

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИЕЙ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

Курило Ю.А.¹, Григорьев А.И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет», Омск, Россия, e-mail: curilo.yu@yandex.ru

Электрические потенциалы в растительных организмах имеют тесную функциональную связь с физиологической поляризацией и ростовыми процессами, участвуют в поглощении и передвижении веществ в растении. Особый интерес в связи с этим представляет рост и развитие листьев березы повислой в условиях техногенного загрязнения, в частности зависимость изменения электрического сопротивления и флуктуирующей асимметрии листа. Показатель флуктуирующей асимметрии листа является методом, подтверждающим измерения, проводимые электрометрическим способом. Объектом служили листья березы повислой. Обсуждаются ключевые вопросы, показывающие зависимость электрического сопротивления листа от экологических условий произрастания. Выявлена зависимость распространения электрического сопротивления и флуктуирующей асимметрии листовой пластинки. По результатам исследования было определено, что сопротивление листовой пластинки деревьев березы повислой зависит от стрессовых ситуаций, то есть при наличии нефтешламowego загрязнения почвогрунта электрическое сопротивление листьев увеличивается в условиях различного гидротермического режима воздушной среды и проявляется на анатомо-морфологических признаках листовых пластинок деревьев. Установлено, что с увеличением показателя флуктуирующей асимметрии листовой пластинки увеличивается уровень электрического сопротивления листа.

Ключевые слова: высшие растения, листовая пластина, нефтешламowego загрязнение, электрическое сопротивление, флуктуирующая асимметрия.

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRICAL RESISTANCE AND FLUCTUATING ASYMMETRY A SHEET OF BETULA PENDULA

Kurilo Y.A.¹, Grigoriev A.I.¹

¹Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia, e-mail: curilo.yu@yandex.ru

Electric potentials in plant organisms have a close functional relationship with the physiological polarization and growth processes involved in the uptake and movement of nutrients in the plant. Of particular interest in this regard is the growth and development of leaves of *Betula pendula* in the conditions of technogenic pollution, in particular the dependence of the electrical resistance and fluctuating asymmetry of leaves. The measure of fluctuating asymmetry sheet is a method of confirming measurements using an electrometric method. The object served as the leaves of *Betula pendula*. Discusses key issues, showing the dependence of the electrical resistance of the sheet from the environmental growth conditions. The dependence of the distribution of electrical resistance and fluctuating asymmetry of leaf blade. According to a study, it was determined that the resistance of the leaf blades trees of *Betula pendula* depends on stressful situations, i.e. in the presence of oil pollution of soil electrical resistance of leaves increases under different hydrothermal regime of the air environment and is manifested on the anatomical and morphological characteristics of leaves of trees. It is established that with the increase in fluctuating asymmetry leaf blades increases the level of electrical resistance of the sheet.

Keywords: higher plant, leaf plate, sludge contamination, electrical resistance, fluctuating asymmetry.

Электрические потенциалы в растительных организмах имеют тесную функциональную связь с физиологической поляризацией и ростовыми процессами, участвуют в поглощении и передвижении веществ в растении. Среди различных физиологических процессов, зависящих от электрического состояния растений, особый интерес представляет рост и развитие листьев березы повислой в условиях техногенного загрязнения, в частности зависимость изменения электрического сопротивления от уровня поглощения листовой пластинки продуктов

нефтяного распада. Листья являются индикаторами физиологического состояния растения. Исследование флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев подтверждает нашу гипотезу о прямой зависимости электрического сопротивления и флуктуирующей асимметрии листа.

Под флуктуирующей асимметрией понимаются незначительные и случайные (ненаправленные) отклонения от строгой билатеральной симметрии биообъектов [8; 9]. Отсутствие абсолютно симметричных организмов можно расценивать как следствие несовершенства механизмов, контролирующих онтогенез, их неспособности противостоять негативному воздействию внешней среды [18; 19]. ФА организмов по билатеральным признакам можно рассматривать как случайное макроскопическое событие [2], заключающееся в независимом проявлении либо на левой, либо на правой, либо на обеих сторонах тела, но в разной степени выраженных признаков. На макроскопическом уровне флуктуирующую асимметрию предложено использовать в качестве меры в оценке стабильности развития организма [9]. Уровень ФА оказывается минимальным лишь при определенных (оптимальных) условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях. Т.е. стабильность развития растения, оцениваемая по уровню ФА, – чувствительный индикатор состояния растения.

В настоящее время выполнены исследования, посвященные различным аспектам теоретического и прикладного применения концепции ФА. Проблемы статистического анализа ФА билатеральных признаков обобщены в работах В.М. Захарова [6-9], Д.Б. Гелашвили и др. [1; 2], A.R. Palmer, C. Strobeck [18; 19], Е.Л. Константинов [11], И.В. Мокрова [14], В.С. Сухова [16; 17]. В.М. Захаровым с сотрудниками проведены исследования стабильности развития на основе ФА для березы повислой [6-9]. Г. Гун–Аажав и др. [3; 4] изучали биоэлектрические потенциалы у листьев высших растений, в частности взаимосвязь БЭП с фотосинтезом, и пришли к выводу, что примерно половина значений фотоиндуцированного изменения БЭП связано с процессом фотосинтеза.

