



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ГРАНИЦ ФЛОРАЛЬНОЙ ЕДИНИЦЫ НА РАСТЕНИИ

Виктория Е. Харченко* и Наталья А. Черская

Аннотация. На основании использования биометрического анализа линейных размеров листьев, прилистников, прицветников и прицветничков у представителей семейств Brassicaceae (*Arabidopsis thaliana*, *Matthiola longipetala*, *Lobularia maritima*), Lamiaceae (*Lamium purpureum*, *Salvia tesquicola*), Boraginaceae (*Cynoglossum officinale*, *Echium vulgare*, *Nonea pulla*) установлено, что линейные размеры листка и прицветников изменяются по сходной закономерности, которая отличается от закономерности изменения размеров прилистников и прицветничков. В связи с этим, биометрический анализ линейных размеров листьев на побеге может использоваться как дополнительный критерий для установления границ и состава флоральных единиц, а так же для гомологизации элементов побега.

Ключевые слова: флоральная единица, прицветник, прицветничек

Луганский национальный аграрный университет, Городок ЛНАУ, Луганск, 91008, Украина; * viktoriaharchenko@rambler.ru

Современный морфологический анализ растений предполагает синтез морфологии, физиологии, генетики и филогении (Славен-Воскнофф 2001). Морфологическое исследование считается результативным в том случае, если удалось гомологизировать составляющие элементы изучаемого объекта (Тимонин 2003). В связи с этим, точность морфологической характеристики объекта исследования имеет принципиальное значение, поэтому использование математических методов и формализация морфологического описания растений приобретает всё большую актуальность. В связи с тем, что растение представляет собой динамическую структуру, которая варьирует под влиянием факторов внутреннего и внешнего происхождения, в частности, при переходе к цветению целесообразно проводить его поэтапный морфологический анализ с выделением на нём морфологических блоков.

При переходе к цветению происходит субституция элементов побега (Вентман & Ноокер 1918). В это время на растении формируется флоральная единица, основные принципы выделения которой были сформулированы в ряде работ (Maresquelle & Sell 1964; Maresquelle 1971; Sell 1976, 1980; Кузнецова и др. 1992). Под флоральной единицей следует понимать упорядоченное расположение элементов побега, которое формируется при переходе к цветению, в зависимости от взаимодействия генотипа, а также с условиями среды, и которое может варьировать (один

цветок / множество цветков).

Ранее нами было установлено, что при переходе к цветению листья замещаются прицветниками, а прилистники прицветничками (Харченко и др. 2011). Так как прицветники гомологичны листьям, а прицветнички – прилистникам (Харченко и др. 2011). Формирование листьев и прицветников на побеге подчиняется сходным математическим закономерностям, которые отличаются от закономерностей формирования прилистников и прицветничков.

У Brassicaceae, чаще всего, формируются безлистные флоральные единицы, но у *Arabidopsis thaliana* (L.) Hupf. под влиянием мутационной изменчивости наблюдается формирование прицветников (мутация гена BRACTEA) и прицветничков (мутация гена PUSCHI) (Ежова 2001; Пенин 2003-2007; Вертонг 2009; Карим et al. 2009). Это свидетельствует о том, что формирование прицветников и прицветничков регулируется действием разных генов, поэтому оно может происходить согласовано и (или) автономно. Закономерности формирования прицветников и прицветничков могут быть специфичны для различных таксонов. В связи с этим, наши исследования были направлены на установление математических закономерностей изменения линейных размеров листьев на побегах до и после перехода к цветению, с целью установления границ и состава флоральных единиц у представителей семейств: Brassicaceae, Lamiaceae и Boraginaceae, распространённых на территории юго-востока Украины, путём филогенетических сопоставлений элементов

побега и их биометрического анализа.

В ходе исследований проанализировано расположение цветков у некоторых представителей семейств: Brassicaceae (*Arabidopsis thaliana*, *Matthiola longipetala* (Vent.) DC., *Lobularia maritima* (L.) Desv.); Lamiaceae (*Lamium purpureum* L., *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed.); Boraginaceae (*Cynoglossum officinale* L., *Nonoa pulla* L., *Echium vulgare* L.) на основании поэтапного выделения, на растении соподчинённых морфологических блоков (главный побег, боковые побеги, флоральная единица (соцветие), боковые флоральные единицы (соцветие, цветок). Все растения собраны на территории юго-востока Украины. Для филогенетических сопоставлений была использована система APG III (CHASE & REVEAL 2009).

Варьирование линейных размеров листьев на побегах анализировали методом скользящей средней ARIMA (аббревиатура от англ., Auto Regressive Integrated Moving Average) (Боровиков и Ивченко 2000). Данный метод применяется для характеристики тенденции развития исследуемой статистической совокупности. Посредством аналитического выравнивания тенденции ряда, динамику представляют в виде параболической функции скользящей средней, которая выражает изменения линейных размеров листьев при переходе побега к цветению.

У *Arabidopsis thaliana* формируются безлистные флоральные единицы.

