

«Естественно-научное образование  
Подмосковья»



# Биотехнология растений

Спикер: Иванов Роман Геннадьевич, преподаватель  
кафедры биологии, экологии и химии

5 мая 2026 г.

1917г, Карл Эрки

*Биотехнология – это все виды работ, при которых из сырьевых материалов с помощью живых организмов производятся те или иные продукты*

1973г, Герберт Бойер и Стенли Коэн

*Положено начало технологии рекомбинантных ДНК*

1961г, Карл Г. Хеден

*Биотехнология – это исследования в области “промышленного производства товаров и услуг при участии живых организмов, биологических систем и процессов”*

*Биотехнология – это комплекс методов, дающих человеку возможность целенаправленно изменять структуру генетического материала живого с выходом на получение ценных продуктов и технологий*



*Технология рекомбинантных ДНК + биотехнология =  
молекулярная биотехнология*



**Микробиология**

**Биохимия**

**Генетика**

**Химическая инженерия**

**Клеточная биология**

**Молекулярная биология**

**Молекулярная биотехнология**

**Высокоурожайные культуры**

**Высокопродуктивные сельскохозяйственные животные**

**Лекарственные препараты**

**Вакцины**

**Диагностические методы**





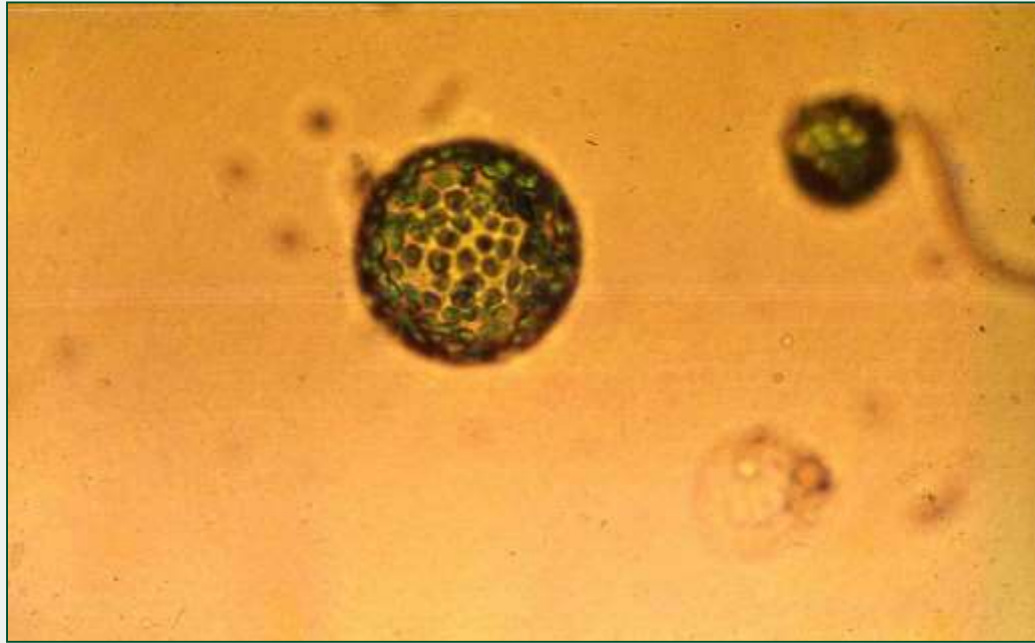
**Молекулярная биотехнология растений – это соединение методов культуры клеток и тканей растений с методами молекулярной биологии и техникой рекомбинантных ДНК**

**Методы  
клеточной инженерии,  
включающие методы  
культуры клеток и тканей**

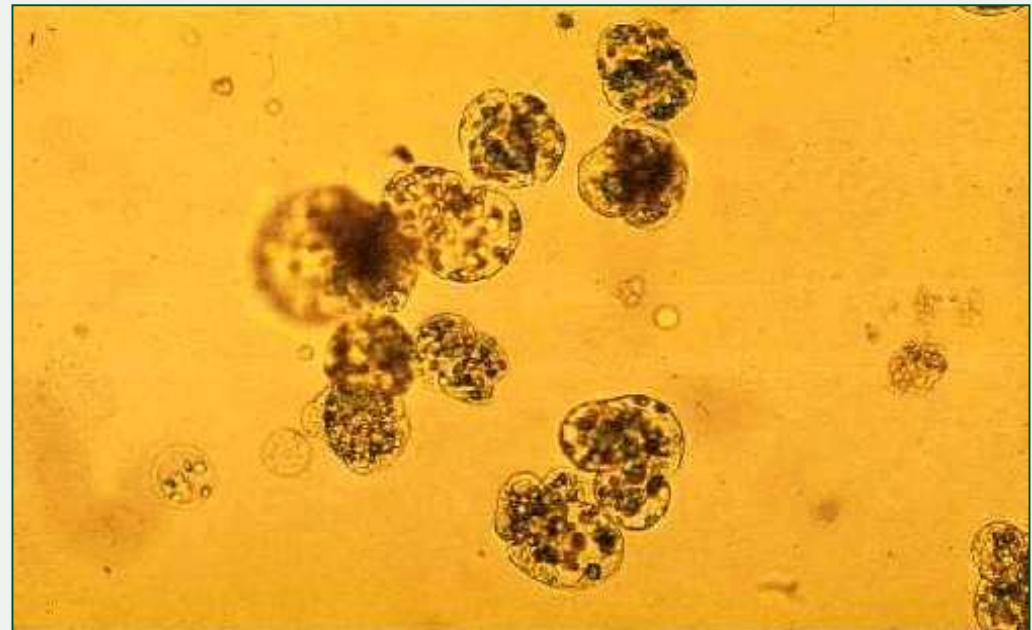
**Методы  
генной инженерии,  
связанные с применением  
рекомбинантных  
молекул ДНК**

**Методы  
классической генетики растений**

# Реализация тотипотентности растительных клеток



тотипотентность (от лат. Totus – «весь», и potentia – «сила») – свойство клеток в полной мере реализовать присущую им генетическую информацию, обеспечивающую их дифференцировку и дальнейшее развитие до целого организма.



# Органогенный каллус табака



КАЛЛЮС, каллус (от лат. callus – толстая кожа, мозоль), ткань, образующаяся у растений на поверхности ран и способствующая их заживлению. Состоит из тонкостенных паренхимных, способных к делению клеток, начало которым даёт раневая [меристема](#). Элементы К. мало дифференцированы, но со временем в нём возможна дифференциация раневой меристемы и элементов др. тканей, гл. обр. флоэмы и ксилемы. В К. часто закладываются придаточные корни и почки. Наружные клетки К. превращаются в пробку. Каллюсообразовательная способность растений используется в практике садоводства при размножении их черенками и прививками: чем интенсивнее каллюсообразование, тем больше гарантия укоренения черенков и срастания подвоя с привоем.

## Формирование растений-регенерантов (горох)



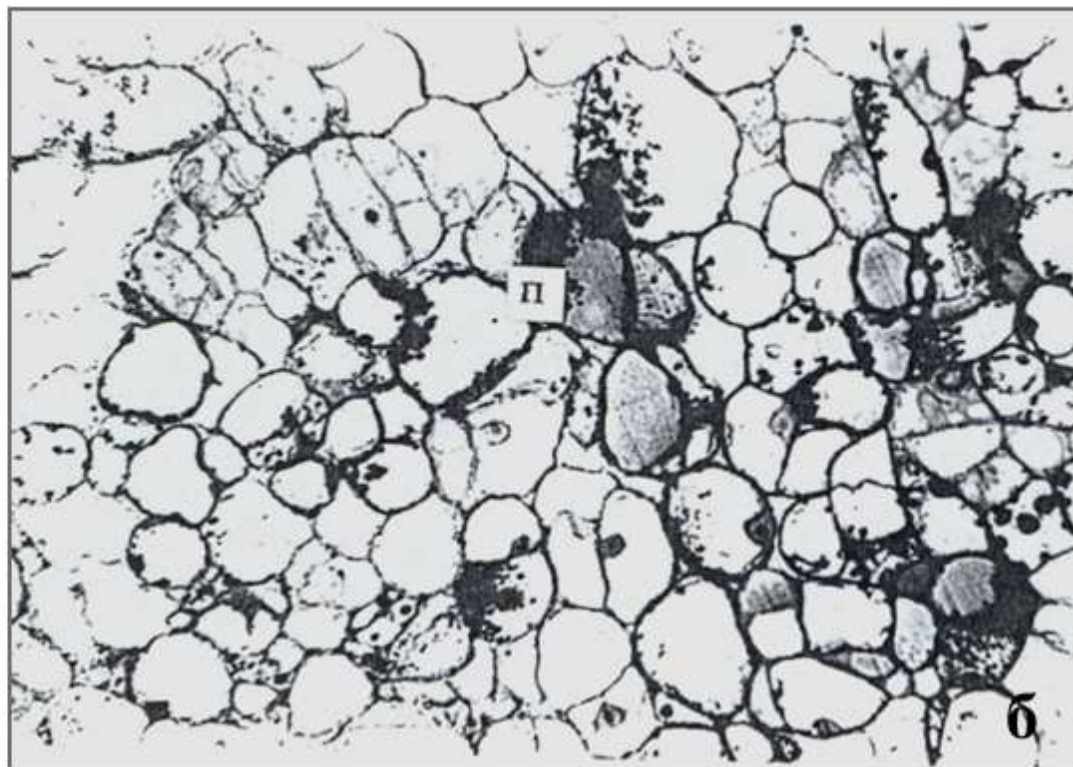


Рис. 3. Рыхлый каллус *F. esculentum*:

а - морфология рыхлого каллуса

б - гистологический срез рыхлого каллуса.

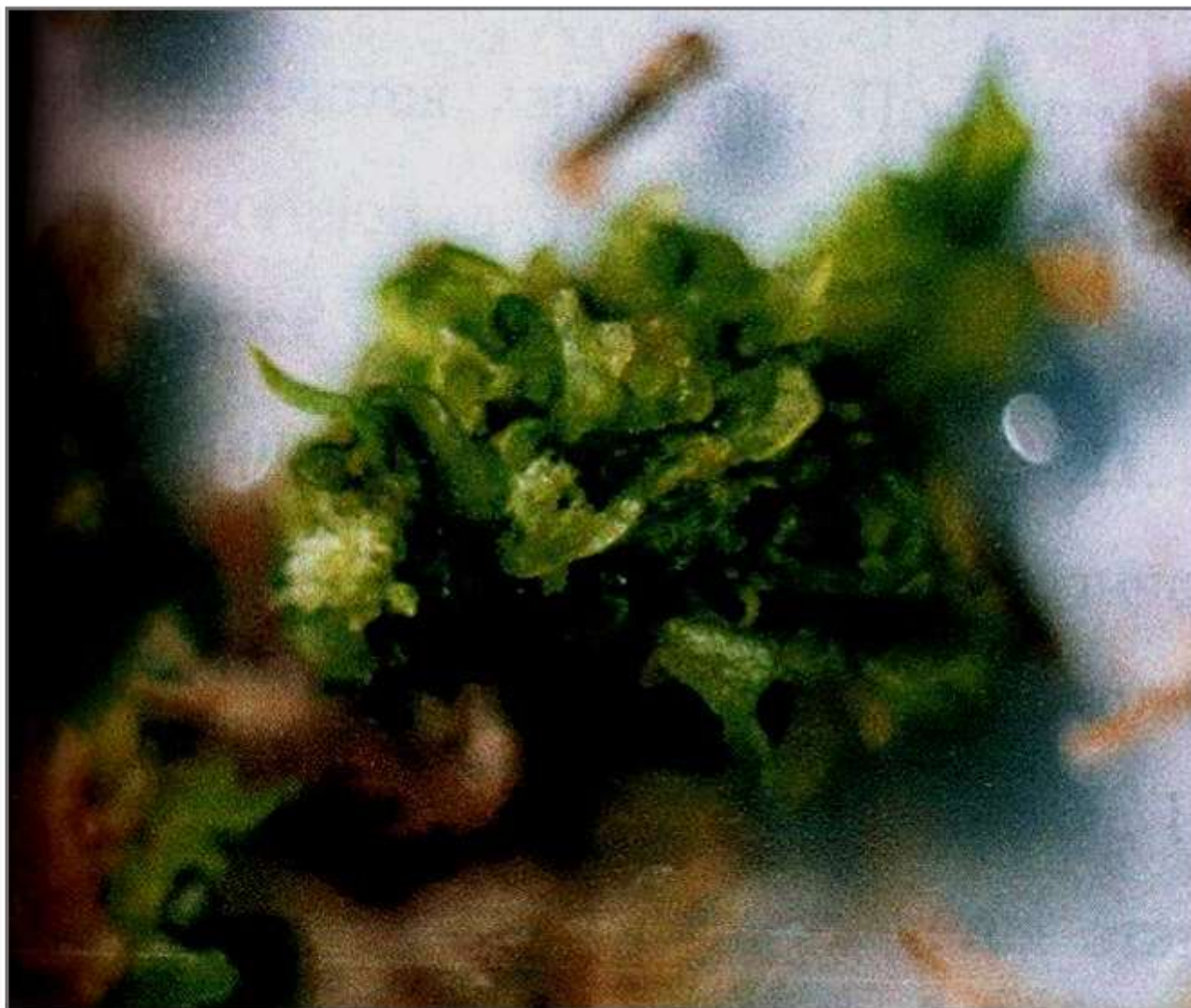


Рис. 18. Геммогенез в каллусной культуре гречихи.

