

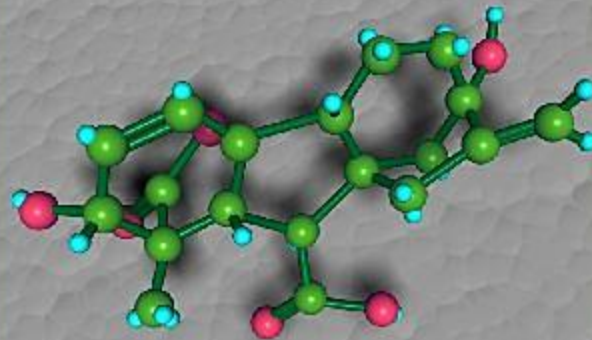
Гиббереллины



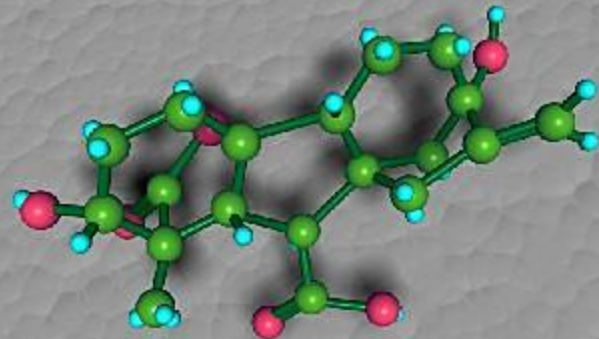
Гиббереллины

Открытие гиббереллинов

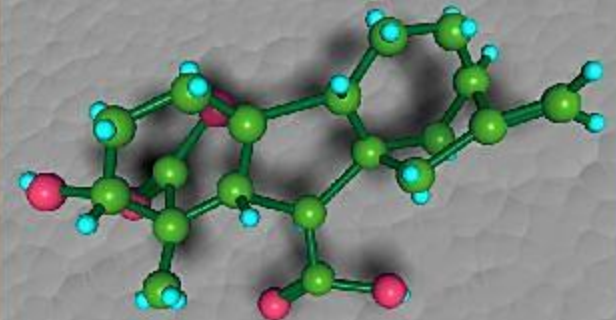
Гриб *Gibberella fujikuroi*



Гиббереллин А3 (GA3)



Гиббереллин А1 (GA1)



Гиббереллин А4 (GA4)



История открытия

Хори (1898) показал, что болезнь риса «баканозэ»- «бешеный рис» вызывает гриб *Gibberella fujikuroi*

Е. Куросава (1926) установил, что активное вытягивание стебля растений риса индуцирует химическое вещество, содержащееся в культуральной жидкости гриба

Т. Ябута и Ю. Сумики (1938) выделили гиббереллин в кристаллическом виде

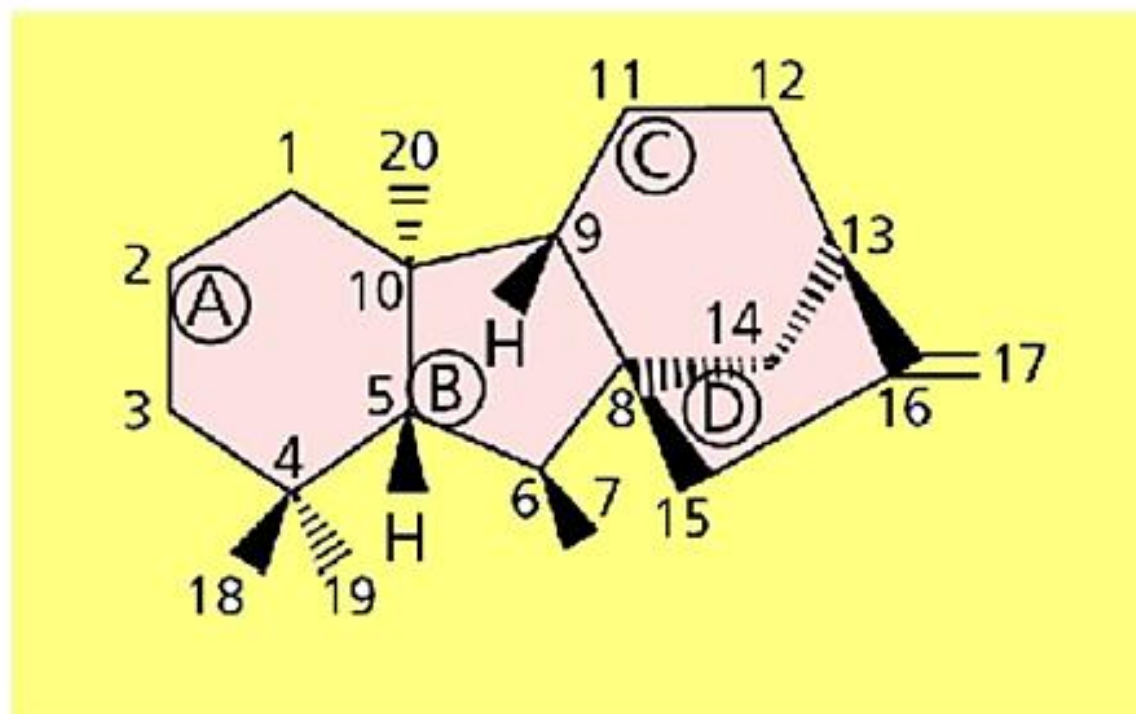
Б. Кросс (1955) полностью расшифровал структурную формулу гибберелловой кислоты

А. Ланг (1956) показал, что гиббереллины могут оказывать влияние на развитие растительного организма, индуцируя переход к цветению у длиннодневных растений

Дж. Мак-Миллан (1960) впервые выделил «растительный гиббереллин»

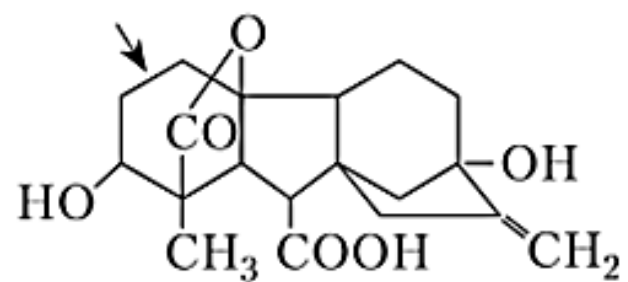
Химическая структура

Гиббереллины - тетрациклические дитерпеновые кислоты

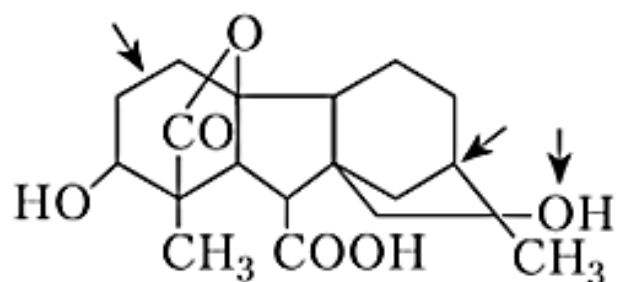


Энт-гиббереллановый скелет

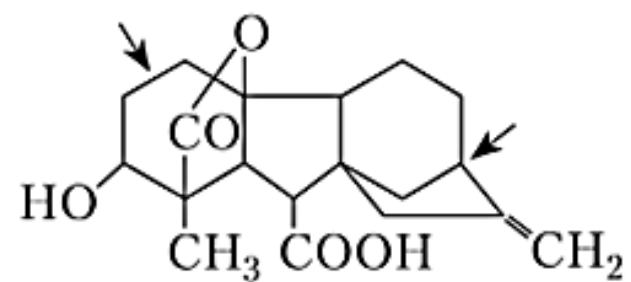
Известно более 100 гиббереллинов (ГК (GA))



