

Влияние размера растений на характеристики фитоцитов коротких клеток эпидермы листьев *Dactylis glomerata* L.

The effect of plant size on the phytoliths characteristics of short cells in the leaf epidermis of *Dactylis glomerata* L.

Соломонова М. Ю., Жембровская Т. А., Лященко А. Д., Котов С. Д.

Solomonova M. Yu., Zhembrovskaya T. A., Lyashchenko A. D., Kotov S. D.

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия. E-mail: solomonova@edu.asu.ru
Altai State University, Barnaul, Russia

Реферат. Представленное исследование посвящено изучению влияния размера органов растений на размеры фитоцитов. Параметры размера фитоцитов используются для идентификации культурных видов злаков в археологических объектах. Понимание того, насколько эти характеристики переменны, необходимо при подобных исследованиях. Изучение изменчивости морфометрических параметров фитоцитов увеличит возможности их использования в систематике растений. В статье приводится корреляционный анализ между средними значениями морфометрических характеристик фитоцитов и размерами органов растений *Dactylis glomerata* из шести различных местообитаний. Изучены образцы ежи сборной из лесных, луговых и антропогенно нарушенных растительных сообществ в горной и равнинной части юга Западной Сибири. Экстракция фитоцитов проведена с помощью сухого озоления. Измерение выполнено с помощью программного обеспечения ImageJ. Статистическая обработка результатов была проведена в программе Past 4.03. Выявлено влияние длины листа на средние значения параметров ширины, эквивалентного диаметра и вписанного радиуса фитоцитов коротких клеток эпидермы листовых пластинок. С увеличением размера листовой пластинки увеличиваются ширина фитоцита и связанные с ней параметры. Длина фитоцитов, их площади, периметр, площадь и периметр описанных фигур слабо зависят от размеров вегетативных органов растений.

Ключевые слова. Короткие клетки, морфометрия, фитоциты, crenate, *Dactylis glomerata*.

Summary. The present study is devoted to the revision of the influence of plant organs size on the size of phytoliths. Phytolith size parameters are used to identify cultivated grasses species in archaeological sites. Understanding how these characteristics are variable is necessary in such studies. The study of the variability of the phytoliths morphometric parameters will increase the possibilities of their use in plant systematics. The article presents a correlation analysis between the average values of the morphometric characteristics of *Dactylis glomerata* phytoliths from six different habitats with leaf sizes and generative shoots. The cock's-foot specimens from forest, meadow and anthropogenically disturbed plant communities in the mountainous and plain parts of the south of Western Siberia were studied. Extraction of phytoliths was carried out using dry ashing. The measurement was made using the ImageJ software. Past 4.03 programs was used for statistical processing. The influence of the leaf length on the average values of the parameters of width, equivalent diameter, and inscribed radius of phytoliths of short epidermal cells of leaf was revealed. With an increase in the size of the leaf, the width of the phytolith and the parameters associated with it increase. The length of phytoliths, their area, perimeter, area and perimeter of the described figures weakly depend on the size of the vegetative organs of plants.

Key words. Crenate, *Dactylis glomerata*, morphometry, phytoliths, short cells.

Введение. В процессе жизнедеятельности растения активно накапливают кремний в своих тканях (Пер, 1979). Существует ряд таксонов, в которых окремнение тканей выражено наиболее интенсивно, одни из них представители Poaceae (Katz, 2015). В настоящее время разрабатываются маркеры фитоцитов (в том числе морфометрические), которые возможно бы было применять в таксономических целях (Rudall et al., 2014; Fernandez et al., 2015; Hořkova et al., 2022). Поэтому становится актуальным изучение пределов изменчивости морфометрических характеристик фитоцитов и факторов, влияющих на них. Целью представленного исследования является оценка влияния размера растений на характеристики фитоцитов коротких клеток эпидермы листьев *Dactylis glomerata* L.

Dactylis glomerata – это космополитный вид, широко распространённый на территории Северного полушария в различных экосистемах (на суходольных, низинных и краткочеремных лугах, в хвой-

ных и лиственных лесах, в кустарниковых зарослях, на антропогенно нарушенных местообитаниях) (Горчакова, Лиференко, 2009; Красноперова, Веселкова, 2011; Арепьева, 2018). Это позволяет изучить объект в широком диапазоне экологических условий. Ряд авторов отмечают изменчивость размеров вегетативных органов ежи сборной в зависимости от условий произрастания (в том числе по воздействию антропогенного фактора), настолько сильное, что возможно выделение нескольких морфотипов (Лайдинен и др., 2006; Веселкова, Красноперова, 2007; Горчакова, Лиференко, 2009; Веселкова, 2011, 2012; Загайнова и др., 2013). Основным морфотипом фитолитов листьев ежи сборной являются полилопастные трапеции (по: ICPN 1.0, Madella et al., 2005), или «srenate» (по: ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Материалы и методы. Гербарный материал был собран в шести популяциях на территории Алтайского края и Республики Алтай: горный гигрофильный луг (точка 1), горный суходольный луг (точка 2), лиственный лес (точка 3), крапивно-полынная залежь (точка 4), придорожное растительное сообщество (точка 5), пихтовый лес (точка 6). Из каждой популяции было собрано по 5 экземпляров растений, для них была измерена высота генеративного побега и прикорневых листьев. Так как сбор материала происходил в конце вегетативного периода, часть листьев была в засохшем состоянии, поэтому для сопоставления выбран параметр длины наибольшего листа.

