

A microscopic image showing numerous green, elongated somatic embryos of varying sizes and stages of development. The embryos are clustered together against a dark, black background. Some embryos appear as small, rounded spheres, while others are more elongated and have a distinct, slightly flattened shape. The overall appearance is that of a dense population of young plantlets.

Соматический эмбриогенез и его регуляция

**Соматический эмбриогенез -
это процесс формирования
эмбрионов
из клеток соматических тканей.**

Plants only



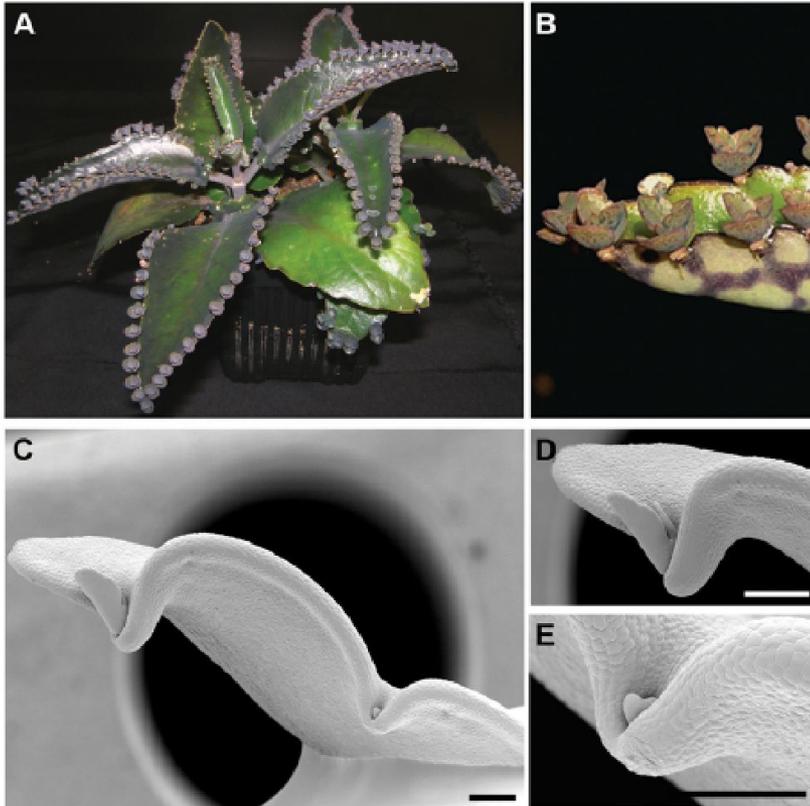
© Can Stock Photo - csp16919887

Другой вариант определения:

- это процесс, при котором незиготические клетки формируют эмбрионы, которые проходят через характерные стадии эмбрионального развития, в конечном счёте формируя новое растение (Chen et al., 2009).

Соматический эмбриогенез в природе

Kalanchoe daigremontiana



Garcês et al., 2009

Malaxis paludosa



Taylor, 1967

Соматический эмбриогенез в природе

Tolmiea menziesii (piggyback plant)



Yarbrough, 1936

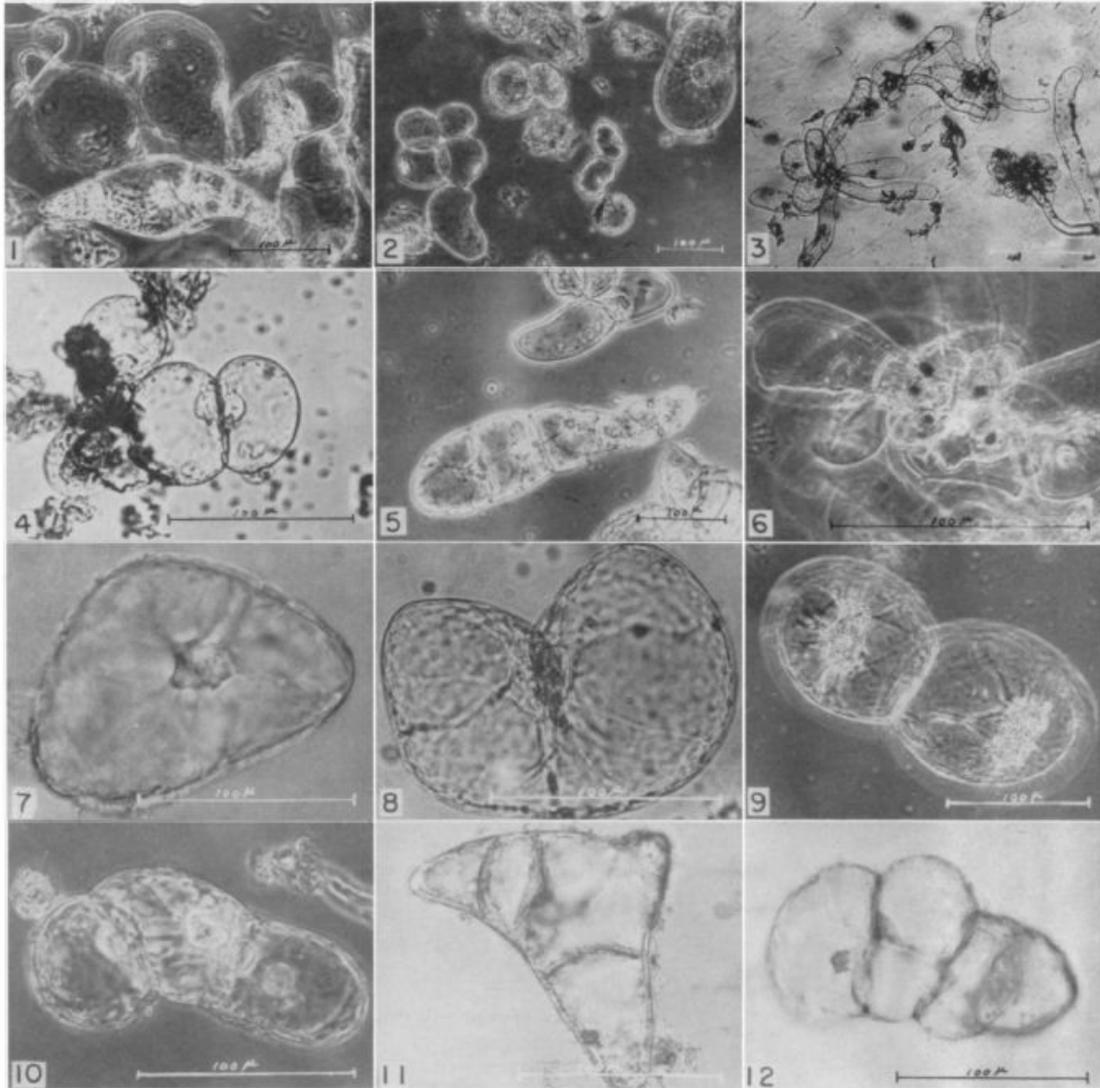
Camptosorus rhizophyllus (walking fern)



Yarbrough, 1936

Соматический эмбриогенез *in vitro*

Соматические эмбрионы в суспензионной культуре клеток моркови.



Steward et al., 1958

Соматический эмбриогенез *in vitro*

Примеры видов с разработанными протоколами получения соматических эмбрионов *in vitro*:

Arabidopsis thaliana

Medicago truncatula

Manihot esculenta

Oryza sativa

Crocus sativus

Triticum aestivum

Sequoia sempervirens

Picea abies

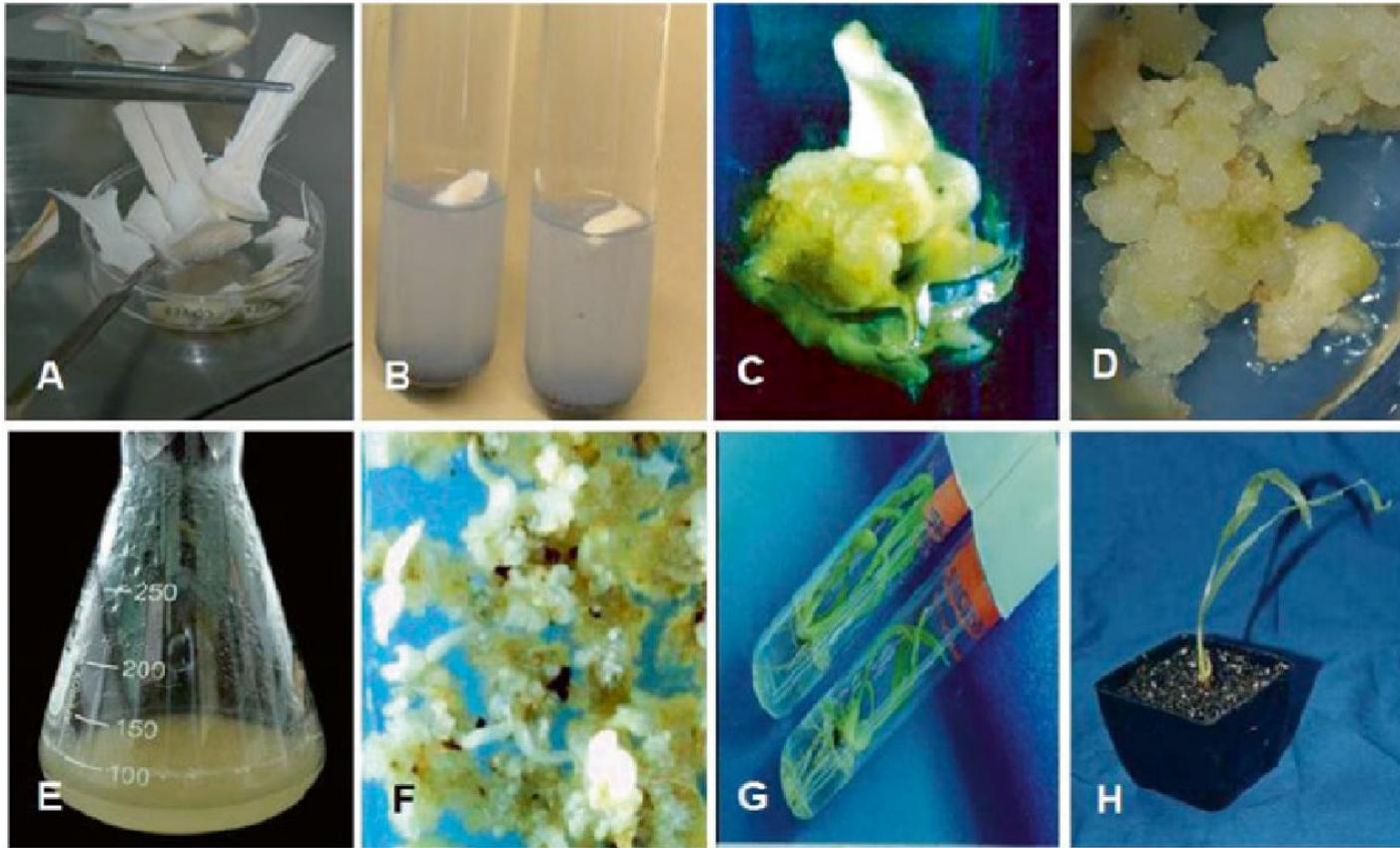
Cyathea delgadii



Получение соматических эмбрионов из суспензионной культуры *Phoenix dactylifera*

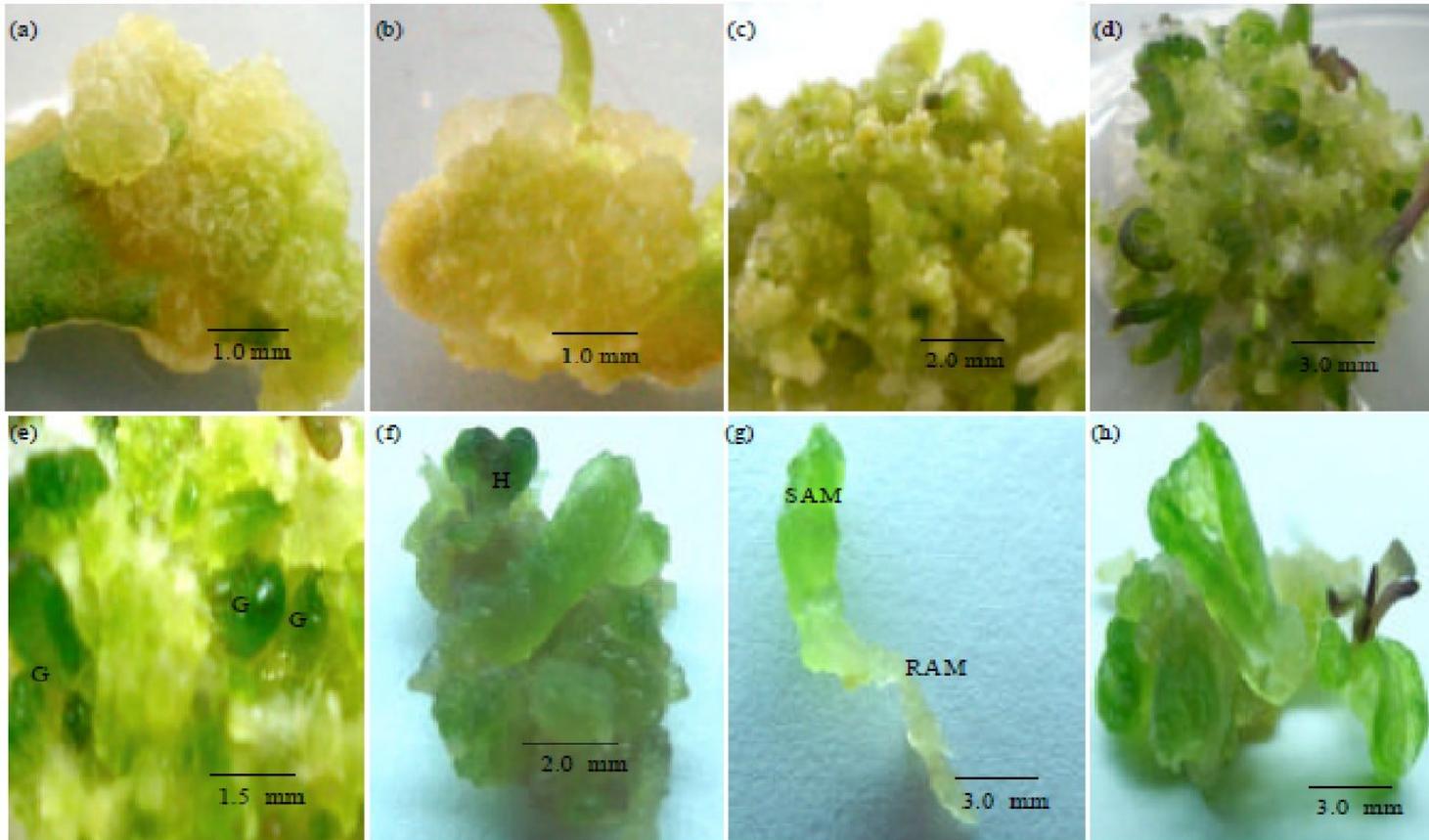


<http://imgpng.ru/download/11074>





Получение соматических эмбрионов из каллусной культуры *Lycium barbarum*

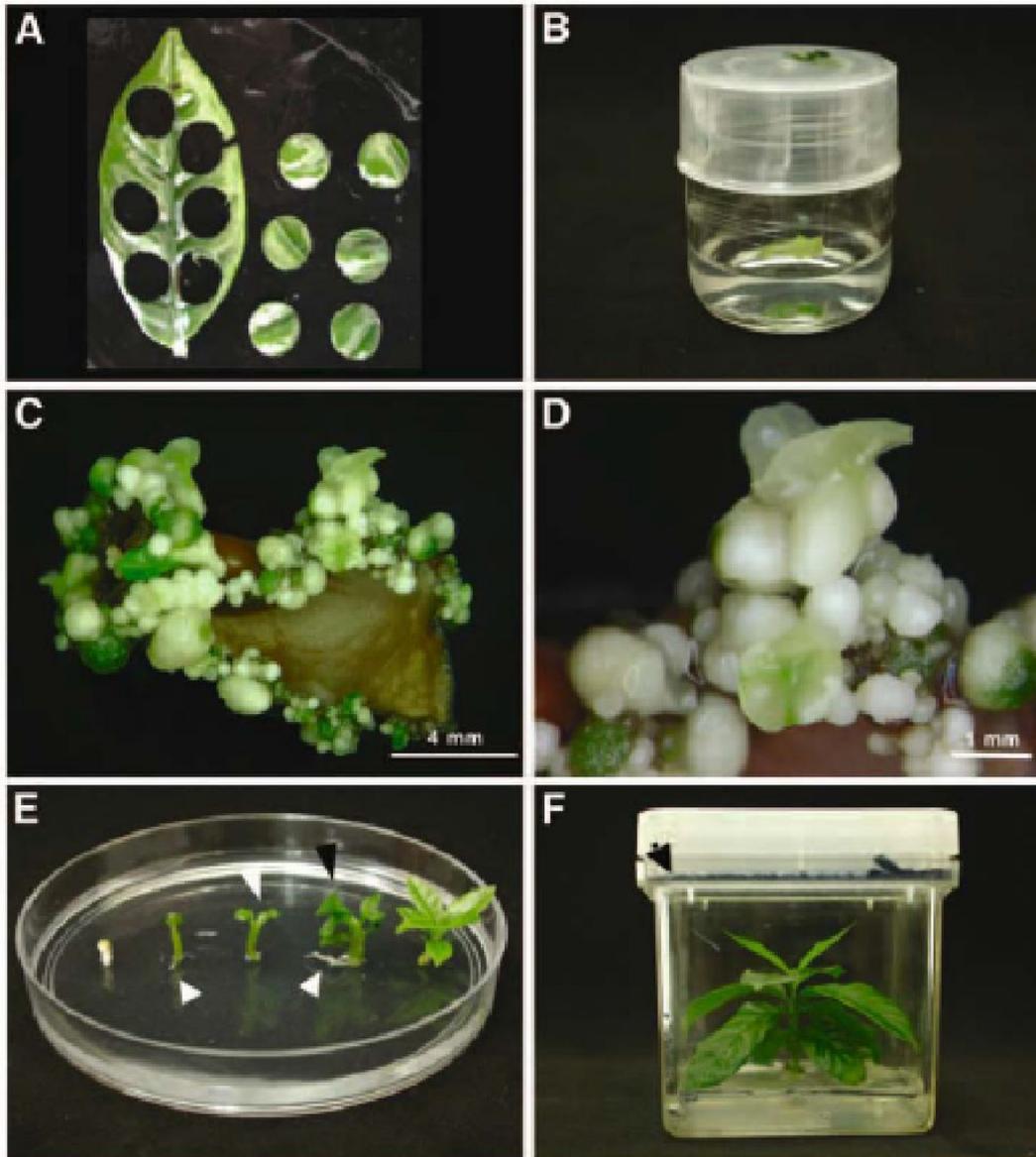


<http://www.waysidegardens.com/sweet-lifeberry-shrub/p/36036/>

Прямой соматический эмбриогенез у *Coffea canephora*



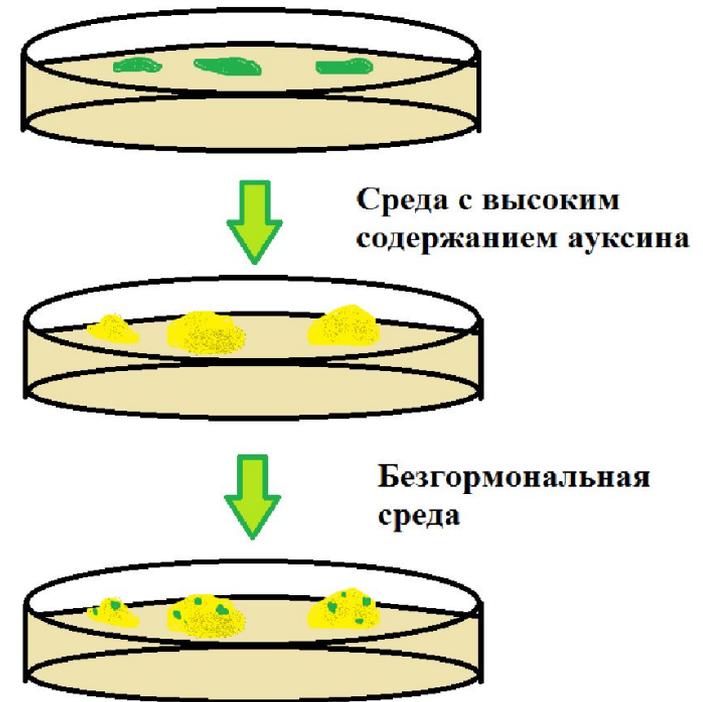
<http://pictures11.ru/kartinki-kofe.html>



Quiroz-Figueroa et al., 2006

**Типичный протокол СЭ
включает в себя два этапа:**

- 1. Культивирование растительных эксплантов на среде с большим содержанием ауксина: каллусообразование и индукция соматических эмбрионов**
- 2. Развитие соматических эмбрионов на поверхности каллусов на среде без гормонов**