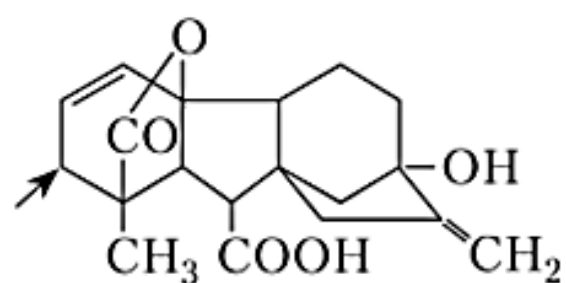
ГК₁



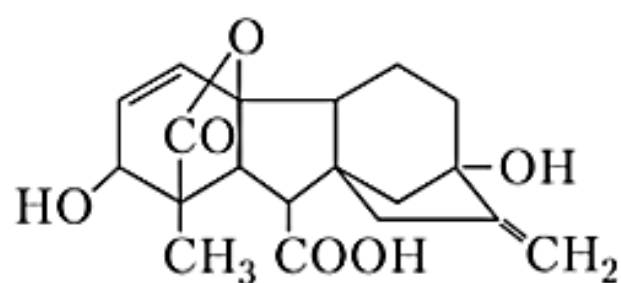
ГК₂



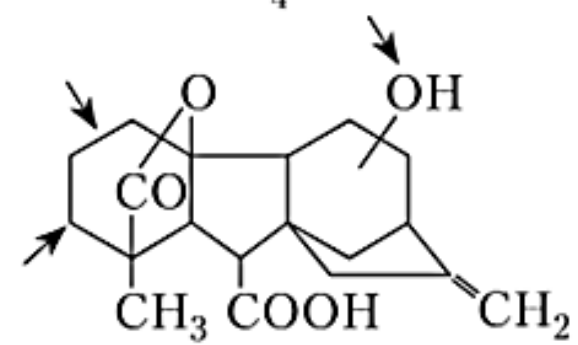
ГК₄



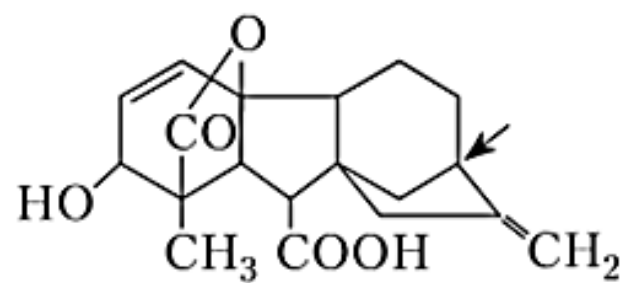
ГК₅



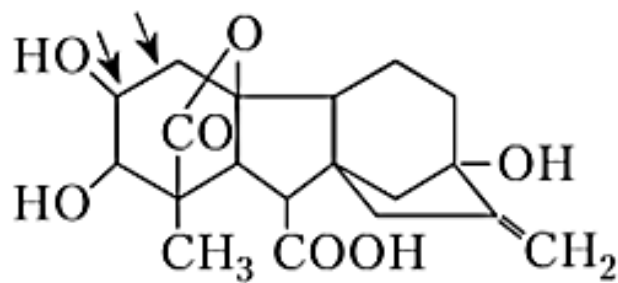
ГК₃



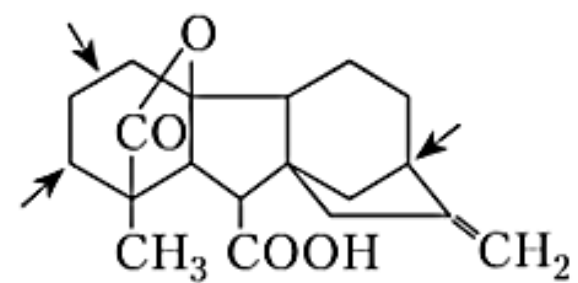
ГК₆



ГК₇

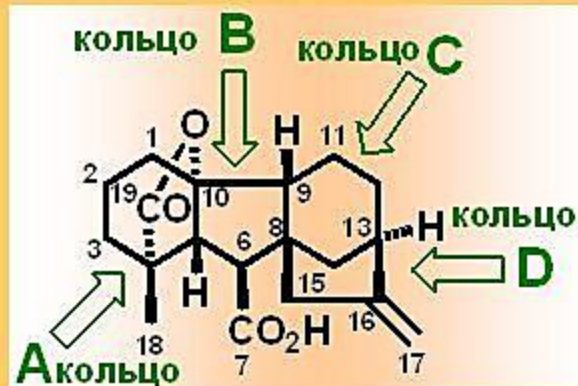


ГК₈

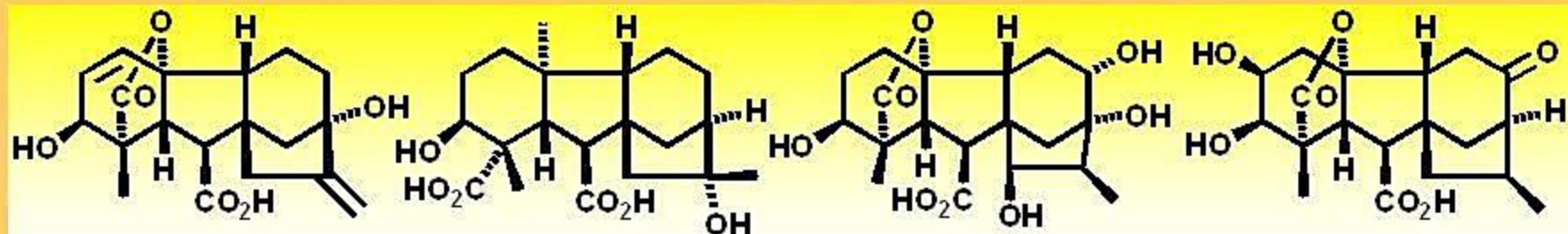


ГК₉

Впервые выделены из фитопатогенного грибка *Gibberella fujikuroi*. В настоящее время известно более 100 природных гиббереллинов и их производных, большинство – свободные монокислоты.

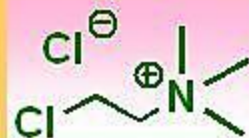


Классифицируют гиббереллины по количеству и расположению OH-групп (α -/ β -; моно-, ди-, три- и тетрагидрокси); по степени ненасыщенности скелета (C=C связи C₁-C₂, C₂-C₃, C₁₆-C₁₇); по наличию эпокси-, альдегидо-/кето- и карбокси-групп; по количеству углеродных атомов (C₁₉ или C₂₀).



гиббереллин GA₃ гиббереллин GA₄₂ гиббереллин GA₃₂ гиббереллин GA₂₆

Место биосинтеза гиббереллинов – корни, верхушечные стеблевые почки, развивающиеся семена. Способствуют росту стебля, увеличению размеров плодов, изменению формы и величины цветков, ускорению прорастания семян.

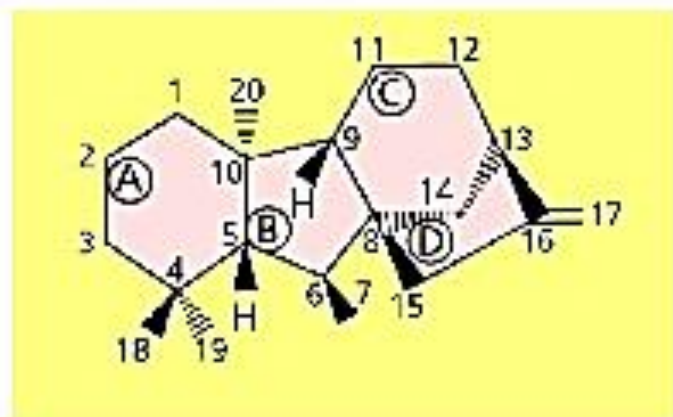


Хлорхолинхлорид (хлормекват) вызывает замедление роста растений в высоту, укорочение стебля и его утолщение (средство от полегания злаков). Работает как антигиббереллиновый гормон (ретардант).

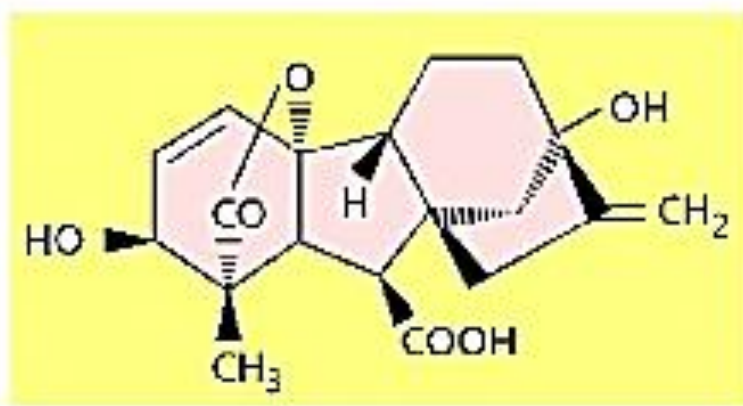
Химическая структура

ГИББЕРЕЛЛИНЫ

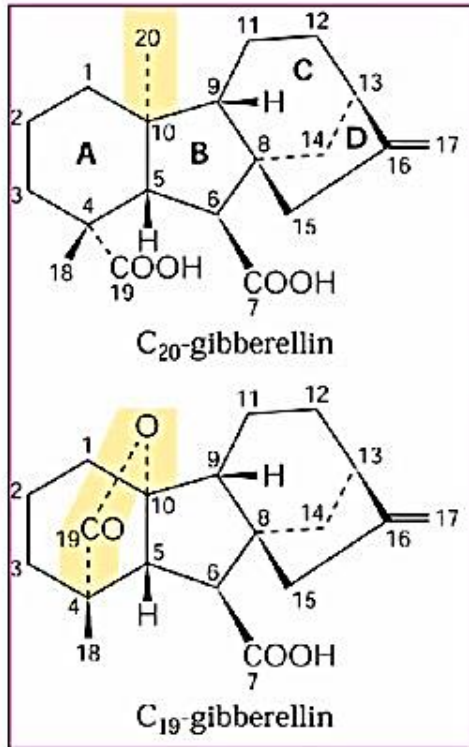
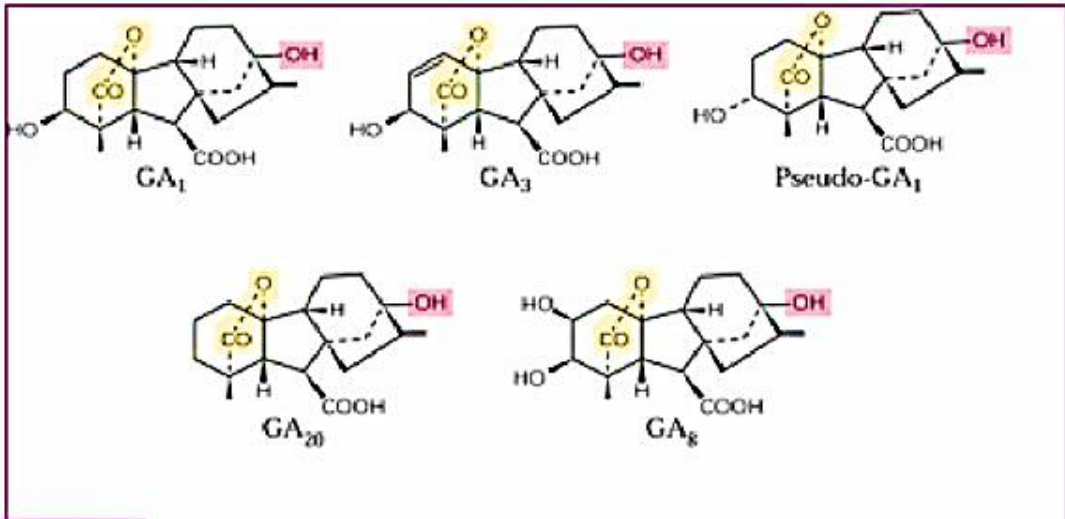
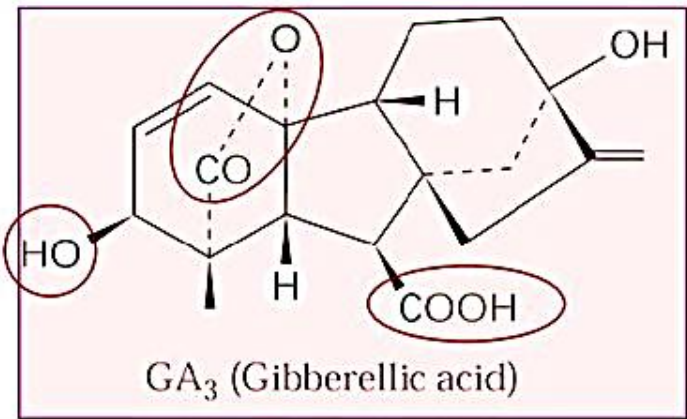
C₂₀ - гиббереллины



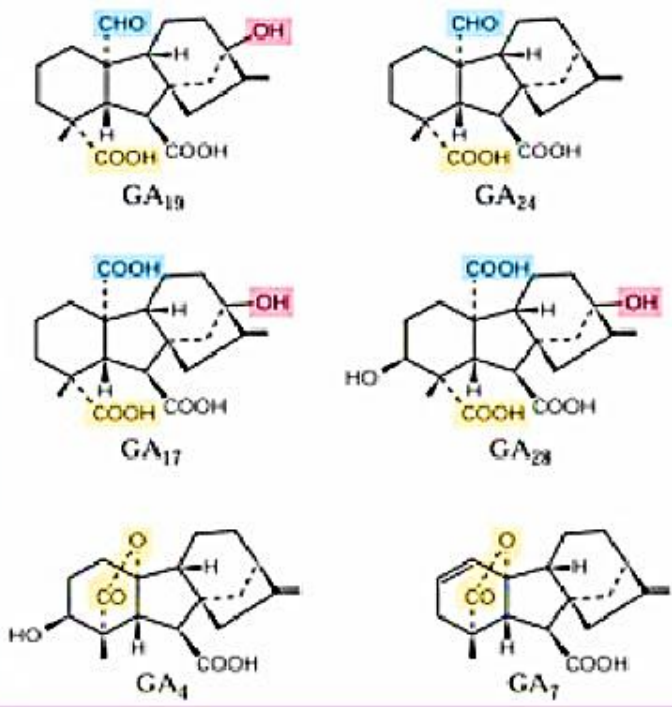
C₁₉ - гиббереллины



Количество известных гиббереллинов превышает сотню (136 штук...)



