

УДК 631.52

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

АНОМАЛИИ РАЗВИТИЯ У ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР НА ПРИМЕРЕ КУКУРУЗЫ

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

Усова Анна Ильинична
Бакалавр
usannasochi@gmail.com
SPIN-код: 5195-2536 AuthorID: 1212958

Хилько Иван Александрович
магистрант
ivan.xilko@mail.ru
SPIN-код: 5916-3022, AuthorID: 1211333
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Рассматриваются типы проявления аномальных фенотипов у растений кукурузы, затрагивающие метелку и початок. Выявлено шесть типов аномалий початка и метелки: фасциация початка, многопочатковость, полное замещение метелки початком, обоеполый пасынок, одиночные женские цветки на метелке, череззерница, банановидный початок. Аномальное развитие початка и метелки у кукурузы следует рассматривать как сложную реакцию на взаимодействия и эти аномалии, вероятно, являются результатом каскада или комбинации событий. Будущие исследования должны расширить понимание экологических и физиологических причин аномальных початков и снижения урожайности. По возможности, по-прежнему важно задокументировать более углубленный анализ аномальных початков о которых сообщалось как на опытных полях, так и производственных посевах

Ключевые слова: АНОМАЛИИ РАЗВИТИЯ ПОЧАТКА И МЕТЕЛКИ, КУКУРУЗА, ГИБРИДЫ, СЕЛЕКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-192-020>

UDC 631.527

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

ANOMALIES OF DEVELOPMENT IN CEREALS ON THE EXAMPLE OF CORN

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

Usova Anna Ilinichna
Bachelor
usannasochi@gmail.com
RSCI SPIN-code: 5195-2536 AuthorID: 1212958

Khilko Ivan Aleksandrovich
master's student
ivan.xilko@mail.ru
RSCI SPIN-code: 5916-3022, AuthorID: 1211333
"Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

The article considers types of manifestations of abnormal phenotypes in maize plants affecting the panicle and cob. Six types of anomalies of the cob and panicle were revealed: fasciation of the cob, multi-lobe, complete replacement of the panicle with the cob, bisexual stepson, single female flowers on the panicle, cross-grain, banana-shaped cob. Abnormal development of corn cob and panicle should be considered as a complex reaction to interactions and these anomalies are probably the result of a cascade or combination of events. Future research should expand the understanding of the ecological and physiological causes of abnormal ears and reduced yields. If possible, it is still important to document a more in-depth analysis of abnormal ears reported both in experimental fields and production crops

Keywords: ANOMALIES OF THE DEVELOPMENT OF THE COB AND PANICLE, CORN, HYBRIDS, BREEDING PROCESS

Изучению аномалий развития у растений посвящено немало работ, с акцентом на типы тератов, причины их возникновения и возможности преодоления отклонений от нормы. Однако, большинство публикаций описывают единичные случаи неправильного развития, редко представлен весь спектр нарушений. В настоящее время тема исследований тератных форм или форм растений с аномалиями развития приобретает совершенно другой аспект в свете проблемы меняющегося климата и развития селекционных работ в данном направлении.

В последние годы сообщалось о широко распространенных проблемах с развитием початков кукурузы, а именно появление аномальных типов растений на кукурузных полях, снижающих продуктивность и заставляющих исследователей продолжать поиск первопричин данного явления [Ortez et al., 2022]. Аномалии початков кукурузы регистрируются уже более столетия, однако они носят единичные случаи, без обобщенного представления всей проблемы. Исследование механизмов возникновения аномалий початка разного типа представляет интерес как со стороны генетики онтогенеза, так и практического подхода, поскольку все отклонения от нормы как правило ведут к снижению урожайности.

Кукуруза (*Zea mays* L.) является одной из основных зерновых культур и играет фундаментальную роль в глобальных масштабах: в производстве продуктов питания, кормов, клетчатки и топлива. Урожайность кукурузы последовательно повышалась с 1950-х годов во всем мире благодаря улучшениям и инновациям в управлении сельским хозяйством и работе селекционеров. Совсем недавно повышение урожайности также было связано с благоприятным климатом. Как показали работы Ортеза с соавторами [Ortez O. A. et al., 2022–2023] определяющих прирост урожайности кукурузы с 2005 по 2018 год был обусловлен на 48% за счет климатических условий, 39% – за счет улучшений аграрного менеджмента

в агрономии, а остальные 13% – за счет улучшения генетического потенциала культуры. Ранее Рэй и др. (2015) задокументировали, что примерно треть наблюдаемых изменений урожайности приходится на климат. Погода и климат являются двумя ключевыми факторами, влияющими на изменения в сельском хозяйстве. Значительные изменения в этих переменных могут свести на нет или усилить преимущества технического прогресса, или усовершенствованного управления (аграрный менеджмент). Температура и осадки являются наиболее изученными переменными, касающимися взаимосвязи погоды/климата и сельскохозяйственных культур.

