

ГОМЕОЗИС КУКУРУЗЫ САХАРНОЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ HOMEOSIS OF ZEA MAYS UNDER THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS

И. В. Налетов, В. С. Заяц
I. V. Naletov, V. S. Zayats

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь
v.zayats@unitsky.com
Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus

Гомеозис – это замена одной части или признака организма другой. С точки зрения развития это означает, что на месте одной части выражается другая часть или особенности другой части. В то время как гомеозис продолжает активно исследоваться у животных, особенно на генетическом уровне, у растений он почти полностью игнорировался или упускался из виду. Гомеозис широко распространен у растений от клеточного до организменного уровня. Гомеозис является эпигенетическим явлением, возникающим спонтанно, а также под действием внешних факторов среды. В статье рассмотрены варианты проявления гомеозиса у кукурузы сахарной в условиях сельскохозяйственного возделывания, а также в результате действия химических мутагенов.

Homeosis is the replacement of one part or characteristic of an organism by another. From a developmental point of view, it means that another part or the characteristics of another part are expressed in place of one part. While homeosis continues to be actively studied in animals, especially at the genetic level, in plants it has been almost completely ignored or overlooked. Homeosis is widespread in plants from the cellular to the organismal level. Homeosis is an epigenetic phenomenon that occurs spontaneously and also under the influence of external environmental factors. The article discusses options for the manifestation of homeosis in sugar corn under agricultural cultivation conditions, as well as as a result of the action of chemical mutagens.

Ключевые слова: Zea mays, гомеозис, факторы окружающей среды, генотип

Keywords: Zea mays, homoeosis, environmental factors, genotype

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-34-37>

Каждый день мы наблюдаем впечатляющее множество разнообразных форм растений. Размер и форма органов растений могут быть изменены различными факторами, включая условия окружающей среды, такие как доступность света, влаги, питательных веществ и гравитации. Однако, генотип растений устанавливает пределы, в которых может происходить такая модификация роста и развития. Генотип определяется наследственным материалом растения. Генетический код растения определяет его потенциал для различных форм и размеров органов, а также его реакцию на окружающую среду. Например, определенные гены могут контролировать пропорции и форму листьев, стеблей и корней, что влияет на общую архитектуру растения.

Однако, окружающая среда может влиять на активацию и экспрессию генов, что приводит к изменению роста и развития растения. Например, растения, выращенные в условиях недостатка света, могут развиваться с более вытянутыми стеблями и меньшими листьями в поисках большего доступа к свету. Это называется фенотипической пластичностью, когда растение может изменять свою форму и размер в зависимости от условий окружающей среды, но в пределах, определенных его генотипом. Таким образом, генотип растения устанавливает пределы, в которых может происходить модификация роста и развития под воздействием факторов окружающей среды. Это объясняет, почему разные виды растений имеют свои характерные формы и размеры органов, а также почему одно и то же растение может иметь разные фенотипы в разных условиях среды.

Исследования в области генетики и растительной биологии помогают лучше понять, как генотип растений определяет их потенциал для развития и как взаимодействие генотипа и окружающей среды формирует различные формы и размеры растений, которые мы видим в естественной среде и в садах.

В отличие от классической морфологии, согласно которой эволюция сосудистых растений, таких как цветковые растения, происходила только в процессе модификации трех фундаментальных видов органов, морфология континуума и процессов допускает дополнительные процессы развития и эволюции, такие как гомеозис и гибридизация развития. Пока замена происходит в пределах одной и той же категории органов, классическая морфология может справиться с ситуацией. Однако если орган растения заменяется органом другой категории или признаком другой категории органов, принципы классической морфологии подрываются. Тогда гомеозис становится эволюционным процессом, не учтенным в классической морфологии растений [1, 2]. Гомеозис также можно описать как «морфологическую транслокацию» или, в более общих терминах, как перенос признаков, при этом эти признаки не обязательно должны быть морфологическими, но могут быть также функциональными,

физиологическими или химическими. «Транслокация» и «перенос» не должны пониматься в буквальном смысле. С морфогенетической точки зрения это означает, что факторы, влияющие на формирование особенностей одной части тела, экспрессируются на участке другой части тела. Так, например, факторы, влияющие на образование хлорофилла в листьях, могут стать выраженными в чашелистиках тюльпана. Тогда можно сказать, что способность к фотосинтезу перешла от листьев к чашелистикам. Если переносятся все новые и новые признаки листьев, то «чашелистики» все больше напоминают листовые листья, так что в конце концов не остается никаких признаков чашелистиков, то есть чашелистики заменяются листовыми листьями. Таким образом, замена одной части на другую – это случай, когда 100 % признаков одной части выражены на месте другой части.