У *Lobularia maritima* линейные размеры листьев и прицветников изменяется по сходным закономерностям в соответствии с полиномом третьей степени:

$$\text{по длине: } y = -0,0185x^3 - 0,377x^2 + 0,7844x + 29,667, \\ R^2 = 0,9694;$$

$$\text{по ширине: } y = -0,0278x^3 + 0,131x^2 - 0,127x + 4, \\ R^2 = 0,9796.$$

Это свидетельствует в пользу гомологичных листьев и прицветников у *L. maritima*.

У *Matthiola longipetala* в составе флоральных единиц линейные размеры листьев сходны с линейными размерами прилистников, длина которых константна, а ширина, изменяется в соответствии с полиномом четвёртой степени:

$$y = 7E - 05x^4 - 0,002x^3 + 0,016x^2 - 0,047x + 0,337, \\ R^2 = 0,890.$$

Это свидетельствует в пользу гомологичных

прилистников и прицветничков у *M. longipetala*.

У представителей Lamiaceae формируются составные соцветия.

У *Lamium purpureum* на главной оси соцветия листья формируются в соответствии с полиномом третьей степени:

$$y = -0,8091x^3 + 21,632x^2 - 197,74x + 631,03, \\ R^2 = 1$$

Листья пересекаются в точке, соответствующей границе флоральной единицы (пятому междоузлию). В составе боковых флоральных единиц, у основания цветков формируются прицветнички, линейные размеры которых константны.

У *Salvia tesquicola* на главной оси соцветия листья формируются в соответствии с полиномом третьей степени:

$$\text{по длине: } y = -0,0254x^3 + 1,4161x^2 - 25,817x + 157,53,$$

$$R^2 = 0,98;$$

$$\text{по ширине: } y = 0,175x^3 - 2,525x^2 + 12x + 0,22,$$

$$R^2 = 0,98.$$

У *S. tesquicola* листья также пересекаются в точке, соответствующей границе флоральной единицы (пятому междоузлию). В составе боковых флоральных единиц, у основания цветков формируются прицветнички, линейные размеры которых также константны.

Таким образом, листья за пределами флоральной единицы и на главной оси соцветия у двух представителей Lamiaceae (*L. purpureum* и *S. tesquicola*), формируются по сходным закономерностям, а на боковых осях соцветия развиваются прицветнички, размеры которых константны.

У представителей семейства Boraginaceae формируются составные соцветия.

У *Cynoglossum officinale* на главной оси соцветия листья формируются в соответствии с полиномом третьей степени:

$$\text{по длине: } y = -1,620x^3 + 10,92x^2 + 3,545x + 23,33, \\ R^2 = 0,991;$$

$$\text{по ширине: } y = 0,083x^3 - 2,928x^2 + 16,84x + 1, \\ R^2 = 0,845.$$

А на боковых осях соцветий:

$$\text{по длине: } y = 0,333x^3 - 8,785x^2 + 64,31x - 74,77, \\ R^2 = 0,970;$$

$$\text{по ширине: } y = -0,166x^3 + 5,071x^2 - 51,61x + 179,9, \\ R^2 = 0,990.$$

У *Echium vulgare* на главной оси соцветия листья также формируются в соответствии с полиномом третьей степени:

по длине: $y = 2,25x^3 - 32,70x^2 + 135,3x - 72,71$,
 $R^2 = 0,961$;

по ширине $y = 0,083x^3 - 1,785x^2 + 5,631x + 54,3$,
 $R^2 = 0,978$.

А на боковых осях соцветий:

по длине: $y = 0,055x^3 - 0,916x^2 + 4,313x + 3,857$,
 $R^2 = 0,744$;

по ширине $y = 1,16x^3 - 5x^2 + 48,83x - 151$,
 $R^2 = 1$.

Подобным образом, и у *Nonea pulla* на главной оси соцветия листья формируются в соответствии с полиномом третьей степени:

по длине: $y = 0,416x^3 - 5,75x^2 + 29,04x - 21,57$,
 $R^2 = 0,892$;

по ширине: $y = 0,138x^3 - 1,619x^2 + 7,170x - 5,285$,
 $R^2 = 0,954$.

А на боковых осях соцветий:

по длине: $y = 0,333x^3 - 8,785x^2 + 64,31x - 74,77$,
 $R^2 = 0,970$;

по ширине: $y = -0,166x^3 + 5,071x^2 - 51,61x + 179,9$,
 $R^2 = 0,990$.

Таким образом, листья за пределами флоральной единицы и в её составе (на главной и боковых осях соцветия) у представителей семейств Boraginaceae (*C. officinale*, *E. vulgare*, *L. squamosa* и *N. pulla*) формируются по сходным закономерностям. Это свидетельствует о том, что на главной и боковых осях соцветия формируются прицветники, которые гомологичны листьям.

