

УДК 581.1:832.122.1

Использование изменчивости азотного обмена хвойных растений в биоиндикации

© 2010. А.И. Иванов¹, д.б.н., директор, А.П. Стаценко², д.б.н.,¹Региональный центр государственного экологического контроля и мониторинга по Пензенской области,²Пензенский государственный университет,
e-mail: rcgekim@mail.ru

В статье рассматриваются закономерности накопления стресс-индуцированного пролина в вегетативных органах хвойных растений в условиях химического загрязнения территорий.

The article discusses stress-induced prolin accumulation in vegetative parts of coniferous plants growing in chemically polluted areas.

Ключевые слова: стресс-индуцированный пролин, хвойные растения, химическое загрязнение

Key words: stress-induced prolin, coniferous plants, chemical pollution

Современное состояние окружающей природной среды и проблемы её охраны требуют постоянного совершенствования методов организации и проведения биомониторинга. В качестве объектов мониторинга часто используются вегетативные органы наиболее распространённых и чувствительных к загрязнению видов хвойных растений. Особое внимание при этом уделяется выбору максимально информативных тестов (параметров), характеризующих прежде всего функциональное состояние растения.

Физиологически важную группу азотистых соединений составляют аминокислоты, в связи с тем что они участвуют в синтезе ферментов, нуклеиновых и органических кислот, сложных углеводов, жиров и др. [1]. Содержание аминокислот является динамическим показателем, изменяющимся под действием различных факторов [2, 3].

Перспективным тестовым показателем стрессовых реакций в растениях является стресс-индуцированный пролин. Это протеиногенная аминокислота, содержание которой тесно связано с различным физиологическим состоянием растений. Названное обстоятельство указывает на особую роль пролина в метаболизме растительного организма, которая обусловлена его физико-химическими свойствами. В частности, пролин хорошо растворим в воде (6,5 моль/л при температуре 25 °С). В водных растворах эта аминокислота обладает нетипичными для низкомолеку-

лярных веществ свойствами, характерными для гидрофильных коллоидов [3]. Так, с повышением концентрации пролина относительная вязкость его водных растворов резко повышается, что объясняется образованием коллоидоподобных продуктов. С увеличением концентрации пролина существенно возрастает плотность раствора, что указывает на повышение компактности упаковки растворённых молекул аминокислоты.

В современной науке имеется много сведений об активном накоплении аминокислоты пролина в свободной форме в вегетативных органах (корнях, листьях и стеблях) в условиях химического стресса. Одним из важнейших продуктов деструкции фосфорорганических отравляющих веществ типа Vx, зарина и зомана в процессе его уничтожения является метилфосфоновая кислота (МФК). В связи с этим исследования её влияния на растительный организм в эксперименте являются, несомненно, перспективными и практически значимыми.

Нами изучалось влияние МФК на азотный обмен различных видов голосеменных растений, в частности на динамику свободного пролина в хвое, содержание которого определяли по методике Бэйтса [4]. Растительный материал (хвою) отбирали в трёх повторениях с центральной части ствола 50-летних деревьев в летний период при температуре воздуха 25–27 °С. Затем его фиксировали 10-кратным объёмом 96%-ного этанола.

Содержание стресс-индуцированного пролина определяли в двухграммовой навеске хвои методом фотоэлектроколориметрии с использованием прибора КФК-3. Экстинкцию определяли с использованием синего светофильтра с длиной волны 520 нм. Содержание аминокислоты рассчитывали по стандартной кривой, а концентрацию выражали в мг/100 г сырой массы.

Исследования показали, что обработка вегетативных органов растений водным раствором метилфосфоновой кислоты вызвала значительные изменения азотного обмена, что привело к существенному накоплению в них стресс-индуцированного пролина (табл. 1). Отсюда следует, что изменчивость этого показателя в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), ели колючей (*Picea pungens* Engelm) и туи западной (*Thuja occidentalis* L.) можно использовать в качестве объективного теста уровня химического загрязнения природных сред продуктами деструкции отравляющих веществ.

В опытах с минимальной концентрацией МФК 0,001 моль/л отмечалось существенное накопление аминокислоты в хвое сосны обыкновенной, тогда как у двух изучаемых видов ели содержание свободного пролина увеличилось несущественно. Туя западная, в отличие от других изучаемых голосеменных растений, никакой ответной реакции на низкую концентрацию МФК не проявила, а содержание аминокислоты сохранилось на прежнем уровне. Повышение концентрации МФК до 0,005 моль/л привело к значитель-

ным перестройкам в азотном обмене хвойных растений, особенно сосны обыкновенной, где содержание пролина почти удвоилось. Удвоение концентрации МФК еще более активизировало накопление аминокислоты в хвое сосны и ели, тогда как в растениях туи западной существенного сдвига в азотном обмене не наметилось.

