

УДК 635.63:631.527

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

ЯВЛЕНИЕ ФАСЦИАЦИИ – ФЕНОМЕН В РАЗВИТИИ У РАСТЕНИЙ

Цаценко Людмила Владимировна
д-р. биол. наук, профессор, кафедра генетики, селекции и семеноводства
SPIN-код: 2120-6510, AuthorID: 94468
<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>
Scopus Author ID: 55952841000
lvt-lemna@yandex.ru

Дмитрова Елена Сергеевна
аспирант
SPIN-код: 4288-6779, AuthorID: 1052299
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

В работе представлен материал по явлению фасциации у растений. Показаны причины возникновения фасциации, рассмотрены ее виды и формы. Рассматривается вопрос о трактовке новых терминов в определении данного явления с учетом данных анализа литературных источников. Показано, как решаются вопросы аномального развития при построении дизайна исследовательских селекционных работ на примере кукурузы и сои. Показано, что множество природных и техногенных явлений могут порождать физиологическую фасциацию. Природные факторы окружающей среды включают нападение насекомых, механическое давление и/или растяжение во время роста некоторых видов сельскохозяйственных растений, время посева (например более ранний посев чем обычно); густота стояния растений, колебания температуры могут способствовать появлению большему проценту фасцированных растительных организмов. Показано, что фасциация имеет моногенную природу наследования. В работе отражены вопросы визуализации образов, подходы и возможные варианты работы с базой данных изображений растений с фасциацией

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ФЕНОМЕН ФАСЦИАЦИИ, ТЕРАТА, АНОМАЛИИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ, ФЕНОМЕН ФАСЦИАЦИИ, АККРЕТАЦИЯ, МОРФОГЕНЕЗ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-190-015>

UDC 635.63:631.527

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (biological sciences, agricultural sciences)

THE PHENOMENON OF FASCIATION - A PHENOMENON IN THE DEVELOPMENT OF PLANTS

Tsatsenko Luidmila Vladimirovna
Dr.Sci.Biol., professor,
Chair of genetic, plant breeding and seeds
RSCI SPIN-code: 2120-6510, AuthorID: 94468
<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>
Scopus Author ID: 55952841000
lvt-lemna@yandex.ru

Dmitrova Elena Sergeevna
graduate student
RSCI SPIN-code: 4288-6779, AuthorID: 1052299
“Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

The article presents material on the phenomenon of fasciation in plants. The causes of fasciation are shown, its types and forms are considered. The work also considers a question of the interpretation of new terms in the definition of this phenomenon, taking into account the data of the analysis of literary sources. It is shown how the issues of anomalous development are solved when constructing the design of research breeding work on the example of corn and soybeans. We prove that many natural and man-made phenomena can generate physiological fasciation. Natural environmental factors include insect attack, mechanical pressure and/or stretch during growth of some crop species, planting time (e.g. earlier planting than usual); plant density, temperature fluctuations can contribute to the appearance of a larger percentage of fasciated plant organisms. It is shown that fasciation has a monogenic nature of inheritance. The work reflects the issues of visualization of images, approaches and possible options for working with a database of images of plants with fasciation

Keywords: THE PHENOMENON OF FASCIATION, TERATA, DEVELOPMENTAL ANOMALIES IN PLANTS, THE PHENOMENON OF FASCIATION, ACCRETION, MORPHOGENESIS

Изучению вопроса об аномалиях развития у растений, в частности фасциации, посвящено достаточное количество работ. Однако на сегодняшний день пересматриваются базовые определения этого явления, появляется новая информация о видах у которых наблюдали явление фасциации, расширяется спектр применения новых знаний о данном явлении в генетике онтогенеза, селекционной практике и общих вопросах морфогенеза растений. Фасциацию рассматривают как морфологическое изменение органов с расширением апикальной меристемы побега, уплощение стебля и изменение расположения листьев. Фасциация происходит от латинского *fascis*, что означает пучок. Фасциация – широко распространенное явление у растений и возросший интерес к aberrantным формам растений в течении XIX века положило основы формирования науки тератологии.

