УДК 582.79:57.033

Соискатель **Е.Н. РАКУТЬКО**

(ИАЭП, elena.rakutko@mail.ru)

Доктор техн. наук **С.А. РАКУТЬКО**

(ФГБОУ ВО СПбГАУ, sergej1964@yandex.ru)

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ БИЛАТЕРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТЬЕВ СНЫТИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*AEGOPODIUM PODAGRARIA*) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ

Стабильность развития представляет собой набор механизмов, которые позволяют растению поддерживать свой фенотип как совокупность всех признаков и свойств, сформировавшихся на основе генотипа в процессе развития, несмотря на изменения условий окружающей среды или воздействия генетических отклонений. Соответственно, нестабильность развития отражает морфологические изменения, которые появляются как реакция на отклонения в процессе развития. Нестабильность развития является результатом случайных возмущающих клеточных процессов (шумов), вызванных определенными условиями окружающей среды. Такие процессы ведут к различиям гомологичных частей организма. Отклонения от симметричности признаков являются мерой нестабильности развития и ее фенотипическим результатом. Нестабильность развития на организменном и популяционном уровнях может быть оценена по величине параметра флуктуирующей асимметрии анализируемых билатеральных симметричных признаков организма [1].

Флуктуирующая асимметрия (ФА) представляет собой результат малых случайных отклонений от симметрии билатеральных симметричных признаков. При условии отсутствия направленной симметрии (один размер признака больше другого) или антисимметрии (бимодальное распределение) среднее значение разницы ($R - L$) между величинами левыми и правыми билатеральными симметричными признаками в некоторой популяции или группе организмов должно быть равно нулю и отклоняться от него по нормальному закону [2]. При этом левая и правая сторона всего организма или его отдельного органа должна быть копией всей структуры. Части организма должны иметь одинаковую генетическую основу и находиться в одинаковых условиях окружающей среды.

Важным вопросом для интенсивной светокультуры является влияние освещенности на стабильность развития растений. Известно, что различное воздействие солнечного света приводит к изменениям уровня ФА и продуктивности у вида миконии (*Miconia fallax*) [3]. Уровни ФА были значительно ниже в растениях, получающих солнечный свет в течение всего дня, а цветы выше (хотя статистически не значимо) по сравнению с другими группами растений, получающими меньше света.

Повышенная освещенность способствует и другим изменениям в растениях. Так, при больших расстояниях между деревьями, а значит и больших освещенностях, наблюдается улучшение ряда параметров у миконии (*Miconia argentea*), таких как площадь листа, масса семян, скорость роста и интенсивность фотосинтеза. У другого вида миконии (*Miconia fallax*), выращиваемого в затененном месте, появились более массивные плоды с более крупными семенами. Напротив, у растений на открытом месте было больше плодов, масса которых, как и масса семян, была меньше [4]. Эти результаты свидетельствуют о тесной взаимосвязи между количеством и размером семян, а также говорят о том, что в затенении микония производит семена лучшего качества. Это является реакцией приспособления на недостаток освещения.

Следовательно, недостаток света отрицательно сказывается на продуктивности растений и увеличивает уровень стресса.

В лаборатории энергоэкологии светокультуры ИАЭП разработана методика оценки стабильности развития растений в светокультуре по уровню флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков [5]. Полученная методика может быть использована как составная часть энергоэкоаудита светокультуры [6].

Цель исследования - выявление различий в уровне ФА размеров симметричных структур растений, сформировавшихся при различной освещенности.

Материалы, методы и объекты исследования. Объект исследования - листья сныти обыкновенной (*Aegopodium podagraria*), семейство Зонтичные (*Ariaceae*).

Предмет исследования - влияние уровня освещенности на показатель флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листьев сныти.