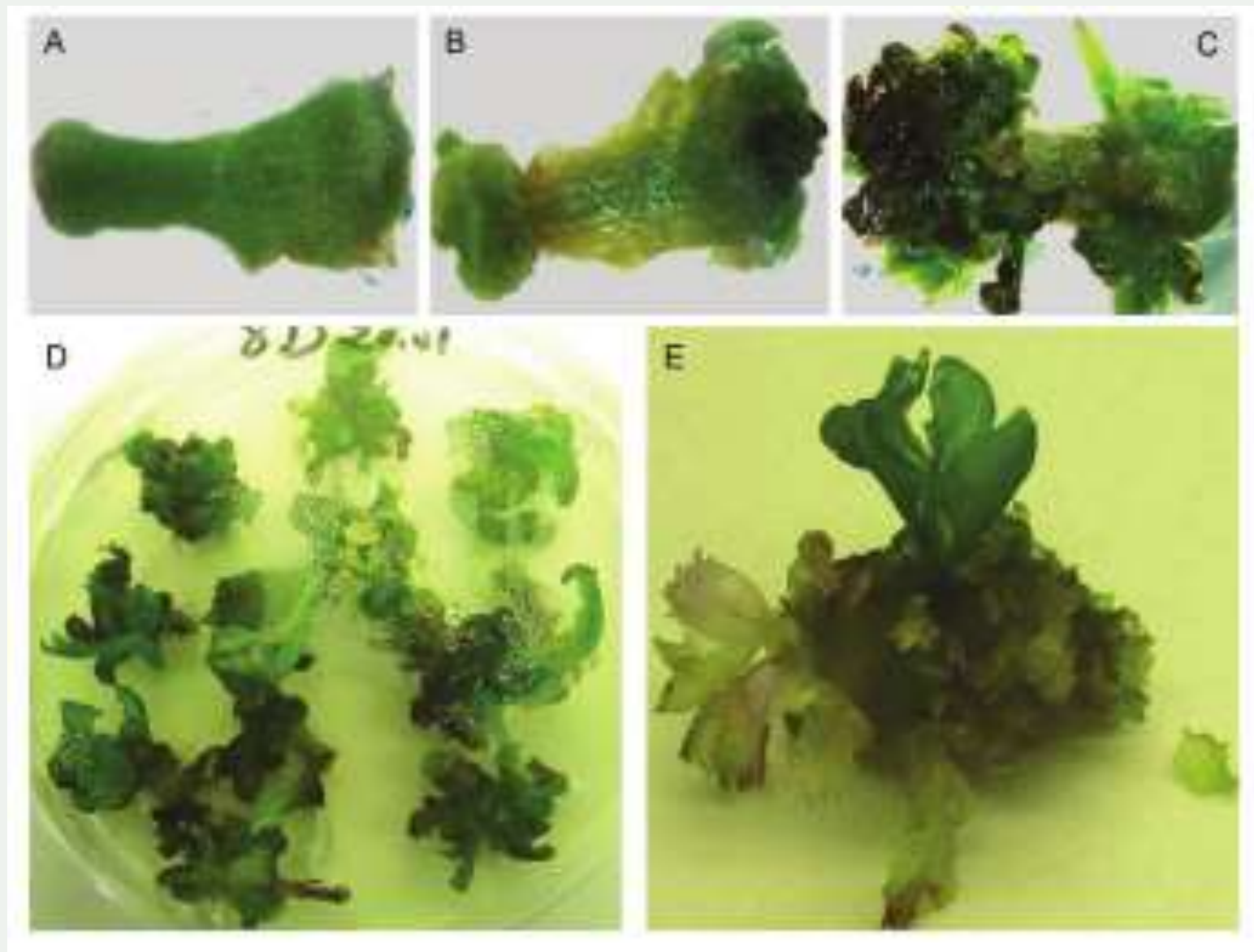
# Пути формирования растения-регенеранта



Единые, генетически однородные регенеранты с корнями

Многочисленные, генетически неоднородные бескорневые регенеранты

# Регенерация побегов



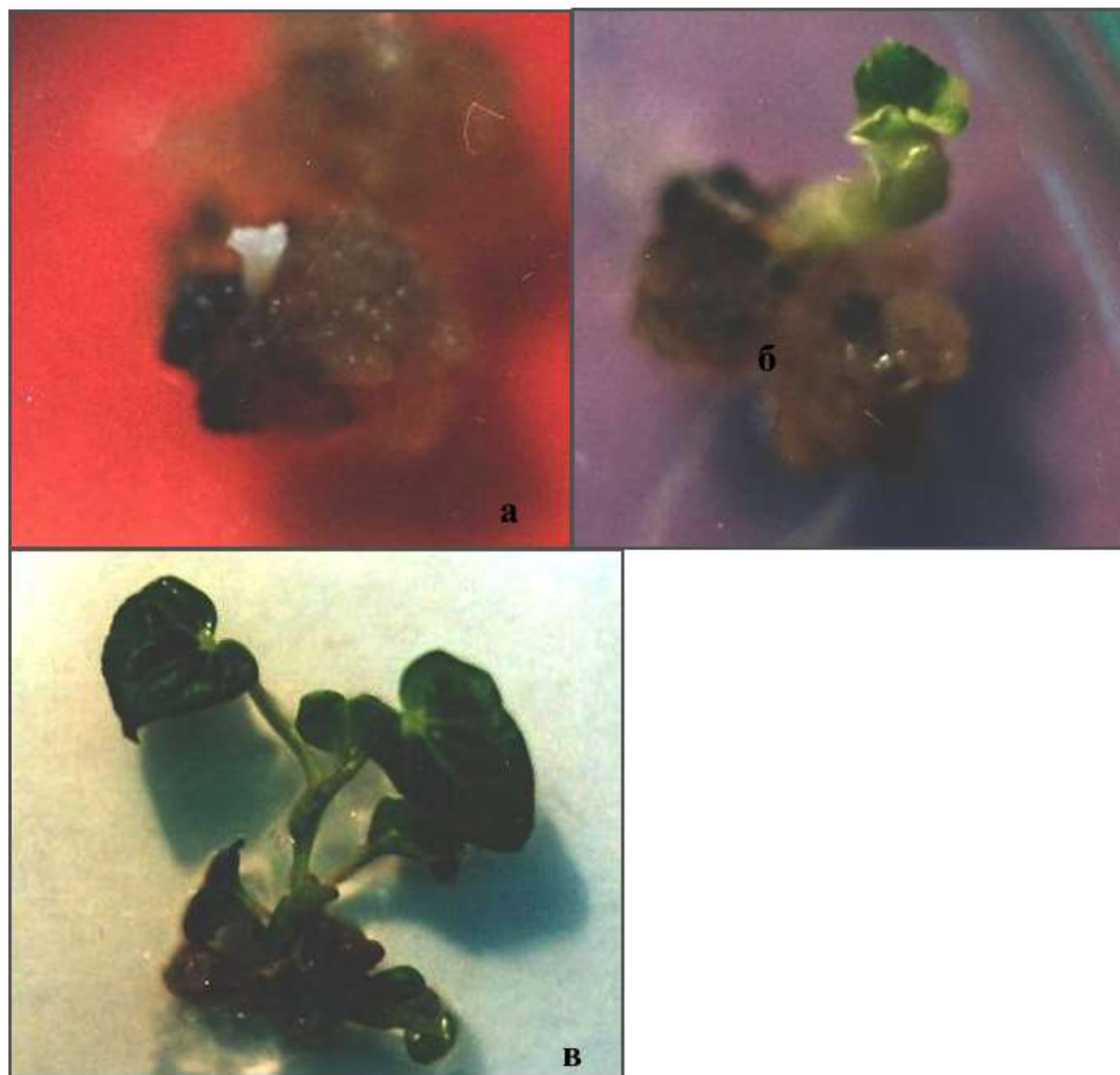


Рис. 25. Регенерация растений из соматических зародышей *F. esculentum*:



Рис. 18. Геммогенез в каллусной культуре гречихи.

**Соматический эмбриогенез – это процесс, в ходе которого незиготические клетки формируют эмбрионы, которые проходят через характерные стадии эмбрионального развития, в конечном счёте формируя новое растение (Chen et al., 2009)**



