

Клетка

1. Симбиогенетическая теория происхождения хлоропластов. Структура и функции хлоропластного генома. Взаимодействие с ядерным геномом. Взаимные превращения пластид. Физиологическая роль разных типов пластид.
2. Геном пластид и геном митохондрий. Общие черты и особенности каждого из геномов. Генетическая ёмкость: гены домашнего хозяйства и гены, отвечающие за специфические функции хлоропластов и митохондрий. Феномен цитоплазматической мужской стерильности как взаимодействие между ядерным и митохондриальным геномами. Спорофитный и гаметофитный контроль ЦМС. Взаимодействие хлоропластного и ядерного геномов, примеры двойного кодирования.
3. Основные структурные полимеры клеточной стенки. Ковалентные, водородные и ионные связи между полимерными сетями. Биосинтез целлюлозы, сшивочных гликанов, пектиновых веществ. Структурные белки и ферменты, входящие в состав клеточной стенки. Изменение состава клеточной стенки по мере роста и дифференцировки.
4. Внутриклеточные рецепторы. Роль убиквитинирования и протеолиза в передаче сигнала. Факторы транскрипции, представлении о многообразии. Регуляторные элементы (боксы) в промоторах генов. Механизмы специфического изменения экспрессии генома в ответ на сигнальные молекулы.

Клетка мезофилла

Ядерная мембрана

Ядро

Ядрышко

шероховатый
ЭПР

хлоропласт

Vacuole

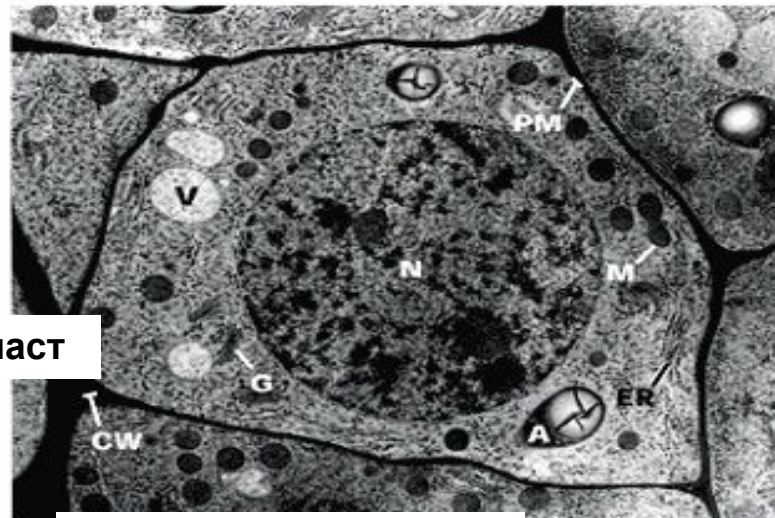
аппарат
Гольджи

Клеточная
стенка

Срединная пластина, обогащенная пектинами
Целлюлоза и гемицеллюлоза

плазмалемма

(B)