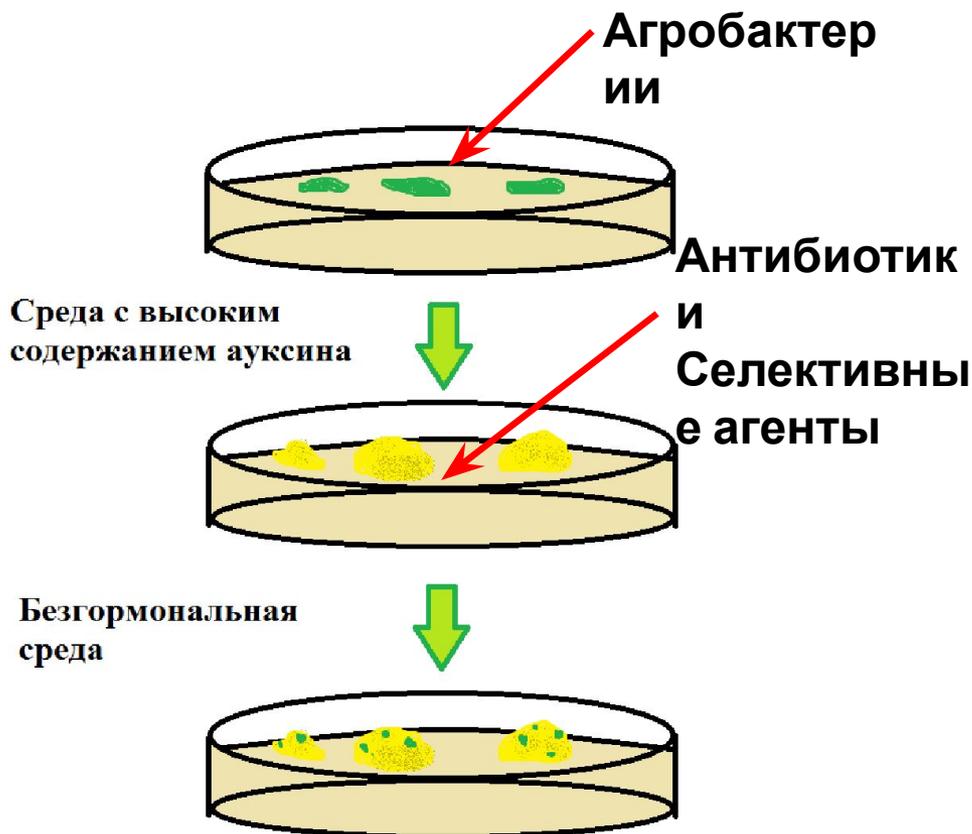


Применение соматического эмбриогенеза: трансформация растений

<http://www.petals.com/poins-ettia-ranunculus-centerpiece/hda204-rd>



Агробактериальная трансформация



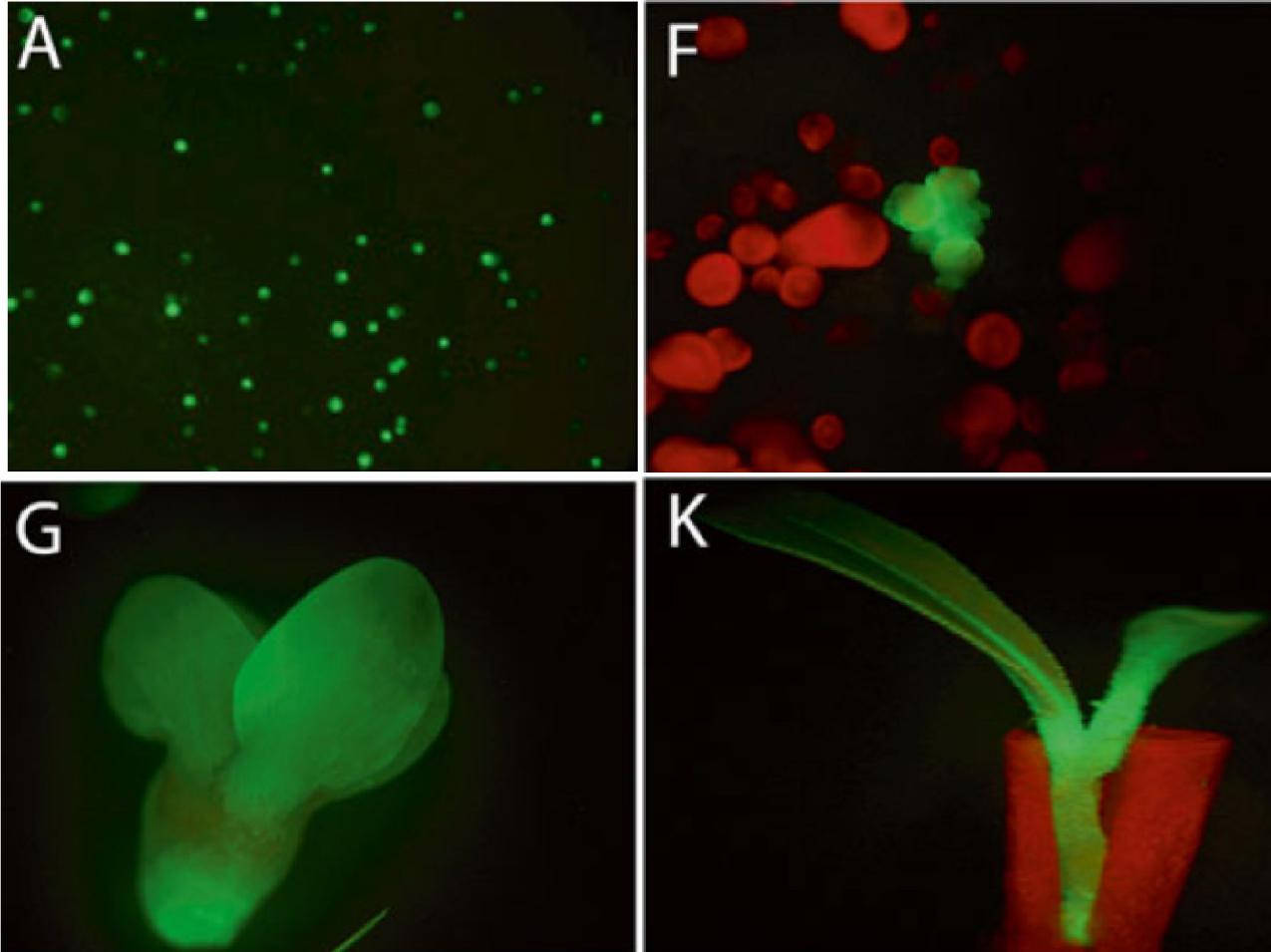
Euphorbia pulcherrima



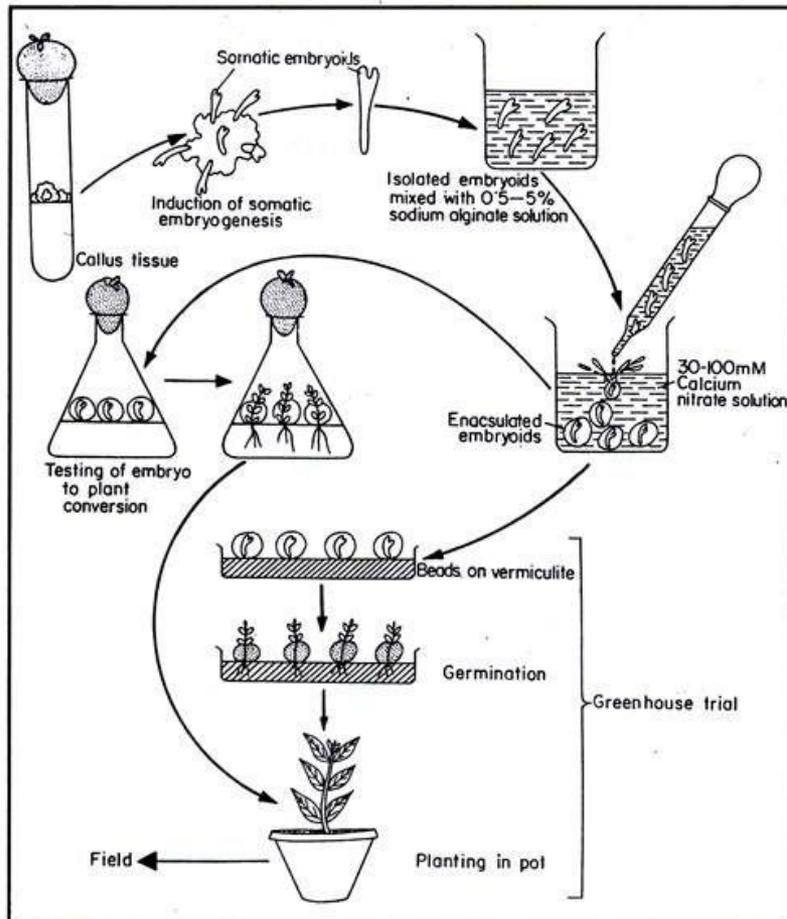
Clarke et al., 2007

Применение соматического эмбриогенеза: трансформация растений

Трансформация протопластов *Citrus sp.*

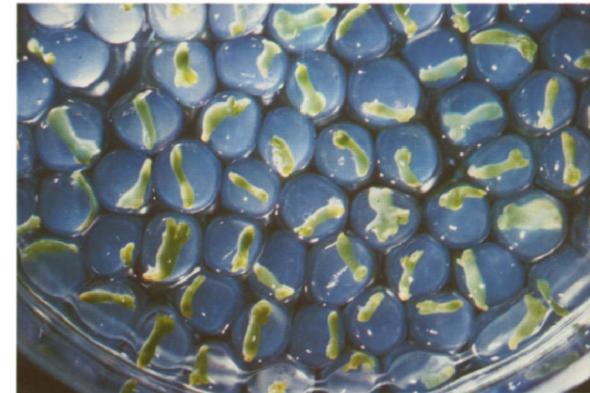


Применение соматического эмбриогенеза: получение искусственных семян



□ Fig 8.5

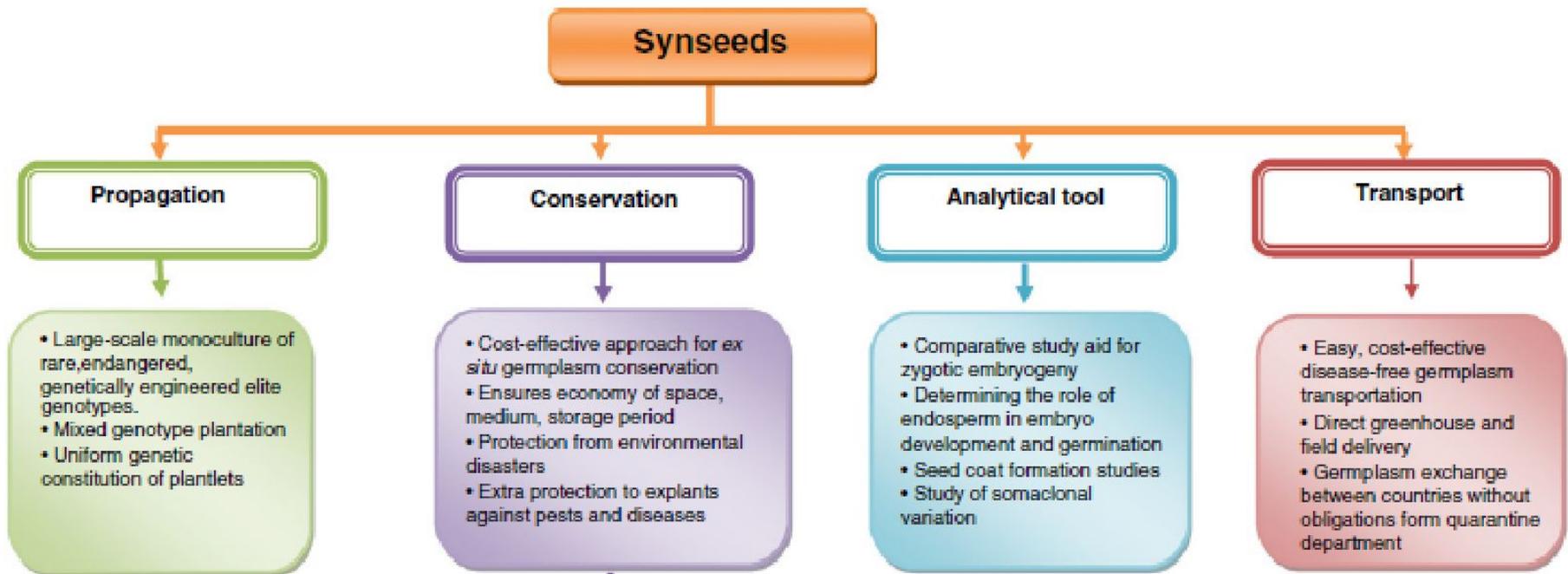
Flow diagram showing the method for making artificial seeds



Fujii et al., 1987

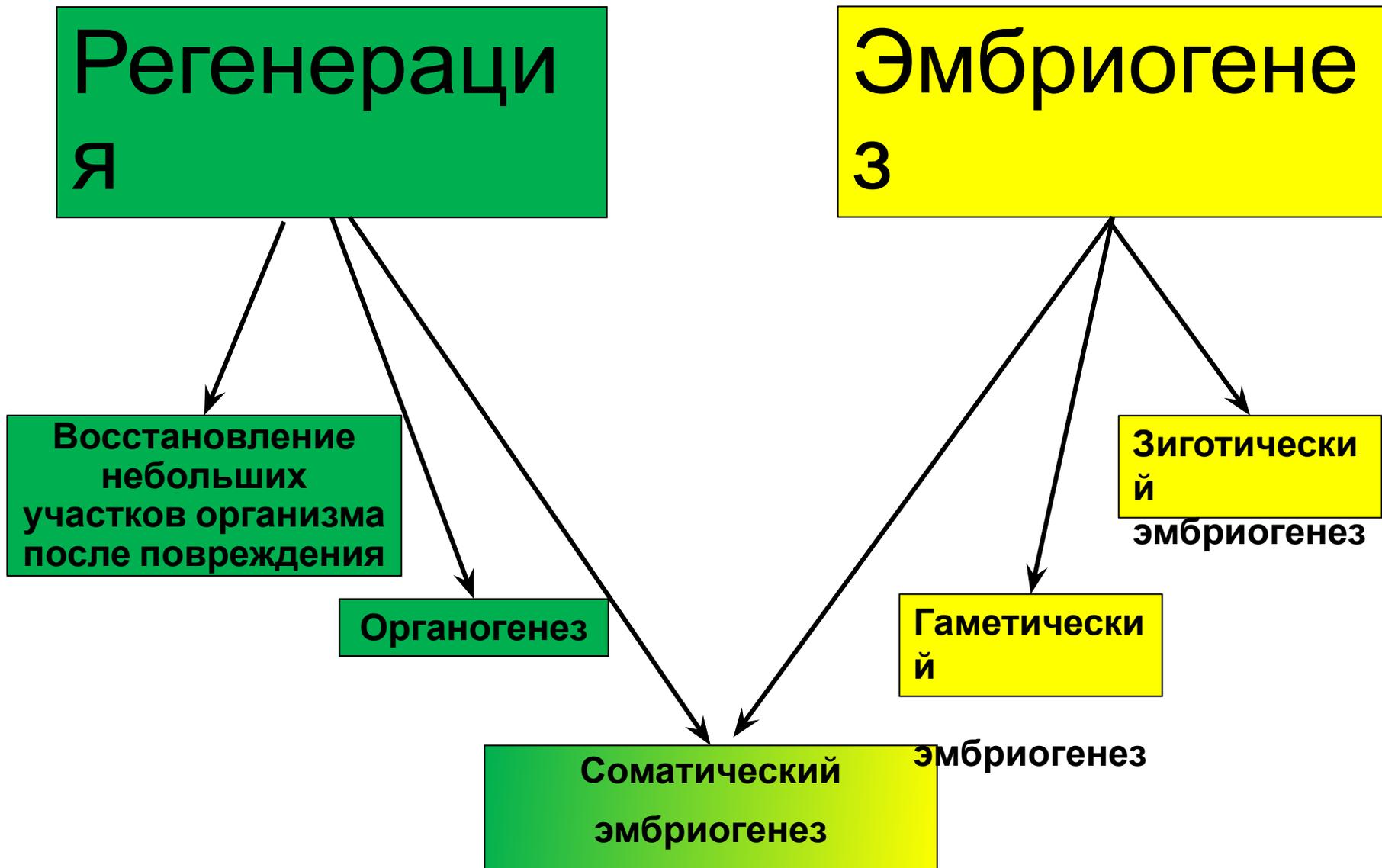
<http://www.biologydiscussion.com/plant-tissues/artificial-seeds/artificial-seeds-meaning-method-for-making-and-importance/14674>

