

## Экологическая оценка состояния окружающей среды методом биотестирования

А. В. Калинина

*Саратовский военный институт радиационной, химической и биологической защиты*

Обязательным условием обеспечения требуемого уровня безопасности объектов по уничтожению химического оружия является проведение экологического контроля и мониторинга качества окружающей среды как при штатном функционировании объекта, так и при аварийной ситуации.

Одной из эффективной составляющей экологического контроля и мониторинга может быть биотестирование, позволяющее вести постоянное наблюдение за состоянием окружающей среды в районе техногенного влияния объекта, оценивать уровень загрязнения природных сред, осуществлять прогноз долгосрочных последствий. Для проведения биотестирования необходимы адекватные природные тест-системы и фитотесты, реагирующие на комплекс загрязнителей и позволяющие выявлять мутагенный потенциал содержащихся в агросфере поллютантов.

Эффективным способом получения объективной картины загрязнения агроценоза является использование биоиндикаторов. Применение организмов, реагирующих на загрязнение среды обитания изменением визуальных признаков, имеет ряд преимуществ. Этот метод позволяет существенно сократить или даже исключить использование дорогостоящих и трудоемких физико-химических методов анализа. Биоиндикаторы интегрируют биологически значимые эффекты загрязнения. По реакции биоиндикаторов можно определить скорость происходящих изменений, пути и места скопления в экосистемах различных токсиантов, делать выводы о степени опасности для человека и полезной биоты конкретных веществ или их сочетаний.

Непосредственный контакт растений с почвой и, как следствие, с поллютантами происходит через корневую систему, которая четко реагирует на присутствие загрязнителей путем изменения строения зародышевых корней на анатомо-морфологическом уровне. В связи с этим в качестве тест-объектов целесообразно использовать параметры корневой системы растений. Успешное решение проблем биоиндикации во многом будет определяться подбором, а иногда и направленным созданием сортов (линий) культурных растений, чувствительных к веществам-загрязнителям. В настоящее время подобные сорта и линии в России практически отсутствуют. Поэтому усилия исследователей должны быть направлены на поиск перспективных форм.

Из анатомо-морфологических параметров корней наиболее значимыми являются длина зародышевых корней, расстояние от чехлика корня до зоны корневых волосков и длина корневых волосков главного зародышевого корня. Так, например, изменение длины корней проростков и корневых волосков прямо пропорционально изменению всасывающей активно-

сти корневой системы, а следовательно, и питанию всего растения [1]. Уменьшение расстояния от чехлика до зоны корневых волосков свидетельствует о смещении зоны дифференциации корневых волосков к апексу корня (корневая меристема, формирующая ткани корня и корневой чехлик), а значит и о влиянии внешних факторов на процессы деления, растяжения и направленности специализации клеток, что в итоге может привести к функциональным нарушениям в растении.

Исследование влияния иприта и люизита на рост зародышевых корней пшеницы

### *Материалы и методы исследований*

В качестве объектов исследования использовались представители двух наиболее распространенных видов яровой пшеницы: мягкой (*Triticum aestivum* L.) — сорт Саратовская 52 и твердой (*Triticum durum* L.) — сорт Саратовская 57. Оба сорта имеют ряд морфологических (строение колоса, соломины, зерна) и биологических особенностей. Мягкая пшеница относится к гексаплоидной группе с 42 хромосомами, твердая пшеница — к тетраплоидной группе с 28 хромосомами.

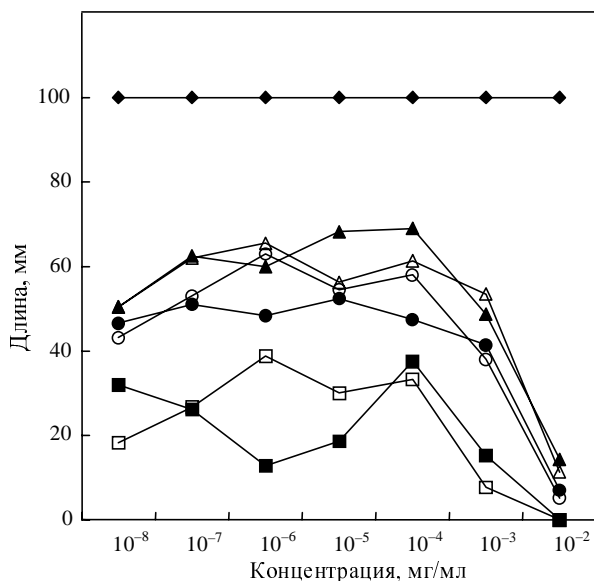
Изучалось влияние иприта и люизита на рост зародышевых корней четырехсуточных проростков яровой пшеницы. Семена пшеницы проращивали в 0,1 мМ растворе  $\text{CaSO}_4$  в чашках Петри. Двухсуточные проростки переносили в растворы иприта с концентрацией от  $10^{-2}$  до  $10^{-8}$  мг/мл и в растворы люизита с концентрационным интервалом от  $10^{-3}$  до  $10^{-8}$  мг/мл. В контрольном опыте состав среды не изменяли.