Для понимания причин фасциации, новых данных об этом явлении, мы провели обзор литературы с использованием различных поисковых систем: Google Scholar, Web of Science, Scopus, и электронной библиотеки e-library.

Ключевые слова для поиска литературы включали: явление фасциации, тераты, аномалии развития у растений, феномен фасциации, срастание, морфогенез. Общие цели этого исследования состояли в том, чтобы (а) описать и обобщить ранние сообщения о симптомах фасциации, (б) описать причины возникновения фасциаций, (в) представить новые данные в определении явления фасциации и также новые слова.

Многие авторы описывают фасциацию как разрастание или сращивание органов, вызванное отклонением от нормального меристематического процесса и скученность бутонов, в то время как другие авторы считают, что настоящие фасции – это переход одного превращая точки развития в линию. Фасциация была обнаружена у деревьев, кустарников, цветов, кактусов, т.е. у видов, принадлежащих не менее чем к 107 семействам растений: розоцветных, лютиковых,

лилейных, молочайных, тыквенных, толстянковых, бобовых, кипрейных. Наиболее распространена фасциация у сложноцветных и кактусовых. Она чаще встречается у видов с неоднозначным ростом вегетативных органов и соцветия. В то же время она менее распространена у древесных, чем у травянистых растений, но ее можно найти у лиан, многочисленных широколиственных и хвойных породах. Фасциация наблюдалась у елей и сосен, а также среди других хвойных (Pavlovic N.B. et al., 2013).

Образование уплощенного органа или части растения, чаще всего обычно стебель или соцветие, является характеристикой фасциации. Выделяют три аномального развития на примере фасциации (рисунок 1).



Рисунок 1 – Типы аномалий на примере фасциации

Различные трактовки термина фасциация (рисунок 2) отражают степень понимания данного явления. Muqdad A, Salman Dalas I. (2021) выделяют фасциацию физиологическую и генетическую.

Показано, что множество природных и техногенных явлений могут породить физиологическую фасциацию. Природные факторы окружающей среды включают нападение насекомых, механическое давление и/или растяжение во время роста некоторых видов сельскохозяйственных растений, время посева (например, более ранний

посев, чем обычно); густота стояния растений, колебания температуры могут способствовать появлению большему проценту фасцированных растительных организмов.



Рисунок 2 – Различные синонимы термина «фасциация»

Фасциация может быть вызвана прививками, подрезками растений, дефолиацией, повреждением молодых стеблей. Кроме того, фасциация чаще возникает из-за повышения норм минерального питания, высоких доз органических удобрений. Растения с индетерминантными соцветиями дают много фасций при условии недостаточной влаги, даже засухи до цветения, а затем подвергнутые обильному поливу и внесению удобрений. Фасциация стеблей и соцветий может быть вызваны ионизирующим излучением и химическими агентами. Также отмечали случаи, что регуляторы роста определенного типа вызывают кольцевую фасциацию и другие аномалии развития. Увеличение или уменьшение фотопериода также вызывают фасциацию (Reboredo F., Silvaes C., 2007).

Генетическая фасциация была впервые обнаружена у гороха. Одной из первоначальных семи менделевских пар признаков была фасцированная

разновидность *Pisum sativum* L. (ранее известная как *P. umbellatum*). У многих видов это генетически детерминировано. ФАСЦИАТА (FA) - это название, данное гену, который вызывает возникновение фасциации (Sinjushin, A. A., Gostimskii, S. A., 2008).