Основной план тела растения устанавливается во время эмбриогенеза, в результате чего образуется простая структура с радиальной и апикально-базальной осями. Апикальный полюс определяется апикальной меристемой побега, небольшой группой ствольных клеток, которые постоянно делятся и пополняются. После инициации листья и цветочные органы растут за счет двух основных клеточных процессов: пролиферации клеток и расширения клеток. Во время фазы клеточной пролиферации клетки увеличиваются в размерах и накапливают цитоплазматическую массу, а затем делятся, давая двух дочерних клеток, сопоставимых по размеру с исходной клеткой [3].

Рост органов растений часто анизотропен, т. е. скорость роста в одном направлении превышает скорость роста в другом. Вместе с геометрией раннего зачатка органа степень анизотропного роста в значительной степени влияет на окончательную форму органа. Примером этого являются классические исследования различий в форме плодов кабачков и тыкв. У *Cucurbita pepo* различия в форме зрелых плодов уже были предопределены в очень молодых зачатках, однако соотношение роста в длину и ширину.

В рамках реакции на стресс растения активно снижают свой рост посредством «краткосрочной адаптации», за которой следует «долгосрочная адаптация» к новым условиям. Большинство исследований сосредоточены на возникающих в результате изменениях роста, которые позволяют растениям экономить и перераспределять ресурсы, которые могут стать ограничивающими; например, более мелкие листья теряют меньше воды из-за уменьшения площади транспирации, в то время как дифференциальное восстановление роста приводит к более высокому соотношению корней и побегов.

Гомеозис – это эпигенетическое явление, действующее на уровне организма. Может возникать за счёт спонтанных мутаций, а также под действием внешних факторов окружающей среды. Например, токсичность меди и кадмия вызывает анатомические изменения в стеблях растений, такие как изменение ширины и толщины стебля, размеров паренхиматозных клеток и сосудистых пучков. Обычно эти изменения связаны с анатомическими особенностями в листовых тканях, вызванными металлами, и проявляются в изменении средней жилки листа или частоты и размера устьиц на поверхности листа. Несмотря на то, что молекулярные и биохимические аспекты взаимодействия таких загрязнителей, как тяжелые металлы и другие металлоиды, с растениями активно изучаются, первичное влияние этих элементов на структуру тканей зачастую игнорируется. Таким образом, структурные изменения в различных органах и тканях растений, вызвана наличием этих вредных примесей в окружающей среде [4,5].

Геном кукурузы является удивительно сложной и динамической системой, и одним из факторов, влияющих на его разнообразие, являются транспозоны – мобильные генетические элементы. В случае кукурузы, они составляют половину ее генома. Транспозоны способны перемещаться по геному и влиять на его структуру и функцию.

На рисунке 1 представлен пример гомеозиса кукурузы сахарной (*Zea mays saccharata*), который возникает в естественных условиях произрастания данного растения на сельскохозяйственных полях Республики Беларусь. Гомеозис – это процесс, при котором одна часть растения заменяется другой, обычно различающейся по структуре или функции.

Помимо этого, гомеозис кукурузы может быть вызван химическими мутагенными факторами, такими как N-нитрозо-N-метилмочевина (NMU). При обработке растений кукурузы обыкновенной (*Zea mays* L.) концентрацией NMU 0,025 %, такие изменения гомеозиса проявляются. Рисунок 2 показывает результаты такого эксперимента, где происходят изменения в соцветиях как у женских, так и у мужских растений.

В случае соцветий женских растений кукурузы, под воздействием NMU, развиваются пыльники с мужскими гаметами. Одновременно, не образуются клетки синергид и антипод, и завязь не формирует клетки с развитым зародышем. В результате образуются диплоидные зерновки без зародыша.

Эти наблюдения указывают на то, что гомеозис является результатом генетических изменений, вызванных как естественными условиями произрастания, так и химическими мутагенными факторами. Такие изменения в морфологии и развитии растений имеют важное значение для понимания эволюции и разнообразия кукурузы, а также для исследований в области генетики и селекции растений. Мужские соцветия, образовывали женские мегаспоры без образования зародышей, а пыльники растений вовсе не образовали пыльцу, при этом пыльники развивались хорошо.

Изменение морфологии растений приводит к изменениям в биохимических процессах и движению ауксина по растению. Ауксин, в свою очередь, играет важную роль в регуляции фотосинтеза и ассимиляции органических веществ у растений. Множество исследований подтверждают необходимость дифференцированного распределения ауксина для эффективного протекания различных развивающихся процессов. Например, исследования, проведенные в реальном времени, позволили наблюдать зарождение органов в апикальных меристемах побега. В этих наблюдениях была выявлена пространственная и временная корреляция между максимумами ауксина и изменениями в развитии и инициации органов. Это указывает на важную роль ауксина в регуляции этих процессов.