Обработка растительного материала производилась методом сухого озоления в муфельной печи при 400 С°. Полученные образцы были изучены и сфотографированы с помощью светового микроскопа Olympus BX-51, камеры Olympus XC-50 и программы CellSensStandart. Для проведения морфометрических исследований фотографии выполнялись в проекции сверху. Морфометрические исследования выполнены с помощью программы ImageJ и плагина «PhytolithsBatch». Из каждого образца было изучено по 50 полилопастных трапециевидных частиц (основного морфотипа исследуемого вида).

Для полилопастных трапеций были измерены следующие параметры: площадь, описанная площадь (площадь описанной вокруг фитолита фигуры), периметр, описанный периметр (длина описанной вокруг фитолита фигуры), длина, ширина, длина средней линии, эквивалентный диаметр (диаметр круга той же площади, что и фитолит), вписанный радиус.

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью программного обеспечения Past 4.03. Для каждого образца было рассчитано среднее значение. Проведен корреляционный анализ между средними значениями морфометрических параметров фитолитов и характеристиками размера растений. Был проведен анализ коэффициента корреляции (r) с учетом уровня значимости ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 приведены характеристики размеров генеративных и вегетативных органов экземпляров *D. glomerata*. Наибольшей высотой генеративного побега обладают экземпляры из лесных фитоценозов, а наименьшей из крапивно-полынной залежи и некоторые экземпляры из придорожного растительного сообщества (последлесной луг). Наибольшей длиной прикорневых листьев обладают экземпляры ежи сборной из крапивно-полынной залежи, а наименьшей – из придорожного растительного сообщества. Наибольшей длиной обладают фитолиты *D. glomerata* из лиственного леса, а наименьшей – из придорожного растительного сообщества.

Таблица 1

Характеристики размера экземпляров *Dactylis glomerata* и примеры морфометрических параметров

Номера точек сбора и образцов	Высота генеративного побега, см	Наибольшая длина прикорневых листьев, см	Средняя длина фитолита, мкм	Средняя ширина фитолита, мкм
1.1	130	55	46,674	10,897
1.2	120	67	48,389	11,072
1.3	140	76	42,293	12,295
1.4	122	83	44,433	11,832
1.5	135	68	41,931	12,346
2.1	145	67	40,045	11,869
2.2	140	85	43,715	12,377
2.3	120	54	49,766	12,901
2.4	130	67	43,120	12,122

Продолжение табл. 1

Номера точек сбора и образцов	Высота генеративного побега, см	Наибольшая длина прикорневых листьев, см	Средняя длина фитолита, мкм	Средняя ширина фитолита, мкм
2.5	135	55	35,562	11,866
3.1	105	75	49,600	11,355
3.2	120	65	51,718	11,018
3.3	110	54	63,061	11,472
3.4	135	58	62,506	12,075
3.5	115	68	59,988	12,361
4.1	78	86	44,224	11,731
4.2	89	31	39,205	9,653
4.3	93	83	45,110	11,744
4.4	98	67	44,715	12,063
4.5	94	90	47,121	11,916
5.1	130	58	40,351	11,119
5.2	122	40	36,686	11,160
5.3	131	55	35,327	11,191
5.4	87	45	38,923	11,465
5.5	76	42	36,668	10,198
6.1	130	83	43,605	11,729
6.2	125	56	49,142	10,565
6.3	122	85	50,943	9,929
6.4	126	49	49,273	10,333
6.5	140	56	52,386	10,005

Анализ данных показал отсутствие значимой корреляции между размером фитоцитов и высотой генеративного побега (табл. 2). Три морфометрических параметра фитоцитов коррелируют с величиной наибольшей длины листа: ширина, эквивалентный диаметр и вписанный радиус. Коэффициент корреляции во всех трех случаях положителен, т. е. с увеличением размеров листьев увеличивается ширина фитоцитов. Значение эквивалентного диаметра будет зависеть как от параметров длины, так и параметров ширины фитоцита, а показатель вписанного радиуса зависит только от ширины фитоцита. Таким образом, увеличение длины листьев в частности и всего размера листовой пластинки в целом будет оказывать влияние на ширину фитоцитов и связанные с ней параметры.