На основании проведённых исследований динамики изменения линейных размеров листьев на побегах представителей семейств Brassicaceae, Lamiaceae, Boraginaceae до и после перехода к цветению, установлено, что, биометрический анализ может быть использован для уточнения границы и состава флоральных единиц на побеге, а так же, как дополнительный критерий при гомологизации элементов побега. В частности, у соцветий Lamiaceae (*Lamium purpureum*, *Salvia tesquicola*), на главной оси соцветия формируются прицветники гомологичны листьям, а на боковых осях соцветия прицветнички, которые гомологичны прилистникам. В составе соцветий Boraginaceae (*Cynoglossum officinale*, *Echium vulgare*, *Lappula squamosa*, *Nonea pulla*) на главной оси и на боковых осях соцветия формируются прицветники гомологичны листьям.

Цитируемые источники

- Боровиков В.П. и Ивченко Г.И. 2000. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Финансы и статистика, Москва.
- Ежова Т.А. и Пенин А.А. 2001. Новый ген BRCTEA (BRA) – *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., отвечающий за формирование открытого абрактеозного соцветия. *Генетика* 37 (7): 935–938.
- Кузнецова Т.В., Пряхина Н.И., Яковлев Г.П. 1992. Соцветия. Морфологическая классификация. Химико-фармацевтический институт, Санкт-Петербург.
- Пенин А.А., Чуб В.В., Ежова Т.А. 2002. Терминальный цветок: принципы формирования. *Труды II Международной конференции по анатомии и морфологии растений*: 132–133. Изд-во. БИН РАН, Москва.
- Пенин А.А. 2003а. Анализ генетического контроля и моделирование развития структуры соцветия у *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Автореф. дис. канд. биол. наук. Москва.
- Пенин А.А. 2003б. Анализ генетического контроля и моделирование развития структуры соцветия у *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Дис. канд. биол. наук. ИОГен РАН, Москва.
- Пенин А.А., Чуб В.В., Ежова Т.А. 2005. Правила формирования терминального цветка. *Биология развития растений. Онтогенез* 36 (2): 90–95.
- Пенин А.А., Будаев Р.А., Ежова Т.А. 2007. Взаимодействие гена BRCTEA с генами TERMINAL FLOWER1, LEAFY и APETALA1 при формировании соцветия и цветка у *Arabidopsis thaliana*. *Генетика* 43 (3): 370–376.
- Тимонин А.К. 2001. Роль морфологии в ботанике. Гомологии в ботанике: опыт и рефлексия: 10–18. Санкт-Петербургский союз ученых, Санкт-Петербург.
- Харченко В. Е., Березенко Е.С., Черская Н.А. 2011. Генезис прицветников у *Matthiola longipetala* (Vent.) DC. и *Lobularia maritime* (L.) Devs.(Brassicaceae). *36. науч. праць Луганського НАУ* 28: 69–77.
- BENTMAN G. & HOOKER J.D. 1918. The flowering plants and ferns. L. Reeve and Co. LTD, London.
- BERTONI G. 2009. PUCHI and Floral Meristem Identity. *The Plant Cell* 21 (5): 1327.
- CHASE M.W. & REVEAL J.L. 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. *Bot. J. Linn. Soc.* 161 (2): 122–127.
- CLABEN–BOCKHOFF R. 2001. Plant Morphology: The Historic Concepts of Wilhelm Troll, Walter Zimmermann and Agnes Arber. *Amer. J. Bot.* 88: 1153–1172.
- KARIM M.R., HIROTA A., KWIATKOWSKA D., TAsAKA M., AIDA M. 2009. A Role for Arabidopsis PUCHI in Floral Meristem Identity and Bract Suppression. *The Plant Cell* 21: 1360–1372.
- MARESQUELLE H.–J. & SELL Y. 1965. Les problemes physiologiques de la floraison descendante. *Bull. de la Societe franais de la physiologie vegetale* 11 (1): 94–98.
- MARESQUELLE H.–J. 1971. Evolutionstendenzen bei komplexen Infloreszenz systemen. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 84 (3–4): 187–188.
- SELL Y. 1976. Tendances evolutivee parmi les complexes inflorosooutiels. *Rev. gen. bot.* 83: 247–267.
- SELL Y. 1980. Physiological and phylogenetical significance of the direction of flowering in inflorescence complexes. *Ibid.* 169: 280–284.

AN USING OF BIOMETRIC METHODS
FOR THE DELINEATION OF FLORAL UNITS ON THE PLANT

VIKTORIA E. KHARCHENKO * & NATALYA A. CHERSKIAYA

Abstract. On the base of the using of biometric analysis of linear dimensions of the leaves, stipules, bracts and bracteoles in the Brassicaceae (*Arabidopsis thaliana*, *Matthiola longipetala*, *Lobularia maritime*), Lamiaceae (*Lamium purpureum*, *Salvia tesquicola*) and Boraginaceae (*Cynoglossum officinale*, *Echium vulgare*, *Nonea pulla*), it has found that the linear dimensions of the leaves and bracts are changed in a similar pattern, which is different from the pattern of change of the stipules and bracteole. In this regard, the biometric analysis of the linear dimensions of the leaves on the shoot can be used as an additional criterion for establishing of the boundaries and composition of floral pieces, as well as for the homologation of shoot elements.

Key words: floral unit, bract, bracteola

Lugansk National Agrarian University, LNAU town, Lugansk, 91008, Ukraine; * viktoriaharchenko@rambler.ru