# Использование соматического эмбриогенеза

Трансформация растений

Получение искусственных семян

Изучение процессов регенерации и зиготического эмбриогенеза

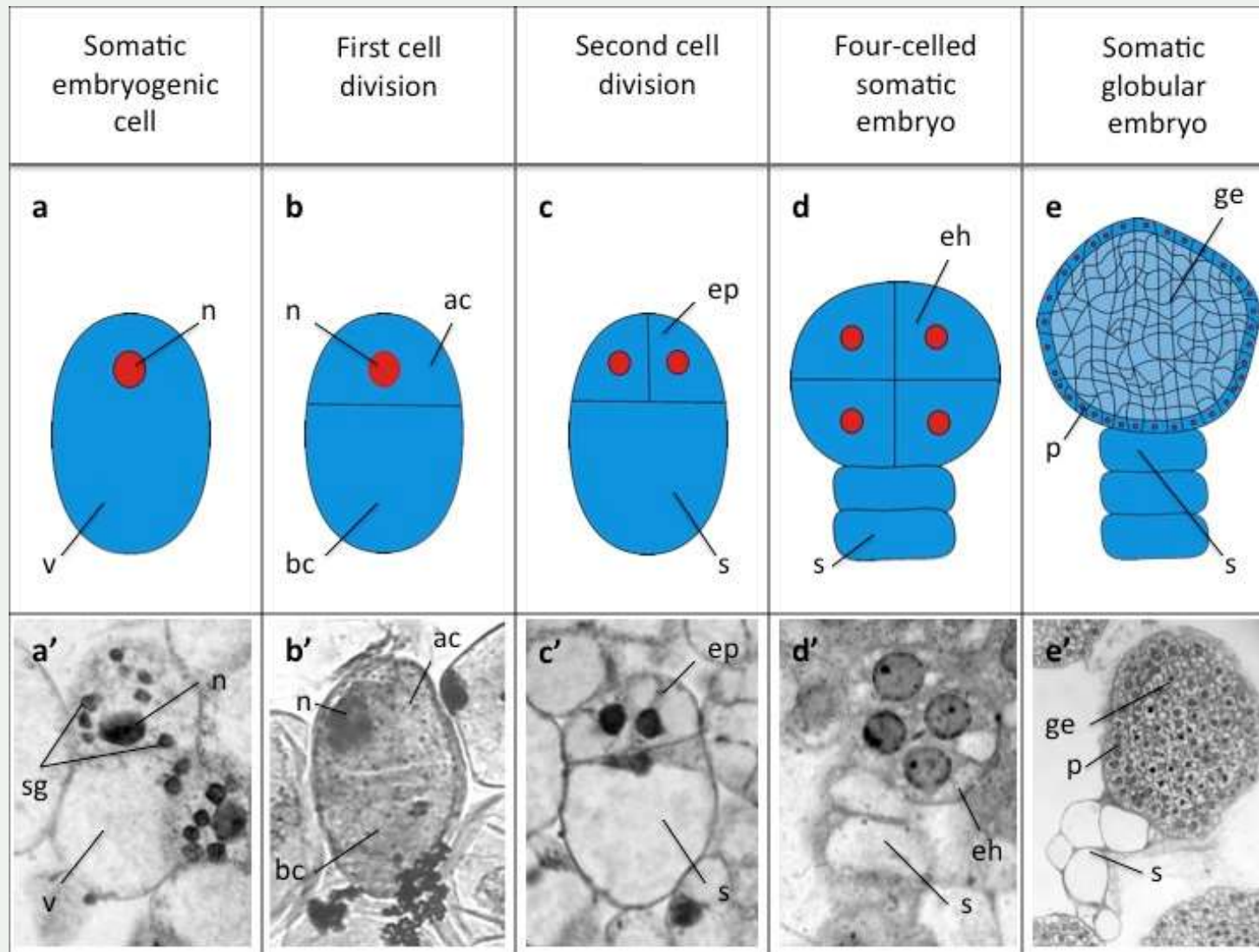


Clarke et al, 2008. Plant Cell Rep 27, 1027–1038

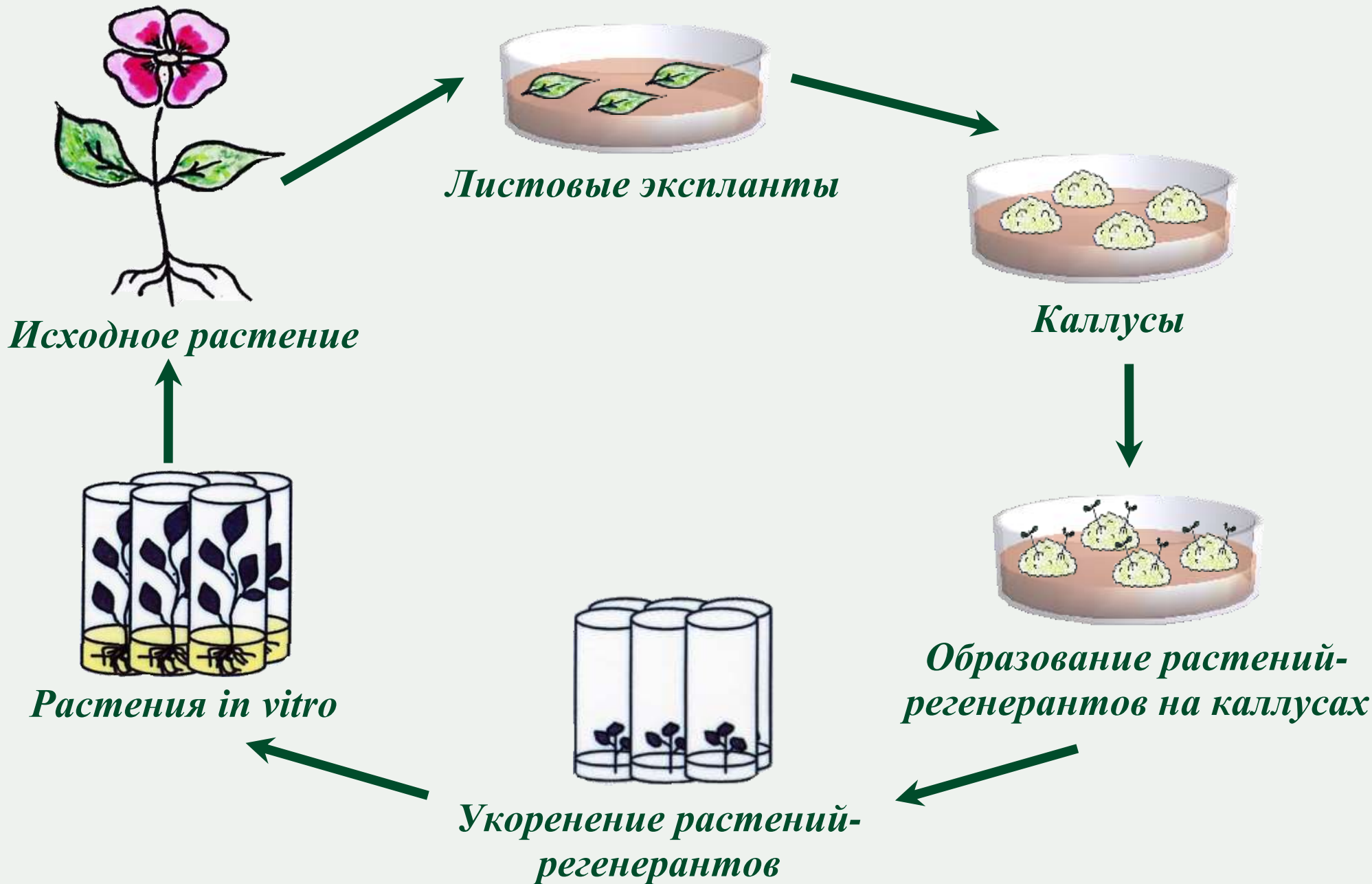


Haque, Ghosh, 2014. Appl. Biochem. Biotechnol. 172, 4013–4024.

# Ранние стадии соматического эмбриогенеза

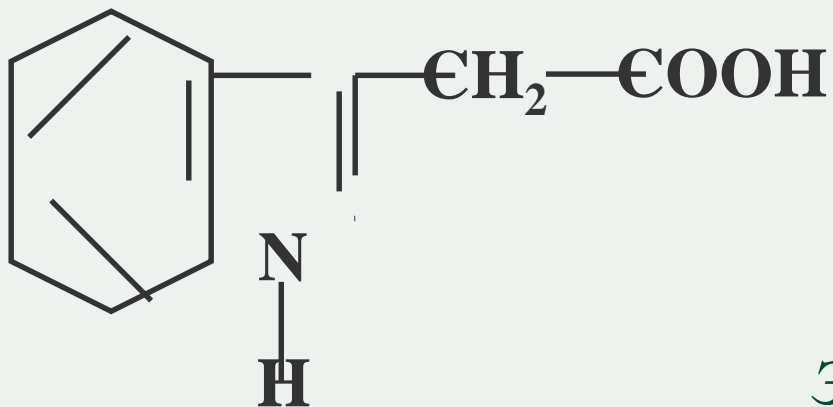


# Морфогенетический цикл

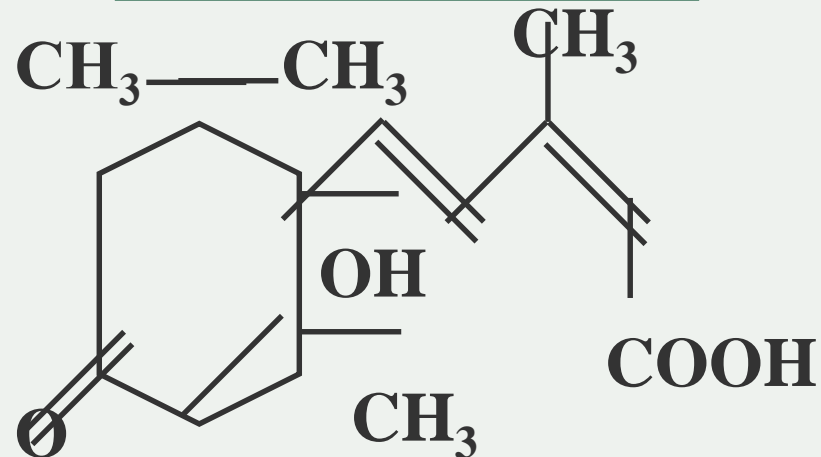


# Основные растительные гормоны

## Ауксины



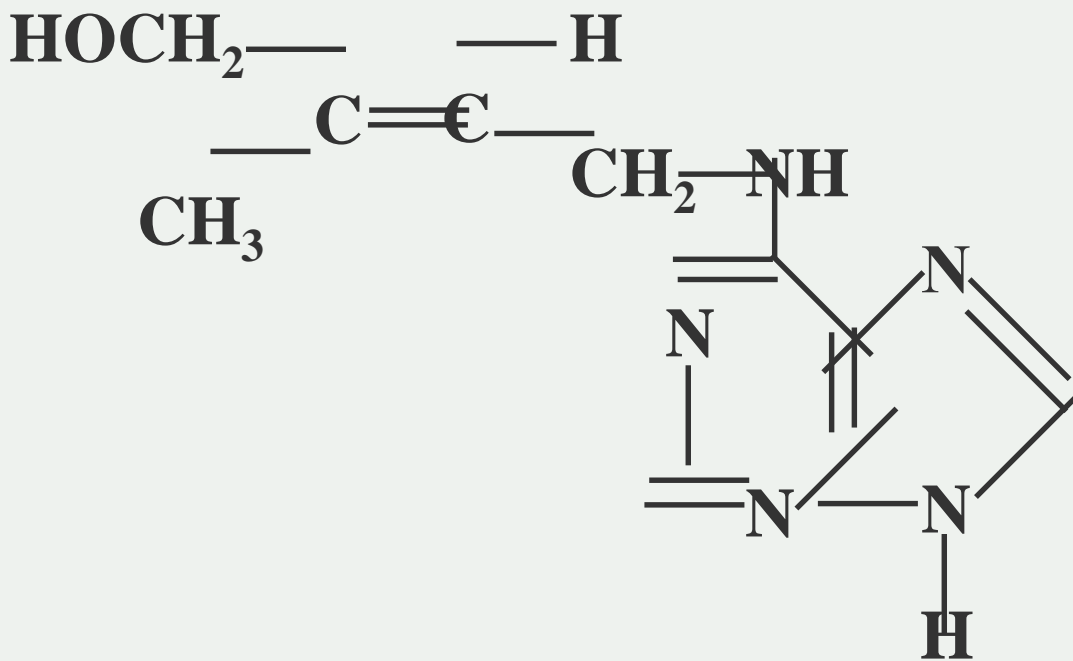
## Абсцизовая кислота



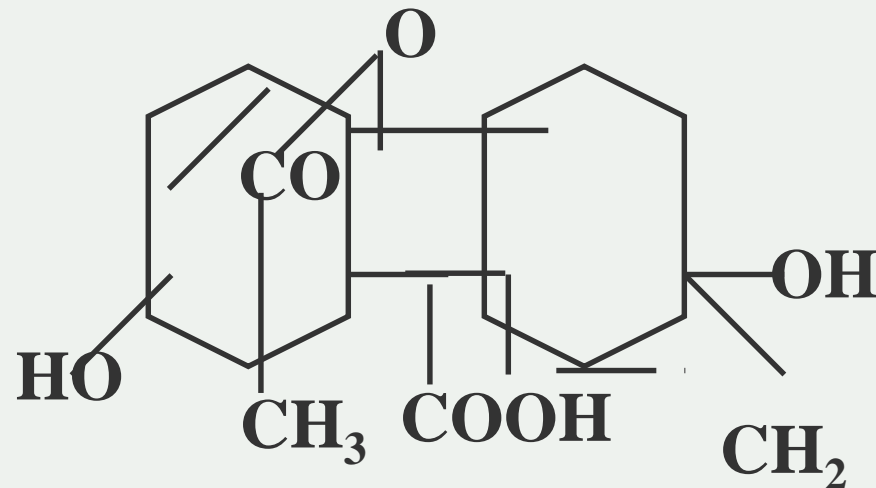
## Этилен



## Цитокинины



## Гиббереллины



# Регуляция морфогенеза с помощью растительных гормонов *in vitro*



## Различные типы каллуса



*Плотный тип каллуса*



*Рыхлый тип каллуса*



*Некротические области  
на каллусе*



*Тератома*

# Роль генотипа в формировании различных типов каллуса



*Гипокотили томата (сорт Алпатьева-905), формирующие каллус*  
Гипокотиль (подсемядольное колено) — это участок стебля зародыша растения, расположенный между корневой шейкой и местом прикрепления семядолей.