Ent-гиббереллан:
C6-C5-C6-C5
Две группы GAs:
C₂₀ и C₁₉
C₁₉ обычно имеют
лактонное кольцо
от C₄ к C₁₀
Активные C₁₉ GAs
содержат лактонное
кольцо, карбоксил
у C₆ и β-гидроксил
у C₃
C₂-гидроксил
снимает
активность...

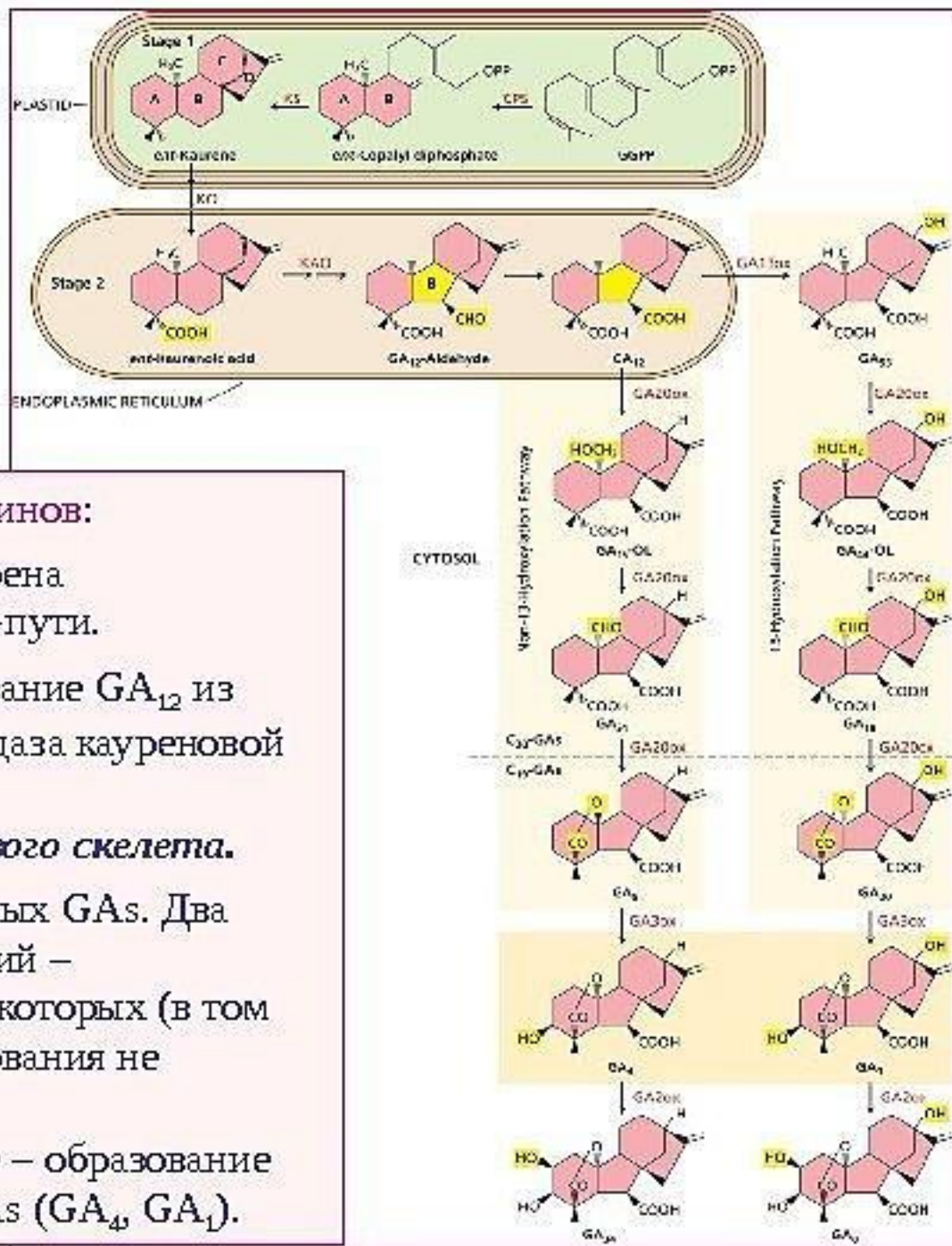


Содержание в растениях

Наиболее богаты гиббереллинами:

- молодые растущие листья,
- меристематические ткани побегов,
- апикальные зоны корней,
- молодые плоды,
- незрелые и прорастающие семена

**Синтез гиббереллинов
распределен между тремя
компартаментами клетки**



Три стадии образования гиббереллинов:

1. Пластиды. Образование энт-каурена из изопентенилдифосфата по МЕР-пути.
2. Оболочка пластид и ЭР. Образование GA_{12} из энт-каурена. каурен-оксидаза, оксидаза кауреновой кислоты.

NB - формирование гибберелланового скелета.

3. Цитозоль. Формирование активных GAs. Два варианта. Для большинства растений – гидроксильирование по C13. Для некоторых (в том числе арабидопсиса) гидроксильирования не происходит.

NB - окисление C20 и его удаление – образование GA_{19} . Формирование активных GAs (GA_4 , GA_1).

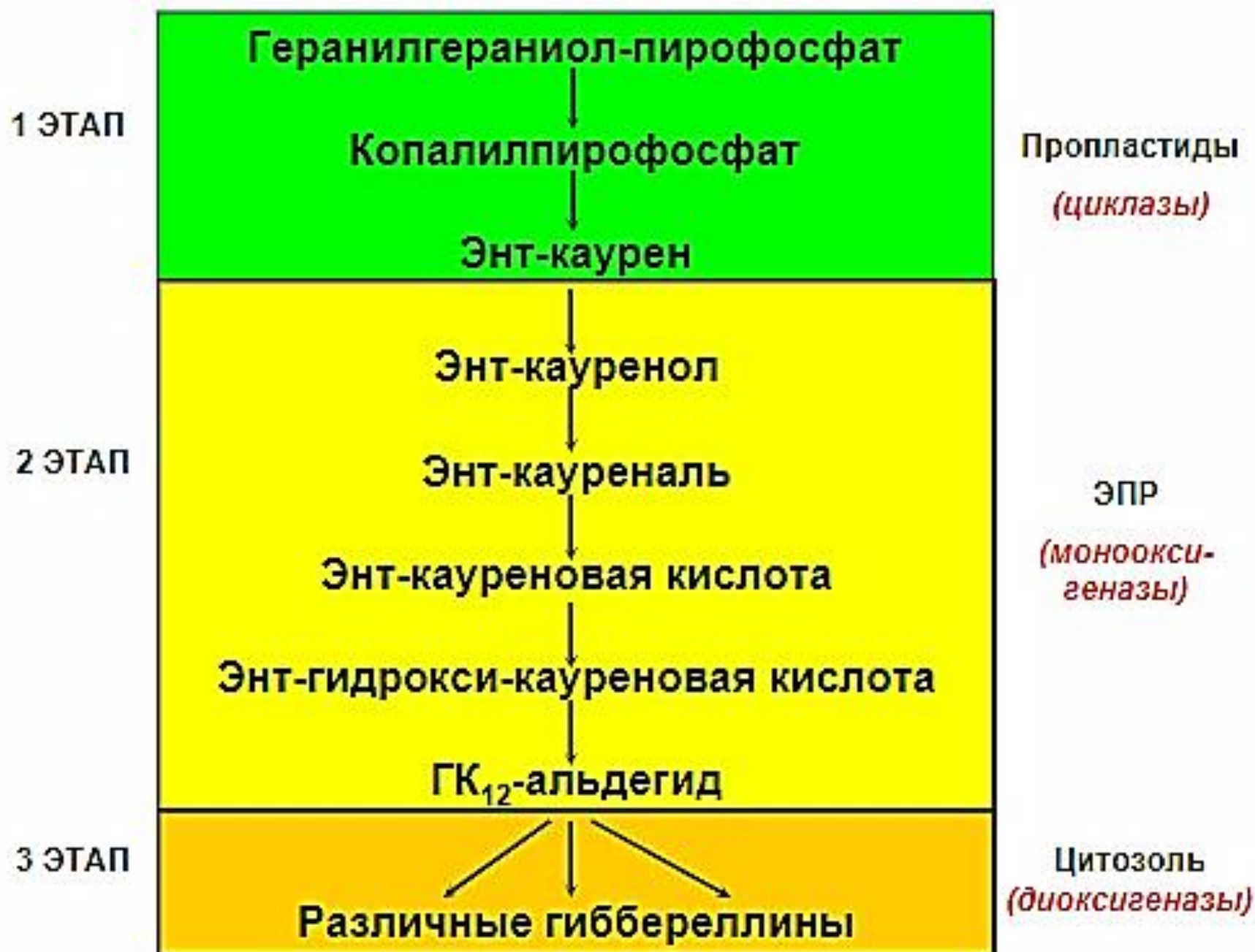
Основные предшественники:

Ацетил-СоА

Мевалоновая кислота

Геранилгераниол-пирофосфат

Промежуточные соединения принимают участие в синтезе **абсцизовой кислоты и цитокининов**