гладкий ЭПР

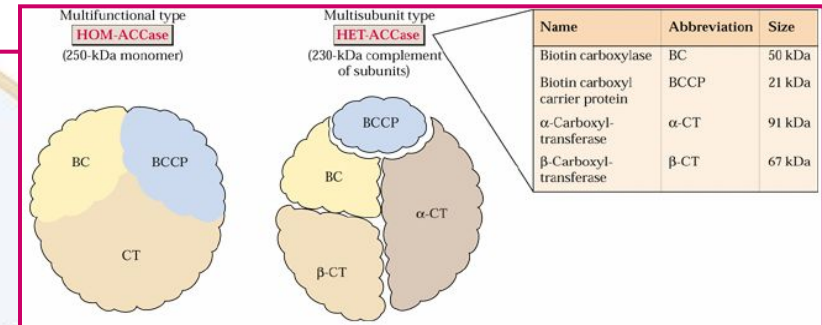
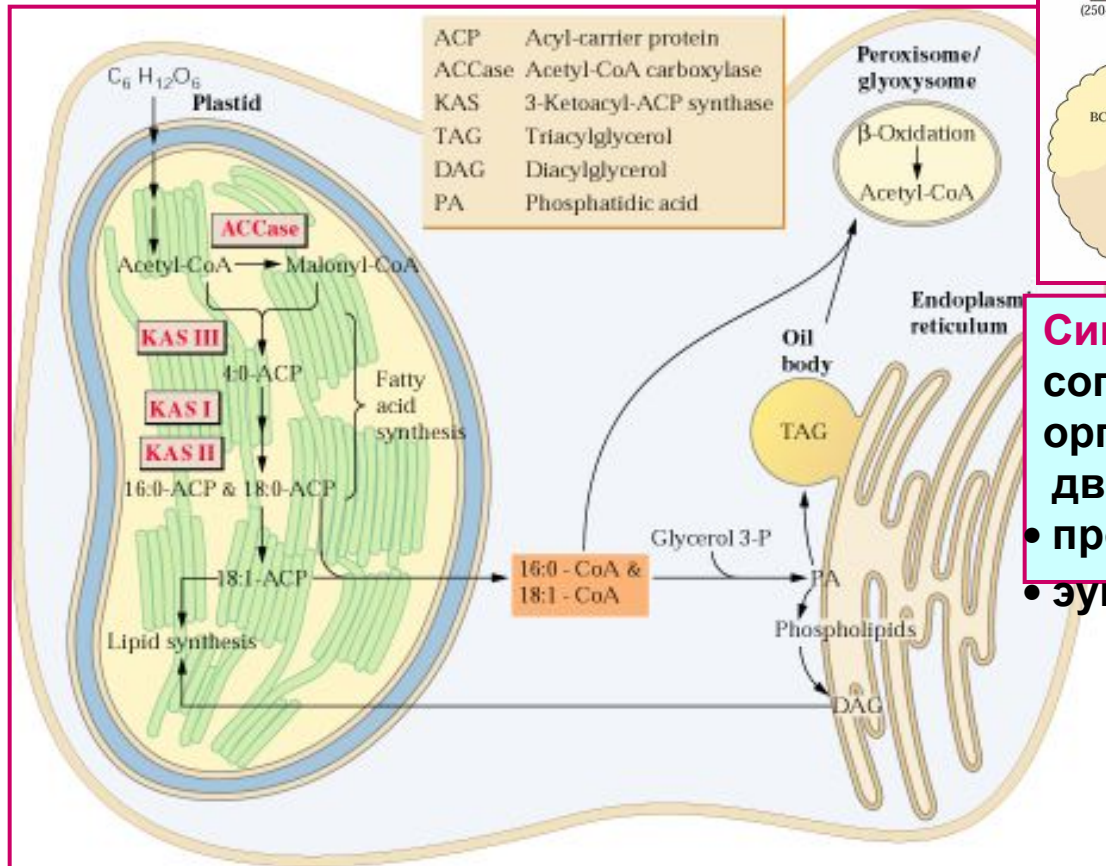
Срединная пластина

Воздушная полость

пероксисомы

митохондрии

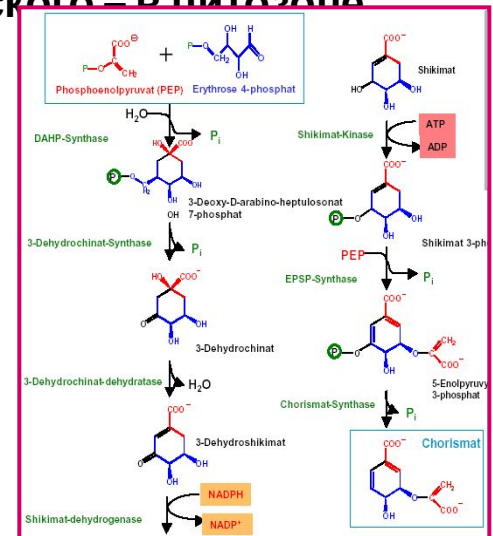
Метаболизм растительной клетки - причудливое сочетание работы прокариотических и эукариотических систем