*Экспланты гипокотилля томата (сорт Таллалихина), формирующие каллус и корни*



# Микрклональное размножение ценных генотипов



# Биотехнология и ее возможности

<i>Методы, облегчающие и ускоряющие процесс</i>	<i>Создание генетического разнообразия и скрининг генотипов</i>
<p><i>1. Преодоление несовместимости:</i></p> <p><i>А) Постгамной - эмбриональная культура незрелых зародышей</i></p> <p><i>Б) Прогамной - оплодотворение и получение гибридов <i>in vitro</i></i></p> <p><i>2. Оздоровление и микроклональное размножение</i></p> <p><i>3. Экспериментальная гаплоидия</i></p> <p><i>4. Криосохранение генофонда</i></p>	<p><i>1. Клеточная селекция</i></p> <p><i>2. Соматическая гибридизация</i></p> <p><i>3. Клонирование генов и их перенос с помощью трансформации</i></p>

# Промышленное использование некоторых растительных продуктов (по Фаулеру)

Отрасль производства	Растительный продукт	Вид растения	Использование
Фармацевтическая	Кодеин (алкалоид)	<i>Papaver somniferum</i>	Болеутоляющее средство
	Диосгенин	<i>Dioscorea deltoidea</i>	Противозачаточное средство
	Хинин (алкалоид)	<i>Cinchona ledgeriana</i>	Антималарийное средство
	Дигоксин (сердечный гликозид)	<i>Digitalis lanata</i>	Препарат, тонизирующий сердечную деятельность
	Скополамин (алкалоид)	<i>Datura stramonium</i>	Понижающее давление средство
	Винкристин (алкалоид)	<i>Catharanthus roseus</i>	Антилейкемическое средство
Химическая	Пиретрин	<i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i>	Инсектицид
Пищевая	Хинин (алкалоид)	<i>Cinchona ledgeriana</i>	Вещество, усиливающее горечь
	Тауматин (халькон)	<i>Thaumatococcus danielli</i>	Низкокалорийное вещество, заменяющее сахар
Производство косметики	Жасмин	<i>Jasminum</i> sp.	Отдушки

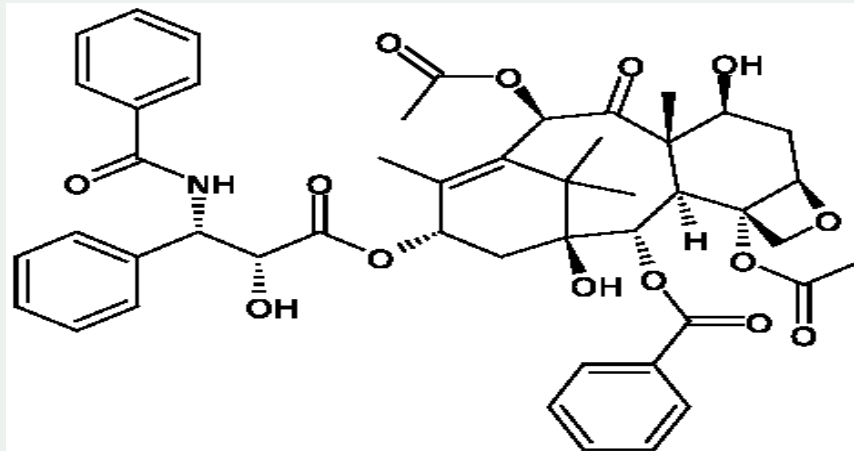
# Преимущества биотехнологического производства вторичных метаболитов

- Процесс биосинтеза происходит в контролируемых условиях
- Отсутствие негативно влияющих на процесс факторов
- Возможность отбора высокопродуктивных клеточных линий
- Автоматизация процесса
- Снижение затрат на производство

# Коммерческая ценность некоторых вторичных соединений

Product	Use	Plant species	Cost (US\$ per kilogram)
Ajmalicine	Antihypertensive	<i>Cath. roseus</i>	37,000
Artemisinin	Antimalarial	<i>Artemisia annua</i>	400
Ajmaline	–	<i>Ra. serpentina</i>	75,000
Acinitine	–	<i>Acotinum spp.</i>	n/a
Berberine	Intestinal ailment	<i>C. japonica</i>	3250
Camptothecin	Antitumour	<i>Camptotheca acuminata</i>	432,000
Capsaicin	Counterirritant	<i>Ca. frutescens</i>	750
Castanospermine	Glycoside inhibitor	<i>Castanospermum australe</i>	n/a
Codeine	Sedative	<i>P. somniferum</i>	17,000
Colchicine	Antitumour	<i>Colchium autumnale</i>	35,000
Digoxin	Heart stimulant	<i>Di. lanata</i>	3000
Diosgenin	Steroid precursor	<i>Dioscorea deltoidea</i>	1000
Ellipticine	Antitumour	<i>Orchrosia elliptica</i>	240,000
Emetine	–	<i>Cephaelis ipecacuanha</i>	1500
Forskolin	Bronchial asthma	<i>Coleus forskolii</i>	n/a
Ginsenosides	Health tonic	<i>Panax ginseng</i>	n/a
Morphine	Sedative	<i>P. somniferum</i>	340,000
Podophyllotoxin	Antitumour	<i>Podophyllum petalum</i>	n/a
Quinine	Antimalarial	<i>Cinchon. ledgeriana</i>	500
Sanguinarine	Antiplatelet	<i>Sanguinaria canadensis</i>	4,800
Shikonin	Antibacterial	<i>L. erythrorhizon</i>	4500
Taxol	Anticancer	<i>Taxus brevifolia</i>	600,000
Vincristine	Antileukemic	<i>Cath. roseus</i>	2,000,000
Vinblastine	Antileukemic	<i>Cath. roseus</i>	1,000,000

# Таксол

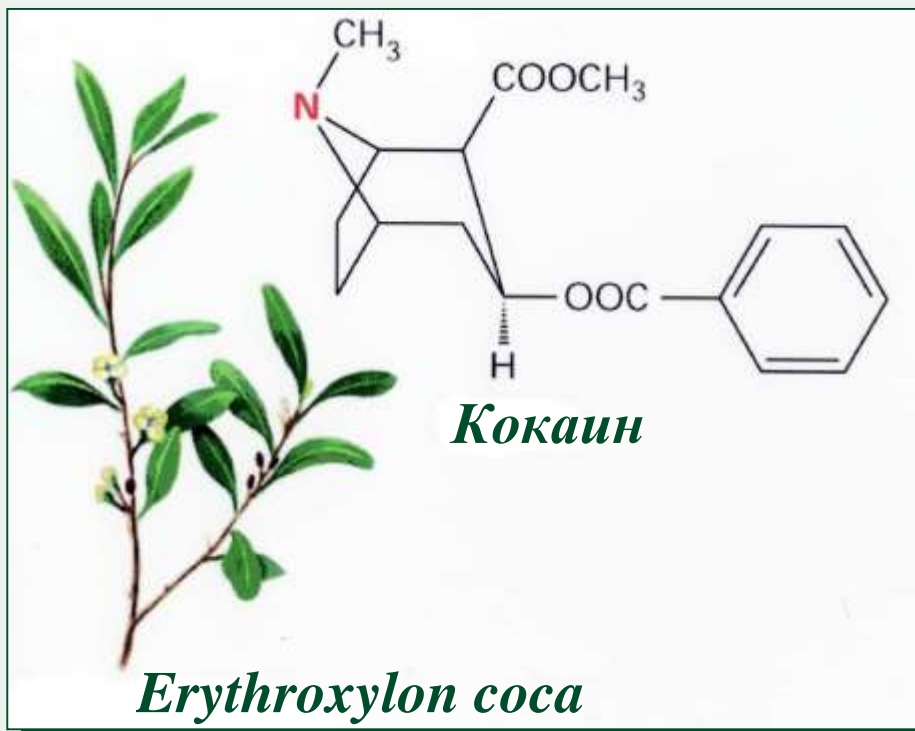


- Тритерпеновое производное, содержится в коре тихоокеанского тиса *Taxus brevifolia* в количестве 0.001%
- Эффективен при подавлении раковых опухолей различного генезиса
- Вековое дерево содержит 300мг таксола – 1 дозу
- 11 хиральных атомов C -  $2^{11} = 2048$  стереоизомеров
- Сегодня существуют суспензионные культуры, синтезирующие 200 мг таксола на 1 л жидкой культуры
- Клеточные культуры получены на основе -*T. brevifolia*
- - *T. cuspidata*
- -*T. suspidata*

# Клеточные культуры

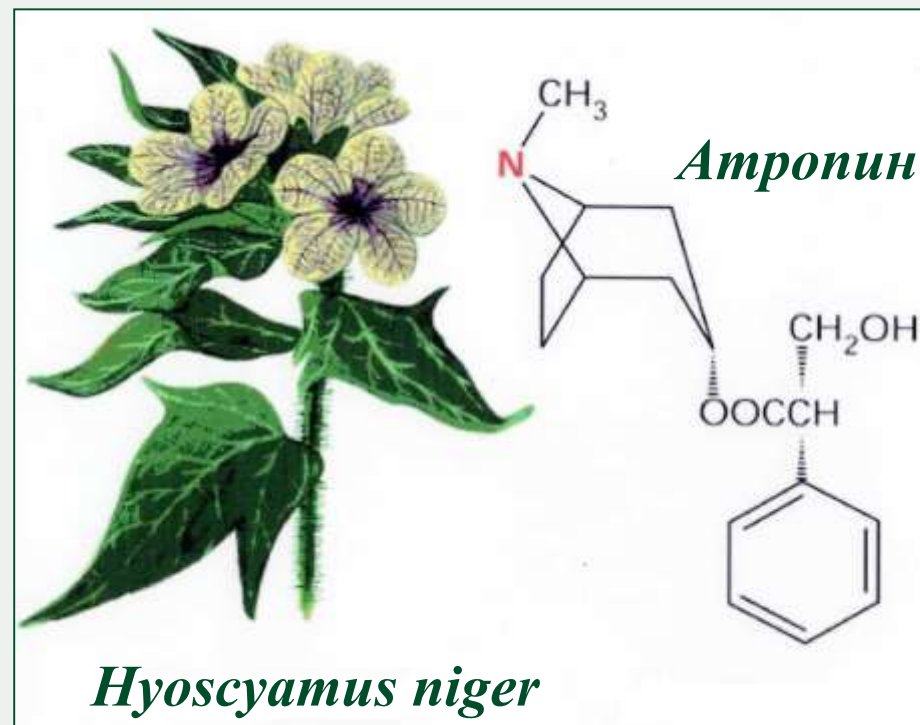


## Примеры растений-продуцентов

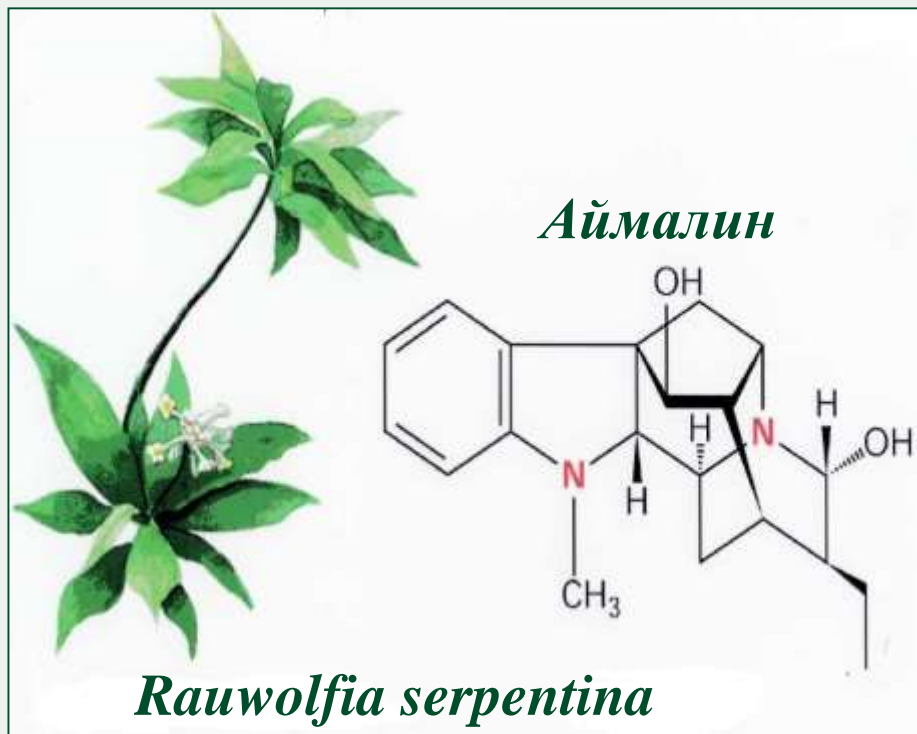


*Структура алкалоида – кокаина, стимулятора ЦНС, получаемого из Erythroxylon coca-кокаиновый куст*

*Структура антихолинэргического алкалоида – атропина, получаемого из Hyoscyamus niger-белена черная*