Сныть обыкновенная - мезофит. Растет на хорошо дренируемых и слабодренируемых (65 - 78 ступень увлажнения шкалы Раменского), достаточно рыхлых и плодородных почвах (10 - 19 ступень по богатству почв шкалы Раменского). Широко распространена на слабокислых почвах. Сныть предпочитает невысокую кислотность почв, с pH от 6,0 до 7,5, реакцию почвенного раствора от слабокислой до нейтральной, увлажнение слабодренированных равнин лесной зоны. Будучи лесным и опушечным видом, выдерживает затенение, однако лучше развивается в условиях хорошего освещения. Так, при сомкнутости крон 0,9 цветущие побеги составляют 20%. Сныть обыкновенная не выносит задернованности и сильного уплотнения почвы [7].

Биохимический состав данного вида уникальный. Исследованиями В.А. Агеева, М.А. Ханиной и др. установлено наличие гидроксикоричных кислот, кумаринов, флавоноидов. Все части растения являются источниками макро- и микроэлементов: калия, кальция, железа, меди, кобальта, марганца, бора, титана, селена. Этими авторами научно обоснована целесообразность использования сныти, содержащей комплекс биологически активных соединений, в качестве гепатопротекторного средства. Содержание полиацетиленовых соединений (фалькаринол, фалькариндиол) делает его перспективным в создании лекарств нового поколения против онкологических заболеваний.

Количество витамина С в 100 г листьев составляет 65-100 мг, а каротина до 8 мг % - видимо, поэтому листья сныти имеют запах моркови. В ее листьях содержится белок (более 20%) и относительно немного клетчатки. Содержание аскорбиновой кислоты обычно увеличивается к осени. Минеральный состав листьев сныти обыкновенной представлен рядом микро- и макроэлементов.

В липофильной фракции определено содержание хлорофилла - 1,6%, идентифицированы ненасыщенные и насыщенные жирные кислоты: пальмитиновая, стеариновая и др. В стеблях и листьях сныти присутствуют органические кислоты: яблочная и лимонная. В соцветиях установлено наличие углеводов, например, глюкозы, фруктозы, а также фенолкарбоновых кислот: хлорогеновой, кофейной; флавоноидов: кверцетина, кемпферола, дигликозидов кемпферола; холина. Содержание эфирного масла в надземной части растения составляет 0,14% [8].

В исследованиях Н.В. Шишкиной показано, что сныть является одним из резервов пищевого сырья. Для употребления в пищу можно использовать молодые листья и побеги. Листья собирают светло-зелеными и нераскрывшимися. Из них варят щи и готовят окрошку. Сныть - прекрасная приправа к мясным блюдам. Из нее делают салаты, добавляют в рыбные котлеты. Листья квасят, как капусту, а черешки можно мариновать. При этом имеется возможность больших объемов заготовки биомассы и не требуется затрат на выращивание сныти [9].

Сныть не имеет естественного периода покоя. Ее осенне-зимний перерыв вегетации - вынужденный. При благоприятных условиях она может перезимовывать с зелеными листьями, а в местах с теплыми бесснежными зимами растет круглый год. Плоды сныти созревают в июле-августе. Они продолговатые и длиной до 4 мм. Плоды сныти содержат эфирное масло в количестве 0,04% и другие вещества. Растение дает самосев. Семена сныти прорастают в мае.

Образцы растений собирали 29.06.2017 г. на окраине Александровского парка (г. Пушкин), в пределах площади 200 кв.м вокруг точки с координатами 59°43'30" с.ш. и 30°22'40" в.д. Собирали корневые листья растений в тени, под пологом деревьев и на открытой поляне (рис. 1). Освещенность, измеренная люксметром ТКА-ЛЮКС, составляла около 2 кЛк в тени и около 25 кЛк на открытом месте.

Статистическому анализу были подвергнуты три билатеральных признака (рис. 2): I - площадь первого и седьмого листочков; II - площадь второго и шестого листочков и III - площадь третьего и пятого листочков.

