнецов, Н.Д. Дмитриева. — М.: Высшая школа, 2006.
- [12] Малый практикум по физиологии растений: Учеб. пособие. — 9-е изд., перераб и доп. / Под ред. А.Т. Мокроносова. — М.: МГУ, 1994.
- [13] Минибаева Ф.В. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе / Ф.В. Минибаева, Л.Х. Гордон // Физиология растений. — 2003. — Т. 50, № 3. — С. 459—464.
- [14] Прадедова Е.В. Классификация системы антиоксидантной защиты как основа рациональной организации экспериментального исследования окислительного стресса у растений / Е.В. Прадедова, О.Д. Ишеева, Р.К. Салаяев // Физиология растений. — 2011. — Т. 58, № 2. — С. 177—185.
- [15] Роньжина Е.С. Действие свинца на водный обмен растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на ранних этапах онтогенеза / Е.С. Роньжина, Л.Р. Берников, Н.Н. Сорокина // Известия КГТУ. — 2011. — № 22. — С. 232—238.
- [16] Роньжина Е.С. Действие свинца на ранние этапы онтогенеза пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Е.С. Роньжина, Л.Р. Берников // Инновации в науке и образовании-2009: Междунар. науч. конф. (20—22 окт.): В 2 ч. / КГТУ. — Калининград. Изд-во КГТУ, 2009. — Ч. 1. — С. 143—144.
- [17] Рябушкина Н.А. Синергизм действия метаболитов в ответных реакциях растений на стрессовые факторы // Физиология растений. — 2005. — Т. 52, № 4. — С. 614—621.
- [18] Серегин И.В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И.В. Серегин, В.Б. Иванов // Физиология растений. — 2001. — Т. 48, № 4. — С. 606—630.
- [19] Титов А.Ф. Влияние ионов свинца на рост проростков пшеницы, ячменя и огурца / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.П. Боева и др. // Физиология растений. — 1995. — Т. 42, № 3. — С. 457—462.
- [20] Lichtenthaler H.K. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf in different solvents / H.K. Lichtenthaler, A.R. Wellburn // Biol. Soc. Trans. — 1985. — V. 11. — P. 591—592.

LITERATURA

- [1] Bashmakov D.I. Vliyanie sinteticheskogo regulatora rosta citodelfi tyazhelyx metallovo na oksitel'nyj status rastenij ogurca / D.I. Bashmakov, N.A. Pynenkova, K.A. Sazanova, A.S. Lukatkin // Fiziologiya rastenij. — 2012. — Т. 59, № 1. — S. 67—73.
- [2] Bernikov L.R. Ocenka inducirovannoj svincom stressovoj reakcii v rasteniyax yarovoj pshenicy (*Triticum aestivum* L.) / L.R. Bernikov, E.S. Ron'zhina // Trudy X mezhdunar. nauch. konf. «Innovacii v nauke, obrazovanii i biznese-2012» Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 2012. V 2 ch. / KGTU. — Kaliningrad. Izd-vo KGTU, 2012. — Ch. 1. — S. 153—156.
- [3] Dmitriev A.P. Signal'nye molekuly rastenij dlya aktivacii zashhitnyx reakcij v otvet na biologicheskij stress // Fiziologiya rastenij. — 2003. — Т. 50, № 3. — S. 465—474.
- [4] Zenin A.A. Gidroximicheskij slovar' / A.A. Zenin, N.V. Belousova. — L.: Gidrometeoizdat, 1988.
- [5] Zykova V.V. Uchastie aktivnyx form kisloroda v reakcii mitoxondrij rastenij na nizkotemperaturnyj stress / V.V. Zykova, A.V. Kolesnichenko, V.K. Vojnikov // Fiziologiya rastenij. — 2002. — Т. 49, № 2. — S. 302—310.
- [6] Korneev D.Yu. Informacionnye vozmozhnosti metoda indukcii fluorescencii xlorofilla. — K.: Al'terpres, 2002.
- [7] Koshkin E.I. Fiziologiya ustojchivosti sel'skoxozyajstvennyx kul'tur: Uchebnik. — M.: Drofa, 2010.