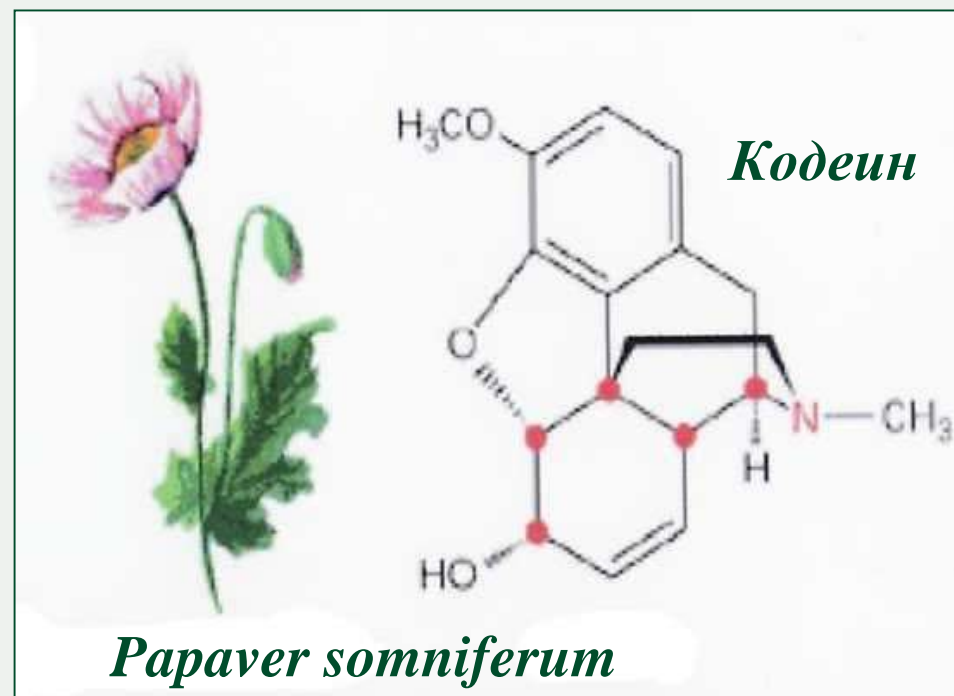


# Примеры растений-продуцентов



*Структура монотерпеноидного  
индольного алкалоида –  
аймалина, получаемого из  
Rauwolfia serpentina – раувольфия  
змеиная*

*Структура  
алкалоида – кодеина, получаемого  
из Papaver somniferum –  
снотворный мак*



# Получение дигоксина\* из растений наперстянки (*Digitalis purpurea*)

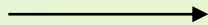
\* Используется в терапии сердечно-сосудистых заболеваний и рака, блокируя продукцию пептида NIF-1



# Клеточные культуры используют:

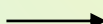
## 2. Для получения суспензионных культур

*Рыхлый каллус*



*Культуру каллусных клеток в жидкой среде культивируют на качалке*

*Пассирование*



*Сформированная суспензионная культура (единичные клетки и небольшие агрегаты из 8-12 клеток)*

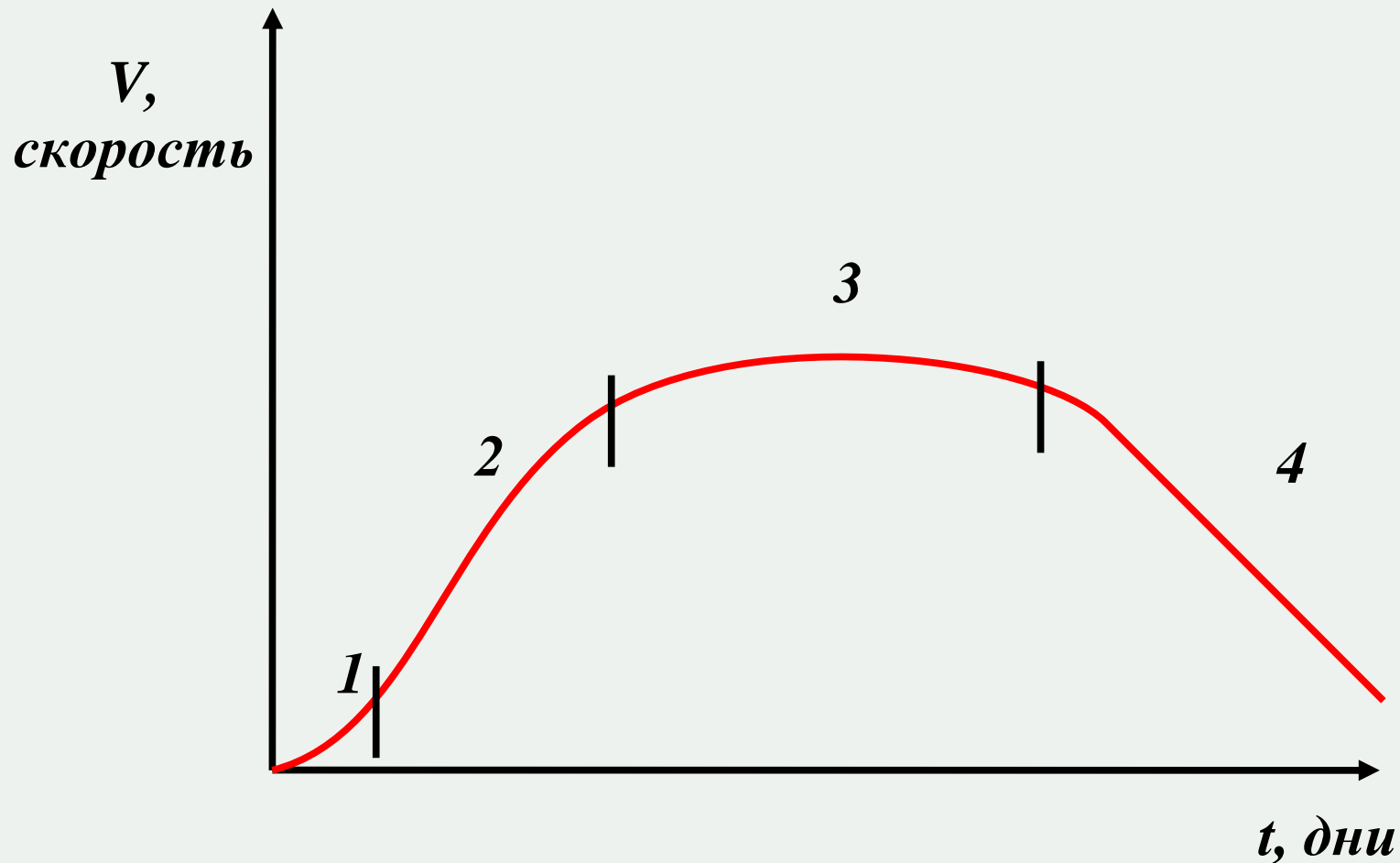


*Схема получения суспензионной культуры*

*Для производства используют как каллусные, так и суспензионные культуры клеток растений-продуцентов*



# Закономерности роста культуры растительных клеток



*1 – лаг-фаза*

*2 – активный рост*

*3 – плато стационарной фазы*

*4 – гибель клеток*

## Клеточные культуры используют:

### 3. Для получения искусственных семян



*Информация о генетическом контроле эмбриогенеза важна и для биотехнологии, поскольку соматический эмбриогенез используется для размножения ценных генотипов*

# Соматический эмбриогенез



# Искусственные семена

## моркови

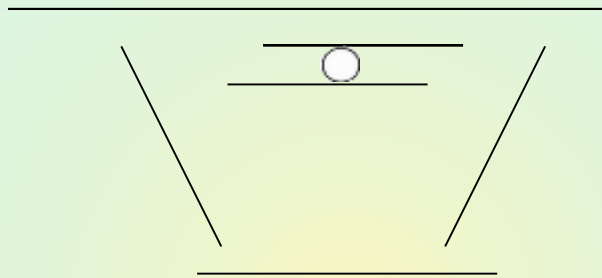


# Разработка методов культивирования единичных клеток in vitro

## 1. Метод культуры-няньки автор: Р. Г. Бутенко



*На активно растущий каллус помещают фильтровальную бумагу с единичной клеткой на ней*



*На предметное стекло с лункой наносят каплю питательной среды и в каплю помещают единичную клетку. Каплю закрывают покровным стеклом и конструкцию переворачивают*

## 2. Метод висячих капель автор: Ю.Ю. Глеба

*Микроклональное*  
*размножение*



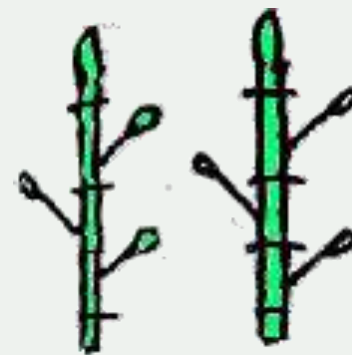
# Схема микроклонального размножения растений *in vitro*



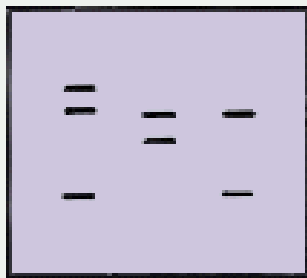
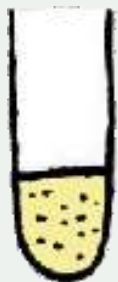
Вычленение  
апикальных меристем



Регенерация *in vitro*



Размножение  
черенками



Паспортизация образцов  
(изоферментные, молекулярные  
маркеры, тесты на наличие  
вирусов)

Сортовая  
идентификация  
образца

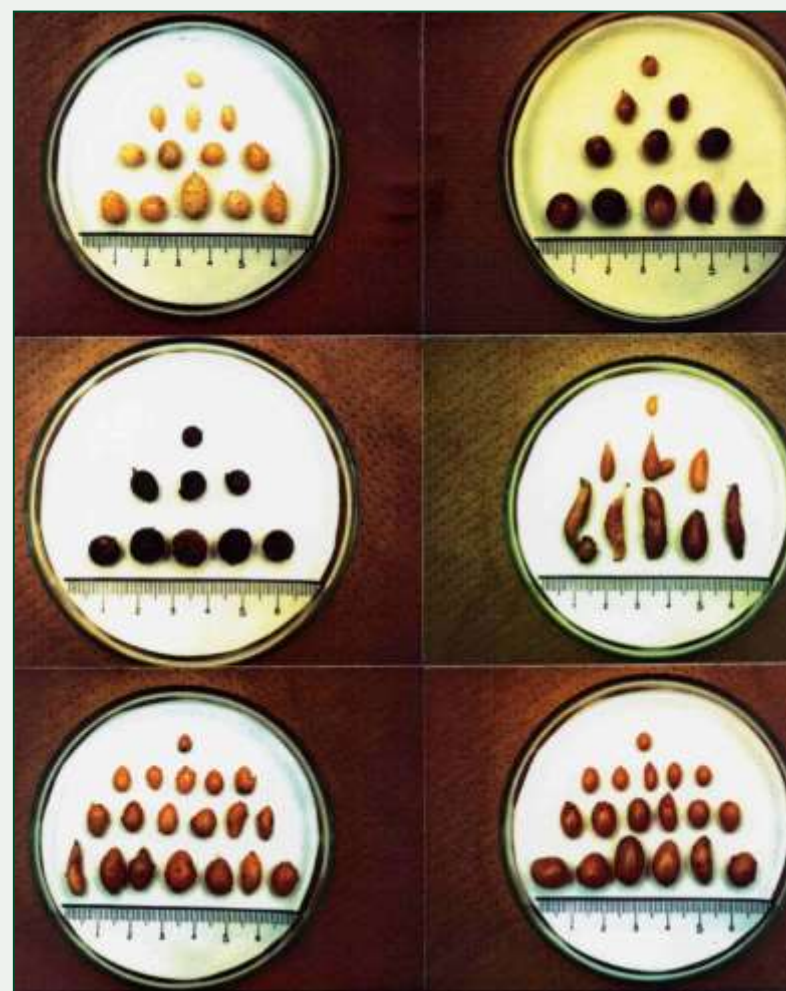
Размножение,  
хранение, передача  
заказчику

