

УДК 574.3.591.3

**ВЛИЯНИЕ СВИНЦА НА ФЛУКТУИРУЮЩУЮ АСИММЕТРИЮ
ЛИСТА ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM* L.)**

© 2014 г.

Е.А. Ерофеева

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

ele77785674@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.06.2013

Изучено влияние свинца на уровень стабильности развития третьего листа гороха посевного (*Pisum sativum* L.). Стабильность развития листа оценивали по изменению направленной асимметрии его листовых пластинок, обусловленному флуктуирующей асимметрией. Свинец в количестве 10 ПДК приводил к повышению стабильности развития третьего листа, что выражалось в уменьшении его флуктуирующей асимметрии.

Ключевые слова: *Pisum sativum* L., лист, свинец, флуктуирующая асимметрия.

Введение

Стабильность развития характеризует способность организма поддерживать траекторию развития в определенных границах [1]. В качестве меры стабильности развития билатеральных морфологических структур растений широко используется флуктуирующая асимметрия (ФА), под которой понимают случайные незначительные отклонения от симметричного состояния [2] вследствие стохастичности молекулярных процессов, обеспечивающих экспрессию генов (онтогенетического шума) [3]. ФА, имеющая ненаследственный характер, наблюдается и на фоне наследственных типов асимметрии, таких как антисимметрия и направленная асимметрия [1]. Известно, что величина ФА возрастает при действии любых средовых стресс-факторов [2]. В связи с этим, ФА листа различных видов растений широко используется для оценки уровня загрязнения окружающей среды [4]. В то же время влияние отдельных поллютантов на уровень ФА листа у растений изучено недостаточно. К таким токсикантам, в частности, относятся тяжелые металлы, являющиеся широко распространенными загрязнителями окружающей среды. Цель данной работы – изучение изменения стабильности развития листа гороха (*Pisum sativum* L.) при действии свинца в условиях эксперимента.

Материалы и методы

В первой серии опытов был изучен тип асимметрии листа гороха и подобраны признаки для оценки величины ФА. Семена гороха сорта «Альбумен» проращивали в течение 5

суток. Затем отбирали растения, находящиеся на одинаковой стадии развития, и выращивали их на питательном растворе Кнопа в течение 2.5 недель. Для анализа типа асимметрии использовали третий лист, поскольку первые два листа обычно имеют небольшие размеры и часто характеризуются развитием фенотипических отклонений. Лист гороха является сложным и состоит у данного сорта из двух листочков. Сразу после сбора листа сканировали. У электронных изображений листочков третьего листа 100 растений гороха измеряли справа и слева от плоскости билатеральной симметрии листочка 5 признаков (рис. 1) в программе *Adobe Photoshop CS3*. Для определения величины асимметрии использовали алгоритм нормированной разности

$$\bar{A} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{|L_{ij} - R_{ij}|}{L_{ij} + R_{ij}},$$

где L_{ij} и R_{ij} – значение j -го признака у i -го листочка, соответственно, слева и справа от плоскости симметрии, m – количество измеренных признаков, n – объем выборки листьев [5]. Для определения значения ФА на фоне направленной асимметрии ее величину для каждого листочка рассчитывали как модуль разности среднего значения асимметрии листочка в данной группе и асимметрии данного листочка [1].

Во второй серии опытов было изучено изменение ФА третьего листа гороха при действии свинца. В течение 2.5 недель растения опытной группы выращивали на модифицированном растворе Кнопа с добавлением нитрата свинца (10 ПДК Pb, 1 ПДК Pb – 0.1 мг/л), а контрольной группы – на модифицированном растворе Кнопа. В каждой группе были 5 сосудов, по 20 растений в каждом ($n = 100$). Для 100 правых

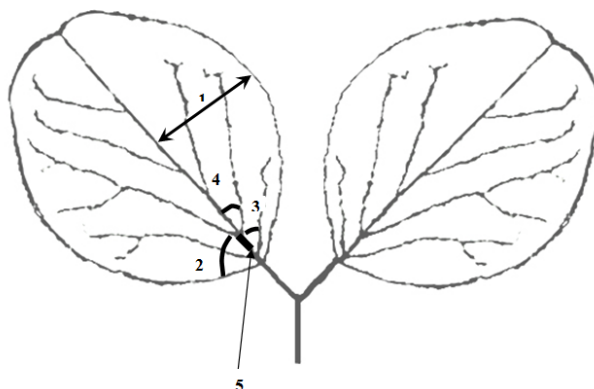


Рис. 1. Промеры правого и левого листочков третьего листа гороха посевного (*Pisum sativum* L.): 1 – $\frac{1}{2}$ ширины листочка в районе $\frac{1}{2}$ длины центральной жилки; 2 – расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок второго порядка; 3 – расстояние между концами 1-й и 2-й жилок второго порядка; 4 – угол между центральной жилкой и нижним краем листа; 5 – угол между центральной жилкой и 1-й снизу жилкой второго порядка

листочков третьего листа растений опытной и контрольной групп определяли величину ФА аналогично предыдущей серии опытов.