Применение соматического эмбриогенеза: получение искусственных семян

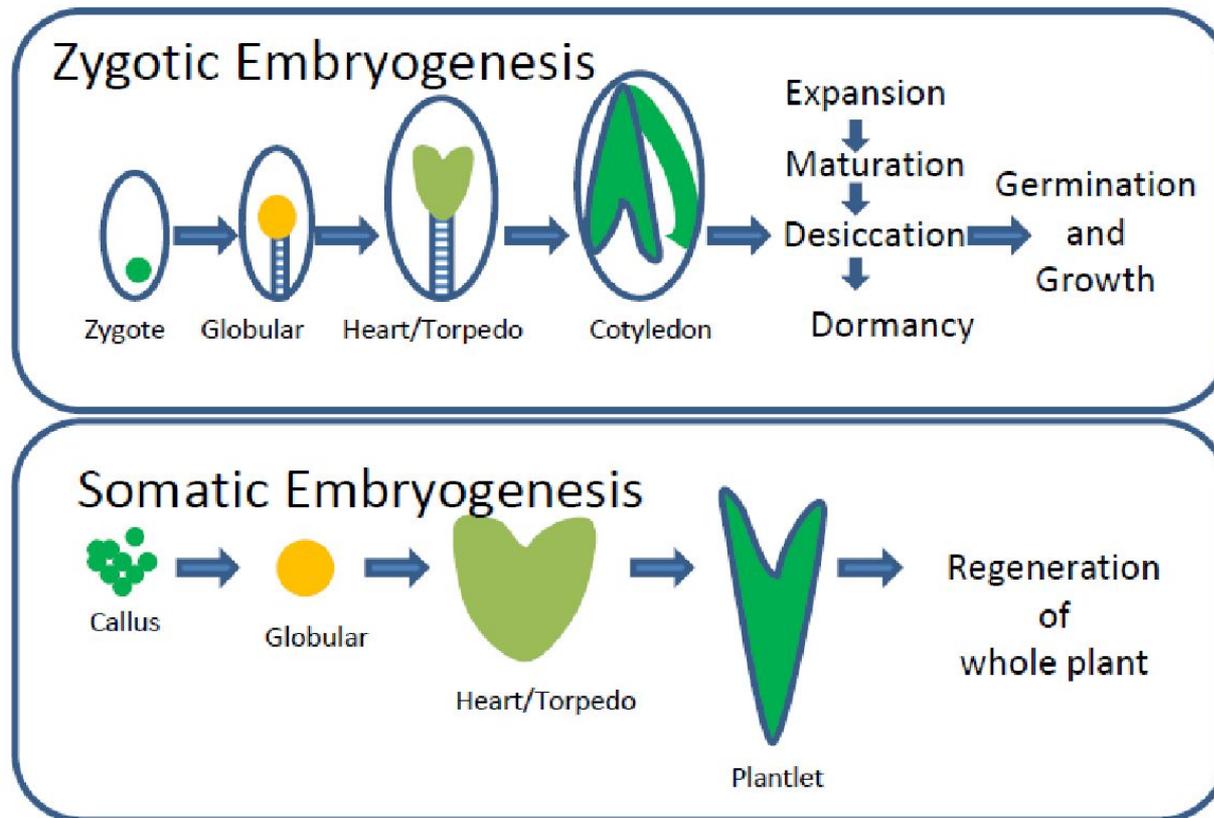


Sharma et al., 2013

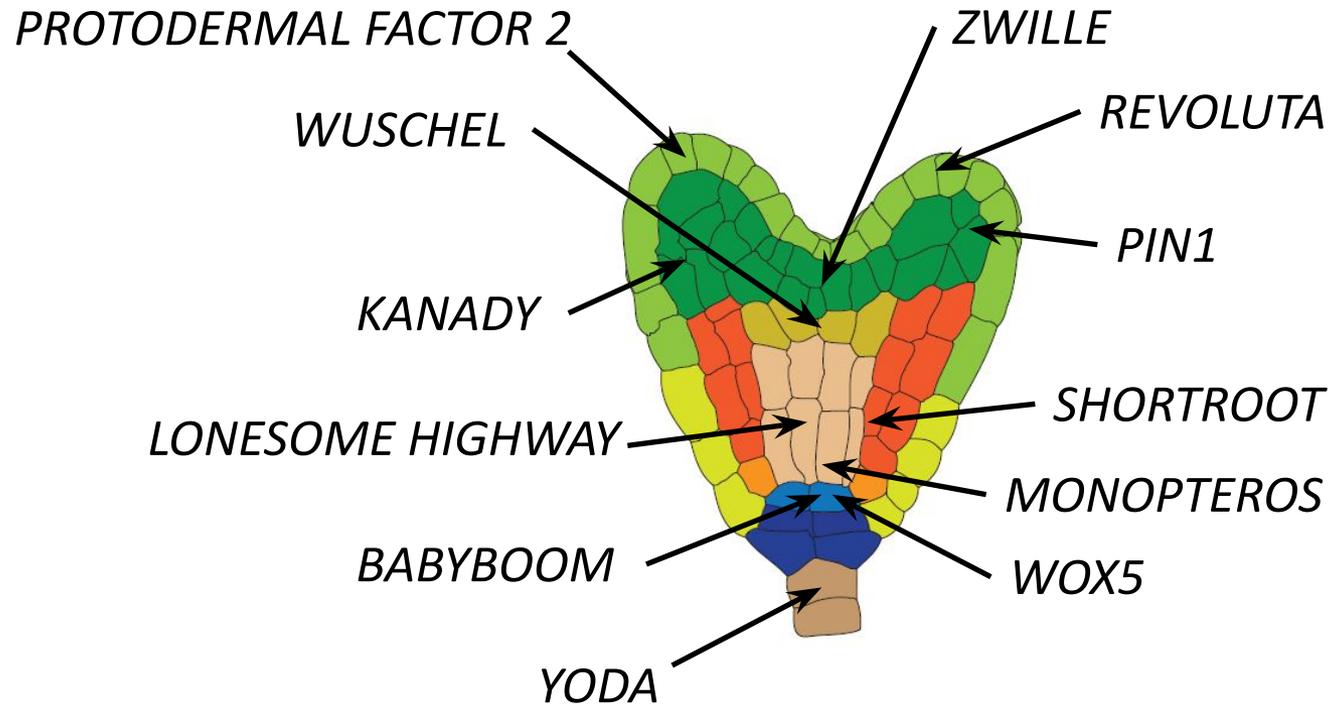
Применение соматического эмбриогенеза: фундаментальные исследования



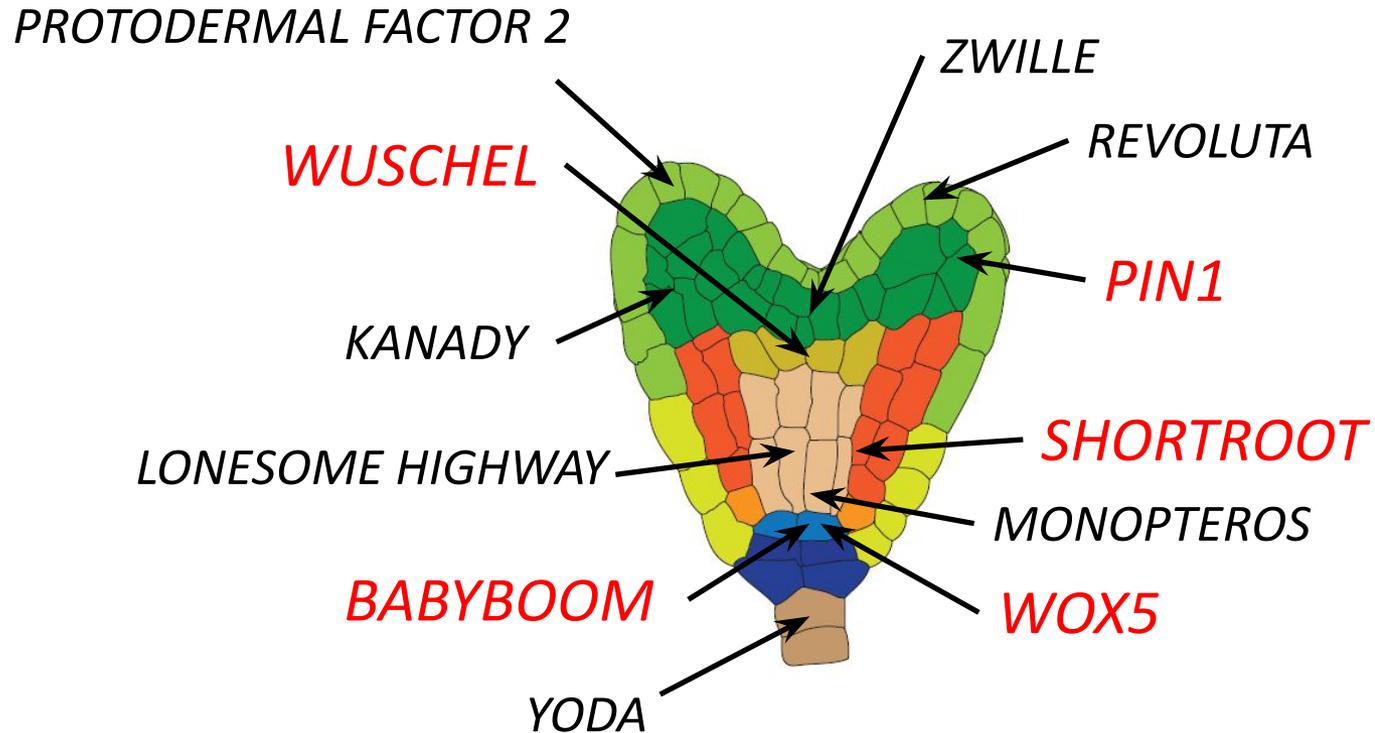
Сходство соматического и зиготического эмбриогенеза



Гены, участвующие в зиготическом эмбриогенезе



Гены, участвующие в зиготическом эмбриогенезе



Изучение СЭ

- 1) Разработка методов получения соматических эмбрионов у разных видов растений**
- 2) Выявление факторов, влияющих на СЭ**
- 3) Поиск маркеров и участников СЭ и выяснение механизмов их работы**

Внешние факторы, влияющие на СЭ

- **Температура**
- **Освещённость**
- **Компоненты среды:**
 - **Желатинизирующий агент**
 - **Источник углерода**
 - **Аминокислоты**