Приток из мировых  
генбанков



*Микроклубни картофеля  
Solanum tuberosum различных  
сортов*

*Получение микроклубней  
картофеля  
Solanum tuberosum  
в пробирках*



# Схема получения микроклубней *in vitro*

## 1. Получение субкультуры и размножение

Вычленение апикальной меристемы



Материнское растение



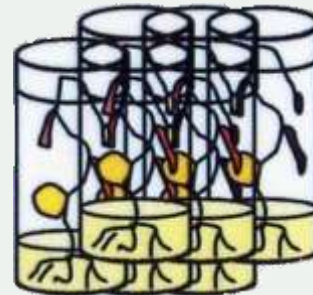
Получение субкультуры через 2-4 недели



## 2. Получение микроклубней *in vitro*



Содержание в темноте в течение 1 месяца

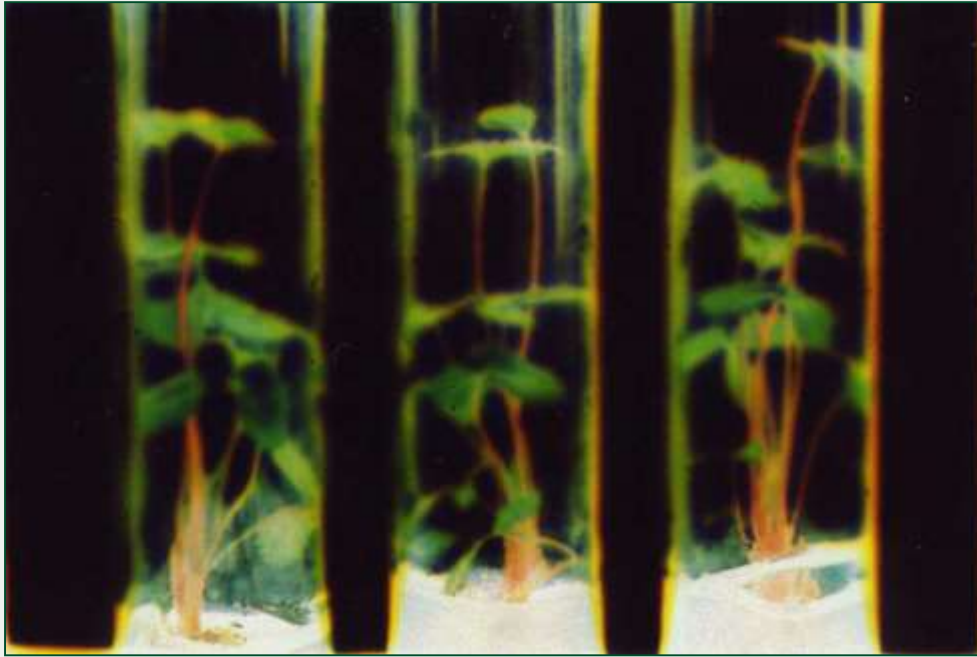


Формирование микроклубней



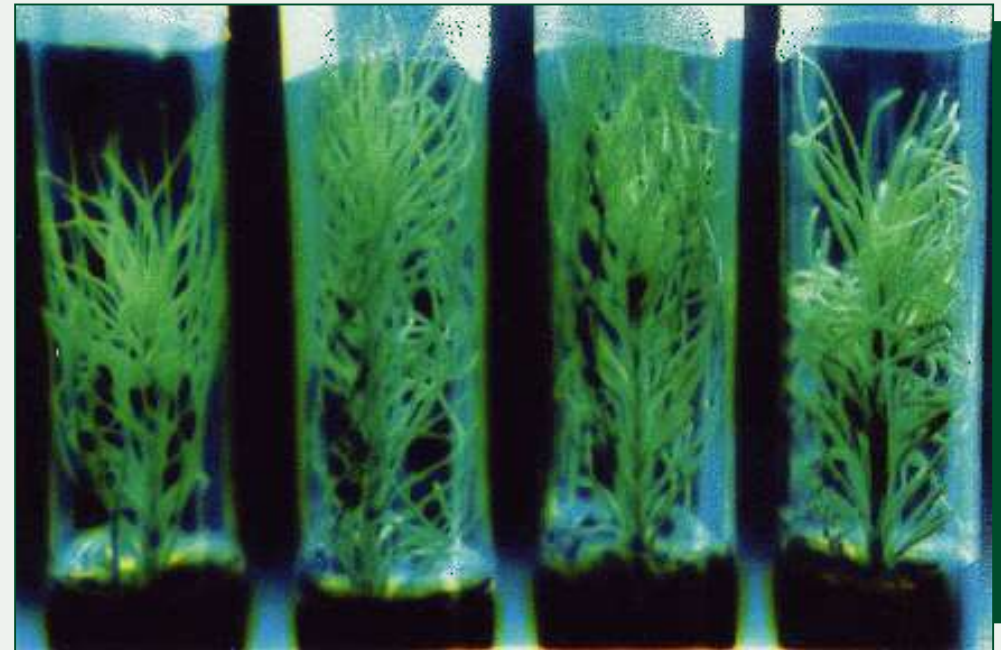
Сохранение при +4 °C

*Примеры поддержания различных культур in vitro*



*Культура земляники*

*Культура сосны*

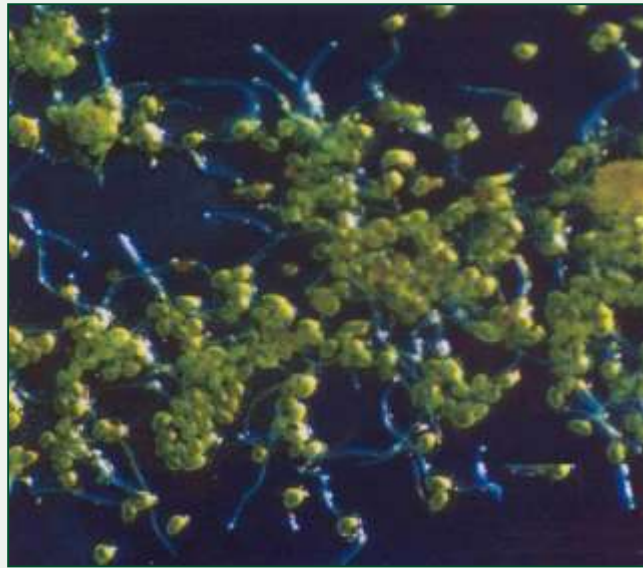
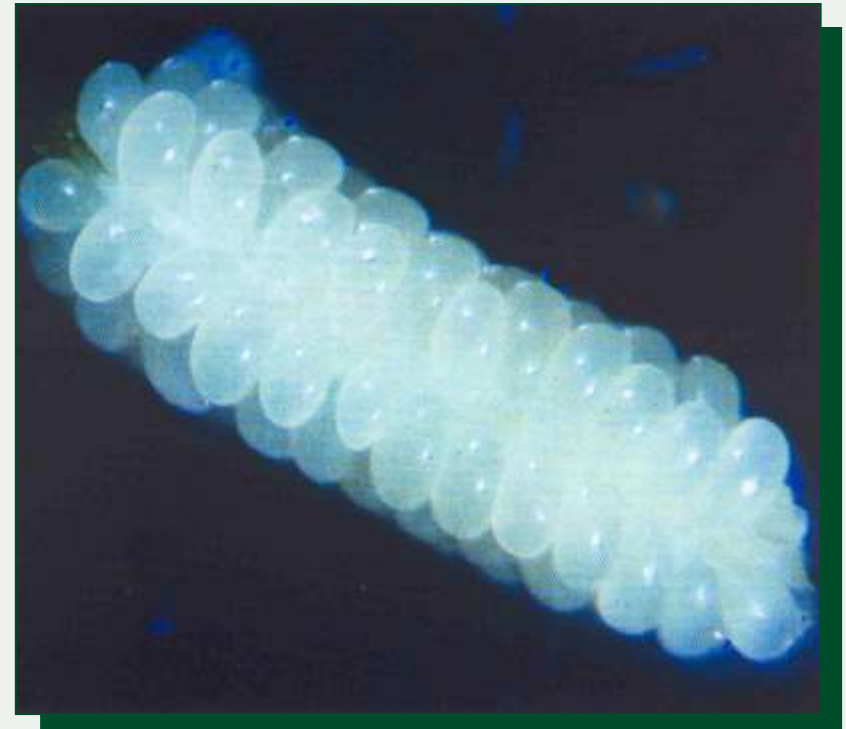


# Получение отдаленных гибридов *in vitro* (преодоление прогамной несовместимости)

*Проростание пыльцы*



*Изолированный  
зародышевый мешок*



*Вокруг зародыша в условиях *in vitro* помещают прорастающую пыльцу. Пыльца начинает прорастать с эффектом внедрения в зародыш и оплодотворяет яйцеклетку*

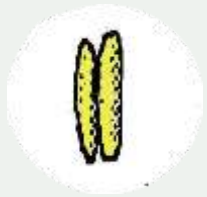
*Экспериментальное получение*  
*гаплоидов in vitro*

- 1) Получение гаплоидных растений на основе андрогенеза
- 2) Получение гаплоидных растений на основе гиногенеза
- 3) Получение гаплоидных растений на основе гаплопродюсеров



# Схема получения гаплоидов на основе андрогенеза

*Условия in vivo*



Пыльники



Пыльцевой мешок



Материнская микроспора (2n)

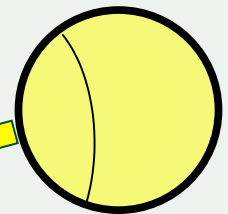


**Мейоз**

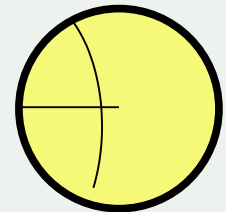


Микроспоры (n)

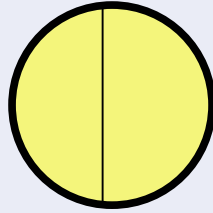
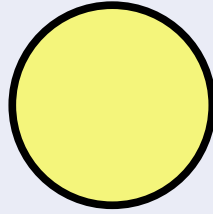
**Митоз I**