Результаты и их обсуждение

В первой серии экспериментов было установлено, что величины признаков в левой половине листочка статически значимо больше, чем в правой ($p < 0.05$). Кроме того, средняя разность $L-R$ для каждого признака отличалась от нуля ($p < 0.05$). Данные факты свидетельствуют о существовании направленной асимметрии у листочка гороха [6]. Другими словами, внутренняя половина листочка (по отношению к плоскости симметрии листа) всегда больше наружной половины (рис. 1). Как известно, ФА наблюдается и на фоне других типов асимметрии (направленной асимметрии, антисимметрии), так как является следствием флуктуаций в работе регуляторных систем, контролирующих морфогенез различных органов [1], что обуславливает возможность использования признаков листочков гороха для оценки ФА. Для корректной оценки ее величины необходимо, чтобы анализируемые признаки листочка являлись независимыми. Для проверки связи между признаками был проведен корреляционный анализ по Спирмену. Результаты показали, что между 1 и 3, 2 и 5 признаками существует очень слабая корреляция ($R = 0.20$; $p < 0.05$). Учитывая низкое значение коэффициента корреляции, можно утверждать, что вероятность согласованного изменения данных признаков очень мала. В связи с этим, признаки можно рассматривать как относительно независимые и использовать для оценки величины ФА. Кроме того, корреляционный анализ показал, что между асимметрией правого и левого листочков существует сильная

положительная корреляция ($r = 0.81$; $p = 0.010$). Поэтому для оценки величины ФА листа гороха можно использовать только один из двух листочков (правый или левый). В связи с этим в следующей серии использовали промеры только правого листочка третьего листа гороха.

Во второй серии экспериментов было показано, что свинец приводил к статистически значимому снижению уровня ФА правого листочка гороха на 40% (рис. 2). Полученные нами данные согласуются с результатами некоторых авторов, свидетельствующими о том, что не всегда загрязнение окружающей среды приводит к нарушению стабильности развития различных организмов. Отсутствие увеличения ФА было показано при действии тяжелых металлов на растения [7], химического и радиационного загрязнения на млекопитающих [8], химического загрязнения на растения [9, 10], антропогенной нагрузки на амфибий [11].

Для объяснения снижения ФА при антропогенной нагрузке высказывались предположения о влиянии стабилизирующего отбора, отсекающего маргинальные варианты индивидуального развития при значительном техногенном загрязнении, в результате чего могло наблюдаться уменьшение дисперсии признаков и снижение среднего значения ФА в популяции [8]. При действии свинца на горох в условиях эксперимента влияние отбора исключено, так как выживали все растения опытной и контрольной групп. Поэтому логично предположить, что уменьшение ФА обусловлено процессами фенотипической адаптации у гороха. Вероятно, использованная нами доза свинца приводила к повышению активности защитных систем растения, которое не только компенсировало токсическое действие металла, но и увеличивало стабильность морфогенеза листа.

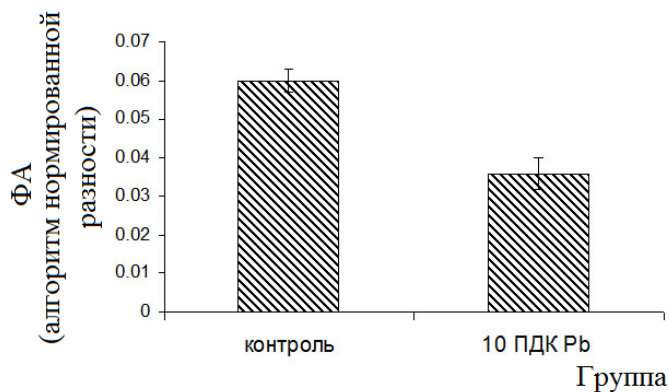


Рис. 2. Влияние свинца на флуктуирующую асимметрию правого листочка третьего листа гороха посевного в условиях эксперимента

Примечание: $p < 0.05$ по отношению к контролю.