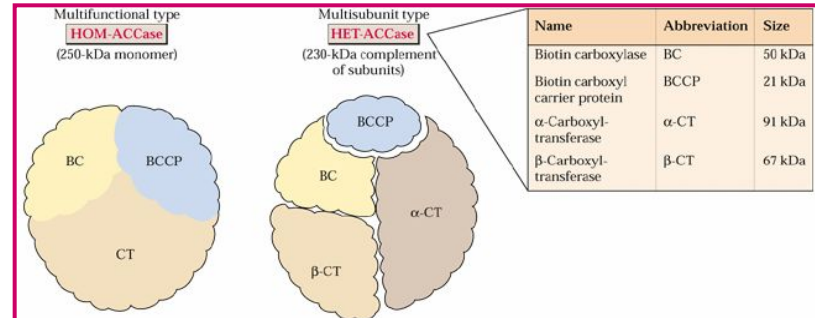
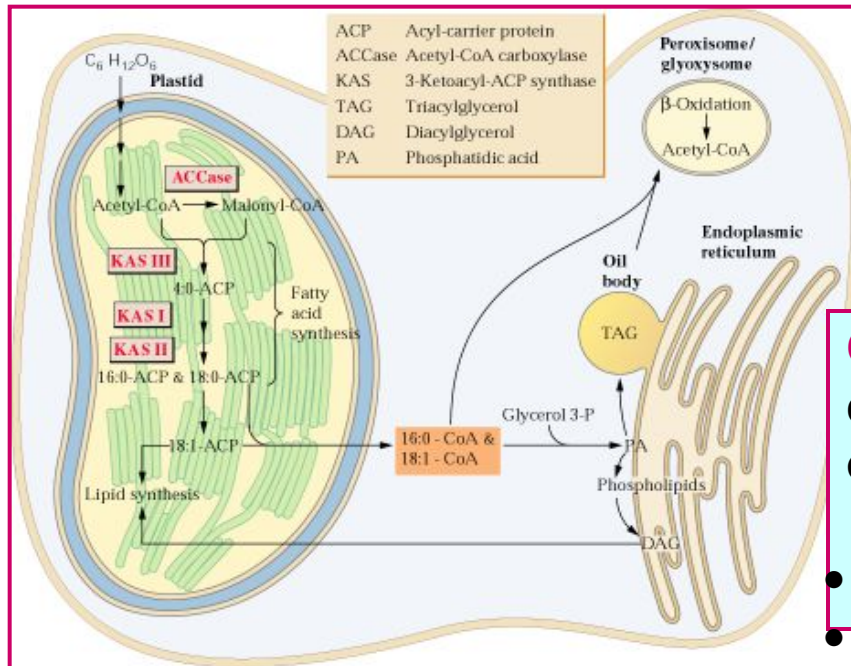
Синтез жирных кислот:
согласованная работа многих органелл;
две ацетил-КоА-карбоксилазы:

- прокариотического типа в пластидах,
- эукариотического - в цитозоле

Синтез флавоноидов:
параллельная работа шикиматного пути в пластидах и цитозоле



Метаболизм растительной клетки - причудливое сочетание работы прокариотических и эукариотических систем

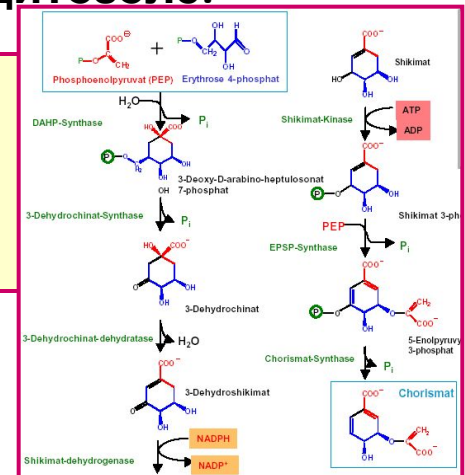


Синтез жирных кислот:
согласованная работа многих органелл;
две ацетил-КоА-карбоксилазы:

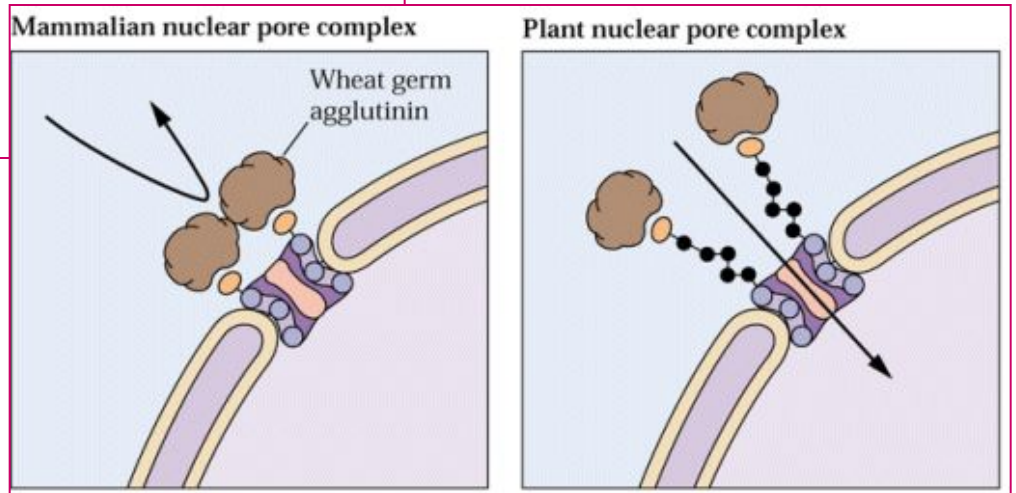
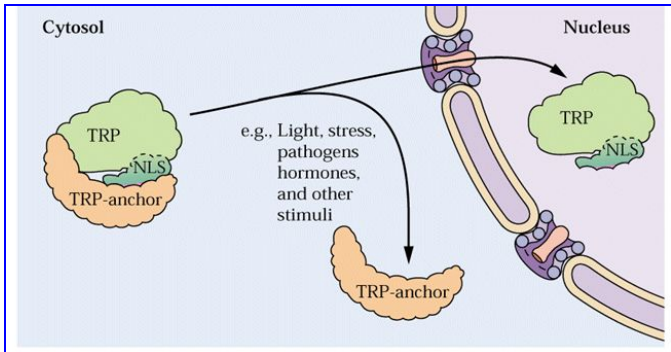
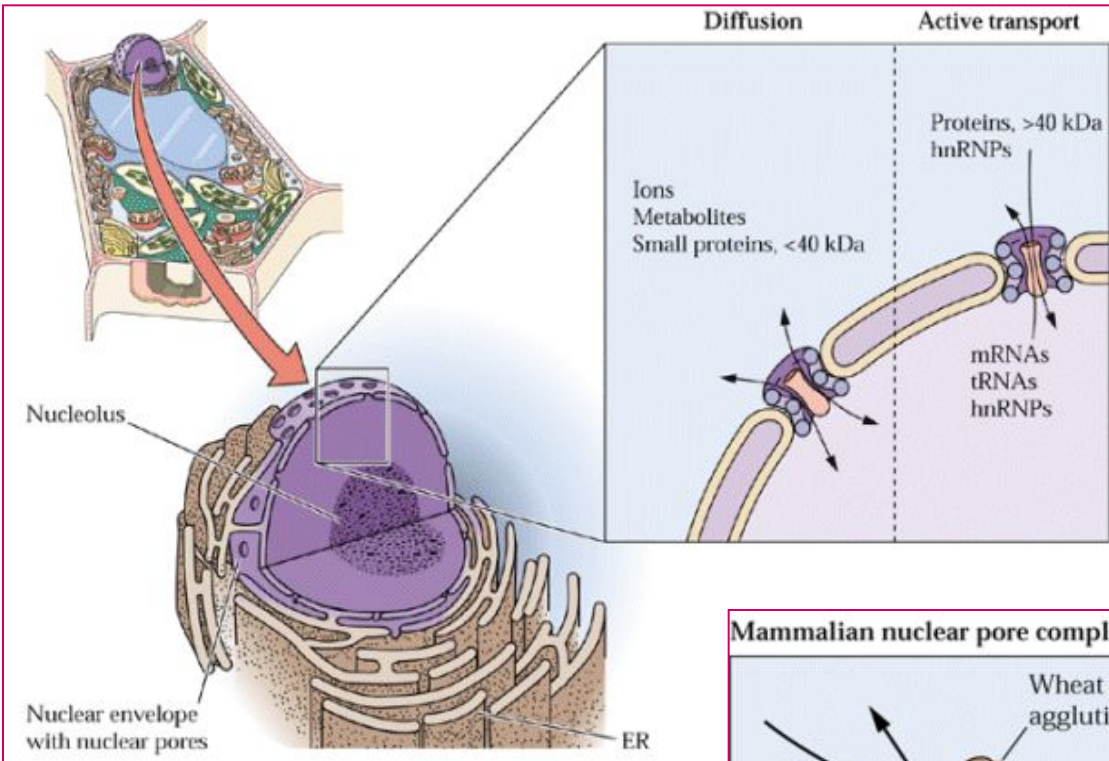
- прокариотического типа в пластидах,
- эукариотического – в цитозоле.