Рис. 1. Заросли сныти

Рис. 2. Номера листочков и билатеральные признаки

Площадь определяли путем цифрового фотографирования листьев, предварительно разделенных на отдельные листочки. Данные обрабатывали методами математической статистики ($p < 0,05$) с использованием пакетов программ *Excel2003* и *Statistica 6.0*.

Значение показателя ФА для отдельных билатеральных признаков вычисляли по формуле:

$$\Phi A = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{|D_{Lj} - D_{Rj}|}{D'_{Lj} + D'_{Rj}},$$

где j - номер растения;

N - количество измерений.

Статистическая обработка результатов оценки ФА включала проверку данных на нормальность распределения величины разницы между билатеральными признаками; на присутствие направленной асимметрии и антисимметрии; на зависимость величины асимметрии признака от его размера; сравнение уровня ФА у растений, росших при различной освещенности, - на открытом солнце и в тени деревьев.

Результаты исследования.

В табл. 1 показаны статистические показатели площади листочков сныти, росших на открытом солнце Бс и в тени Бт.

Влияние условий освещения по-разному сказывается на площади листочков. Для листочков 1 и 7 (образующих I билатеральный признак) превышение их площади у растений, растущих на солнце, над площадью листочков растений, растущих в тени, составляет 21-22%. Для листочков 2 и 6 (II билатеральный признак) это превышение составляет 38-40%, а для листочков 3 и 5 (III билатеральный признак) - 24-26%. В целом площадь листа растения, растущего на солнце, на 30% больше площади листа растения, растущего в тени.

Статистический анализ закона распределения значений асимметрии билатеральных признаков, выполненный с использованием критериев согласия Колмогорова-Смирнова, Шапиро-Уилка и Лиллиефорса, показал, что характер распределения полученных выборок (кроме первого признака для условий тени) отличается от нормального. Для единства подхода использованы непараметрические методы статистического анализа.

Таблица 1. Статистические показатели площади листочков

Признак	Листочек	Площадь листочков, см ²				S c ^
		в тени St		на солнце Sc		
		Среднее значение	Ср. кв. отклонение	Среднее значение	Ср. кв. отклонение	
I	1	9,49	3,15	11,44	4,58	1,21
	7	9,16	3,01	11,13	4,31	1,22
II	2	15,09	4,63	20,80	7,42	1,38
	6	14,85	4,64	20,75	7,14	1,40
III	3	10,79	3,60	13,38	5,37	1,24
	5	10,57	3,49	13,32	5,07	1,26
-	4	11,91	4,05	15,86	5,83	1,33
-	E	81,85	25,47	106,69	37,91	1,30

На рис. 3 показаны значения суммарной площади листочков, соответствующих принятым билатеральным признакам для растений, сформировавшихся при различной освещенности. Наибольшая суммарная площадь наблюдалась у листочков II признака (29,93 см² и 41,55 см² соответственно в тени и на солнце). Наименьшая суммарная площадь наблюдалась у листочков I признака (18,65 см² и 22,58 см²). У листочков III признака эти площади равны соответственно 21,36 см² и 26,70 см².

Рис. 3. Суммарные площади листочков, соответствующих принятым признакам

Рис. 4. Значения ФА, вычисленные по принятым признакам

На рис. 4 показаны зависимость показателя ФА по соответствующим признакам для различных условий освещенности.

Наибольший диапазон изменения величины ФА для различных условий освещенности наблюдается у признака III (от 0,0308 до 0,0426 отн.ед.).

Таким образом, именно этот признак (асимметрия листочков, ближайших к верхушечному) целесообразно принять в качестве показателя стабильности развития растения сняты в условиях различной освещенности.

Выводы.

1. Выявлено наличие существенной асимметрии билатеральных структур листьев растений сняты, произрастающих при различном уровне освещения.

2. Доказана ненаправленность асимметрии билатеральных признаков и отсутствие у них антисимметрии, что позволило классифицировать наблюдаемую асимметрию как флуктуирующую.