Изучение СЭ

1) Разработка методов получения соматических эмбрионов у разных видов растений

2) Выявление факторов, влияющих на СЭ

3) Поиск маркеров, регуляторов и участников СЭ и выяснение механизмов их работы

Регуляторы СЭ

1) Фитогормоны

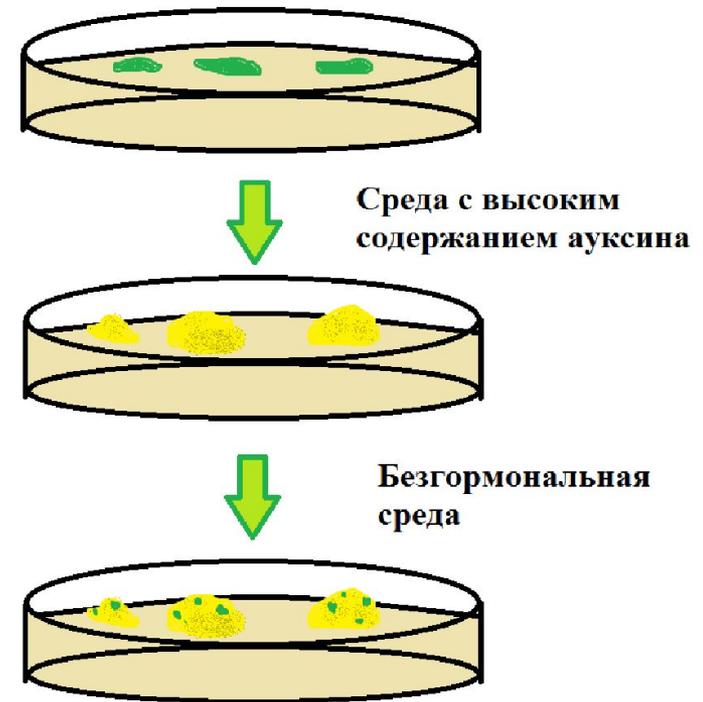
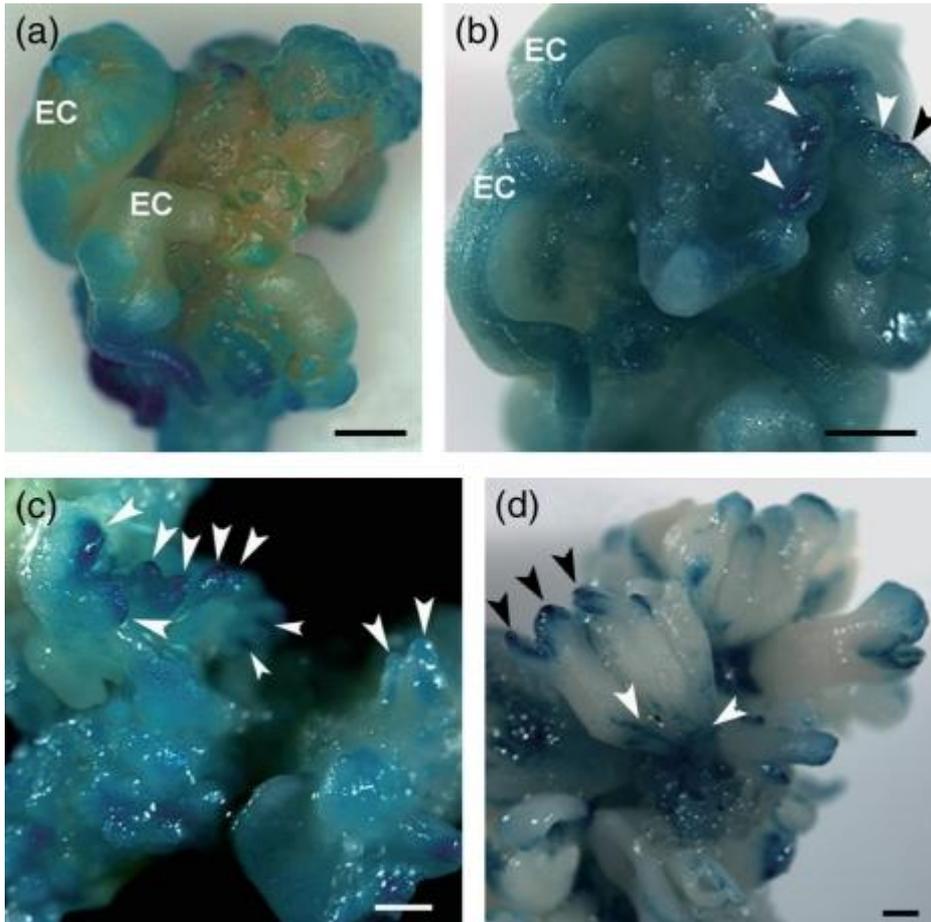
2) Транскрипционные факторы

3) Эпигенетические регуляторы

Гормональные регуляторы СЭ

- Ауксин
- Цитокинин
- Этилен
- Абсцизовая кислота
- Гиббереллины

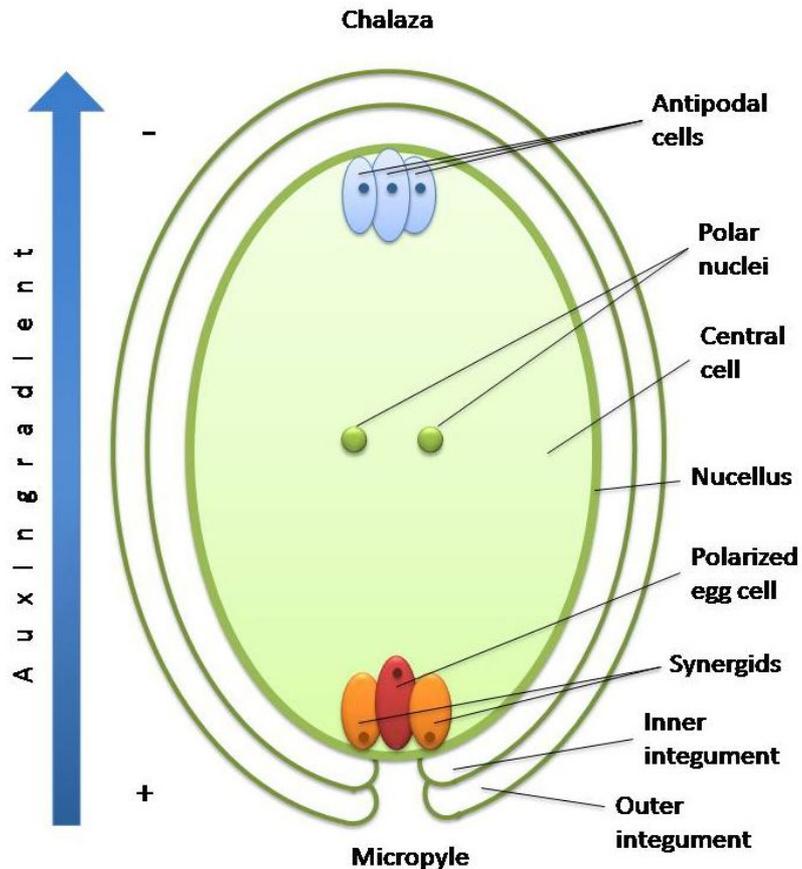
Ауксин – основной регулятор СЭ



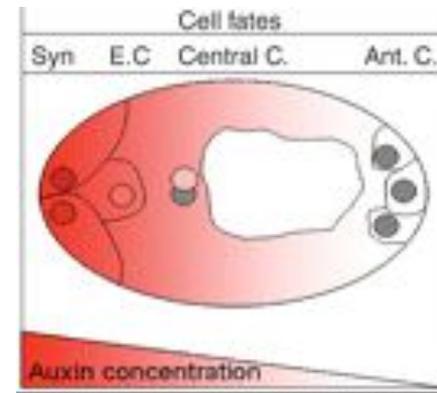
Su et al., 2009

Ауксиновые максимумы при формировании каллусов и соматических эмбрионов

Индукция зиготического эмбриогенеза

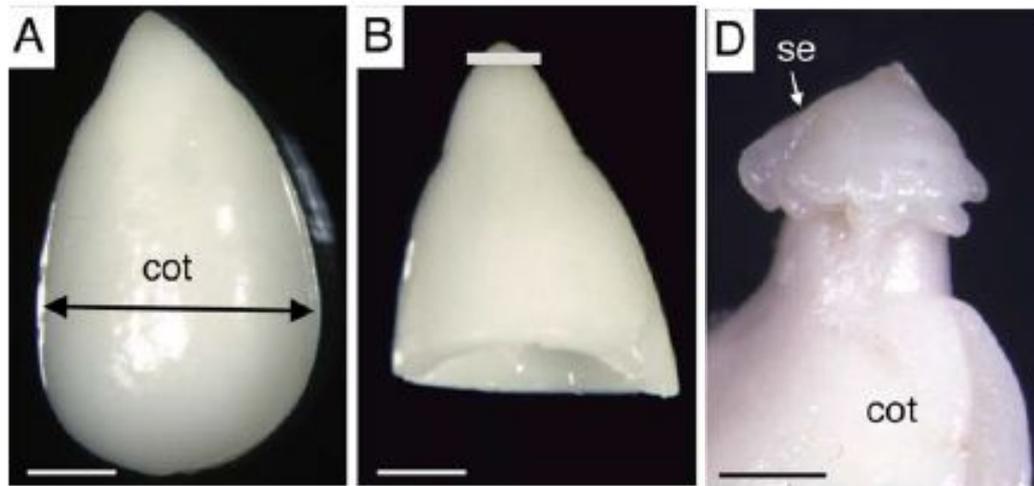


Ауксин необходим для поляризации клеток, как при зиготическом, так и при соматическом эмбриогенезе



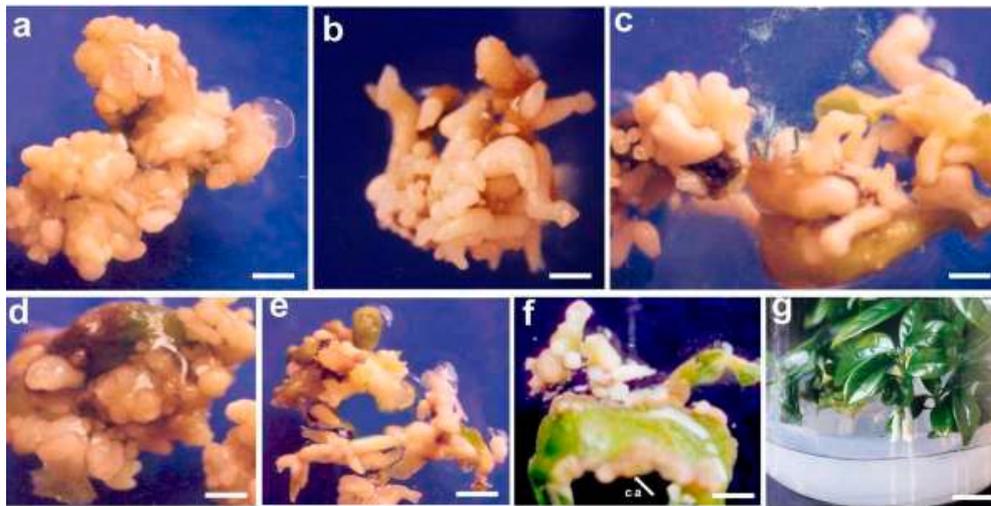
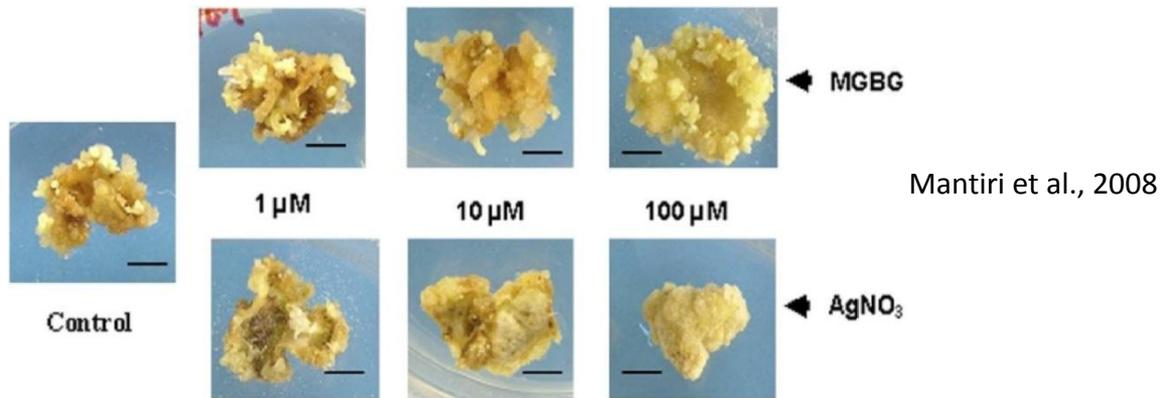
Цитокинины: первые после ауксинов