Таблица 2

Корреляция морфометрических параметров фитоцитов *Dactylis glomerata* с размером растений (r – коэффициент корреляции, ρ – уровень значимости)

	Высота генеративного побега		Наибольшая длина листа	
	r	ρ	R	ρ
Площадь	0,08	0,69	0,34	0,07
Описанная площадь	0,13	0,5	0,27	0,14
Периметр	0,11	0,54	0,17	0,38
Описанный периметр	0,09	0,65	0,19	0,31
Длина	0,08	0,66	0,17	0,37
Длина средней линии	0,09	0,65	0,15	0,42
Ширина	0,19	0,3	0,44	0,015
Эквивалентный диаметр	0,09	0,65	0,38	0,04
Вписанный радиус	-0,02	0,9	0,54	0,002

Заключение. Размер фитолитов *D. glomerata* варьирует в различных фитоценологических условиях. Ширина фитолитов и связанные с ней параметры зависят от размера листьев. Таким образом, экологические факторы, оказывающие влияние на развитие листовой пластинки, также должны влиять и на ширину фитолитов. Исследование влияния различных факторов среды на размер и форму фитолитов может быть перспективным направлением дальнейшего расширения границ применения фитолитного анализа.

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК-3359.2022.1.4 «Изменчивость характеристик фитолитов коротких клеток эпидермы *Dactylis glomerata* L. в условиях юга Западной Сибири».

ЛИТЕРАТУРА

- Арепьева Л. А.** Синантропные сообщества с *Dactylis glomerata* L. в Курской области // Растительность России, 2018. – № 33. – С. 3–18.
- Веселкова Н. Р.** Популяции *Dactylis glomerata* L. в условиях крупного промышленного города // Экологические проблемы промышленных городов: Сб. науч. тр. 5-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Саратов, 12–14 апреля 2011 г.). – Саратов: СГТУ им. Ю. А. Гагарина, 2011. – С. 203–206.
- Веселкова Н. Р.** Популяционно-онтогенетические и биоморфологические исследования *Dactylis glomerata* L. на территории Удмуртской Республики // Актуальные проблемы современной биоморфологии. – Киров: Савиных Н. П., 2012. – С. 247–254.
- Веселкова Н. Р., Красноперова С. А.** Био- и морфоэкоотипы ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) в г. Ижевске и его окрестностях // Флора Урала в пределах бывшей Пермской губернии и ее охрана: Материалы Межрегион. конф., посвящ. 140-летию со дня рождения П. В. Сюзева / Под ред. Е. И. Демьяновой, С. А. Овеснова, Л. Г. Переведенцевой (г. Пермь, 18–19 декабря 2007 г.). – Пермь: изд-во ПГНИУ, 2007. – С. 46–50.
- Горчакова А. Ю., Лиференко О. В.** Влияние различных биотопов на формирование побегов у растений ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) // Экологический вестник Северного Кавказа, 2009. – Т. 5, № 3. – С. 67–71.
- Загайнова А. А., Скочилова Е. А., Закамская Е. С.** Влияние автотранспорта на продукционный процесс *Dactylis glomerata* L. // Сборник научных трудов SWORLD, 2013. – Т. 37, вып. 1. – С. 19–21.
- Красноперова С. А., Веселкова Н. Р.** Эколого-ценотическая и морфологическая характеристика *Dactylis glomerata* L. в условиях Удмуртской Республики // Вестник ЧГПУ, 2011. – № 9. – С. 357–365.
- Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М., Батова Ю. В., Титов А. Ф.** Изменчивость морфологических признаков у растений *Dactylis glomerata* L. в условиях антропогенного воздействия // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика: Матер. междунар. конф., посвящ. 60-летию КарНЦ РАН (г. Петрозаводск, 24–27 октября 2006 г.). – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. – С. 135–136.
- Fernandez M. G., Zucol A., Arriaga M. O.** Comparative phytolith analysis of *Festuca* (*Pooideae*: Poaceae) species native to Tierra del Fuego, Argentina // Botany, 2012. – Vol. 90, № 11. – P. 1113–1124. DOI: 10.1139/b2012-070
- Hoškova K., Neustupa J., Pokorný P., Pokorna A.** Phylogenetic, ecological and intraindividual variability patterns in grass phytolith shape // Annals of Botany, 2022. – Vol. 129, № 3. – P. 303–314. DOI: 10.1093/aob/mcab143.
- Iler R. K.** The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica. – New York: Wiley-Interscience, 1979. – 896 pp.
- Katz O.** Silica phytoliths in angiosperms: phylogeny and early evolutionary history // New Phytologist, 2015. – № 208. – P. 642–646. DOI: 10.1111/nph.13559
- Madella M., Alexandre A., Ball T.** International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. // Annals of Botany, 2005. – Vol. 96. – P. 253–260. DOI: 10.1201/NOE9058093455.ch1
- Neumann K., Strömberg C., Ball T., Albert R. M., Vrydaghs L., Cummings L. S.** International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. // Annals of Botany, 2019. – Vol. 124, № 2 – P. 1–11; 1–41. DOI: 10.1093/aob/mcz064
- Rudall P. J., Prychid C., Gregory T.** Epidermal patterning and silica phytoliths in Grasses: An evolutionary history // The Botanical Review, 2014. – Vol. 80, №1. – P. 59–71. DOI: 10.1007/s12229-014-9133-3