Гены CLAVATA (CLV1, CLV2 и CLV3) как было показано, являются основными факторами, связанные с фасциацией. Несмотря на большое разнообразие факторов, обуславливающих ее появление, фасции имеют сходные черты развития в течение первых нескольких недель, т. е. повышение митотической активности, размер апикальной меристемы и измененное расположение клеток в меристематических зонах, что часто приводит к увеличению числа органов и изменению пластохрона. Повышенная активность апикальной меристемы и камбия приводит к значительному увеличению окружности стебеля и увеличенные пропорции сердцевинной и корковой паренхимы, связанные с замедленной дифференцировкой сосудистые ткани

На основе ряда исследований рассматривается гипотеза о контроле явления фасциации одним геном. Кроме того, фасциация была вызвана геном FA₂ на рецессивной стадии, и было предложено понятие двух полимерных генов. Все гибриды F₁ не были фасцированы в первоначальном эксперименте Менделя, однако фасцированность и нормальные фенотипические классы были обнаружены в соотношении 3:1 в поколении F₂. Однако, поскольку ген, вызывающий фасциацию, обладает несовершенной пенетрантностью, этот признак может проявляться различными способами, таким образом, наследование фасциации может быть неменделевским (Sinjushin, A. A., Gostimskii, S. A., 2008).

На сегодняшний день установлено, что фасциация помимо генетических факторов (регуляция генов), может быть вызвана искусственно. Применение дефолиации, обрезки, ранние весенние заморозки, повреждение точки роста. Фасциация чаще может возникать в

результате улучшенного питания, включая высокие дозы органических удобрений (например, навоза). Установлено, что из-за высокого уровня контроля над растительным материалом и условий роста, которые *in vitro* вызывали фасциацию дают растения, они могут быть полезными моделями для изучения причины возникновения фасциации.

На сегодняшний день кроме фиксации новых случаев появления фасциации у тех или иных видов растений, изучение этого явление становится актуальным в вопросах построения селекционных стратегий по определенным культурам. В обзоре авторов Thomison, P. R., & Elmore, R. W.(2022) представлен анализ возникновения аномального початка у кукурузы, в том числе фасциации и связь этого явления с селекционными подходами к данной культуре.

Интенсивные исследования, продолжавшиеся более 100 лет, привели к хорошему пониманию роста и развития растения кукурузы (*Zea mays* L.). Однако в течение 2016 года сообщалось в различных публикациях об аномальном развитии початков кукурузы в нескольких штатах США, включая Техас, Колорадо, Канзас, Небраску, Айову и Иллинойс. Предварительно Ortez, O. A. с соавторами, (2022), провели всесторонний анализ литературы, чтобы выявить симптомы аномалий развития початков, причины и сроки их развития. Для достижения поставленной цели они тщательно провели анализ имеющихся изображений, описали и обобщили ранее описанные сообщения аномалий початка, задокументировали недавно широко распространенные симптомы, вызывающие серьезную озабоченность появления фасциаций у початка. Распространение симптомов аномалий развития колоса у кукурузы, в том числе и фасциации, вызывает серьезную озабоченность, связанную со значительным снижением урожайности.

Приступая к рассмотрению аномалии развития в виде фасциации, авторы статьи сделали крайне важную работу – дали определение, что

такое нормальный кукурузный початок. Обычные початки для гибридов кукурузы Среднего Запада США потенциально дают около 800-900 зерен на початок, часто расположенных в 16 или 18 рядов, с таким же количеством зерен в каждом початке. Нормальные початки имеют жизнеспособный рыльца, который выходит за пределы обертки на ранних стадиях развития. Рыльца улавливает пыльцу, осыпавшуюся с метелки, что позволяет проходить успешно процессу оплодотворения в яйцеклетке в початке.

Фасцированные початки также называют уплотненные, утолщенные или разветвленные. Мендес-Морейра и др. (2015) определили фасциацию кукурузы как «аномальные уплощенные початки с высоким числом зерен». Авторы считают это количественным признаком или характеристикой, обычно представленной в стародавних сортах португальской кукурузы. Это позволило предположить, что симптом фасциации початка развивается на начальных этапах органогенеза между 4 и 7 стадиями.