**Синтез
изопrenoидов**

Синтез флавоноидов:
параллельная работа шикиматного пути в пластидах и цитозоле



Ядерные поры – пропускные фильтры.



Вакуоли – multifunctional organelles

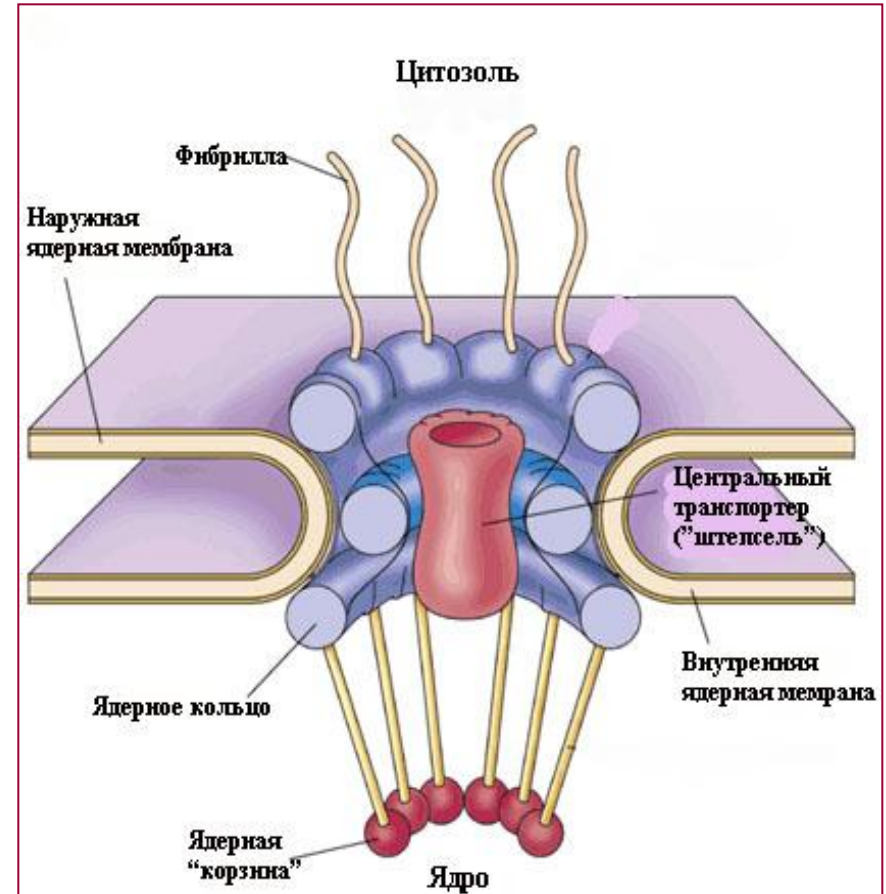
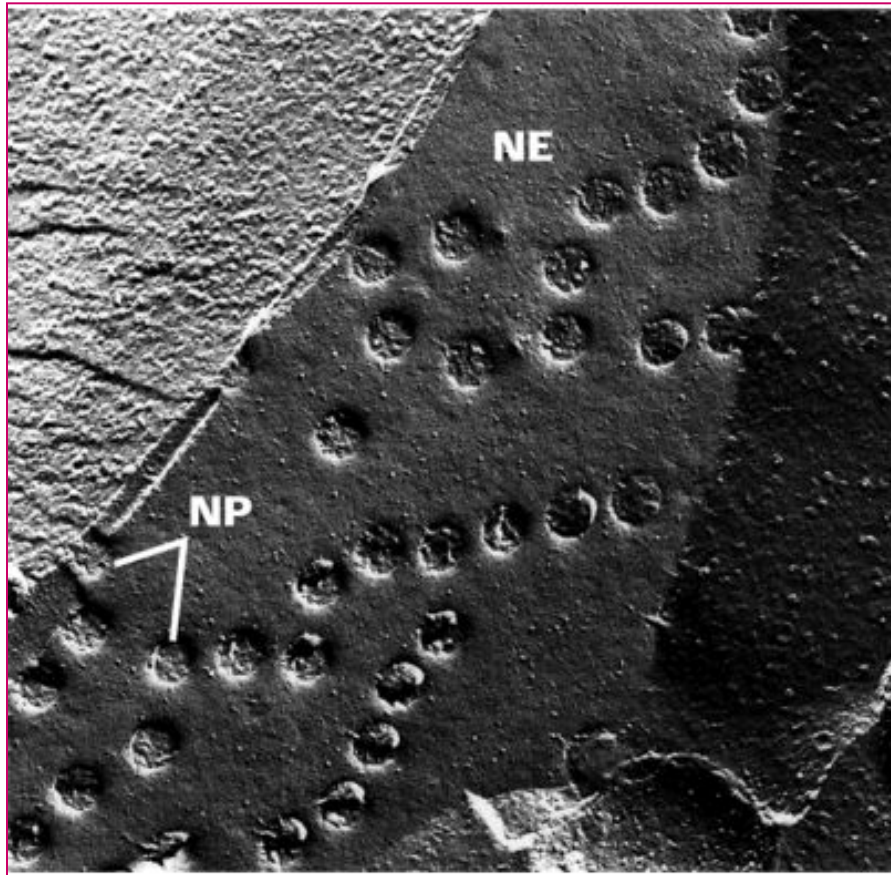
1. Цель «создания» вакуолей - «дешевый» способ увеличения клетки?