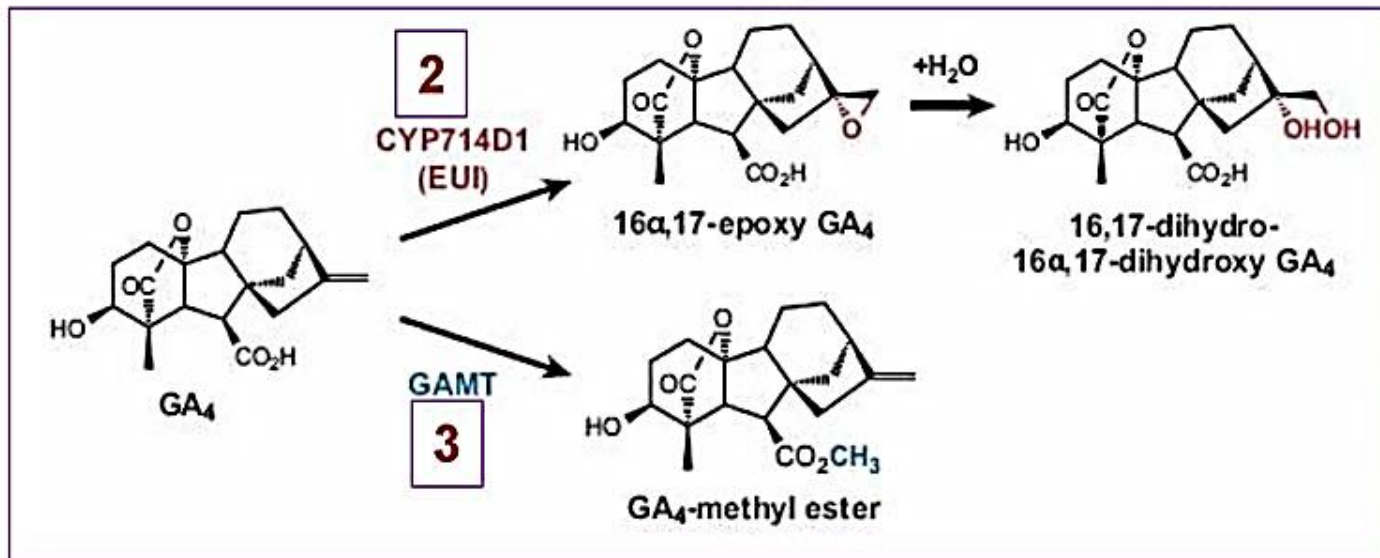
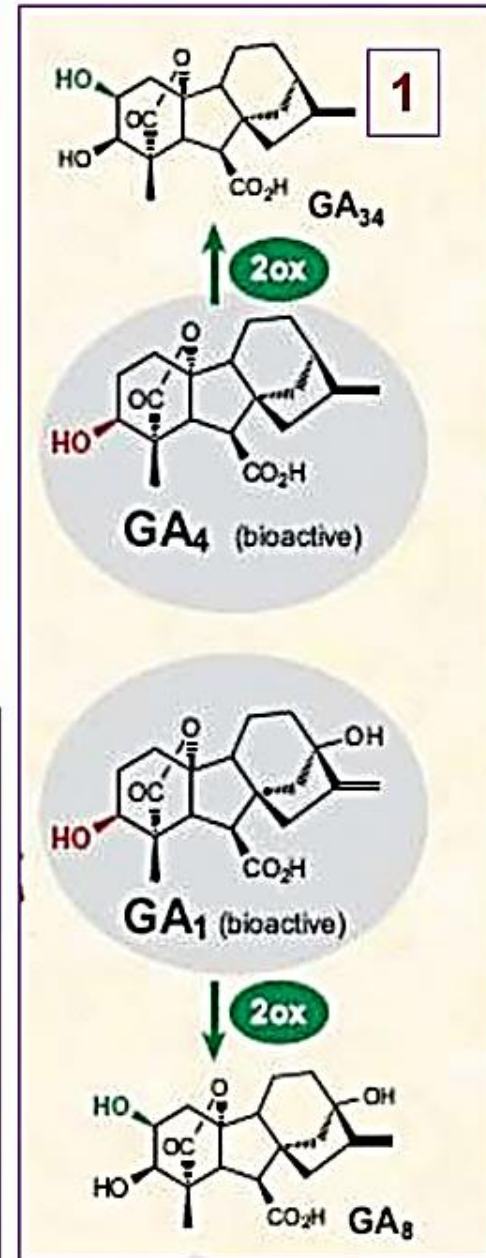


Инактивация гиббереллинов

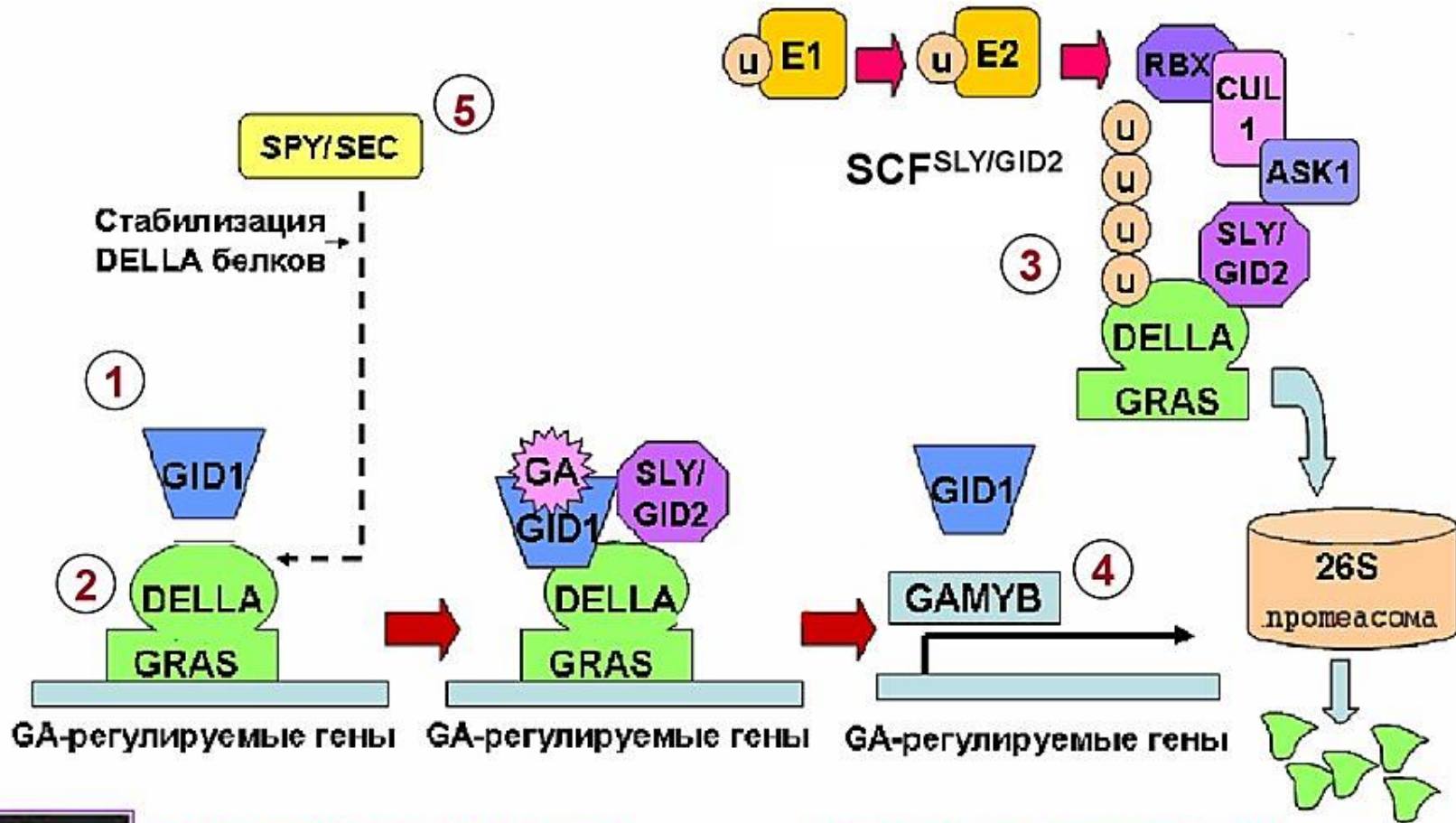
1. 2 β -гидроксилирование - GA-2-оксидазы (ферменты группы 2ODD) – основной путь

2. Эпоксидирование – цитохром-P450-монооксигеназа EUI (elongated uppermost internode)

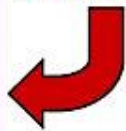
3. Метилирование с использованием S-аденозил-метионина как донора метильных групп – GAMT1, GAMT2



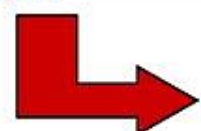
Рецепция и передача сигнала при ответе на гиббереллины



Репрессия транскрипции



Активация транскрипции



Рецепция ГК и передача сигнала

Гиббереллины – «ингибиторы» ингибиторов роста



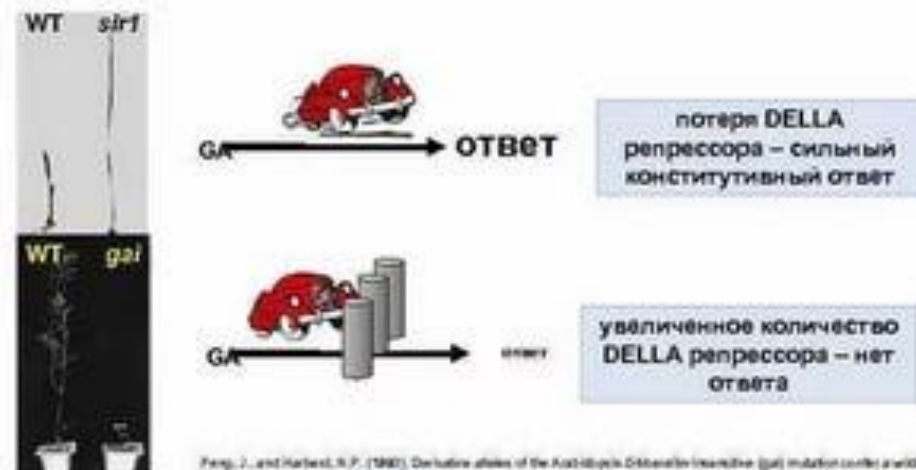
ГК инактивирует DELLA ингибиторы

Teaching Tools
IN PLANT BIOLOGY

AN INNOVATION OF THE PLANT CELL

© 2010 American Society of Plant Biologists

GA-INSENSITIVE1 и SLENDER1 кодируют «DELLA» репрессоры



Feng, J., and Harber, R. P. (2001) Deletive alleles of the Arabidopsis DELLA repressor (gai) mutation confer a wild-type phenotype. *Plant Cell* 13: 221-230; Sada, A., et al. (2011) Slender 1, a constitutive gibberellin response mutant, is caused by a null mutation of the TLE1 gene, an ortholog of the height-regulating gene DROOPY1/104. *Plant Cell* 23: 209-220.