**Митоз II**

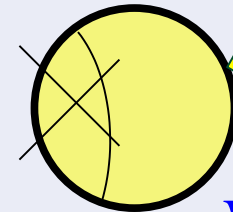


Многоядерная клетка с гаплоидными (n) ядрами

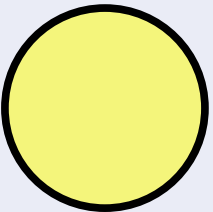


**Индукция равного деления**

**Индукция гибели одного из гаплоидных ядер**



*Условия in vitro*



Формирование гаплоидных растений

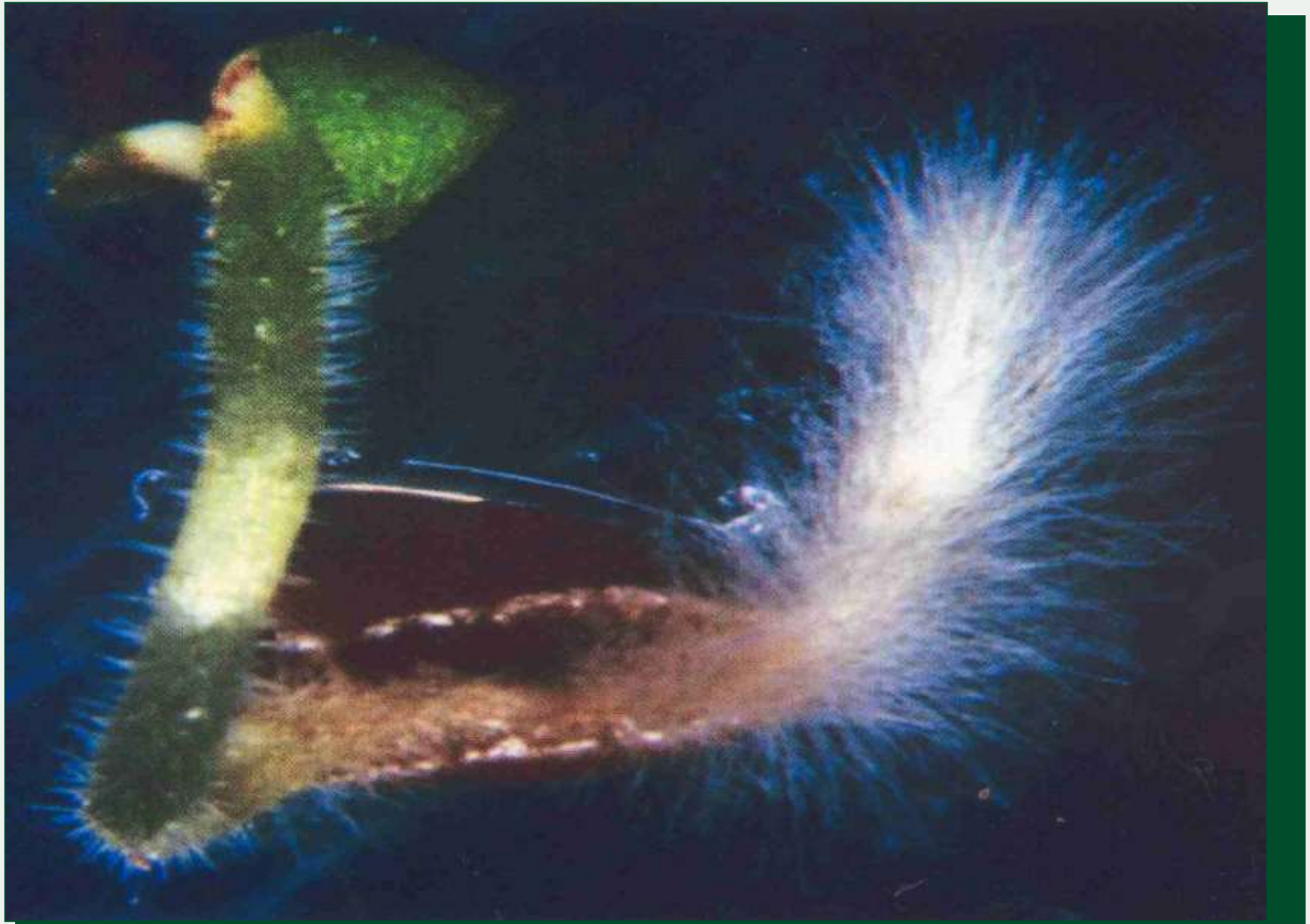


Мужской гаметофит

Формирование каллусов на поверхности  
пыльников



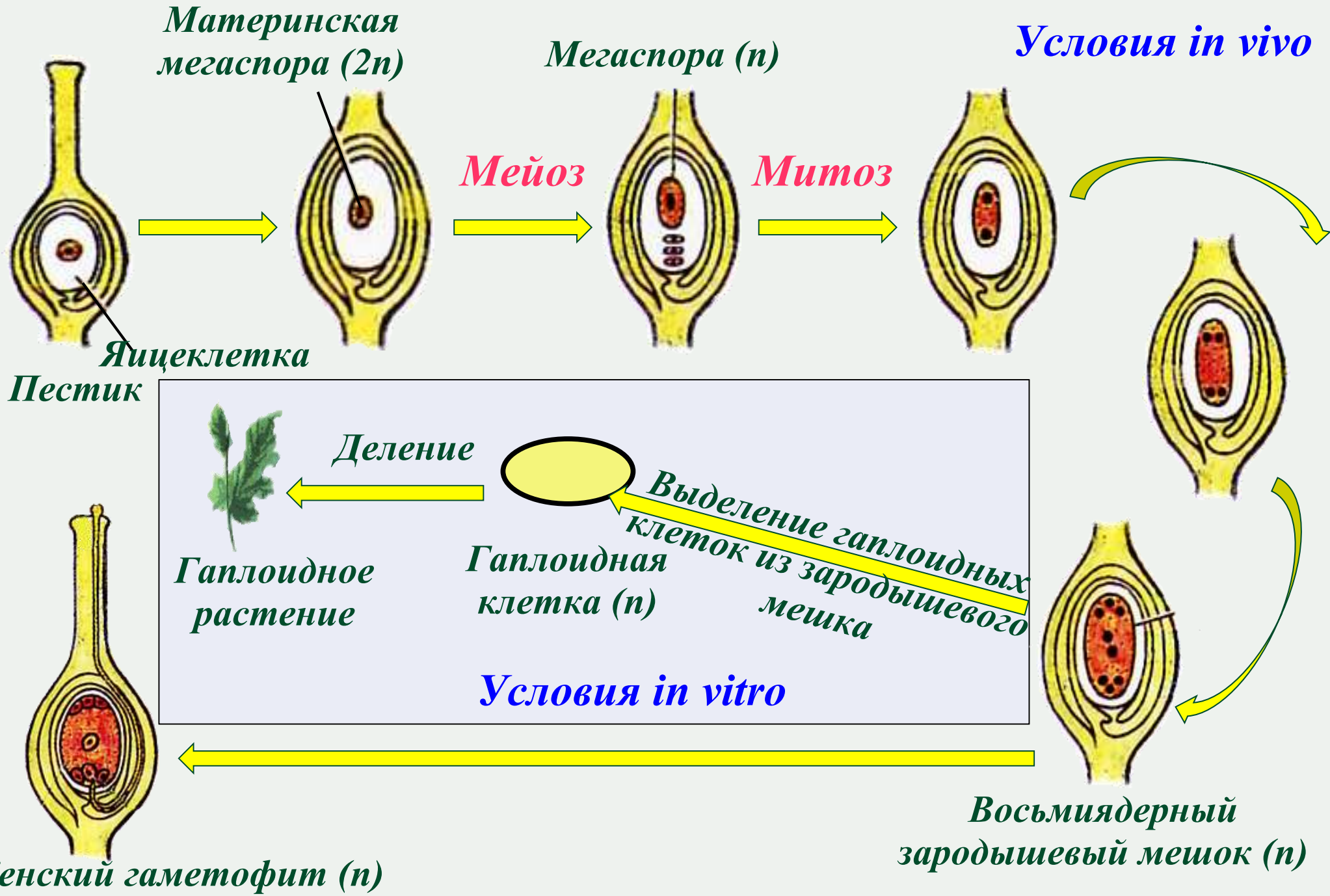
Гаплоидное растение табака  
(*N. tabacum*)



# Типы андрогенеза in vitro



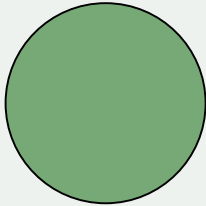
# Схема получения гаплоидов на основе гиногенеза

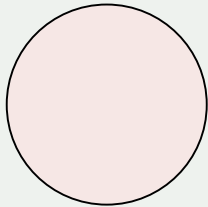


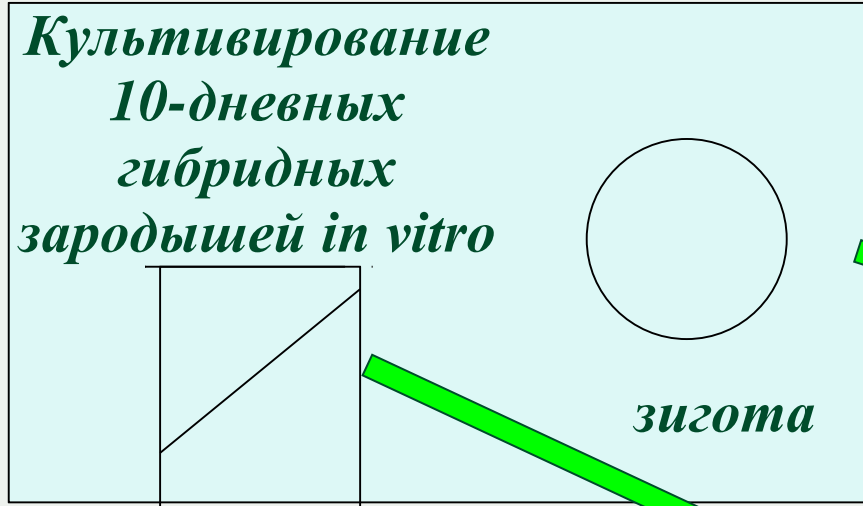
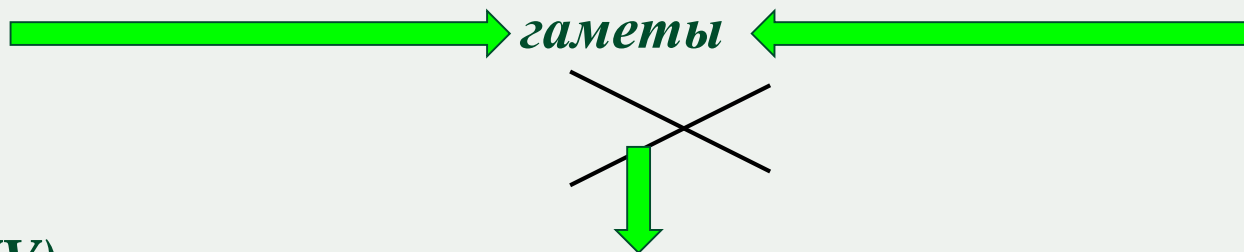
Формирование гаплоидного растения из гаплоидных клеток зародышевого мешка (сахарная свекла)



# Получение гаплоидов на основе гаплопродюсеров

  
*H. vulgare* (VV)  
( $2n=14$ )

  
*H. bulbosum* (BB)  
( $2n=14$ )



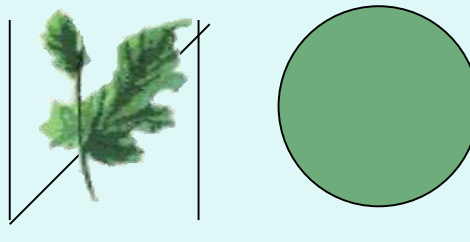
Диплоидное растение (VV)  
( $2n=14$ )



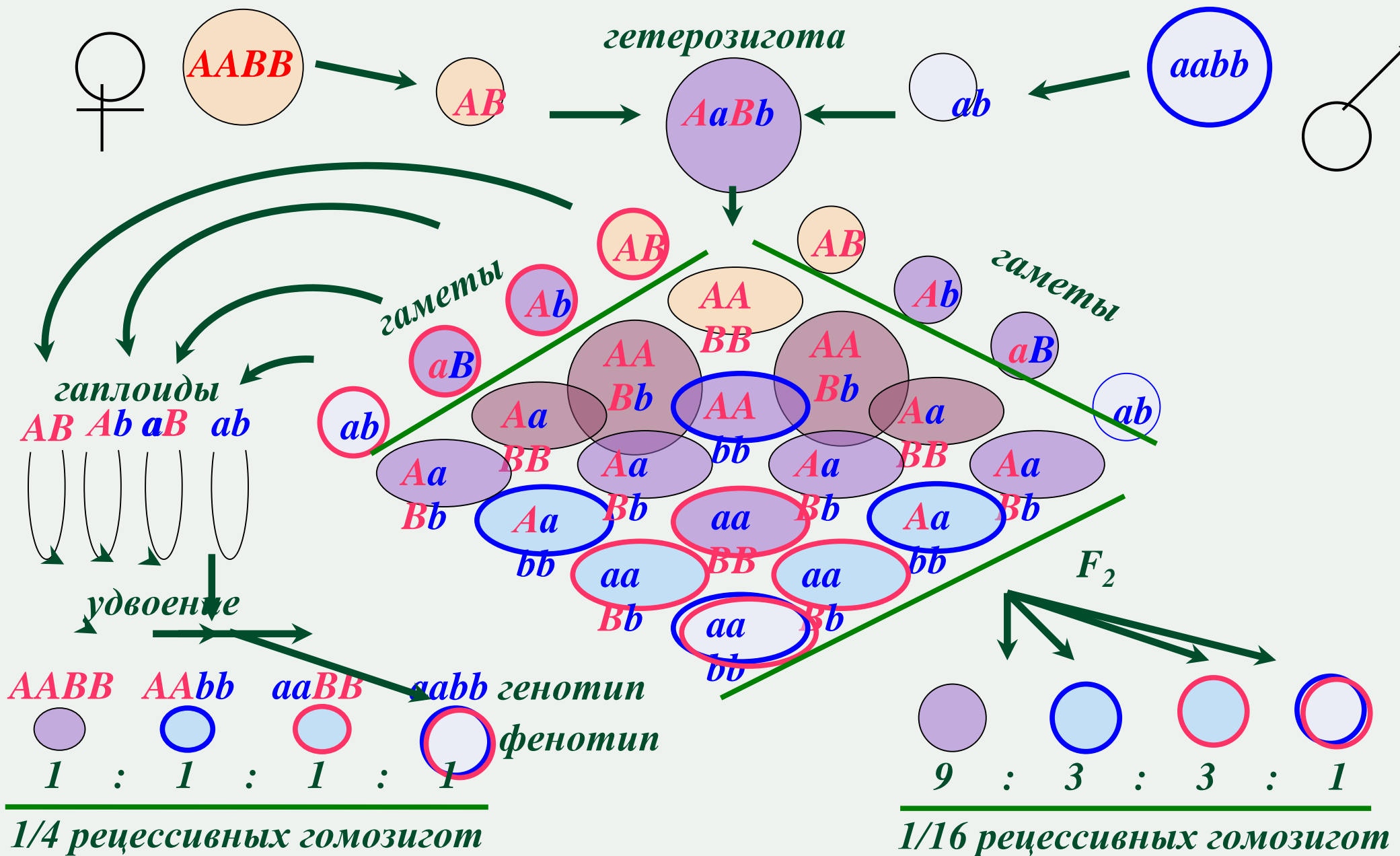
Стабильная гомозигота

Удвоение хромосом  
(колхицинирование)