- Присутствуют в большинстве протоколов СЭ
- Избыток цитокининов приводит к смене типа регенерации с соматического эмбриогенеза на побегообразование
- Известно несколько случаев, когда цитокинины **без помощи ауксина** стимулировали соматический эмбриогенез. Например – у *Heliantus annuus*



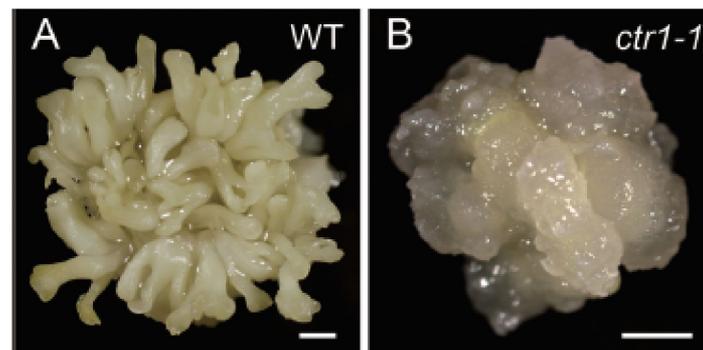
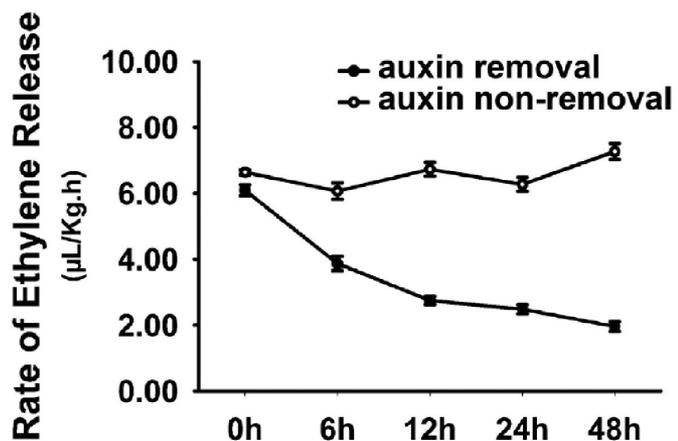
Этилен: неоднозначный эффект

У *M. truncatula* этилен стимулирует соматический эмбриогенез

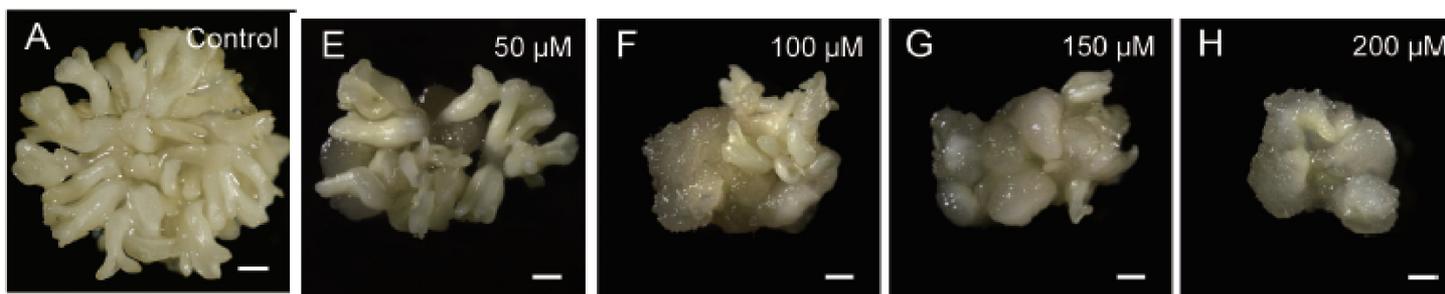


А у *Coffea arabica* соматические эмбрионы можно получить лишь при ингибировании этиленового ответа.

Этилен: неоднозначный эффект



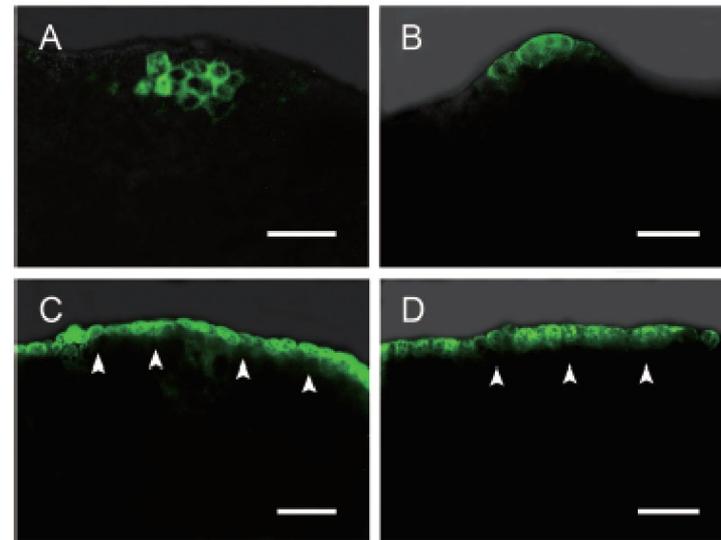
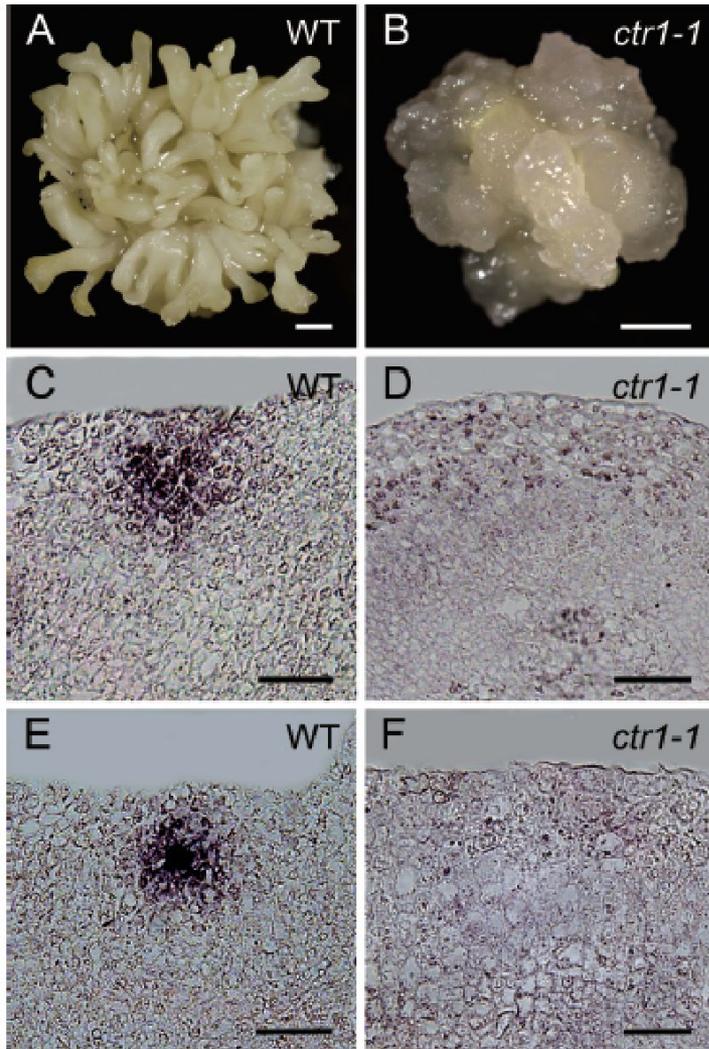
**Подавление СЭ у мутантов
с КОНСТИТУТИВНЫМ ЭТИЛЕНОВЫМ ОТВЕТОМ**



Обработка каллусов АСС (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid)

- предшественником этилена

Этилен: неоднозначный эффект



Без АСС

Добавле
н АСС

**Нарушение распределения ауксина при
обработке АСС (предшественник
этилена)**

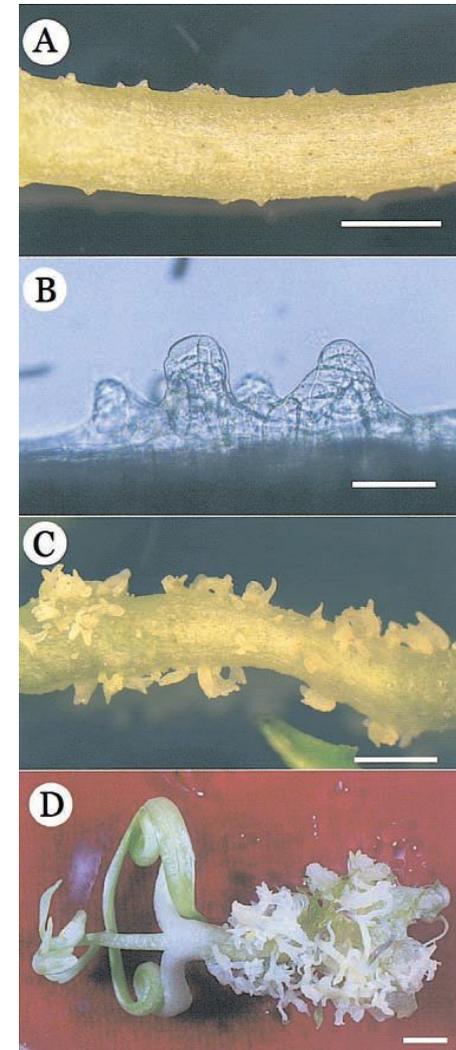
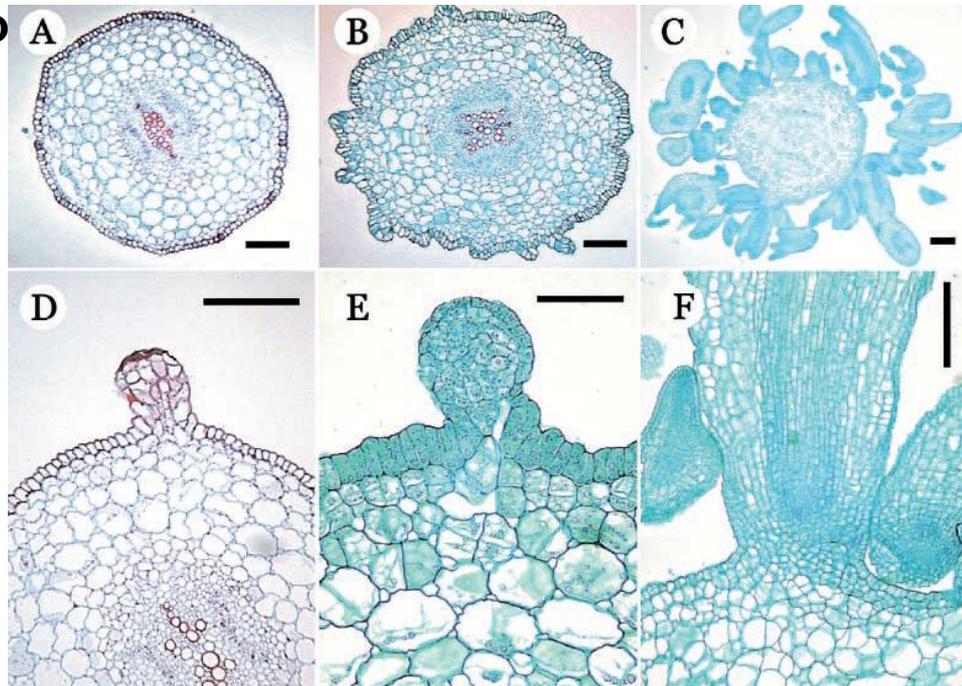
**Нарушение экспрессии генов *YUCCA* у
мутантов**