Нами проведен ряд исследований по выявлению взаимосвязи между показателями электрического сопротивления листовой пластины березы повислой и флуктуирующей асимметрией листа.

Методика изучения листовой пластинки березы повислой

Объект – листья модельных деревьев березы повислой, произрастающие в бассейне буферного пруда ОАО «Газпромнефть - ОНПЗ» (г. Омск). Для анализа использовали листья деревьев березы в возрасте 25–30 лет. Отбор листьев производился с 11 модельных деревьев в 2008 г., 10 деревьев в 2010 г. и 9 деревьев в 2012 г. Листья отбирали с нижней части кроны с западной и восточной стороны у каждого дерева.

Величину сопротивления измеряли у 30 листьев с каждого дерева, расположенных в нижней части кроны, и у каждого листа проводили по 3 измерения. Измерения электрического сопротивления (ЭС) проводили вдоль главной жилки в трех точках: у основания листа, в середине листовой пластинки и на вершине листа согласно методике А.П. Ивакина [10] в нашей модификации. Расстояние между измерительными иглами 10 мм. Всего было исследовано 900 листьев.

Исследование флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой проводили по методике В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова [8] на тех же листьях, что и измерения ЭС. В камеральных условиях у листьев измерялись по пять показателей с каждой стороны листа относительно главной жилки. Величина асимметричности оценивалась с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак.

Наблюдения за ходом развития фенологических фаз в вегетационные периоды проводили по общепринятым методикам [5; 15].

Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики с использованием пакета Statistica. Сравнения вариантов опыта проводились по критериям Стьюдента и Фишера.

Обсуждения и результаты исследования

В контрольной группе наблюдается стабильное развитие ЭС листа с незначительными скачками, связанными с гидротермическим режимом.

ЭС листовой пластинки березы повислой, произрастающей в условиях нефтешлама, выше, чем сопротивление в контрольной группе (табл. 1). По данным наблюдений можно отметить, что в условиях эксперимента происходит нарушение водообмена в корнях, стволах и листьях березы, и они более подвержены влиянию гидротермического режима воздушной среды.

В условиях контроля отток биогенных веществ и водоснабжение тканей идет нормально, тогда как в условиях эксперимента наблюдается более высокое сопротивление и понижается интенсивность оттока. Соответственно с этим фенотипически проявляется запаздывание фазы осеннего пожелтения, листья у модельных деревьев на экспериментальной площадке выглядят зелеными, тогда как в контроле наблюдаются фазы интенсивного осеннего пожелтения листьев. Крона модельных деревьев на контрольной площадке имела ярко-желтый цвет, и процент пожелтения листьев составлял 80%.

Таблица 1

Среднее значение уровня электрического сопротивления у листовой пластинки березы повислой, кОм (за исследуемые периоды)

<i>Год исследования / обозначение групп</i>	2008	2010	2012
Контрольная группа	199,8	151	154,8
Экспериментальная группа	291,3	264	302
Относительное отклонение (%)	45,8	74,8	95,1

Можно предположить, что нарушение корне-лиственной связи и отсутствие нормального тока биогенных веществ (калия, магния, азота) привело к фенотипическому проявлению – запаздыванию фазы пожелтения листьев и изменению их анатомо-морфологических признаков.

Можно отметить, что более высокое ЭС наблюдается у основания листа и наименьшее в верхней части листа, т.е. концентрация продуктов нефтяного распада - у основания.

По мере адаптации к стрессовым условиям происходят изменения листовой пластинки, площадь листа уменьшается, появляется асимметрия, так как чем больше площадь листьев, тем быстрее растение теряет воду. Рост клеток листа осуществляется за счет растягивания, а оно зависит от величины тургорного давления.

При анализе уровня сопротивления и асимметрии листа прослеживается закономерная связь между данными показателями жизнедеятельности растений: нормальное состояние листовой пластинки (1 балл) соответствует деревьям, растущим на условно чистой территории (контрольной площадке), низкому уровню сопротивления и прямой связи между ЭС листовой пластинки.

Можно говорить о том, что продукты нефтешлама, попадая в почву, поглощаются корнями и распространяются по тканевой системе растения, влияют на сопротивление [12; 13], аналогично происходит и при дыхании растений: через устьица листовой пластины химические элементы также поступают в растения, которое, соответственно, получает сигнал раздражения и реагирует на него изменением ЭС.