Teaching Tools
IN PLANT BIOLOGY

AN INNOVATION OF THE PLANT CELL

© 2010 American Society of Plant Biologists

GA-INSENSITIVE1 и SLENDER1 кодируют “DELLA” репрессоры



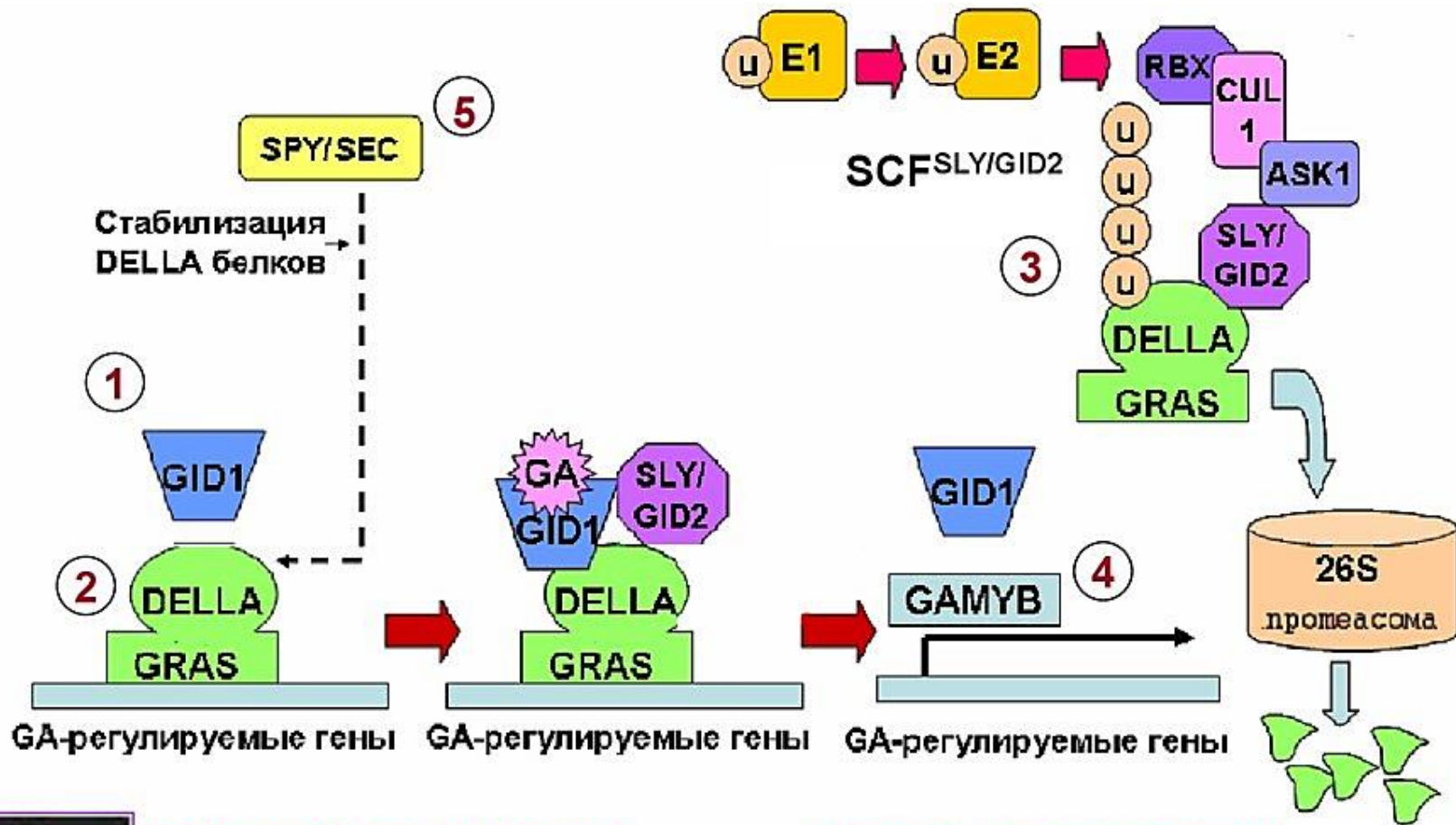
потеря DELLA репрессора – сильный конститутивный ответ



увеличенное количество DELLA репрессора – нет ответа

Feng, J., and Harber, P. B. (1997). Deletive alleles of the Arabidopsis DELLA repressor (gai) mutation confer a wild-type phenotype. *Plant Cell* 9 [201-209](#); Ikeda, A., et al. (2011). Slender 1-like, a constitutive gibberellin response mutant, is caused by a null mutation of the DRT1 gene, an ortholog of the height-regulating gene GAINOSA/TGA. *Plant Cell* 23 [209-219](#).

Рецепция и передача сигнала при ответе на гиббереллины



Репрессия транскрипции

Активация транскрипции

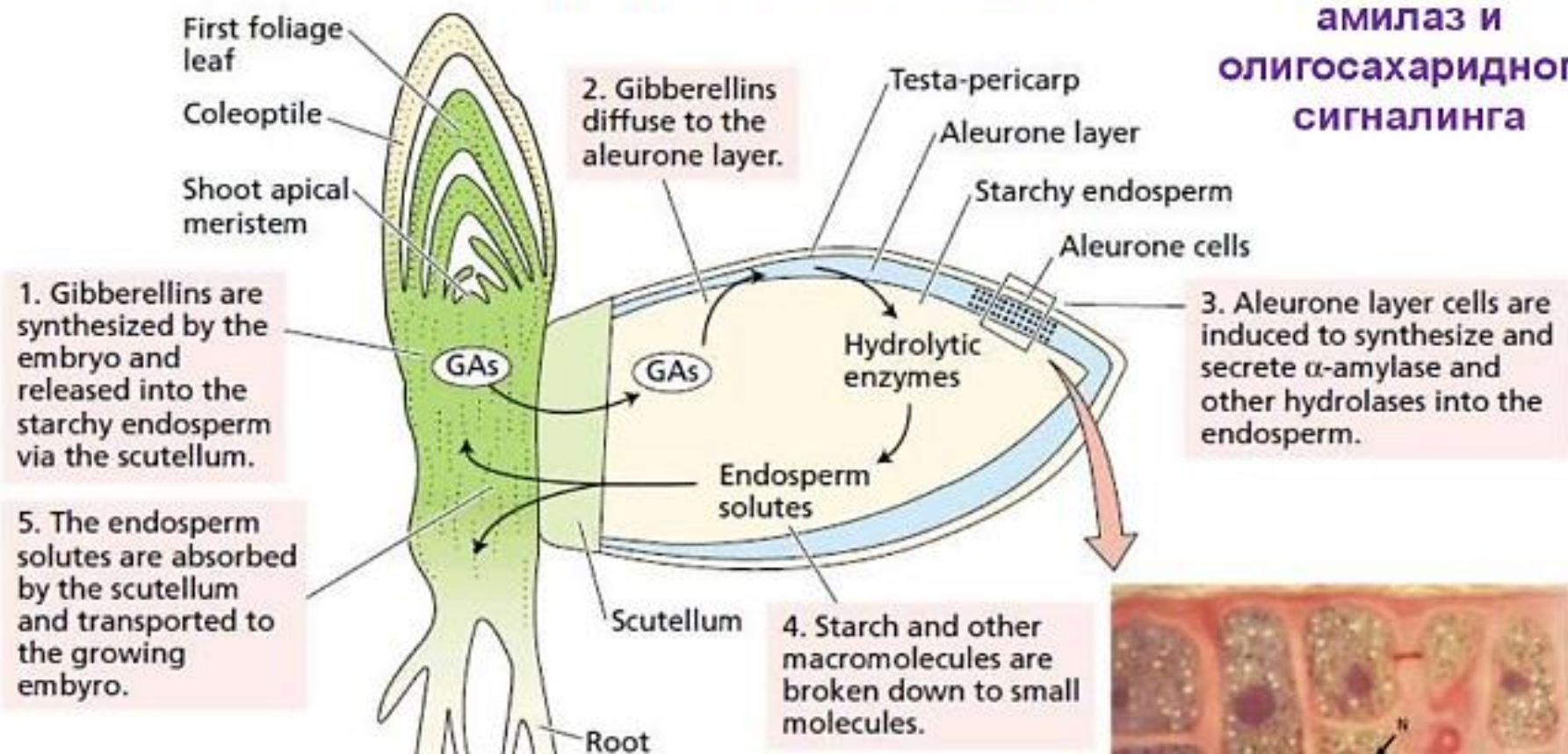


Физиологические проявления действия гиббереллинов.

- Гиббереллины обладают способностью резко усиливать рост стебля у карликовых форм различных растений.
- Гиббереллины усиливают вытягивание стебля у многих нормальных растений.
- Гиббереллины как и ауксины являются гормонами роста.
- Гиббереллины участвуют в разрастании завязи и образования плодов.
- Гиббереллины усиливают процесс фотосинтетического фосфорилирования, в первую очередь нециклического.

Функции гиббереллинов в развитии растений: проращивание семян

1. Индукция α -амилазы и олигосахаридного сигналинга



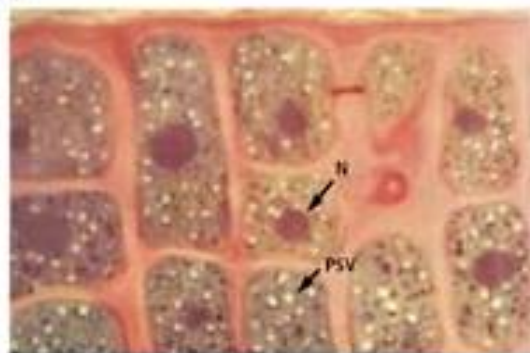
1. Gibberellins are synthesized by the embryo and released into the starchy endosperm via the scutellum.

5. The endosperm solutes are absorbed by the scutellum and transported to the growing embryo.

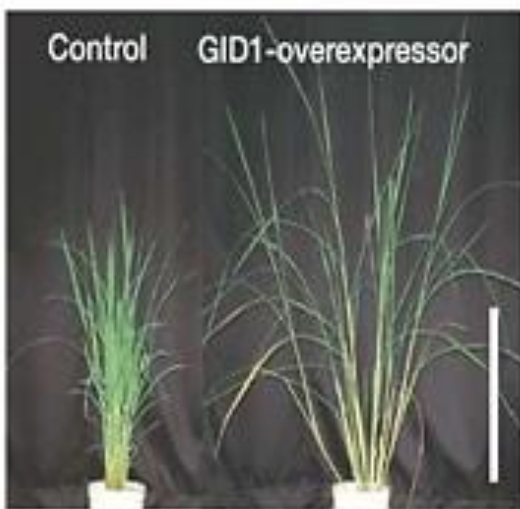
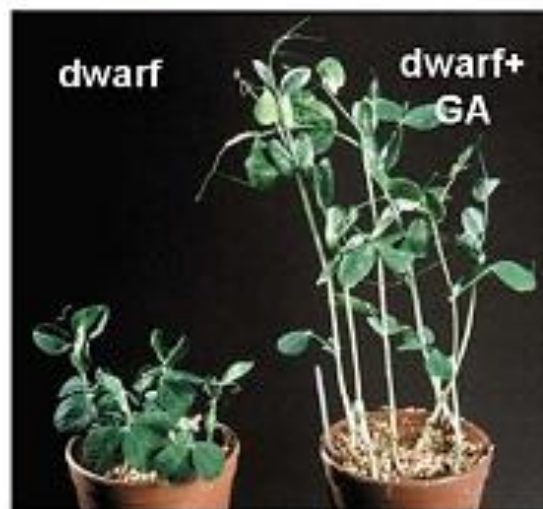
2. Gibberellins diffuse to the aleurone layer.