с конститутивным этиленовым ответом

Абсцизовая кислота: отвечает за качество

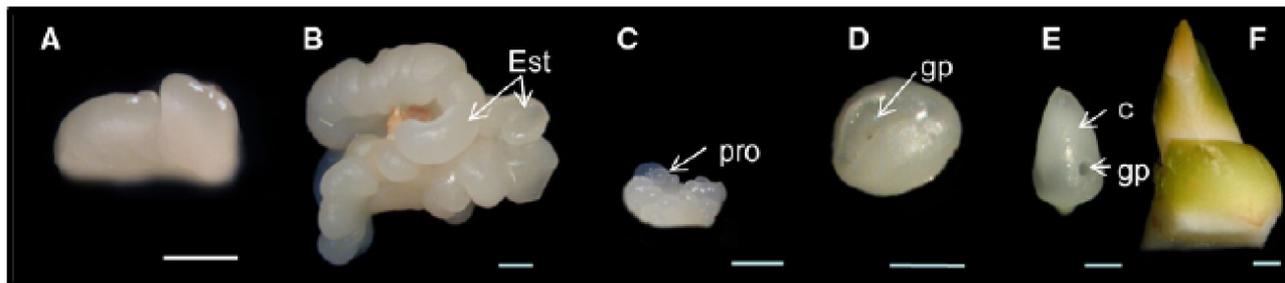
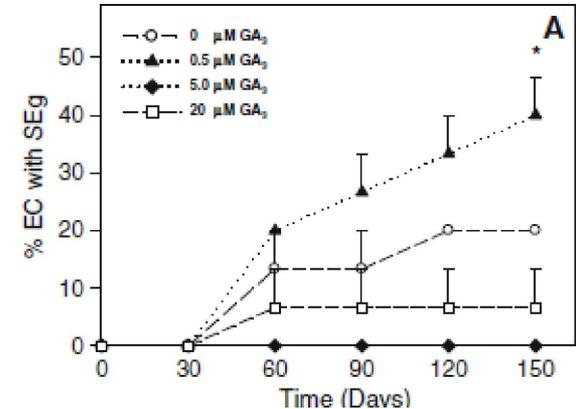
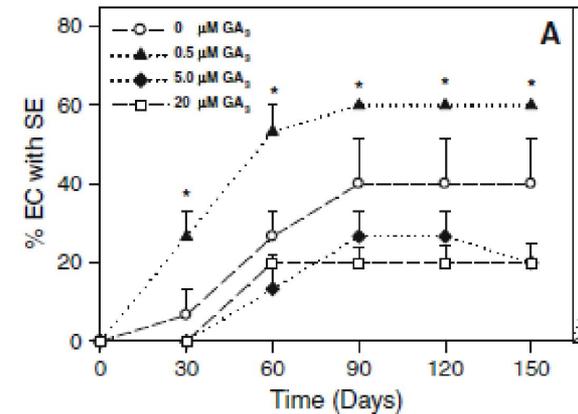
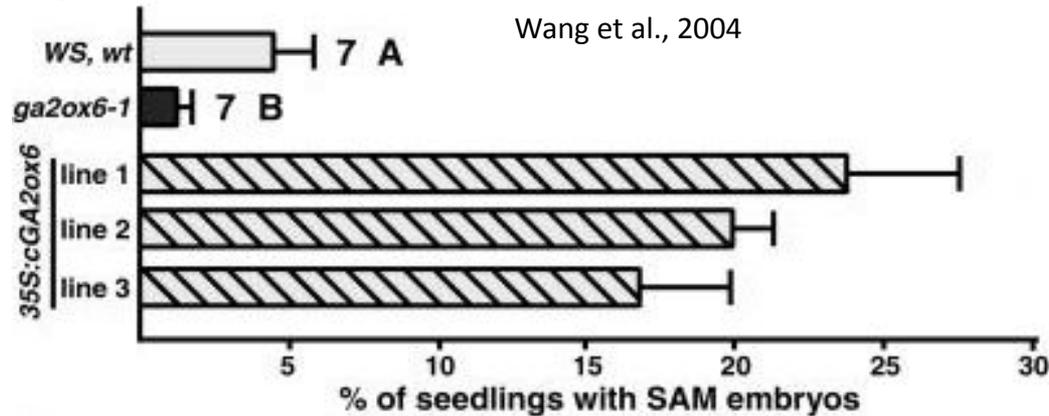
В большинстве случаев не индуцирует развитие соматических эмбрионов, но повышает их качество 😊

ОДНАКО: у моркови возможна индукция СЭ у проростков в суспензионной культуре за счёт одно



Гиббереллины - ингибиторы СЭ

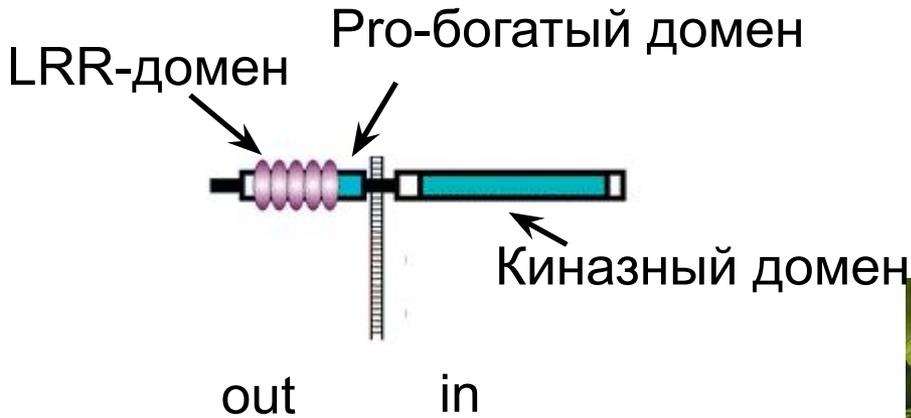
Предположительно, ингибируют индукцию соматического эмбриогенеза *in vivo*



ОДНАКО: В культуре *Cocos nucifera* – стимулируют индукцию соматических эмбрионов и их прорастание

Белки-регуляторы и участники СЭ

Рецепторная киназа SERK

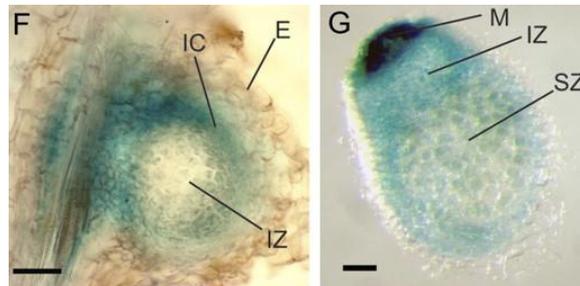
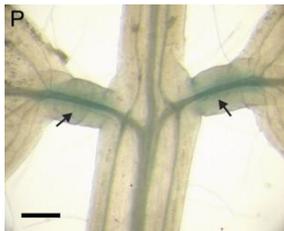


Ассоциирована с соматическим эмбриогенезом

у *A.thaliana*, *M.truncatula*, *H.annuus*, *C.unshiu*, *Th.cacao*

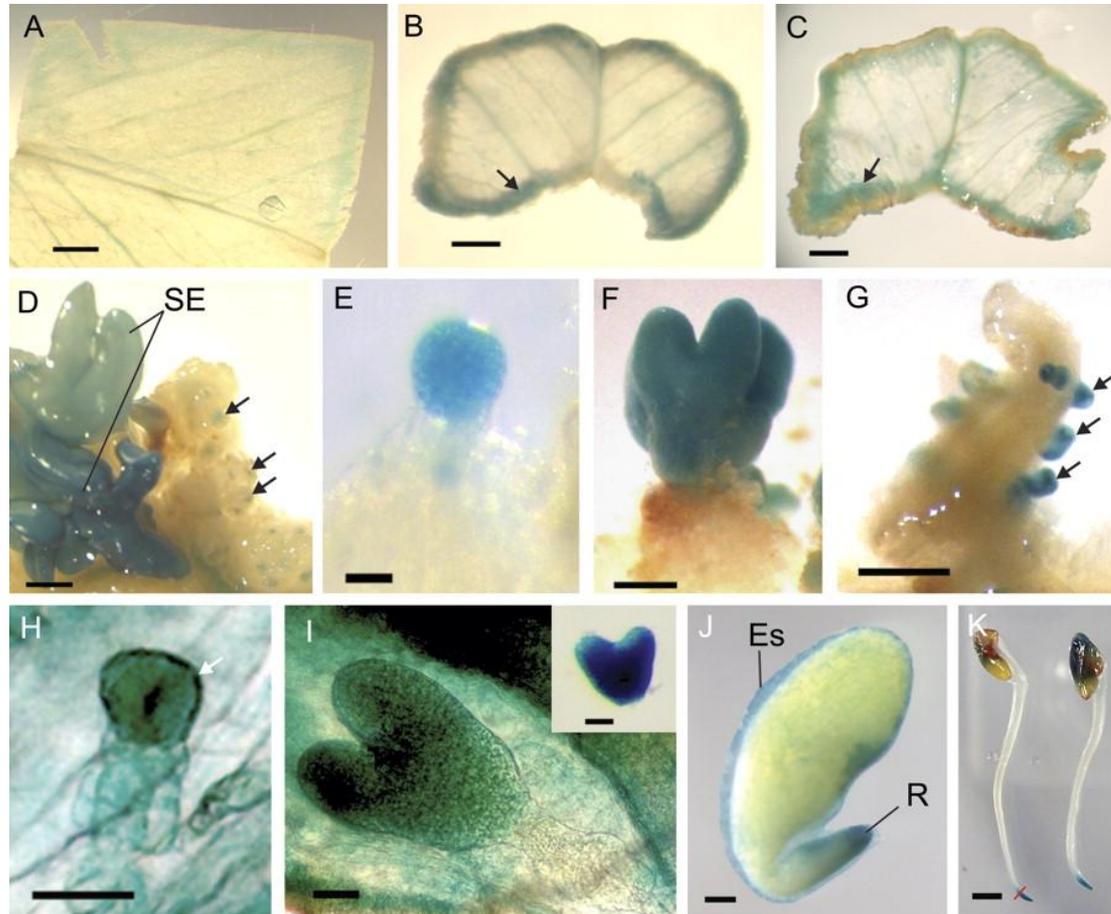


Также экспрессируется в прокамбии, в клубеньках у бобовых, в репродуктивных тканях, участвует в побегообразовании, в зиготическом эмбриогенезе



Nolan et al., 2009

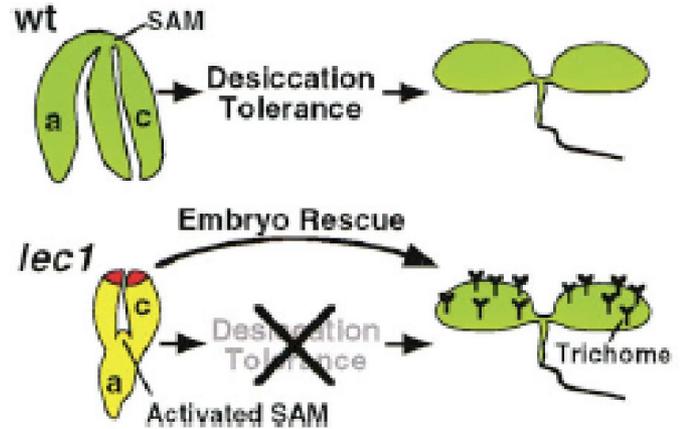
Рецепторная киназа MtSERK: экспрессия в СЭ



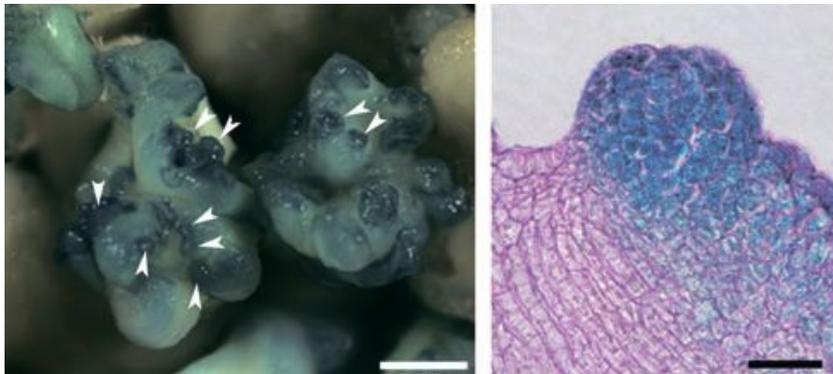
Гены *LEC*

Класс 1: *LEC1*

Класс 2: *LEC2*, *FUS3*

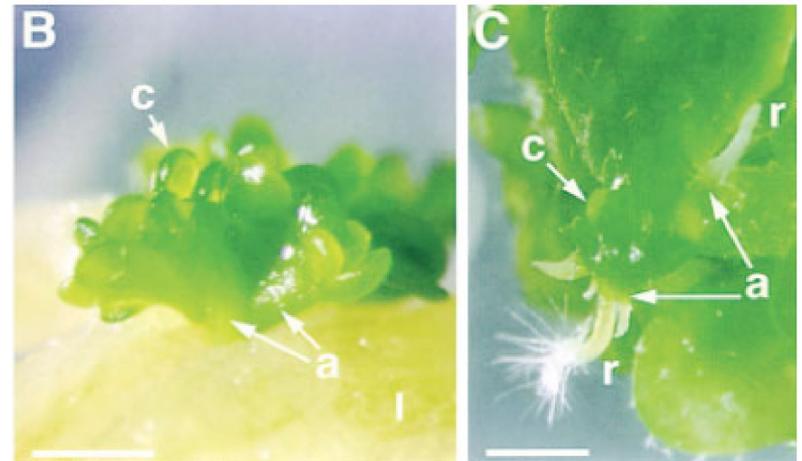


Сверхэкспрессия *LEC1* может вызвать появление эктопических соматических эмбрионов у *A. thaliana*