В зависимости от условий произрастания листовая пластина растения реагирует на стрессовые факторы. Замечено, что у растений, произрастающих в бровке котлована, листовая пластина небольших размеров и асимметрична, это связано с тем, что продукты нефтешлама, поступающие из корневой системы в ткани, подают сигнал повреждения, растение реагирует на это увеличением сопротивления.

В моделях экспериментальной группы (деревья произрастают в искусственно созданных условиях) наблюдается критическое состояние (по методике В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова [8]), у деревьев, произрастающих в естественных техногенных условиях, ситуация более положительна (табл. 2).

Показатели асимметричности листовой пластинки березы повислой в вегетационные периоды 2008, 2010, 2012 гг.

Модель	Среднее относительное различие на признак			Показатель асимметричности, баллы			Значение показателя асимметрии		
	2008 г.	2010 г.	2012 г.	2008 г.	2010 г.	2012 г.	2008 г.	2010 г.	2012 г.
Группа контроля	0,052	0,046	0,048	1	1	1	Условная норма		
Группа экспериментальная	0,075	0,073	0,082	4	4	5	Существенное отклонение от нормы		

Показатель асимметричности листа косвенно подтверждает измерения, проведенные электрометрическим методом, что листовая пластинка является индикатором состояния растения.

Результаты исследования асимметричности листьев березы оказались сходными с результатами, проведенными электрометрическим методом, причем прослеживается прямая корреляционная связь ($r=0,76$) при 5%-ном уровне значимости критерия Стьюдента: с увеличением флуктуирующей асимметрии листовой пластинки соответственно увеличивается уровень электрического сопротивления листа.

Список литературы

1. Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Иудин Д.И. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально–симметричных организмов // Журнал общей биологии. - 2004. - Т. 65. - № 5. - С. 433–441.
2. Гелашвили Д.Б. и др. Влияние лесопатологического состояния березы повислой на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки // Поволжский экологический журнал. - 2007. - № 2. - С. 106–115.
3. Гун–Аажав Г., Караваев В.А., Кукушкин А.К. Исследование цепи электрического транспорта у высших растений с помощью флуоресценции // Проблема биофотохимии. - М., 1974. - С. 14–17.
4. Гун–Аажав Г., Цогбадрах М., Бойтулга Ч. Исследование корреляции интенсивности фотосинтеза и фотоиндуцированных изменений в биоэлектрических потенциалах листьев высших растений // Ученые заметки Монгольского университета [Улан–Батор]. - 1998. - № 6 (130). - С. 119–124.
5. Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. - М. : Наука, 1981. – 120 с.

6. Захаров В.М. Асимметрия морфологических структур животных как показатель незначительных изменений состояния среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. - Л. : Гидрометеиздат, 1981. - Т. 4. - С. 59–66.
7. Захаров В.М. Асимметрия животных. - М. : Наука, 1987. – 216 с.
8. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю. Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды. - М. : Московское отд. Междунар. фонда «Биотест», 1996. – 170 с.
9. Захаров В.М. и др. Здоровье среды: методика оценки. - М. : Центр, экологической политологии России, 2000. – 68 с.
10. Ивакин А.П. Оценка жароустойчивости овощных культур по электрическому сопротивлению тканей // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. - Л., 1976. - С. 83–86.
11. Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой как вида биоиндикатора : автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Н. Новгород, 2004. – 24 с.
12. Курило Ю.А. Диагностика состояния древесных растений по электрическому сопротивлению тканей // Вестник алтайской науки. - 2014. - № 4.
13. Курило Ю.А., Григорьев А.И. Изучение электрического сопротивления древесных растений в условиях нефтяного загрязнения почвы (на примере березы повислой) // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. - URL: <http://www.science-education.ru/123-17465>.
14. Мокров И.В., Гелашвили Д.Б. Оценка качества среды по стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон : Тез. докл. Всерос. науч. конф. - СПб., 1999. - С. 43–44.
15. Плотникова Л.С. Научные основы интродукции и охраны древесных растений флоры СССР. - М. : Наука, 1988. – 264 с.
16. Сухов В.С. и др. Влияние распространяющихся электрических сигналов на замедленную флуоресценцию листьев герани. Теоретический анализ // Биофизика. - 2008. - Т. 53. - Вып. 4. - С. 672–678.
17. Сухов В.С. и др. Влияние распространяющихся электрических сигналов на замедленную флуоресценцию листьев герани. I экспериментальный анализ // Биофизика. - 2008. - Т. 53. - Вып. 3. - С. 470–474.
18. Palmer A.R. Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Annual Review of Ecology and Systematics. - 1986. - № 17. - P. 391–421.
19. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry analyses resisted // Developmental instability (DI): cause and consequences. - Oxford: Oxford University Press, 2003. - P. 1–47.

Рецензенты:

Мкртчян О.З., д.б.н., профессор, профессор кафедры биологии и биологического образования ОмГПУ, г. Омск.

Бобров П.П., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физики и методики обучения физики ОмГПУ, г. Омск.