На протяжении многих лет сообщалось о нескольких симптомах аномального развития початка, которые в последние годы стали вызывать серьезную озабоченность. Сообщения об аномальных початках подняли вопросы о пригодности и стабильности гибридов кукурузы в различных условиях и методах управления.

Цель исследования: выявить типы аномалий развития початка у гибридов кукурузы.

Методы исследования – анализ и сравнения.

В работе изучали два гибрида кукурузы, произрастающих на опытном поле учебно-опытного хозяйства Кубань ФГБОУ ВО КубГАУ, г. Краснодар, в 2023 году.

СИ Кардона (SY KARDONA) - среднеранний просто двухлинейный гибрид кукурузы (ФАО 250). Интенсивный тип.

СИ Скорпиус (SY SCORPIUS) - среднеранний простой двухлинейный гибрид кукурузы (ФАО 310). Интенсивный тип.

Обработку посевов проводили препаратом Люмакс гербицид системного действия.

Документация образов выполнена с помощью фотографии и рисунка, автор А. Усова.

Результаты исследования и их обсуждение.

Наиболее полно и масштабно на примере кукурузы представлен обзор Ortez с авторами (2022, 2023). Исследователи на основе полевых наблюдений составили шкалу тератных форм с указанием отклонений от нормы. Показано, что появлением аномальных початков управляет не какой-то один фактор, а, скорее, их комбинация. Например, стрессы для растений, обусловленные генетической природой гибрида (восприимчивая генетика [G]), окружающей средой (неблагоприятные условия выращивания [E]), специфическими методами управления (благоприятная практика управления [M]) и их взаимодействиями ($G \times E \times M$), которые могут увеличить частоту появления форм с нарушениями морфогенеза.

На опытном участке было выявлено шесть типов аномалий початка и метелки: фасциация початка, многопочатковость, полное замещение метелки початком, обоеполый пасынок, одиночные женские цветки на метелке, череззерница, баноновидный початок.

В норме у кукурузы метелка и початок пространственно разделены и находятся в разных частях растения. В среднем на початок приходится 800-900 зерен, расположенных в 16 или 18 рядов.

Для понимания масштаба аномалий развития початка в процессе онтогенеза рассмотрим данные представленные в 2022 Ортезом с соавторами (Ortez O. A. et al. , 2022), которые носят субъективный характер и необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять причины и спектр проявления тератных форм у кукурузы (таблица).

Таблица – Аномалии развития початка кукурузы, включая возможные причины их появления (по Ортезу и др., 2023)

Аномалия развития	Причина
1. Початки на метелке: початки на верхушке метелки у культивируемых растений. Замена может быть полной или частичной.	Неоднородность гибридной популяции, повреждение точек роста у метелки во время прохождения этапа органогенеза, генетические факторы.
2. Фасциированный початок: увеличенные и неорганизованные ряды зерен	Специфические мутации (т.е. генетические причины), низкие температуры
3. Задержка в развитии початка: развитие початка задержано или остановлено преждевременно	Воздействие агрохимикатов
4. Защемленные развития початка: резкое уменьшение количества рядов зерен в початке	Ингибиторы клеточного деления, например, гербициды на основе сульфонилмочевины
5. «Тупой початок», початки размером с пивную банку или короткие початки.	Факторы стресса для растений (например, химические вещества или окружающая среда), генетические факторы, аграрный менеджмент
6. «Скомканный шелк» этот симптом называется еще «спутанным шелком» и он возникает, когда шелк (шелковинки - длинные нити шелковистого материала, растут из каждого зародыша и выходят из верхней части початка, рыльца) не удлиняются к концу початка как у обычных растений. Початок из-за этого не развивается нормально, чаще повреждается.	Холодная погода, засуха, генетические факторы
7. Неполный набор зерен в початке (череззерница)	Повреждение шелковинки (рыльца), засуха, высокие температуры, проблемы с опылением, нехватка фосфора, повреждение гербицидами, пасмурные дни
8. Банановые початки: искривление початка за счет того, что выпадает несколько зерен в ряду (початок по форме напоминает плод банана)	Суровая погода, жара или засуха, применение химикатов, повреждение насекомыми
9. Початок с отсутствующими несколькими рядами зерен	Более высокие нормы высева семян, стресс от засухи, генетическая природа, дефолиация, недостаточное опыление
10. Откинутые назад початки: на кончике початка отсутствуют зерна	Абортирование зерен из-за отсутствия пыльцы и шелковинок, пасмурные дни, жара, засуха, генетические факторы, более высокие нормы высева семян
11. Несколько початков на узел: многопочатковость	Экологический стресс (например, холод), низкая норма высева семян, генетические факторы, повреждение первичного початка