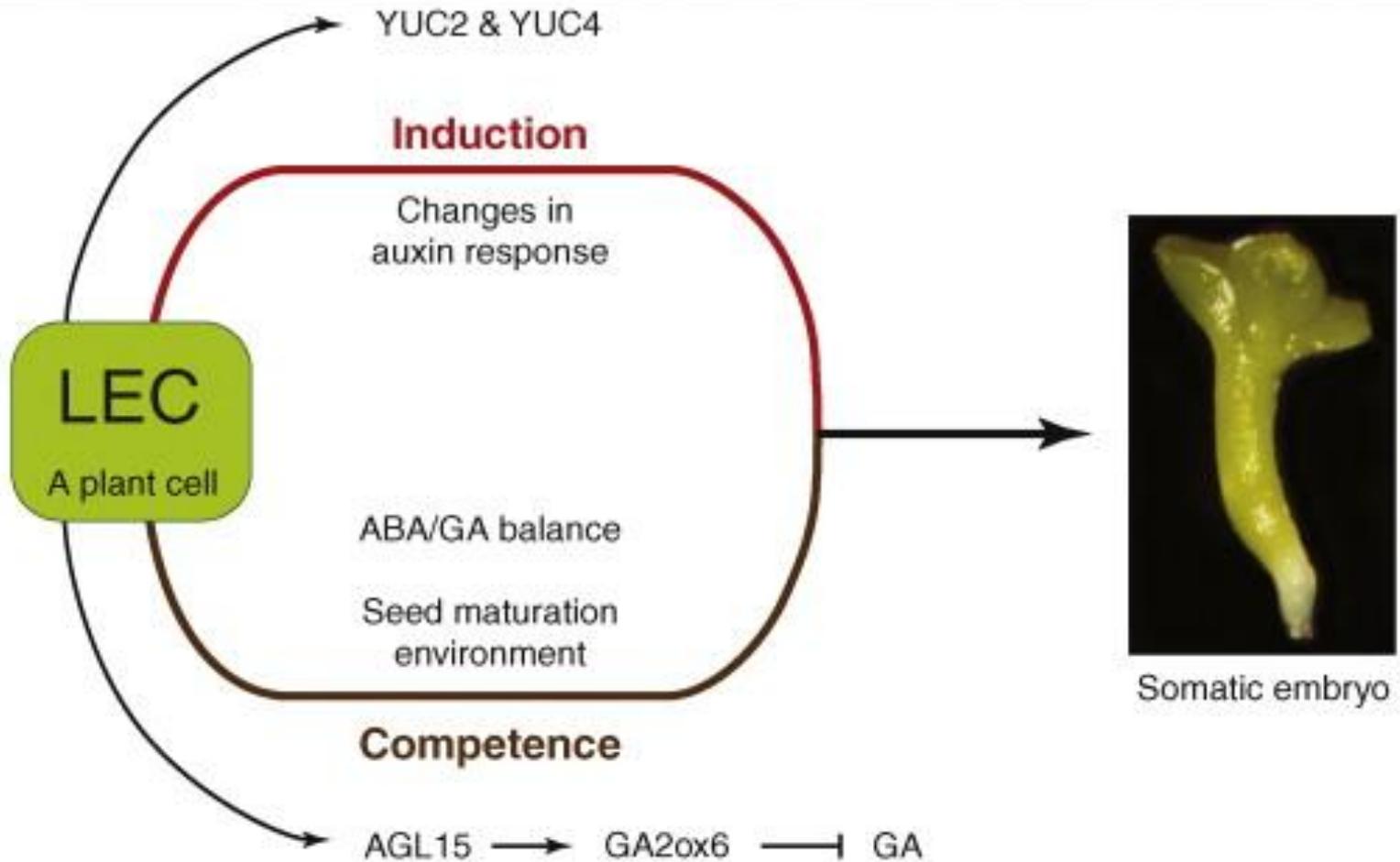
Экспрессия *LEC2* в ходе СЭ у *A. thaliana*

Su et al., 2009



Lotan et al., 1998

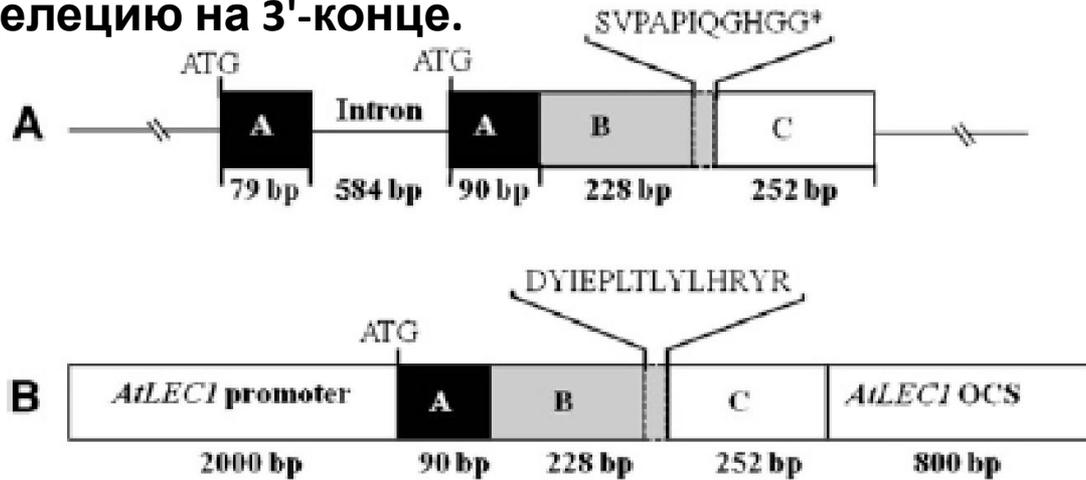
Гены *LEC*



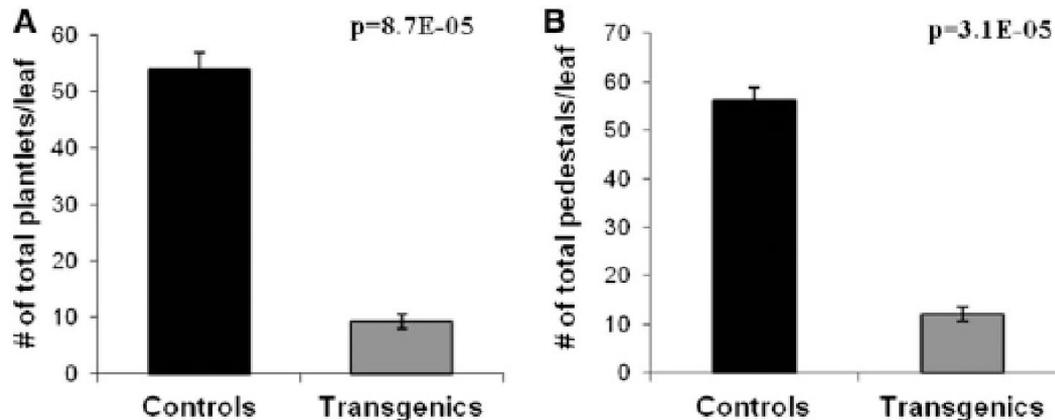
TRENDS in Plant Science

Гены *LEC*

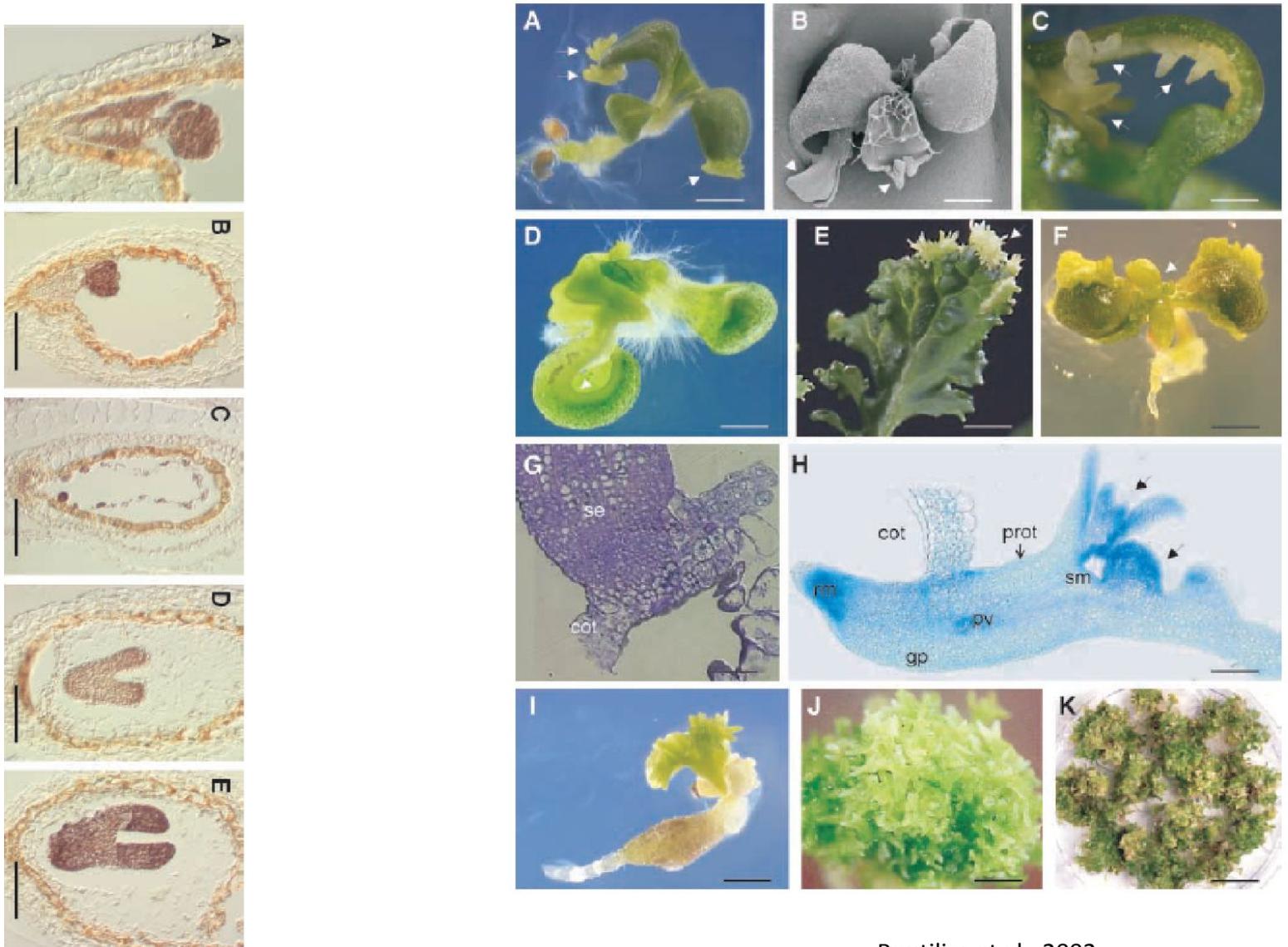
Ген *LEC1* у *Kalanchoe diargemontiana* имеет делецию на 3'-конце.



Трансформация *Kalanchoe diargemontiana* функциональным геном *LEC1* снижает их способность к СЭ



Ген ТФ *BABY BOOM*



Ген ТФ *BABY BOOM*