- [8] *Kreslavskij V.D.* Signal'naya rol' aktivnyx form kisloroda pri stresse u rastenij / V.D. Kreslavskij, D.A. Los', S.I. Allaxverdiev, Vl. V. Kuznecov // *Fiziologiya rastenij*. — 2012. — Т. 59, № 2. — С. 163—178.
- [9] *Kuznecov Vl.V.* Poliaminy pri stresse: biologicheskaya rol', metabolizm i regulyaciya / Vl.V. Kuznecov, N.L. Radyukina, N.I. Shevyakova // *Fiziologiya rastenij*. — 2006. — Т. 53, № 5. — С. 658—683.
- [10] *Kuznecov Vl.V.* Prolin pri stresse: biologicheskaya rol', metabolizm, regulyaciya / Vl.V. Kuznecov, N.I. Shevyakova // *Fiziologiya rastenij*. — 1999. — Т. 46, № 2. — С. 321—336.
- [11] *Kuznecov Vl.V.* *Fiziologiya rastenij* / Vl.V. Kuznecov, N.D. Dmitrieva. Izd. 2-e, pererab. i dop. — М.: Vysshaya shkola, 2006.
- [12] *Malyj praktikum po fiziologii rastenij: Ucheb. posob.* — 9-e izd., pererab i dop. / Pod red. A.T. Mokronosova. — М.: MGU, 1994.
- [13] *Minibaeva F.V.* Produkciya superoksida i aktivnost' vnekletочноj peroksidazy v rastitel'nyx tkanyax pri stresse / F.V. Minibaeva, L.X. Gordon // *Fiziologiya rastenij*. — 2003. — Т. 50, № 3. — С. 459—464.
- [14] *Pradedova E.V.* Klassifikaciya sistemy antioksidantnoj zashhity kak osnova racional'noj organizacii e'ksperimental'nogo issledovaniya okislitel'nogo stressa u rastenij / E.V. Pradedova, O.D. Isheeva, R.K. Salyaev // *Fiziologiya rastenij*. — 2011. — Т. 58, № 2. — С. 177—185.
- [15] *Ron'zhina E.S.* Dejstvie svinca na vodnyj obmen rastenij pshenicy (*Triticum aestivum* L.) na ran-nix e'tapax ontogeneza / E.S. Ron'zhina, L.R. Bernikov, N.N. Sorokina // *Izvestiya KGTU*. — 2011. — № 22. — С. 232—238.
- [16] *Ron'zhina E.S.* Dejstvie svinca na rannie e'tapy ontogeneza pshenicy (*Triticum aestivum* L.) / E.S. Ron'zhina, L.R. Bernikov // *Innovacii v nauke i obrazovanii-2009: Mezhdunar. nauch. konf. (20—22 okt.): V 2 ch.* / KGTU. — Kaliningrad. Izd-vo KGTU, 2009. — Ch. 1. — С. 143—144.
- [17] *Ryabushkina N.A.* Sinergizm dejstviya metabolitov v otvetnyx reakciyax rastenij na stressovye faktory // *Fiziologiya rastenij*. — 2005. — Т. 52, № 4. — С. 614—621.
- [18] *Seregin I.V.* Fiziologicheskie aspekty toksicheskogo dejstviya kadmiya i svinca na vysshie rasteniya / I.V. Seregin, V.B. Ivanov // *Fiziologiya rastenij*. — 2001. — Т. 48, № 4. — С. 606—630.
- [19] *Titov A.F.* Vliyanie ionov svinca na rost prorostkov pshenicy, yachmenya i ogurca / A.F. Titov, V.V. Talanova, N.P. Boeva i dr. // *Fiziologiya rastenij*. — 1995. — Т. 42, № 3. — С. 457—462.
- [20] *Lichtenthaler H.K.* Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents / H.K. Lichtenthaler, A.R. Wellburn // *Biol. Soc. Trans.* — 1985. — V. 11. — P. 591—592.

ANALYSIS OF THE LEAD-INDUCED MODERATE BIOLOGICAL STRESS OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) SEEDLINGS

L.R. Bernikov, E.S. Ron'zhina

Scientific Centre of Plant Biology and Biotechnology
Kaliningrad State technical University
Sovietsky av., 1, Kaliningrad, Russia, 236022

The action of moderate Pb^{2+} concentrations on the physiologo-biochemical values of the 1st true leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings using markers of general use was explored. Stress changes at Pb^{2+} concentrations from 0,03 mg/l were showed, the switching of the stress phases was demonstrated. Observed processes are discussing concerning with advisability of approaches for further researches of the lead-induced biological stress.

Key words: *Triticum aestivum*, seedlings, lead, biological stress, stress markers.