<p>12. Початки со штангой: в початках отсутствует группа зерен в средней части початка, на концах или в начале, из-за уменьшения диаметра початка неразвиты зерна</p>	<p>Температурный стресс, ограниченная солнечная радиация, этилен, гормоны, применение химических веществ, генетические факторы, повреждение початка</p>
<p>13. Початки с короткой оберткой: укороченные листья обертки на початках</p>	<p>Кратковременный стресс, например, жара или засуха, за которыми следуют более низкие температуры и осадки, высокоскоростные ветры или штормы, генетические факторы</p>

Краткая характеристика аномалий развития органогенеза у кукурузы (рисунки 1-3):



Рисунок 1 – Аномалии развития початка у кукурузы



МНОГОПОЧАТКОВСТЬ



ветвистый початок



Обоеполюй
пасынок



череззерница



банановый початок



початок на метелке

Рисунок 2 – Типы аномалий початка и метелки у кукурузы

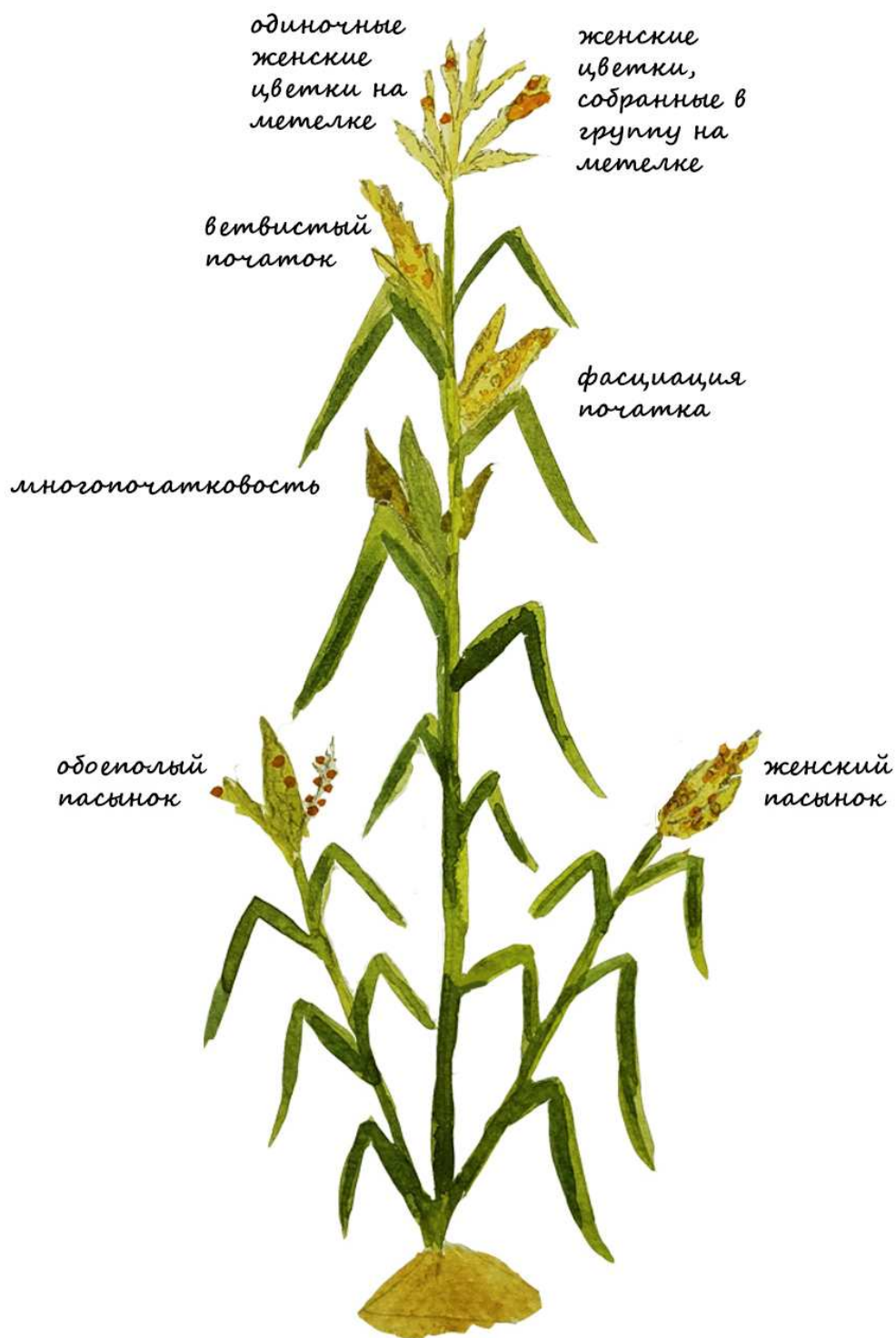


Рисунок 3 - Схема аномалий развития репродуктивной системы у кукурузы на примере гибридов СИ Кардона и СИ Скорпиус.

1. Фасциация початка характеризуется некоторым уменьшением длины початка, боковые ветви частично срослись с главной осью. В литературе можно встретить варианты, где количество боковых осей достигает семи [Muqdad A, Salman Dalas I., 2021]. Зерна круглые, не имеют совсем или слабо выражена «ямка», характерная для зубовидной формы.

Некоторые зерновки частично покрыты редуцированными цветковыми чешуями. Наблюдается череззерница, ближе к верхней части полностью отсутствуют зерновки. Отсутствуют видимые ряды зерен.

2. Многопочатковость – из одной пазухи формируется несколько початков, второе название – букетный початок. На данном экземпляре их четыре. Эти множественные початки развиваются на одном и том же стержне; они выглядят как «букет» початков. Один из них (главный) не имеет отклонений, однако другие три початка меньше, а длина одного из них не превышает 15 см. Наблюдается большая степень череззерницы на всех початках, а на самом маленьком экземпляре всего 4 зерновки на початок.