3. Значение показателя ФА зависит как от выбранного признака, так и от уровня освещенности. Наибольшие изменения показателя ФА в зависимости от условий освещения выявлены у листочков, ближайших к верхушечному.

Литература

1. **Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E.** Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. - Symmetry, 2010. - S. 466-540.
2. **Palmer A.R., Strobeck C.** Fluctuating asymmetry analysis revisited. M. Polak, (Ed.) Developmental Instability: Causes and Consequences. Oxford; Oxford University Press, 2003. - p. 279-319.
3. **Silva H.V., Alves-Silva E., Santos J.C.** On the relationship between fluctuating asymmetry, sunlight exposure, leaf damage and flower set in *Miconia fallax* (Melastomataceae) // *Tropical Ecology*. -2016. - 57(3). - p. 419-427.
4. **Lomonaco C., Reis N.S.** Produ^{ção} de frutos e sementes em *Miconia fallax* DC. (Melastomataceae) e *Matayba guianensis* Aubl. (Sapindaceae) em duas áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro. *Revista de Biologia Neotropical*. -2007. - 4. - p. 13-20.
5. **Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Капошко Д.А., Васькин А.Н., Транчук А.С.** Influence of light quality on fluctuating asymmetry of bilateral traits of forced parsley leaves // Engineering for Rural Development Latvia University of Agriculture, Latvia Academy of Agricultural and Forest Sciences, Section of Engineering: сб. Научн. статей. - 2017. - С. 42-47.
6. **Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Капошко Д.А., Васькин А.Н.** Monitoring technique of energy and ecological efficiency of indoor plant lighting // 15-th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development - Proceedings, Jelgava, 2016. - С. 95-101.
7. **Невидомова Е.В., Невидомов А.М., Полшкова И.А.** Экология сныти обыкновенной (*Aegopodium Podagraria* L.) в сосняках памятника природы «Дмитриевское» Краснобаковского района Нижегородской области // Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине: сб. научн. статей. - 2016. - С. 127-130.
8. **Горовой П.Г.** Зонтичные Приморья и Приамурья. Систематический обзор, географическое распространение, качественный химический состав. - М.; Л.: Наука, 1966. - 293 с.
9. **Шишкина Н. В.** Пищевая ценность сныти обыкновенной *Aegopodium podagraria* L. (Apiaceae) и ее использование в технологии продуктов функционального назначения: автореф. дис ... канд. биол. наук. - М., 2010. - 20 с.

Literatura

1. **Graham, J.H., Raz, S., Hel-Or, H., and E. Nevo.** 2010. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. Symmetry, 2010. - S. 466-540.
2. **Palmer, A. R., and C. Strobeck.** Fluctuating asymmetry analysis revisited, in: M. Polak, (Ed.) Developmental Instability: Causes and Consequences, Oxford University Press, Oxford, pp. 279-319.
3. **Silva, H.V., Alves-Silva, E., and J.C. Santos.** 2016. On the relationship between fluctuating asymmetry, sunlight exposure, leaf damage and flower set in *Miconia fallax* (Melastomataceae). *Tropical Ecology* 57(3): 419-427.
4. **Lomonaco, C., and N.S. Reis.** 2007. Produ^{ção} de frutos e sementes em *Miconia fallax* DC. (Melastomataceae) e *Matayba guianensis* Aubl. (Sapindaceae) em duas áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro. *Revista de Biologia Neotropical* 4: 13-20.
5. **Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N., Kaposhko D.A., Vas'kin A.N., Tranchuk A.S.** Influence of light quality on fluctuating asymmetry of bilateral traits of forced parsley leaves / V sb.: Engineering for Rural Development Latvia University of Agriculture, Latvia Academy of Agricultural and Forest Sciences, Section of Engineering. 2017. S. 42-47.
6. **Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N., Kaposhko D.A., Vas'kin A.N.** Monitoring technique of energy and ecological efficiency of indoor plant lighting // 15-th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development - Proceedings, Jelgava, 2016.- S. 95-101.
7. **Nevidomova E.V., Nevidomov A.M., Polshkova I.A.** Jekologija snyti obyknovennoj (*Aegopodium Podagraria* L.) v sosnjakah pamjatnika prirody «Dmitrievskoe» Krasnobakovskogo rajona Nizhegorodskoj oblasti // V sb.: Biologicheskie osobennosti lekarstvennyh i aromaticeskikh rastenij i ih rol' v medicine: sb, nauch. Statey. 2016. S. 127-130.
8. **Gorovoj P. G.** Zontichnye Primor'ja i Priamur'ja. Sistematicheskij obzor, geograficheskoe rasprostranenie, kachestvennyj himicheskij sostav.— М.; Л.: Nauka, 1966. — 293s.