Рисунок 1 – Женское соцветие Кукурузы сахарной,
1 – мужские соцветия с пыльниками и пылью; 2 – мегаспоры с формированием зерновок без зародышей



А. Мужские соцветия, 1 – зерновки в место пыльников; 2 – мужские цветы с образованием пыльников без пыльцы



Б. Женское соцветие, 1 – мужские соцветия с пыльниками и пылью; 2 – мегаспоры с формированием зерновок без зародышей

Рисунок 2 – Изменения (гомеозис) внешнего строения репродуктивных органов растений кукурузы обыкновенной (*Zea mays* L.) под действием мутагена NMU

Дифференцированное распределение ауксина обеспечивает точную координацию между разными частями растения и развивающимися органами. Он регулирует деление клеток, растяжение клеток и дифференциацию тканей, что влияет на формирование и рост органов растений. Ауксин также может влиять на распределение фотосинтатов и ассимиляции органических веществ в растениях [4].

Помимо этого, в процессе органогенеза боковых корней показали абсолютную пространственную и временную корреляцию максимумов ауксина с изменениями в развитии и инициацией органов. Важно отметить, что генетическое или препаратное вмешательство в дифференциальное распределение ауксина и его реакцию препятствует всем развивающимся процессам, связанным с градиентами ауксина, что подтверждает его необходимость в этих процессах [5].

Дальнейшие исследования в этой области позволят лучше понять механизмы, лежащие в основе гомеозиса и его влияние на развитие и приспособление растений к различным условиям окружающей среды. Это знание может быть использовано для улучшения сельскохозяйственных культур, разработки новых сортов и повышения устойчивости и урожайности растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лутова, Л. А. Современные аспекты генетики развития растений / Л.А. Лутова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 17. – №. 4. – С. 10–16.
2. Grotz, N. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants / N. Grotz, M. L. Guerinot // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research. – 2016. – Vol. 1763. – №. 7. – P. 595–608.
3. Hell, R. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants / R. Hell, U. W. Stephan // Planta. – 2003. – Vol.216. – P. 541–551.

4. Mimura, T. Homeostasis and transport of inorganic phosphate in plants / T. Mimura // Plant and cell physiology. – 2015. – Vol. 36. – №. 1. – P. 1-7.
5. Almeida, D. M. Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants / D. M. Almeida, M. M. Oliveira, N. J. M. Saibo // Genetics and molecular biology. – 2017. – Vol. 40. – P. 326–345.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОСТАВА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE COMPOSITION OF POLYMER WASTE AND THE POSSIBILITY OF THEIR PROCESSING

С. И. Пупликов, Е. А. Шушкет
S. Puplikov, K. Shushket

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь, Shushket@iseu.by*
*International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus*

В данной статье проведен анализ существующих методов оценки объемов отходов полимерных материалов, оценены объемы накопления и варианты переработки отходов.

This article analyzes the existing methods for estimating the volume of waste polymer materials, assessing the volume of accumulation and options for waste recycling.

Ключевые слова: отходы, методика оценки, управление отходами, полимеры, сортировка.

Keywords: waste, assessment methodology, waste management, polymers, sorting.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-37-40>

Каждый год в Республике Беларусь образуется 4 миллиона тонн твердых коммунальных отходов (из них около 320 тысяч тонн пластика).

Производство полимеров представляет собой одну из наиболее развивающихся отраслей промышленности. Значительную долю объемов производства составляет продукция кратковременного использования (упаковка пищевых продуктов, напитков, посуда одноразового использования и др.), которая практически сразу после использования переходит в отходы. К этим видам полимерных отходов присоединяются изделия среднего срока использования (корпуса бытовых приборов, полимерные изделия в транспортном машиностроении и др.). Изделия длительного пользования (например, полимерные трубы, срок эксплуатации которых составляет 30–50 лет) имеют пока еще меньшее влияние на общий объем отходов полимерной продукции.

Методика оценки объема отходов.

В настоящее время выделяют четыре основных подхода к оценке объемов образования отходов (в определенной степени взаимосвязанных между собой):

- прямой расчет на основе данных материального баланса использования в конкретном технологическом процессе (или производстве) исходного сырья и получения продукции;
- расчет с использованием удельных показателей (или нормативов) образования отходов по данным потребления сырья или выпуска продукции;
- расчет по формулам, составленным на основе данных конструкторской и технологической документации, рецептов, регламентов на изготовление продукции или выполнение ремонтно-эксплуатационных работ, либо заготовительных работ;
- определение объемов образования отходов, на основе производственного опыта и анализа отчетно-статистических данных о фактическом образовании отходов за ряд лет.

Для определения объемов образования отходов в общем виде необходимо:

- выявить источники образования отходов;
- изучить номенклатуру образующихся отходов;
- изучить отчетные данные за ряд лет об объемах образования отходов либо материальный баланс производства;
- определить (когда это возможно) значения удельных показателей образования отходов, наиболее характерных для вида производств с учетом применяемых технологий (во многих случаях целесообразно принятие «коридора» значений);