Потенциальные причинные факторы появления многопочатковости может быть стресс окружающей среды во время раннего формирования репродуктивной системы кукурузы, низкую норму высева семян и восприимчивость некоторых генотипов. Ранее отмечалось, американскими исследователями наличие признака двойного початка у шести линий потомства. Информация о многопочатковости может дать некоторые подсказки для возможной будущей исследовательской работы по изучению причин появления данной аномалии. Тем не менее, как и при других аномалиях початка, конкретные причины пока неизвестны. Основываясь на полевых наблюдениях, первичные початки были прерваны (в ответ на какой-либо источник стресса) у пораженных растений, что

позволяет предположить, что множественные початки часто развиваются либо на вторичных, либо на третичных узлах стебля.

3. Полное замещение метелки початком (женский пасынок) - на боковом стебле формируется вместо метёлки, женское соцветие - початок. В данном случае початок имеет характерную изогнутую форму, похожую на банан. Верхушка оси имеет схожую с метелкой форму цветков. Отсутствует большая часть зерен, некоторые из них плохо развиты, имеют округлую форму. Длина несколько меньше стандартного початка.

Ранее в работе Казаковой Н.И, (2014) отмечалось, что образование на метелке и початка, т.е. совмещенное соцветие, может быть связано с накоплением группы ростовых веществ, стимулирующий сдвиг в развитии соцветия.

4. Пасынок с метелкой и соцветием одновременно – формируется на верхушке бокового стебля, характеризуется развитием как мужского соцветия, так и женского на одной оси. Как правило, женские цветки собраны в группу и имеют веретенообразную форму, похожу на полноценный початок. Большая часть зерен плохо сформирована или полностью отсутствуют, единичные варианты имеют размер соответствующий норме. Конец ветви соответствует мужскому соцветию. Также встречаются варианты, где на одной оси чередуются скопления мужских и женских цветков. Такая мутантная метелка по размеру может не отличаться от нормы.

Одиночные женские цветки на метелке - мужское соцветие формируется согласно норме, однако на ветвях встречаются одиночные женские цветки. В некоторых случаях происходит образование полноценных зерновок. Они могут быть частично покрыты цветковыми чешуями. В остальном, такая аномалия не снижает урожайности, в целом.