Список литературы

1. Захаров В.М. Асимметрия животных. М.: Наука, 1987. 216 с.
2. Захаров В.М., Жданова Н.П., Кирик Е.Ф., Шкиль Ф.Н. Онтогенез и популяция: оценка стабильности развития в природных популяциях // Онтогенез. 2001. Т. 32. № 6. С. 404–421.
3. Leamy L.J., Klingenberg C.P. The genetics and evolution of fluctuation asymmetry // Annu. Rev. Ecol. Syst. 2005. V. 36. P. 1–21.
4. Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Иудин Д.И. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатеральных симметричных организмов // Журн. общ. биологии. 2004. Т. 65. № 5. С. 433–441.
5. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г., Баранов А.С. и др. Здоровье среды: Практика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 318 с.
6. Гелашвили Д.Б., Якимов В.Н., Логинов В.В., Епланова Г.В. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящерицы *Erevis arguta* // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: сб. науч. тр. Тольятти. 2004. Вып. 7. С. 142–149.
7. Ambo-Rappe R., Lajus D.L., Schreider M.J. Translational fluctuating asymmetry and leaf dimension in seagrass, *Zostera capricorni* Aschers in a gradient of heavy metals // Environmental Bioindicators. 2007. V. 2. № 2. P. 99–116.
8. Гилева Э.А., Косарева Н.Л. Уменьшение флуктуирующей асимметрии у домашних мышей на территориях, загрязненных химическими и радиоактивными мутагенами // Экология. 1994. № 3. С. 94–97.
9. Ерофеева Е.А., Сухов В.С., Наумова М.М. Двухфазная зависимость некоторых эколого-морфологических и биохимических параметров листовой пластинки березы повислой от уровня автотранспортного загрязнения // Поволжский экологический журнал. 2009. № 4. С. 50–57.
10. Ерофеева Е.А. Стабильность развития листа *Pisum sativum* L. при действии формальдегида в широком диапазоне доз // Онтогенез. 2012. Т. 43. № 5. С. 320–324.
11. Вершинин В.Л., Гилева Э.А., Глотов Н.В. Флуктуирующая асимметрия мерных признаков у остромордой лягушки: методические аспекты // Экология. 2007. № 1. С. 75–77.

LEAD INFLUENCE ON LEAF FLUCTUATING ASYMMETRY OF *Pisum sativum* L.

Е.А. Ерофеева

An experimental study has been made of the lead influence on the third leaf developmental stability of *Pisum sativum* L. assessed by the changes in the directional asymmetry of its laminae caused by the fluctuating asymmetry. Lead in concentration of 10 MPC increased the third leaf developmental stability which was expressed in a reduction of the leaf fluctuating asymmetry.

Keywords: *Pisum sativum* L., leaf, lead, fluctuating asymmetry.

References

1. Zaharov V.M. Asimmetrija zivotnyh. M.: Nauka, 1987. 216 s.
2. Zaharov V.M., Zhdanova N.P., Kirik E.F., Shkil' F.N. Ontogenez i populjacija: ocenka sta-bil'nosti razviti-ja v prirodnyh populjacijah // Ontogenez. 2001. T. 32. № 6. S. 404–421.
3. Leamy L.J., Klingenberg C.P. The genetics and evolution of fluctuation asymmetry // Annu. Rev. Ecol. Syst. 2005. V. 36. P. 1–21.
4. Gelashvili D.B., Chuprunov E.V., Iudin D.I. Strukturnye i bioindikacionnye aspekty fluk-tuirujushhej asimmetrii bilateral'nyh simmetrichnyh organizmov // Zhurn. obshh. biologii. 2004. T. 65. № 5. S. 433–441.

5. Zaharov V.M., Chubinshvili A.T., Dmitriev S.G., Baranov A.S. i dr. Zdorov'e sredy: Praktika ocenki. M.: Centr jekologicheskoy politiki Rossii, 2000. 318 s.
6. Gelashvili D.B., Jakimov V.N., Loginov V.V., Eplanova G.V. Statisticheskij analiz fluktuirujushhej asimmetrii bilateral'nyh priznakov raznocvetnoj jashhericy Erevias arguta // Aktual'nye problemy gerpetologii i toksikologii: sb. nauch. tr. Tol'jatti. 2004. Vyp. 7. S. 142–149.
7. Ambo-Rappe R., Lajus D.L., Schreider M.J. Translational fluctuating asymmetry and leaf dimension in seagrass, *Zostera capricorni* Aschers in a gradient of heavy metals // Environmental Bioindicators. 2007. V. 2. № 2. P. 99–116.
8. Gileva Je.A., Kosareva N.L. Umen'shenie fluktuirujushhej asimmetrii u domovyh myshej na territorijah, zagrijaznennyh himicheskimi i radioaktivnymi mutagenami // Jekologija. 1994. № 3. S. 94–97.
9. Erofeeva E.A., Suhov V.S., Naumova M.M. Dvuhfaznaja zavisimost' nekotoryh jekologomorfologicheskix i biohimicheskix parametrov listovoj plastinki berezy povisloj ot urovnja avtotransportnogo zagrijaznenija // Povolzhskij jekologicheskij zhurnal. 2009. № 4. S. 50–57.
10. Erofeeva E.A. Stabil'nost' razvitija lista *Pisum sativum* L. pri dejstvii formal'degida v shirokom diapazone doz // Ontogenez. 2012. T. 43. № 5. S. 320–324.
11. Vershinin V.L., Gileva Je.A., Glotov N.V. Fluktuirujushhaja asimmetrija meryh priznakov u ostromorodoj ljagushki: metodicheskie aspekty // Jekologija. 2007. № 1. S. 75–77.