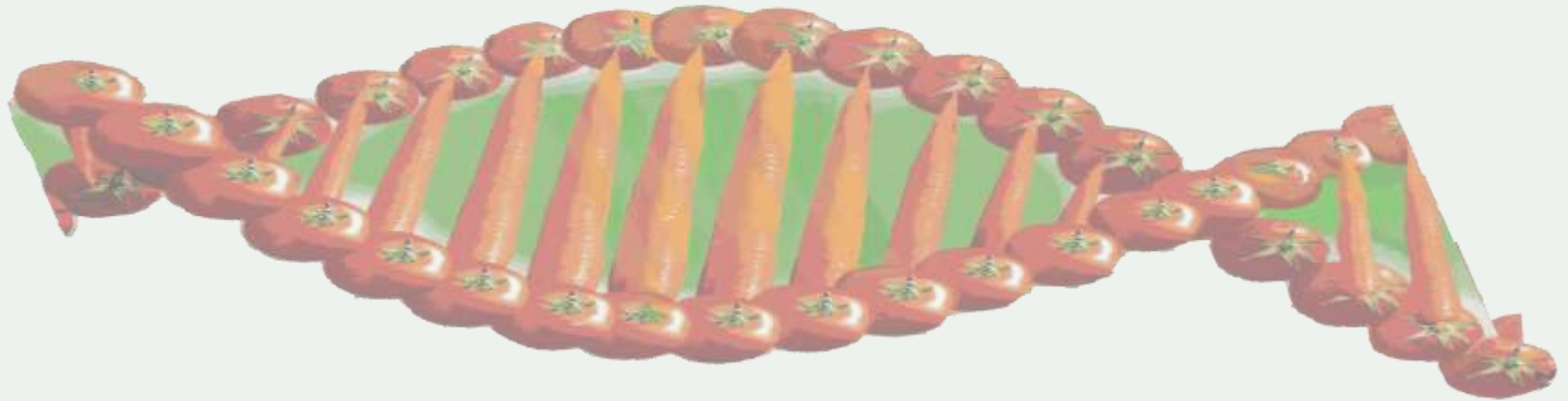
Гаплоидное растение (V)  
( $2n=7$ )



# Эффективность получения рецессивных гомозигот по двум селективируемым признакам у диплоидов и дигамплоидов



# Соматоклональная изменчивость



*“Природа и скорость изменчивости, возникающей in vitro, выявляет хрупкость генома растений при нарушении нормального хода развития”*

*У. Р. Скаукрофт, 1990*

## Типы соматклональной изменчивости

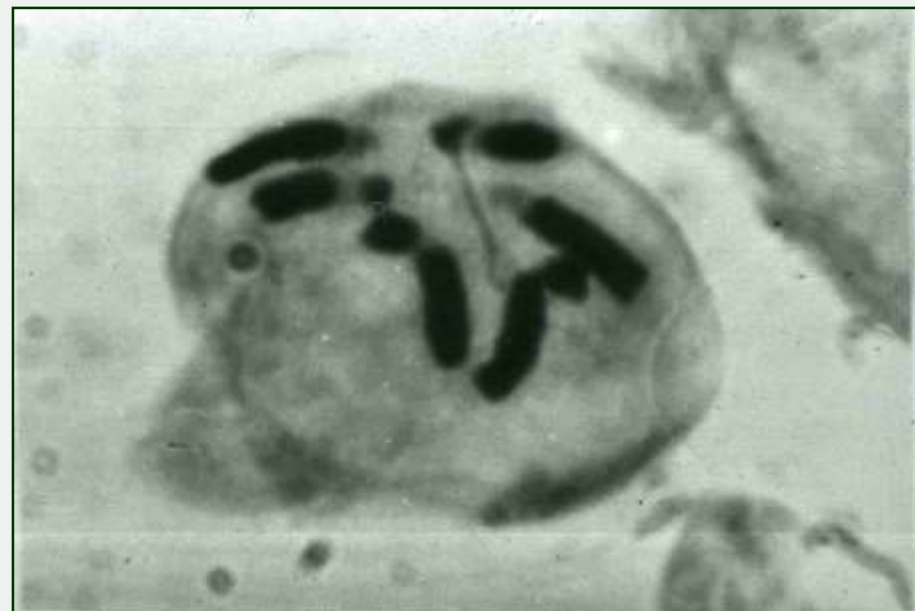
1. **Нестабильность клеточной культуры – изменчивость, проявляющаяся на уровне каллуса**
2. **Соматклональная изменчивость – генетическая изменчивость, накапливаемая *in vitro* и проявляющаяся на уровне растения-регенеранта**

*Примеры нестабильности генома,  
проявляющиеся на уровне каллуса*

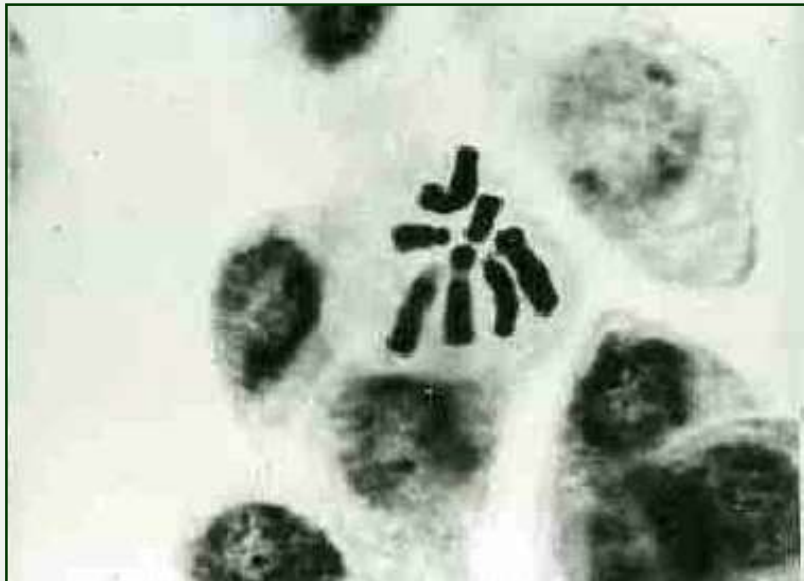
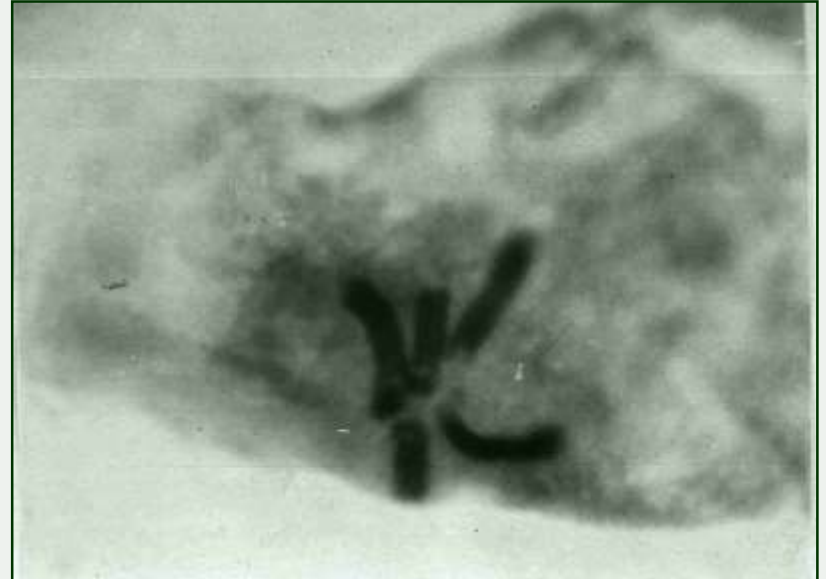


*Каллус гаплоплатуса*

*Хромосомы гаплоплатуса*



*Метафазные пластинки хромосом*  
*гаплопруса*



*Коллекция мутантов кукурузы,  
полученных in vitro*



*Коллекция мутантов*  
*кукурузы, полученных in vitro*



*Коллекция мутантов томатов,  
полученных in vitro*



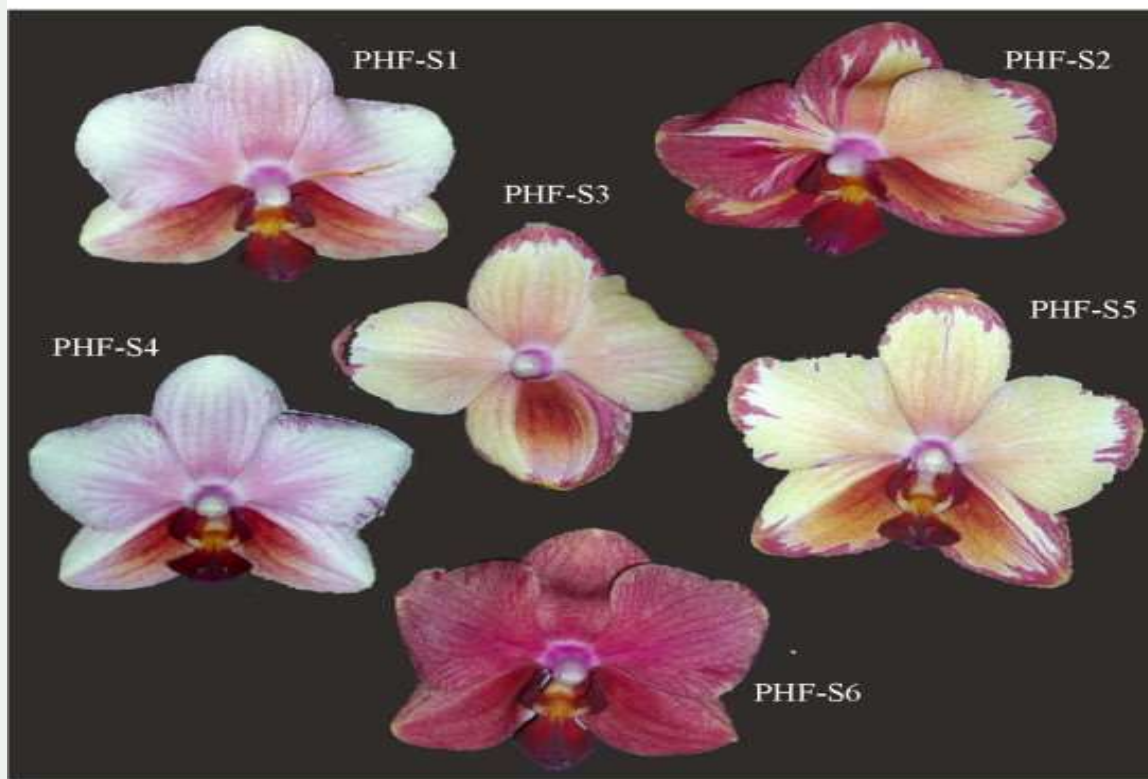
# Соматклоны орхидеи



(A)



(B)



(C)

# **Факторы, влияющие на сомаклональную изменчивость**

- 1) Способ размножения – половое, бесполое**
- 2) Изменчивость, предшествующая и возникающая в процессе культивирования**
- 3) Генотип**
- 4) Типы эксплантов и методы культивирования**
- 5) Продолжительность культивирования**

## Генетическая нестабильность у фиалки



Установите последовательность действий учёного при размножении растений микроклональным методом. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

- 1) размножение клеток меристемы на питательной среде
- 2) перенос каллусов на среду с фитогормонами
- 3) получение проростков и посадка их в грунт
- 4) получение фрагмента верхушечной меристемы растения
- 5) подбор растения с необходимыми признаками

Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.  
Какие из перечисленных ниже методов относятся к методам биотехнологии?

1. Клонирование генов в плазмиды.
2. Гибридизация разных сортов растений.
3. Отбор производителей по потомству.
4. Массовый отбор гибридов.
5. Гибридизация клеток в культуре.
6. Микрклональное размножение растений.

Установите последовательность процессов при использовании метода культуры клеток и тканей растений. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

- 1) рост недифференцированных клеток
- 2) перемещение каллуса на среду с ростовыми гормонами
- 3) выделение экспланта из вегетативного органа
- 4) получение проростка растения
- 5) органогенез

Спрятать пояснение

**Пояснение.**

Последовательность процессов при использовании метода культуры клеток и тканей растений:

3) выделение экспланта из вегетативного органа; → 1) рост недифференцированных клеток; → 2) перемещение каллуса на среду с ростовыми гормонами; → 5) органогенез; → 4) получение проростка растения.



Спасибо за внимание!

ЦНППМ