Дальнейшее повышение концентрации до 0,05 моль/л не вызвало существенного накопления пролина в хвое изучаемых видов сосны и ели. Туя западная же активно прореагировала на заданный химический стресс, что выразилось в удвоении содержания свободного пролина в хвое. Таким образом, данный вид реагирует только на низкие концентрации МФК, что говорит о его высокой устойчивости к данному виду загрязнения.

Кроме лабораторных, нами проводились полевые исследования по изучению накопления стресс-индуцированного пролина в хвое сосны обыкновенной. Растительный материал собирали в незагрязненной (контрольной) зоне (памятник природы «Никоновский бор») и в местах прошлого уничтожения химического оружия, загрязненных продуктами деструкции иприта и люизита.

В ходе исследований были зафиксированы существенные перестройки азотного обмена в хвое сосны, что выразилось в значительном накоплении в ней свободного пролина. Так, в зоне сильного загрязнения содержание аминокислоты в пробах, по сравнению с контролем, было выше в 11 раз, а в зоне среднего загрязнения – в 3,7 раза (табл. 2).

Таблица 1

Влияние метилфосфоновой кислоты на содержание свободного пролина в хвое голосеменных растений

Концентрация МФК, моль/л	Содержание свободного пролина в хвое, мг/100 сырой массы			
	сосна обыкновенная	ель европейская	ель колючая	туя западная
Контроль (0)	18±2	23±1	20±1	26±2
0,001	32±3	29±2	26±1	24±1
0,005	41±3	34±2	33±2	29±3
0,01	54±2	42±3	41±2	33±1
0,05	59±3	43±2	45±1	55±3

Таблица 2

Влияние уровня загрязнения природной среды на накопление свободного пролина в хвое сосны обыкновенной

Место пробоотбора	Содержание пролина в хвое, мг/100 сырой массы	Степень накопления пролина
Контроль	7,8±1,1	–
Наземный полигон уничтожения ХО в прошлом	86,1±2,3	11,0
Водный полигон уничтожения ХО	28,5±1,9	3,7

Таблица 3

Оценка загрязнения территории по степени накопления стресс-индуцированного пролина в хвое

Место пробоотбора	№ пробы	Содержание стресс-индуцированного пролина, мг/100 г сырой массы (степень накопления – К)				Уровень химического загрязнения территории
		сосна обыкновенная	ель обыкновенная	ель колючая	туя западная	
Лесопарковая зона	1	11,4±0,9	13,7±1,1	14,1±1,3	19,5±1,2	нет загрязнения
Скверы	2	15,6±1,4 (1,37)	20,8±1,3 (1,52)	17,5±1,6 (1,24)	22,6±1,9 (1,16)	низкий
	3	14,1±0,8 (1,24)	15,2±1,1 (1,11)	20,0±1,6 (1,42)	30,8±2,0 (1,58)	низкий
Посадки древесных во дворах жилых микрорайонов	4	24,5±1,7 (2,15)	33,2±1,5 (2,42)	29,8±1,9 (2,11)	33,9±1,3 (1,74)	средний
	5	33,7±2,3 (2,96)	19,5±1,6 (1,42)	38,2±1,8 (2,71)	28,7±1,7 (1,47)	средний
Посадки древесных вдоль напряженных автострад	6	27,1±1,9 (2,38)	38,7±2,3 (2,82)	61,4±2,7 (4,35)	91,7±2,9 (4,71)	высокий
	7	34,0±1,7 (2,93)	30,3±1,4 (2,21)	44,0±2,0 (3,12)	78,2±3,1 (4,01)	высокий

Примечания: К = 1,5 и ниже – низкий уровень загрязнения; К = 1,6 до 2,5 – средний уровень загрязнения; К = 2,6 и выше – высокий уровень загрязнения.