Измерение длины корней производили на четвертые сутки от момента проращивания. Расстояние от корневого чехлика до зоны корневых волосков и длину корневых волосков измеряли с помощью биологического микроскопа МБС-9. Первый корень проростков отсекали и помещали в 0,002%-ный раствор метиленового синего. Расстояние от корневого чехлика до зоны корневых волосков измеряли при увеличении 2 (16-ти кратное увеличение) (цена одного деления — 49,26 мкм), длину корневых волосков — при увеличении 7 (цена одного деления — 14,04 мкм).

### *Результаты и их обсуждение*

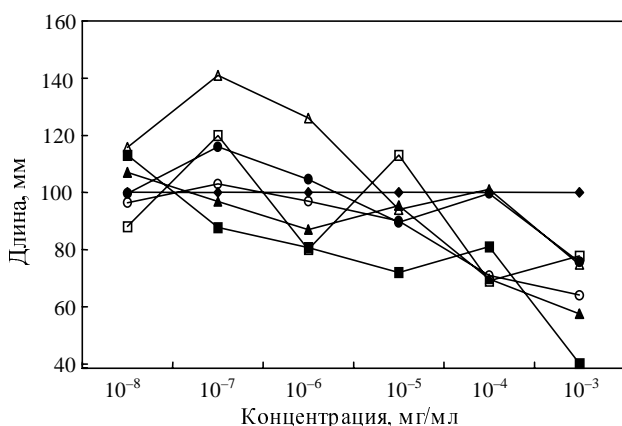
Результаты исследований показали, что растворы иприта во всем выбранном концентрационном интервале угнетают рост зародышевых корней обоих сортов пшеницы, причем при концентрации  $10^{-8}$  мг/мл значение исследуемого параметра меньше контрольного значения практически в два раза (рис. 1).

Параметры главного зародышевого корня изменялись следующим образом (рис. 2). Длина корневых волосков по сравнению с контролем уменьшалась у



**Рис. 1.** Зависимость длины зародышевых корней пшеницы сортов Саратовская 52 (Δ□) и Саратовская 57 (▲●) от концентрации растворов иприта в интервале  $10^{-8}$ – $10^{-2}$  мг/мл (◆ — контроль): ▲, Δ — главный корень, ●, ○ — верхняя пара, ■, □ — нижняя пара

обоих сортов пшеницы, что подтверждает снижение поглотительной способности корневой системы растений под влиянием иприта. Однако в случае воздействия растворов высокой концентрации ( $10^{-2}$  мг/мл) у проростков пшеницы сорта Саратовская 57 наблюдалось увеличение данного параметра на 10% по сравнению с контролем. При этом зона элонгации была меньше контрольного показателя практически на 80%, что позволяет предположить об аномальном развитии зародышевых корней на анатомическом уровне. Аналогичным образом изменялась зона элонгации и у пшеницы сорта Саратовская 52.



**Рис. 2.** Зависимость длины зародышевых корней пшеницы сортов Саратовская 52 (Δ□) и Саратовская 57 (▲●) от концентрации растворов люизита в интервале  $10^{-8}$ – $10^{-3}$  мг/л (◆ — контроль): ▲, Δ — главный корень, ●, ○ — верхняя пара, ■, □ — нижняя пара

В ходе дальнейших исследований было установлено, что не только концентрация, но и тип взятого отравляющего вещества влияет на данные параметры.

Реакция корневой системы проростков пшеницы обоих сортов на люизит неоднозначна (рис. 2). Например, наряду с угнетением роста верхней и нижней пар корней пшеницы сорта Саратовская 52 при концентрации люизита  $10^{-8}$  мг/мл было зафиксировано увеличение длины главного корня практически на 10% относительно контроля. У сорта Саратовская 57 при той же концентрации токсиканта длина главного корня увеличивается более чем на 15%, верхней пары близка к контролю, а нижней — уменьшается более чем на 10%.

Такая же неоднозначная реакция проявляется и в росте главного зародышевого корня. Так, у проростков пшеницы сорта Саратовская 52 во всем исследуемом концентрационном интервале зафиксировано увеличение обоих параметров, а именно длины корневых волосков и зоны элонгации по сравнению с контролем. Проростки пшеницы сорта Саратовская 57 реагировали следующим образом: если зона дифференциации и направленной специализации клеток приближалась к контрольному показателю под влиянием растворов люизита в концентрациях  $10^{-8}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-4}$  и  $10^{-3}$  мг/мл, то длина корневых волосков при этом уменьшалась в среднем на 30%.