3. Aleurone layer cells are induced to synthesize and secrete α -amylase and other hydrolases into the endosperm.

4. Starch and other macromolecules are broken down to small molecules.



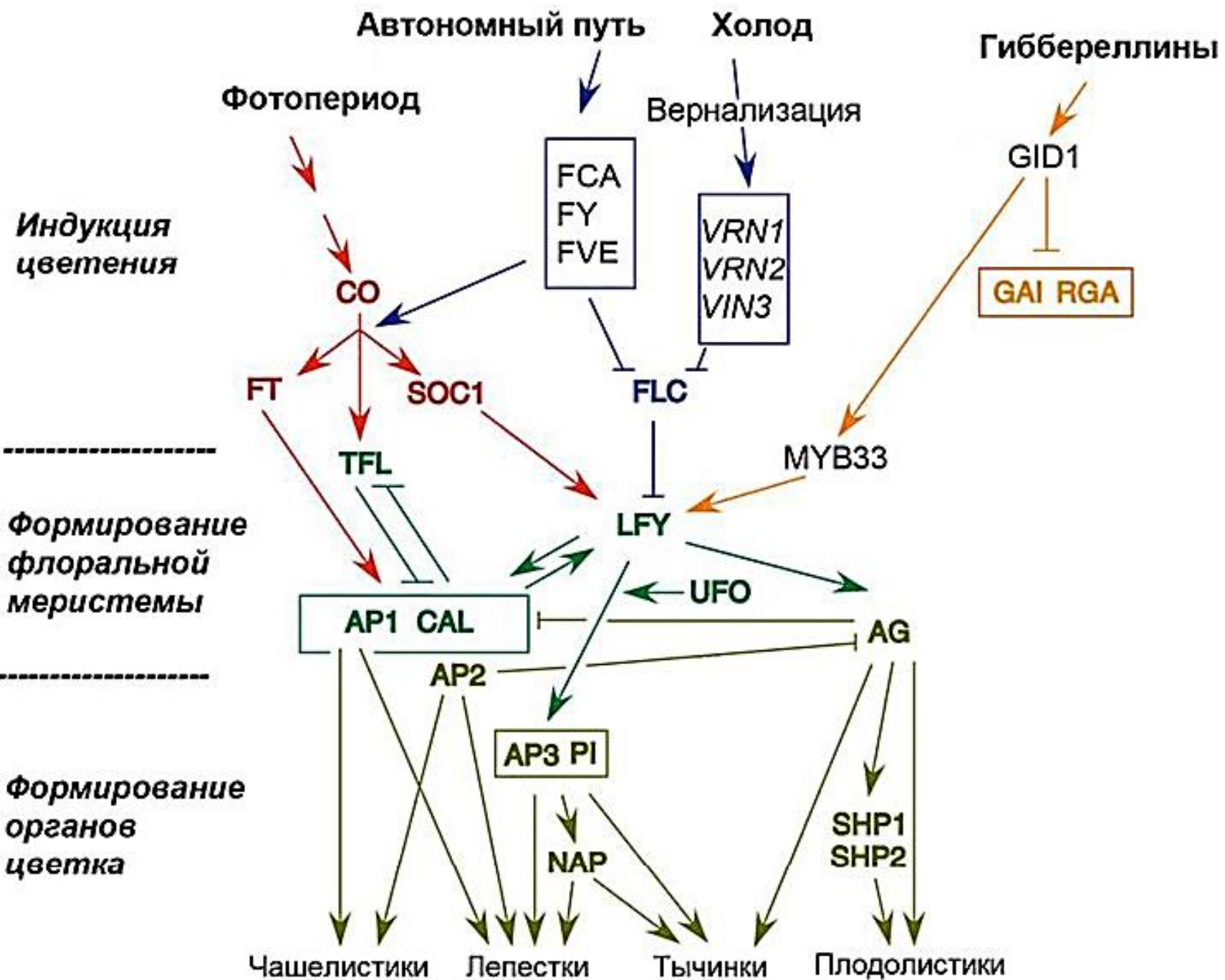
Функции гиббереллинов в развитии растений: удлинение междоузлий и листьев



Гормональная теория зацветания растений М.Х. Чайлахяна



- цветение вызывают два гормона: один из них — *гиббереллин*, а другой — *антезин*.
- Процесс зацветания проходит в две фазы: на первой фазе образуется цветочный стебель (цветоножка), а на второй — сами цветки.
- Необходимая для зацветания длина дня стимулирует выработку того гормона, которого до сих пор не хватало: у длиннодневных — антезина, а у короткодневных — гиббереллина



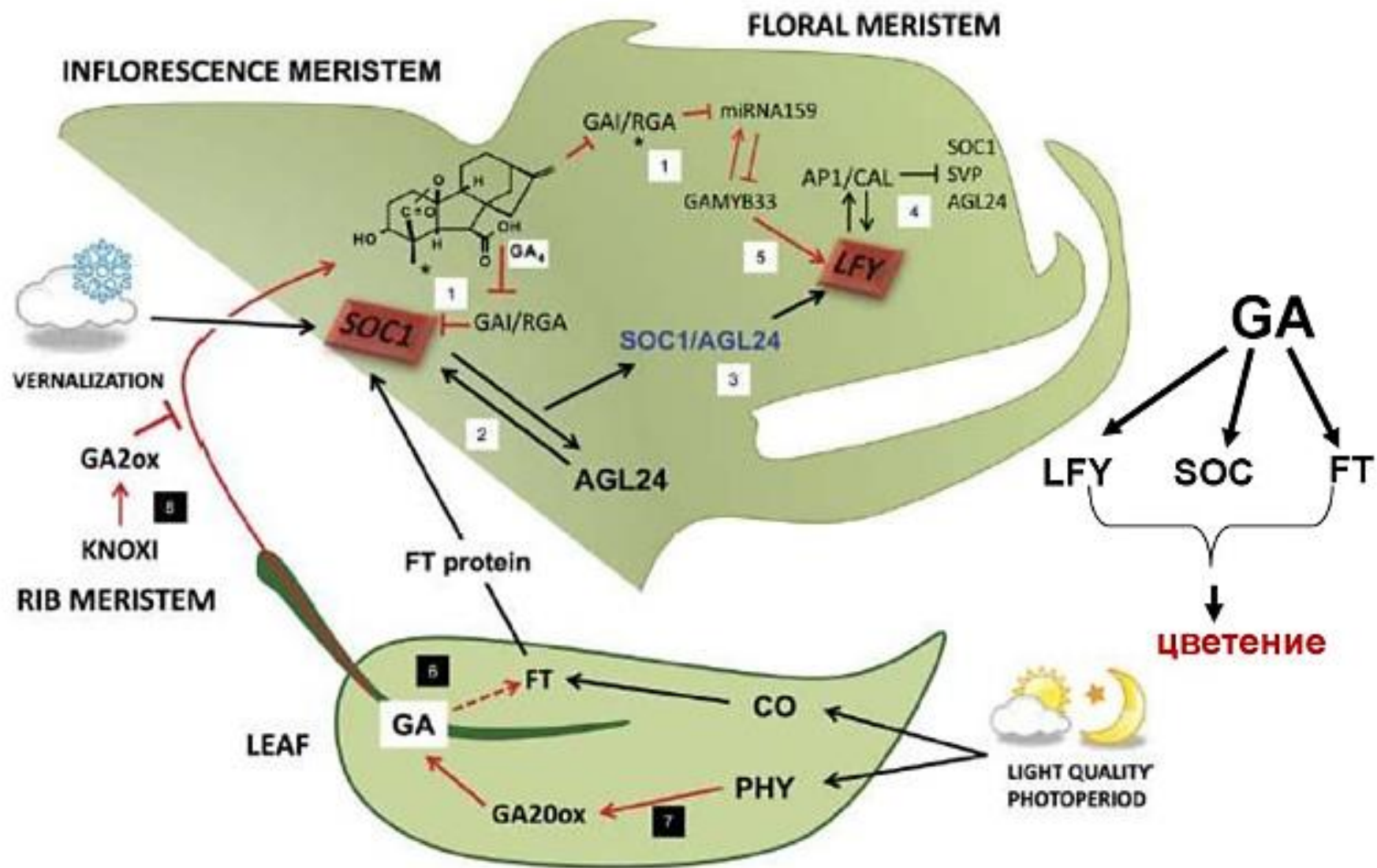
Индукция цветения

Формирование флоральной меристемы

Формирование органов цветка

Чашелистики Лепестки Тычинки Плодолистики

Функции гиббереллинов в развитии растений: переход к цветению



Гиббереллин

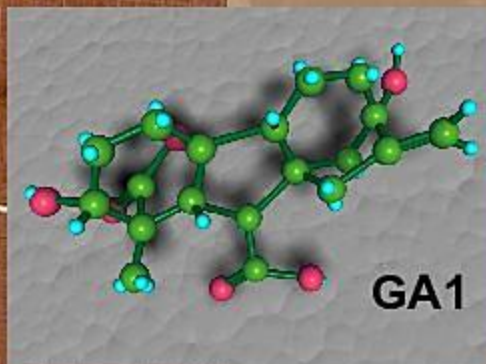
Мутанты с изменением высоты стебля.

Две фенотипические группы:

1. Карликовые, с укороченными междоузлиями
2. Высокие (slender) с удлинненными междоузлиями

Большинство мутантов - «гиббереллиновые», которые по физиологическим и биохимическим характеристикам делятся на 2 группы:

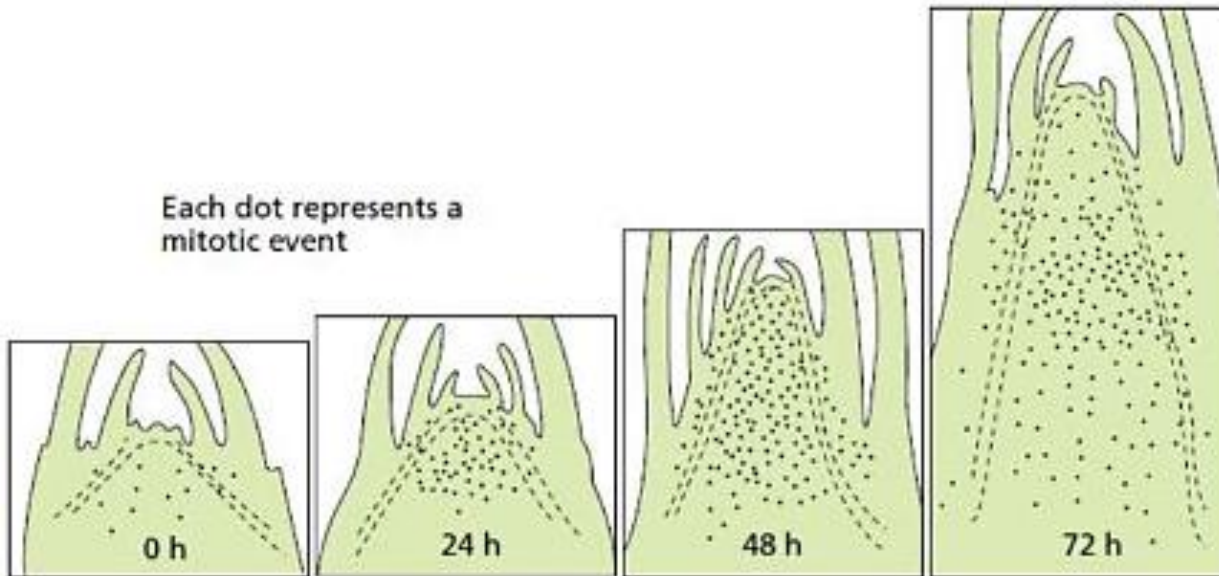
1. Мутанты **биосинтеза и катаболизма гиббереллинов (ГА)**
2. Мутанты **ответа на ГА.**



Кроме ГА в контроле роста стебля принимают участие и другие гормоны: **брасиностероиды и ауксины.**



Удлинение междоузлий и листьев:



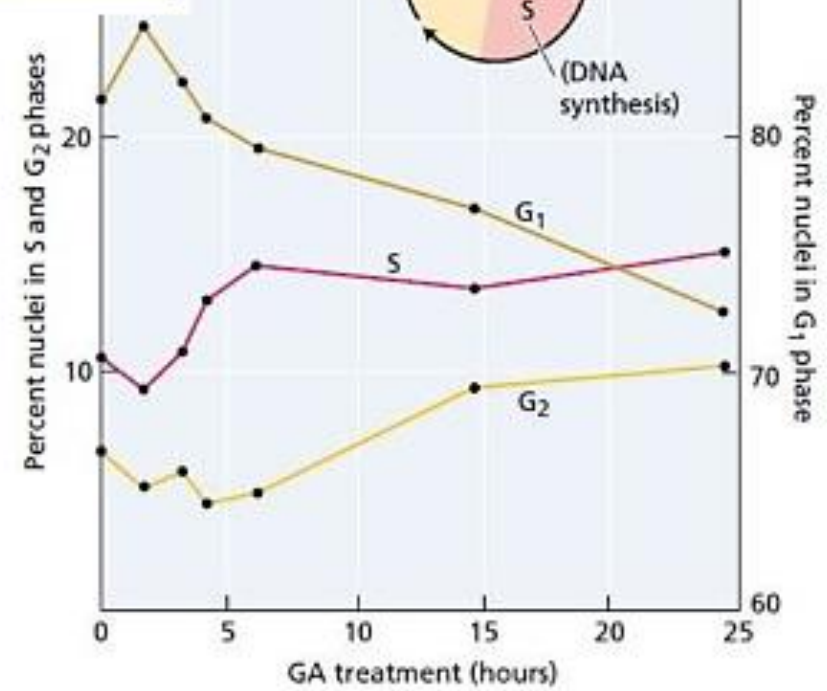
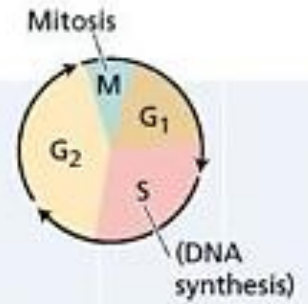
1). Стимуляция пролиферации клеток

гиббереллины

GAMYB

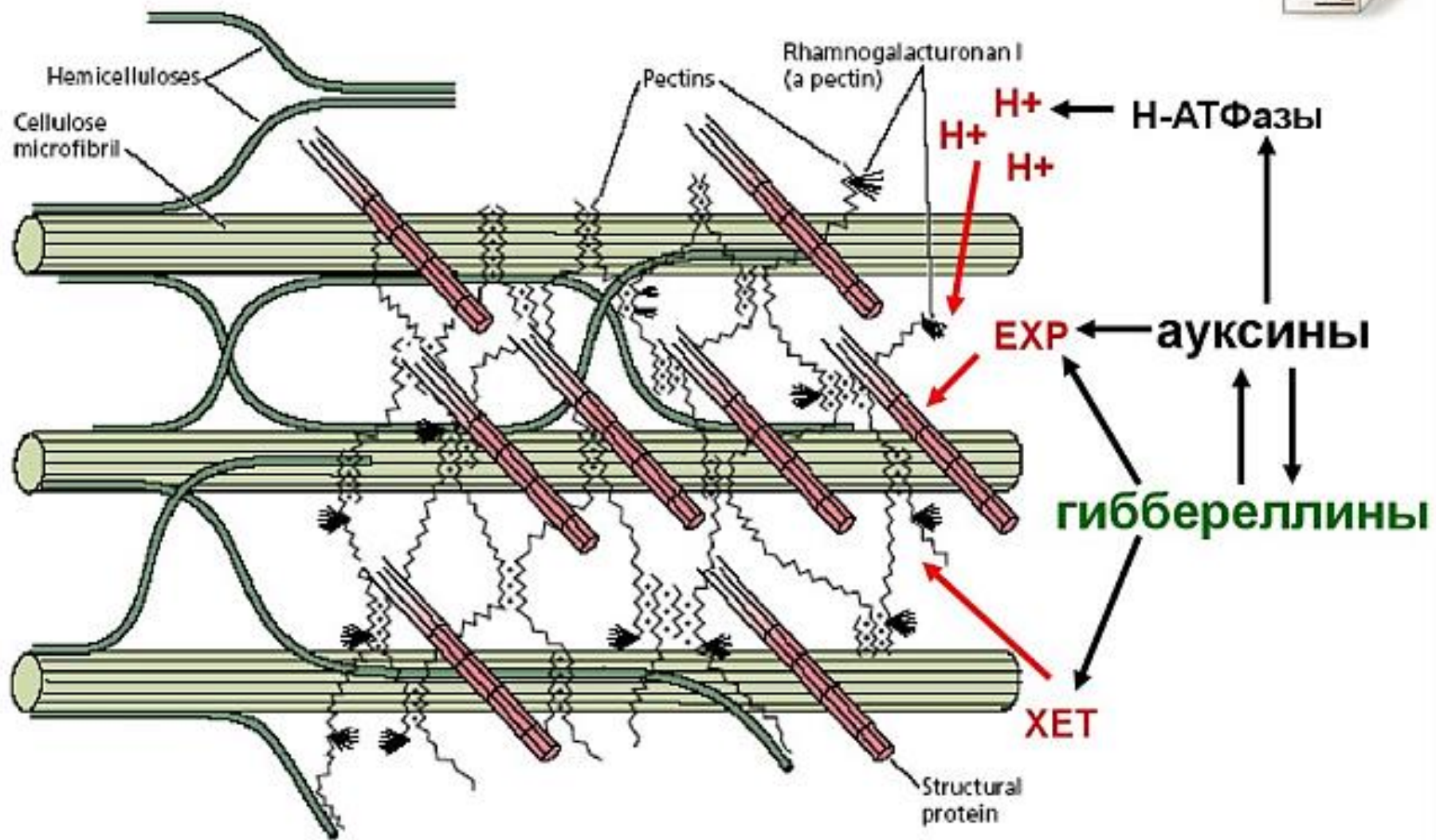
CDKA

клеточный цикл



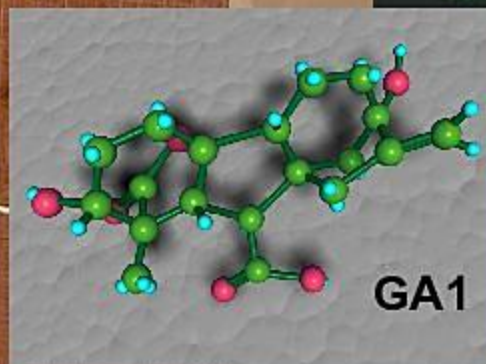
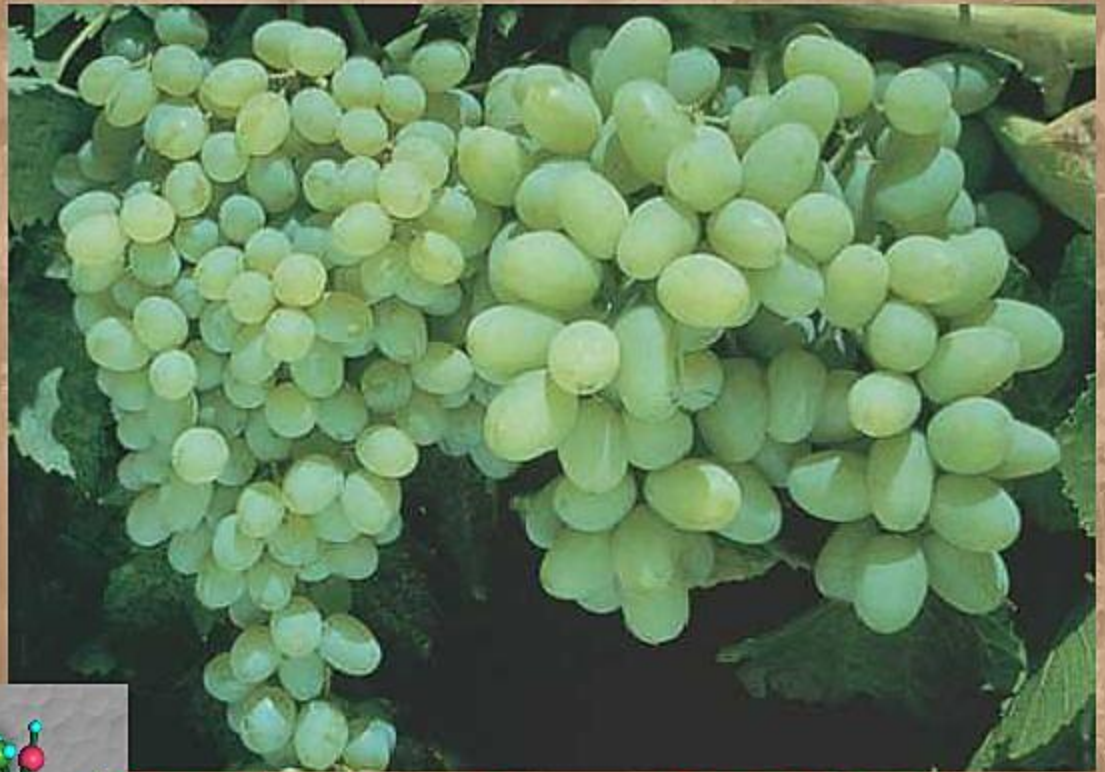
Удлинение междоузлий и листьев:

2). Растяжение клеточных стенок



Гиббереллины

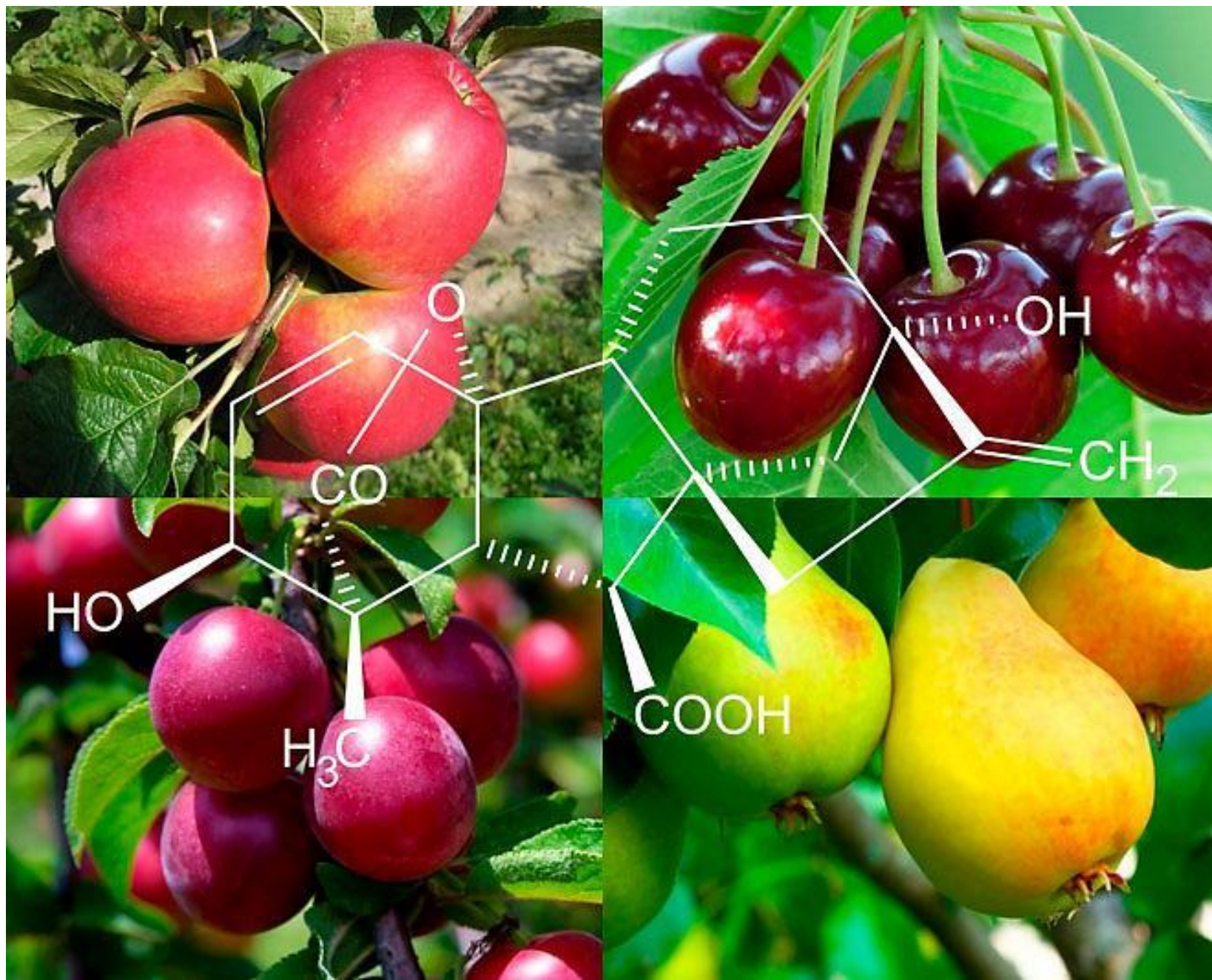
Гиббереллины и плоды



Естественный
размер ягод

Обработка
гиббереллином

Стимуляция роста бессемянных плодов





Гиббереллин (гиббереллиновая кислота)

Длинный день

Красный свет

Высокая температура

- CO

Калийное питание
N<K

Низкая влажность
воздуха



Цитокинин
(6-бензиламинопурин)

Короткий световой
день

Синий свет

Низкая температура

+ CO

Хорошее Азотное
питание N>K

Высокая влажность
воздуха

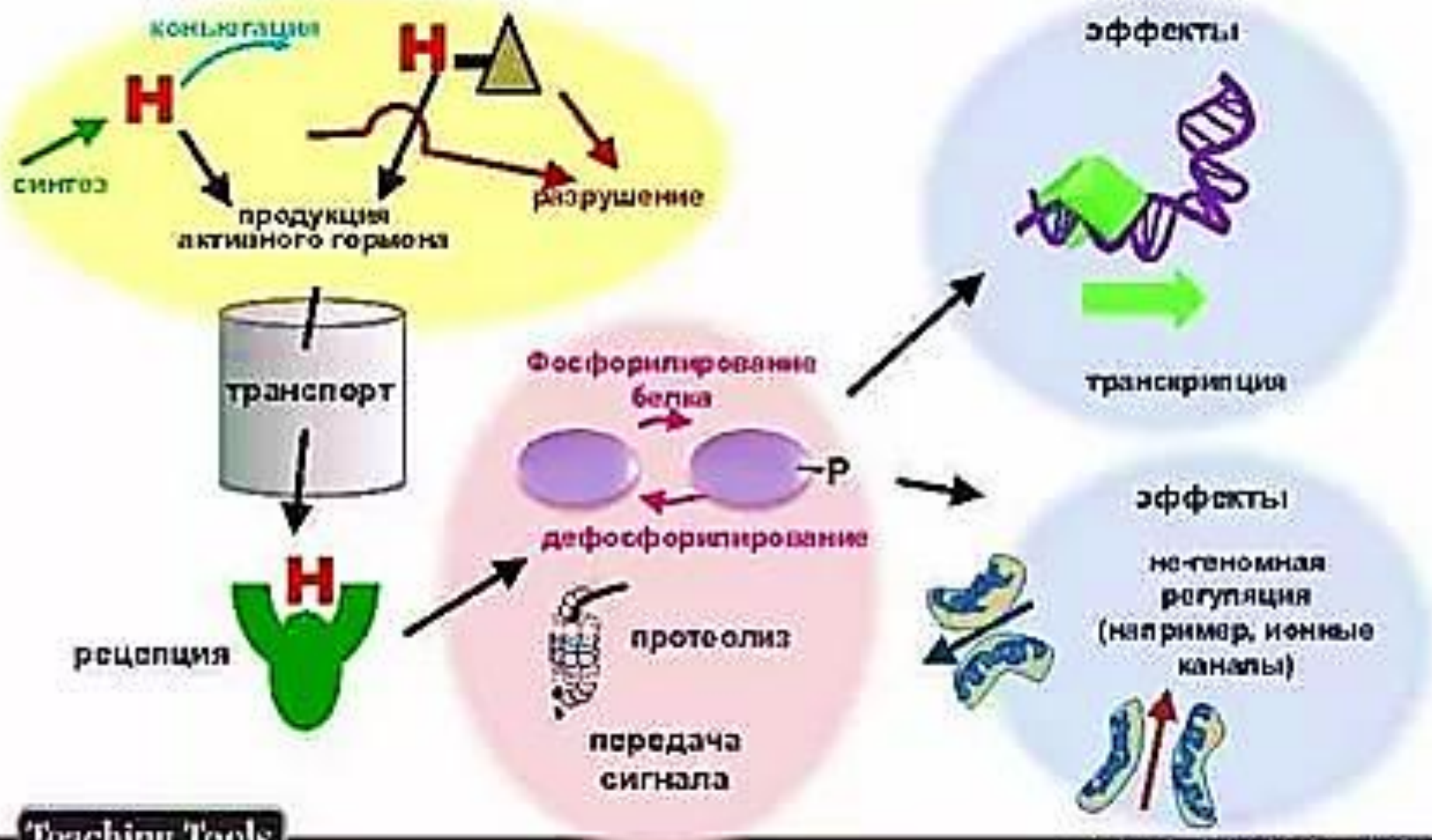
Роль факторов внешней среды в проявлении пола

С помощью гиббереллинов можно вызвать изменение пола у растений.

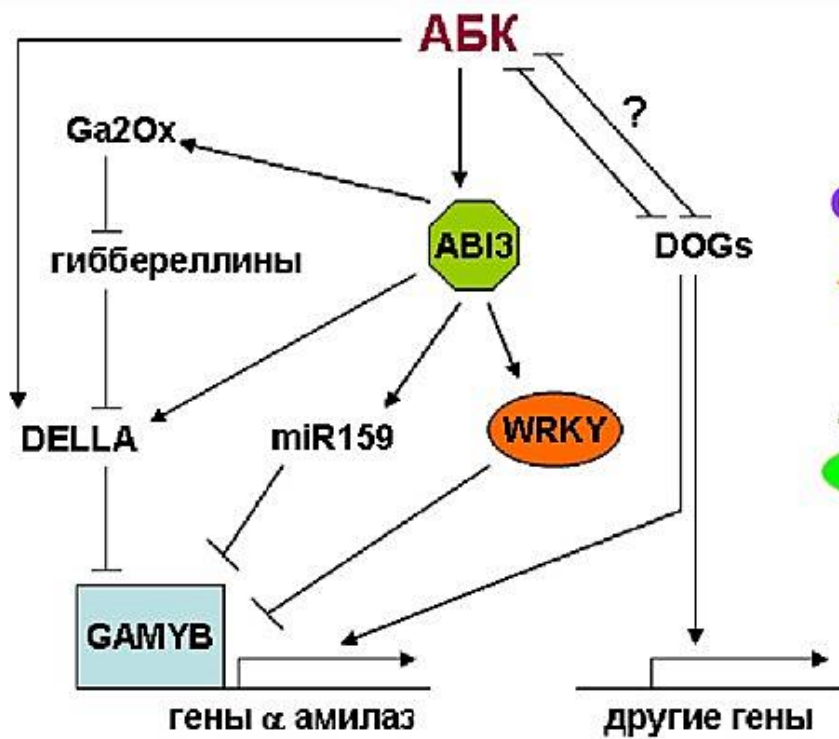
Взаимодействие фитогормонов

- **Функциональное** - согласованность в механизмах действия фитогормонов на функциональную активность клеток и тканей.
- **Метаболическое** – влияние фитогормонов на метаболизм друг друга

Фитогормоны: синтез, транспорт, рецепция, передача сигнала и ответы



Антагонизм ГК и АБК в контроле периода покоя и ответа на абиотический стресс



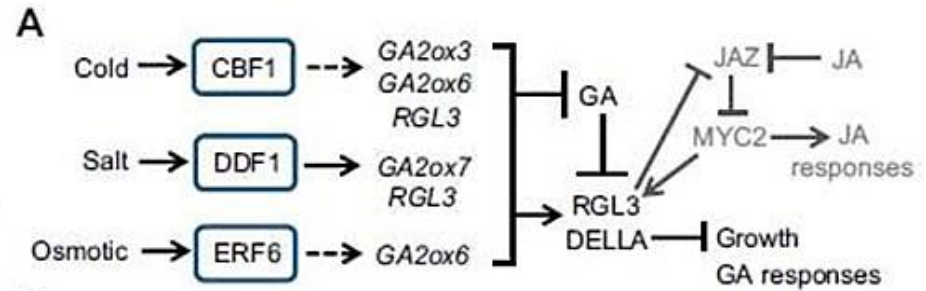
Много ГК
Мало АБК
Живем!



Мало ГК
Много АБК
Выживаем!



Genotype: WT 35S:GA20ox ga20ox1/2 ga2ox ga3ox1/2 ga20ox1/2/3
GA status: Normal High Reduced High Reduced Very low



B

	GA20ox		GA3ox		GA2ox						
	1	2	5	1	2	1	2	3	4	6	RGL3
Cold (late, rosette)	●					●		●		●	●
Dehydration (1 h, rosette)				●			●			●	●
Dehydration (4 h, rosette)				●		●	●			●	●
Osmotic (3 h, shoot)				●		●	●			●	●
Osmotic (late, root)							●			●	●
Salt (late, root)			●	●	●		●		●	●	
Salt (6 days, leaf)			●				●			●	
Submergence (24 h, rosette)	●					●					●

-2.5 log₂ ratio 2.5



Гиббереллин - регулятор роста и развития растений. Обработка гиббереллином стимулирует рост саженцев, стеблей, побегов, листьев, плодов, прерывает спячку семян и стимулирует их прорастание.

незаменимый помощник



незаменимый помощник