Нарушение азотного обмена в хвое сосны, выразившееся в степени накопления аминокислоты пролина в вегетативной массе, позволяет определить уровень загрязнения территории. Следовательно, уровень накопления аминокислоты пролина в хвое голосеменных растений является объективным тестом степени загрязнения природной среды. Предлагаемая нами система оценки позволяет прогнозировать нарушения экосистем и заблаговременно принимать меры по предотвращению их разрушения. Используя эти преимущества фитоиндикации, мы сделали попытку оценить возможность применения аминокислоты пролина, которая, как известно, накапливается в вегетативных органах растений в условиях химического стресса, в качестве показателя химического загрязнения воздуха на территории г. Пензы.

Нами изучалось накопление стресс-индуцированного пролина в вегетативных органах хвойных растений: сосны обыкновенной, ели обыкновенной, ели колючей, туи западной. Отбор проб проводился на пятнадцати стационарных площадях с различным уровнем загрязнения воздуха выхлопными газами. Контрольные образцы отбирались в экологически чистой лесопарковой зоне.

По степени накопления стресс-индуцированного пролина нами выделены три уровня химического загрязнения территории:

- низкий уровень (степень накопления 1,5 и ниже);
- средний уровень (1,6-2,5);
- высокий уровень (2,6 и выше).

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что загрязнение воздуха при движении автотранспорта оказывает влияние на накопление стресс-индуцированного пролина в хвое. Максимальных показателей оно достигает на улицах с интенсивным движением автотранспорта (табл. 3).

Нами выделены также зоны со средним уровнем химического загрязнения, где степень накопления пролина в хвое сосны обыкновенной была в пределах норматива, соответствующего среднему уровню химического загрязнения.

Кроме того, были выделены зоны с высоким уровнем загрязнения, степень накопления пролина в хвойных растениях которых превысила 2,60. В эти зоны вошли улицы с активным движением автомобильного транспорта.

В растениях, растущих в этих условиях, содержание стресс-индуцированного

пролина было повышено по сравнению с контролем в 2–4 раза, что соответствует высокому уровню химического загрязнения. Следовательно, изменчивость азотного обмена, в частности степень накопления стресс-индуцированного пролина в хвое изучаемых растений, является объективным показателем уровня загрязнения территорий, который можно использовать при оценке загрязнения природных сред как специфическими, так и общепромышленными загрязнителями при движении автомобильного транспорта.

Литература

1. Брянцева З. Н. Азотный и фосфорный обмен кукурузы в связи с изменением интенсивности её роста // Физиологические механизмы адаптации и устойчивости растений. Новосибирск. 1973. С. 67–76.
2. Кретович В. Л. Молекулярные механизмы усвоения азота растениями. М. 1980. 29 с.
3. Стаценко А. П. О криозащитной роли аминокислот в растениях // Физиология и биохимия культурных растений. 1992. Т. 24. № 6. С. 560–564.
4. Bates, Z. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant and Soil. 1973. V. 39. № 1. P. 205–207.

УДК 004.9

Опыт реализации ГИС-технологий для задач комплексного исследования территории района хранения и уничтожения химического оружия

© 2010. М.В. Телегина, доцент, к.т.н.,

Ижевский государственный технический университет,
e-mail: mari_tel@mail.ru

В статье предложено применение экспертного анализа для расстановки пунктов экологического мониторинга. На основе математической модели трансформации описана система визуализации динамики выброса соединений мышьяка объектом уничтожения химического оружия. Приведена система оценки взаимосвязи отдельных пространственно-распределённых факторов.

The article discusses utilizing expert analysis for the purpose of putting stages of ecological monitoring in order. The system of visualizing the dynamics of arsenic compounds leak by the chemical weapons decommission plant is described on the basis of mathematical pattern of transformation. The system of estimating the interconnection between different factors that are distributed in space is presented.

Ключевые слова: ГИС-технологии, экологический мониторинг,
объект уничтожения химического оружия

Key words: gis-technologies, ecological monitoring, chemical weapons decommission plant

Для оценки экологического состояния территорий объектов уничтожения химического оружия (ОУХО) и охвата всех основных взаимосвязей системы «объект–природа–население» необходима возможность анализа всего комплекса экологических, медицинских и социальных показателей. В настоящее время для визуализации и анализа экологической информации широко используются геоинформационные системы (ГИС), функциональные возмож-

ности которых определяются их проблемной ориентацией как систем сбора, представления в цифровом виде, обработки и представления пространственно-координированных данных в форме тех или иных табличных, графических, картографических документов. В данной работе предложен пакет программ для решения задач комплексного исследования территории района хранения и уничтожения химического оружия, реализованных с помощью ГИС-технологий.