Обратная реакция наблюдалась при воздействии растворов люизита в концентрациях  $10^{-6}$  и  $10^{-5}$  мг/мл: при приближении длины корневых волосков к контрольным показателям зона элонгации уменьшалась на 40%.

Проведенные исследования показывают, что выбранные морфологические параметры корневой системы проростков пшеницы достаточно четко реагируют на присутствие отравляющих веществ. Изменение данных параметров происходит не только в зависимости от концентрации, но и от типа поллютанта.

Анализ и обобщение полученных результатов позволяют сделать следующие предположения. Иприт, являясь ферментным ядом, нарушает процесс энергообеспечения клеток и всего организма на стадии образования пировиноградной кислоты. Последняя найдена в растениях, но пул ее не постоянен, поскольку эта кислота используется во многих процессах обмена, и в том числе связывает обмен углеводов с обменом белка и липидов [2]. Люизит нарушает внутриклеточный углеводный обмен на стадии окислительного декарбоксилирования пирувата, взаимодействуя с одним из коферментов пируватдегидрогеназного мультиферментного комплекса — дигидролипоевой кислотой. Но в растительных клетках наряду с гликолизом и циклом Кребса реализуется пентозофосфатный путь окисления глюкозы, а также возможно прямое окисление сахаров [3] (рис. 3).

Таким образом, можно предположить, что иприт, ингибируя процесс образования глюкозо-6-фосфата, «лишает» растительный организм энергии, необходимой для нормального роста и развития, что подтверждается результатами проведенных исследований.

При «выключении» из процессов энергообеспечения растительного организма цикла Кребса под влиянием люизита возможно активное включение других путей диссимиляции глюкозы, поэтому видимого уг-

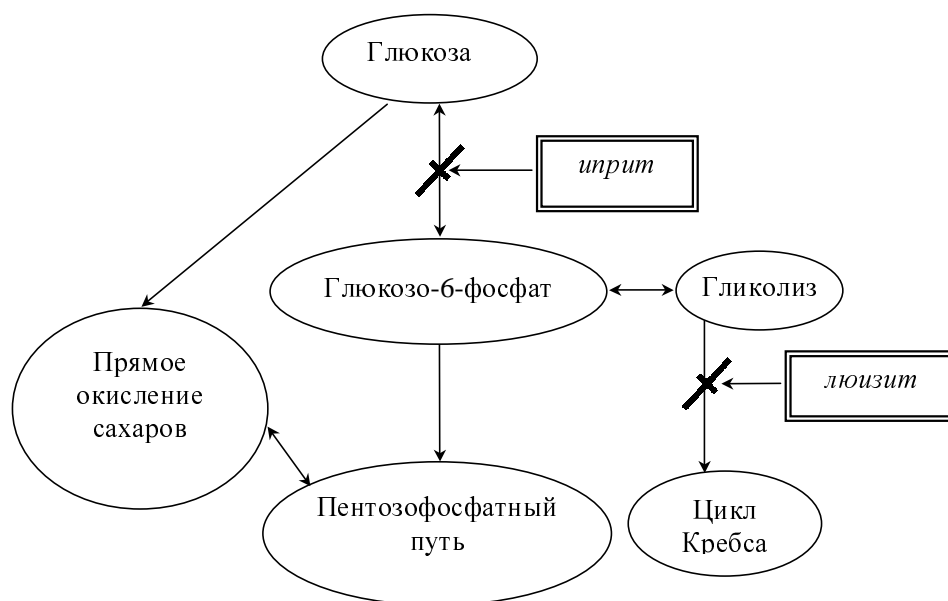


Рис. 3. Взаимосвязь различных путей диссимиляции глюкозы и возможные направления воздействия отравляющих веществ кожно-нарывного действия на растительные организмы

нетения роста на ранних этапах развития проростков не наблюдается. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят более аргументированно подойти к ответу на вопрос о механизме действия отравляющих веществ кожно-нарывного действия на растительные организмы и о возможности их использования в качестве природных тест-систем для дополнительной экологической оценки состояния окружающей среды на объектах по хранению и уничтожению химического оружия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курсанов А.Л. Корневая система растений как орган обмена веществ. М.: АН СССР, 1983, с. 815.
2. Красильникова Л.А., Авксентьева О.А., Жмурко В.В. и др. Биохимия растений. Ростов-на-Дону: «Феникс», 2004, с. 224.
3. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989, с. 464.