5. Череззерница - початки с неполным набором зерен. Встречается от 1, 2-5 и 10 зерен на початке. Существует достаточно много причин

возникновения этой проблемы, однако основными стоит считать стерильную пыльцу, которая развивается при неблагоприятных условиях среды и абортацию оплодотворенных цветков. Данная аномалия в некоторых случаях может сильно снижать урожайность [Djaman K., Allen S. , 2022].

6. Банановидный початок – искривление оси початка напоминающее по форме банан или полумесяц. Причиной является «выпадение» нескольких зерен или рядов с одной стороны во время цветения и образования зерен. В процессе развития зерновки увеличиваются в размерах, что приводит к неравномерному росту и «округлению» початка. Подобное искривление может также возникнуть вследствие негативного действия пестицидов или насекомых.

Широко распространенный характер проблемы, а именно появление аномально развитых початков, например в США в 2016 году вызвал вопросы о пригодности некоторых гибридов кукурузы для конкретных условий и их стабильности с течением времени. Текущие и будущие результаты должны быть неотъемлемой частью решений по программе селекции [Ortez O. A. et al. 2023].

При скрининге новых генотипов целесообразно включать тест на тератные формы или аномалии развития, поскольку учет подобных рисков может оказать существенное влияние при построении менеджмента и стратегии селекционной практики.

Аномальное развитие початка и метелки у кукурузы следует рассматривать как сложную реакцию на взаимодействие факторов и эти аномалии вероятно, являются результатом каскада или комбинации событий. Несколько гипотез остаются актуальными; необходимы дальнейшие исследования для устранения этих пробелов в знаниях. Будущие исследования должны расширить понимание экологических и физиологических причин аномальных початков и снижения урожайности.

По возможности, по-прежнему важно задокументировать более углубленный анализ аномальных початков о которых сообщалось как на опытных полях, так и производственных посевах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казакова Н.И. Аномалии органогенеза ультрараннего гибрида кукурузы // Международный научно-исследовательский журнал: 2014. - С. 52-54.
2. Цаценко, Л. В. Тератные формы растений: подходы и методы изучения / Л. В. Цаценко, А. В. Логвинов. – Краснодар : ООО "Просвещение-Юг", 2023. – 110 с. – ISBN 978-5-93491-946-8
3. Цаценко, Л. В. Явление фасциации - феномен в развитии у растений / Л. В. Цаценко, Е. С. Дмитрова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 190. – С. 117-127. – DOI 10.21515/1990-4665-190-015.
4. Kumar, A., & Reddy, K. S. (2019). Phenotypic and Genotypic Variability for Cob and Grain Characters in Maize (*Zea Mays* L.). // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(3), 1794-1798.
5. 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>
6. Сайт <https://flickr.com/groups/2539978@N22/pool/> (дата обращения 15.09.2023)
7. Ortez O. A. et al. Abnormal ear development in corn: A review //Agronomy Journal. – 2022. – Т. 114. – №. 2. – С. 1168-1183.
8. Ortez O. A. et al. Abnormal ear development in corn: Does hybrid, environment, and seeding rate matter? //Agronomy Journal. – 2023. – Т. 115. – №. 4. – С. 1796-1832. <https://doi.org/10.1002/agj2.21338>

REFERENCE

1. Kazakova N.I. Anomalii organogeneza ul'trarannego gibrida kukuruzy // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal: 2014. - S. 52-54.
2. Cacenko, L. V. Teratnye formy rastenij: podhody i metody izucheniya / L. V. Cacenko, A. V. Logvinov. – Krasnodar : ООО "Prosveshchenie-YUG", 2023. – 110 s. – ISBN 978-5-93491-946-8
3. Cacenko, L. V. YAvlenie fasciacii - fenomen v razvitii u rastenij / L. V. Cacenko, E. S. Dmitrova // Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 190. – S. 117-127. – DOI 10.21515/1990-4665-190-015.
4. Kumar, A., & Reddy, K. S. (2019). Phenotypic and Genotypic Variability for Cob and Grain Characters in Maize (*Zea Mays* L.) // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(3), 1794-1798.
5. 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>
6. Sajt <https://flickr.com/groups/2539978@N22/pool/> (data obrashcheniya 15.09.2023)

7. Ortez O. A. et al. Abnormal ear development in corn: A review //Agronomy Journal. – 2022. – Т. 114. – №. 2. – С. 1168-1183.

8. Ortez O. A. et al. Abnormal ear development in corn: Does hybrid, environment, and seeding rate matter? //Agronomy Journal. – 2023. – Т. 115. – №. 4. – С. 1796-1832. <https://doi.org/10.1002/agj2.21338>