9. **Shishkina N.V.** Pishhevaja cennost' snyti obyknovennoj Aegopodium podagraria L. (Apiaceae) i ee ispol'zovanie v tehnologii produktov funkcional'nogo naznachenija: avtoref. dis ... kand. nauk. - M., 2010. - 20 s.

УДК 331.58(470.23)

Доктор с.-х. наук **А.А. КОМАРОВ**
(ФГБНУ АФИ, Zelenydar@mail.ru)
Науч. сотрудник **А.А. КОМАРОВ**
(ФГБНУ ЛенНИИСХ, Kommon88@mail.ru)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТРАВСТОЯ С ПОМОЩЬЮ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI

При оценке состояния растительного покрова все шире используются данные космических снимков. В настоящее время, используя данные дистанционного зондирования (ДДЗ), получают сведения о состоянии наземных объектов, при этом возможен непрерывный сбор информации для каждой конкретной территории. Наиболее широко известны применяемые для ДДЗ «такие спутниковые системы, как MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov>) и Landsat (<http://landsat.gsfc.nasa.gov>)» [1]. Эти системы поставляют данные как о состоянии атмосферы, так и земной поверхности.

Среди многочисленных анализируемых параметров, которые могут оценивать особенности изменений на обширных площадях поверхности земли, есть вегетационные индексы. Среди самых распространенных и применяемых индексов, использующих количественные оценки растительного покрова, является вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Это специфический индекс растительности, который в определенной мере отображает количественный показатель фотосинтетически активной биомассы. Показатели индекса меняются в зависимости от плотности (сомкнутости) растительного полога и насыщенности растений хлорофиллом [2]. То есть, чем больше в растении накоплено хлорофилла и плотнее биомасса, тем более насыщенный зеленый цвет отображает растительный покров, который фиксируется с помощью ДДЗ. Когда растительного покрова на поверхности земли нет (например, зимой, в пустыне и на других, лишенных растительного покрова территориях), значения индекса NDVI минимальны. Показатель индекса возрастает с началом вегетации растений, а летом отмечается как максимальный. Кроме того, вегетационный индекс отличается особой периодичностью, однако цикл этой периодичности и максимум нарастания индекса до сих пор однозначно не оценен для конкретных территорий. Для растений, различающихся архитектурой, обилием биомассы, интенсивностью накопления хлорофилла, вегетационный индекс различен [1, 2]. Отсутствие конкретных идентификационных признаков затрудняет выделение по NDVI-индексам культуры, сорняки, сорта, обеспеченность растений элементами питания и другие необходимые для сельскохозяйственного производства параметры. Поэтому идентификация ДДЗ по NDVI индексам вегетации для конкретных растений (культур) в динамике и с учетом неоднородности агроландшафта и поля является весьма актуальной проблемой.

Цель исследования - произвести оценку состояния растительного покрова (многолетнего травостоя) с помощью космических снимков с использованием вегетационного индекса NDVI.

Материалы, методы и объекты исследования. Оценка состояния растительного покрова проводилась на производственных полях ЗАО «Осьминское» Сланцевского района Ленинградской области. Территория полигона площадью 25 га расположена на равнинной