Ранее Эмерсон в 1912 году сообщил, что фасцированные початки часто возникали на кукурузных полях США в начале 20 века. Уайт в 1948 году предположил, что они в основном возникают в зародышевой плазме попкорна. Фасциация — редкое явление у современных гибридов кукурузы, выращиваемых в США. Другие авторы позже сообщили об аналогичном симптоме (названном медвежьими когти) и указали, что проблема чаще связана со специфичной природой генома сахарной кукурузы. Появление фасцированных початков по многочисленным наблюдениям предположительно связано с понижением температуры (охлаждением растения) во время формирования репродуктивной системы, т.е. початка (Thomison, P. R., Elmore, R. W., 2022).

Можно выделить основные причины появления початков с фасциацией: Аномальные початки – вероятная реакция на взаимодействия $G \times E \times M$. Причины обозначены следующие: 1. Генетическая природа

явления (восприимчивая генетика [G]), окружающей средой (неблагоприятные условия выращивания [E]), специфическими методами управления (благоприятная практика управления [M]) и их взаимодействиями ($G \times E \times M$), могут усилить серьезность и частоту этих проблем.

2. Аномальные початки (с фасциациями) могут снизить урожайность и качество зерна.

3. Понимание причин появления аномальных початков (с фасциацией) и смягчение их последствий крайне необходимы для устойчивого ведения сельского хозяйства.

Для другой культуры, сои, занимающей лидирующее место среди зернобобовых, представлен новый подход к повышению репродуктивного потенциала за счет явления фасциации. Представляется, что явление фасциации у сои, вероятно, контролируется различными механизмами. Как отмечает в своей работе Onda R. et al. (2022) у сои обнаружена сходная миссенс-мутация как у мутанта арабидопсиса *clv1*. в последовательности LRR, которая приводит к формированию аномальных фенотипов. У фасцированных сортов сои, их было три, отмечено резкое уменьшение количества стручков, что не сказалось на снижении семенной продуктивности и такие растения могут быть пригодными для механического сбора урожая, чтобы уменьшить потерю семян. Пока на сегодняшний день в исследованиях авторов не удалось определить, какой из двух генов-кандидатов отвечает за фасциацию сои. Видимо при дальнейших исследованиях анализ экспрессии и тест на комплементацию могут выявить ответственный(е) ген(ы) за фасциацию у культуры сои. Появление новых знаний о явлении фасции позволит предполагать, что ген, отвечающий за это явление, может использоваться для создания сортов, пригодных для возделывания с более высокой плотностью посева, чем обычные сорта и пригодных для механизированной уборки.

Рассмотрение явления фасциации у растений на современном этапе было неполным без анализа визуальных ресурсов. Появление аномальных форм с фасциацией можно рассматривать не только как редкое явление, но и уникальное. Pavlovic N. B. с соавторами (2013) ввели термин «живые скульптуры» при изучении появления фасциации у находящегося под угрозой исчезновения чертополоха кувшинного, *Cirsium pitcheri* (Asteraceae).

Ряд авторов размещают фотообразы в статьях, но есть интересный опыт по представлению ресурсов по растениям рода Кастиллея (лат. *Castilleja*), широко распространенного как в Америке, так и Евразии. Egger J.M. (2021) обнаружил фасциацию стебля у 3 однолетних и 11 многолетних видов *Castilleja* через гербарные коллекции и полевые фотографии. Эта аномалия встречается редко и у видов из таксономически различных частей рода. Род назван в честь испанского ботаника Доминго Кастильехо. Общие характеристики фасциации у видов рода Кастильехе описаны с помощью собственных фотографий, гербарных образцов и ресурсов сайта Anon. 2021. Fascinating fasciations and other strange deformities in plants. Flickr Users Group.

Представленный подход интересен тем, что дает возможность полномасштабно проанализировать возникновение аномальной формы у представителей вида одного рода с привлечением всевозможных визуальных ресурсов.

Таким образом, в работе рассмотрена история и современное состояние проблемы изучения тератных форм на основе фасциации у растений. За последнее время возрос интерес к данной теме и судя по анализу научной литературы появляются новые формы терат, меняется понятийная база тематики.

Наиболее полно представлено явление фасциации из всего спектра аномалий развития, но и здесь мы наблюдаем изменение угла акцента с

просто аномального развития до возможности поиска новых генотипов, которые можно использовать как исходный материал для селекционных задач.

Имеющаяся информация по визуальным образам по явлению фасциации позволяет рассматривать вопрос не до конца проработанным, особенно для сельскохозяйственных культур и лекарственных трав. На наш взгляд было бы целесообразным создание обобщенных коллекций образов, поскольку они могут быть успешно использованы как в учебном, так и научном процессе. В нашей работе преследовалась цель рассказать емко и полно о явлении тератогенеза у растений на примере явления фасциации, представить информационные ресурсы и показать еще возможные горизонты для дальнейших исследовательских работ.

Список литературы

1. Egger J.M. Steam fasciation in the genus *Castelleja* (Orobanchaceae) // *Phytoneuron*. – 2021–V.16. –P.1-29.
2. Muqdad A, Salman Dalas I. "Abnormal growth in the plant (fasciation)." // *Science Archives*. – 2021.– V2(4) – P.339-342. <http://sciencearchives.org/services/abnormal-growth-in-the-plant-fasciation>
3. Onda R. et al. Genetic and molecular analysis of fasciation mutation in Japanese soybeans // *Breeding science*. – 2011. – Т. 61. – №. 1. – С. 26-34.
4. Pavlovic N. B. et al. First report of fasciation in Pitcher's thistle, *Cirsium pitcheri* (Asteraceae). – Ann Arbor, MI: Michigan Publishing, University of Michigan Library, 2013.– P.58-64.
5. Reboredo F., Silvares C. Fasciation phenomena and mineral balance in *Spartium junceum* L // *Phyton*. – 2007. – Т. 47. – №. 1-2. – С. 123-132.
6. Thomison, P. R., Elmore, R. W. Abnormal ear development in corn: A review // *Agronomy Journal* - 2022. –V. 114. – P. 1168–1183.
7. Sinjushin, A. A., & Gostimskii, S. A. Genetic control of fasciation in pea (*Pisum sativum* L.). // *Russian Journal of Genetics*. –2008.–V 44(6). –P. 702-708.

References

1. Egger J.M. Steam fasciation in the genus *Castelleja* (Orobanchaceae) // *Phytoneuron*. – 2021–V.16. –P.1-29.
2. Muqdad A, Salman Dalas I. "Abnormal growth in the plant (fasciation)." // *Science Archives*. – 2021.– V2(4) – P.339-342. <http://sciencearchives.org/services/abnormal-growth-in-the-plant-fasciation>

3. Onda R. et al. Genetic and molecular analysis of fasciation mutation in Japanese soybeans // *Breeding science*. – 2011. – Т. 61. – №. 1. – С. 26-34.

4. Pavlovic N. B. et al. First report of fasciation in Pitcher's thistle, *Cirsium pitcheri* (Asteraceae). – Ann Arbor, MI: Michigan Publishing, University of Michigan Library, 2013. – P. 58-64.

5. Reboredo F., Silveira C. Fasciation phenomena and mineral balance in *Spartium junceum* L // *Phyton*. – 2007. – Т. 47. – №. 1-2. – С. 123-132.

6. Thomison, P. R., Elmore, R. W. Abnormal ear development in corn: A review // *Agronomy Journal* - 2022. – V. 114. – P. 1168–1183.

7. Sinjushin, A. A., & Gostimskii, S. A. Genetic control of fasciation in pea (*Pisum sativum* L.). // *Russian Journal of Genetics*. – 2008. – V 44(6). – P. 702-708.