2. В клетке есть как минимум два типа вакуолей: запасные (с нейтральным pH) и литические (с кислым pH)

3. Функции вакуолей:

- **Хранение** (ионы, сахара, полисахариды, пигменты, аминокислоты, белки, вторичные метаболиты)
- **Лизис веществ** (в литических вакуолях - кислые гидролазы: протеазы, нуклеазы, гликозидазы, липазы)
- **Защита от патогенов и травоядных** (токсичные вещества – цианогенные гликозиды, кумарины и др., ферменты – хитиназы, глюканазы)
- **Пигментация** (водорастворимые пигменты – антоцианы, беталаины)
- **Изолирование и детоксикация токсичных веществ** (наличие белков-переносчиков из семейства ABC-транспортеров)
- **Регулирование pH и ионный гомеостаз**
- **Регулирование тургорного давления**

Структура ядерных пор



Некоторые особенности ядерного генома растений

- **Размер:** от $\sim 10^8$ тпн (*Arabidopsis*) до 10^{10} (бобы) – 10^{11} (*Fritillaria*) тпн
- **Большое количество повторов** – до 70% (горох).
Низко- и средние – до 1000 копий, высоко- до 1 000 000 копий
- **Теломерная ДНК** (для растений: повторы TTTAGGG) **есть не всегда**
- **Большое количество генов с высокой гомологией бактериальным** (до 50% по а-к составу белка)
- **Более высокий уровень метилирования** (30% цитозинов генома пшеницы, у животных – не более 7%). Другая схема метилирования – не только CpG, но и CpHpG
- **Измененные сигналы полиаденилирования** (часто их два – FUE: UUGUA, -80-190 нукл. от места полиА, NUE: AAUAAA, - 40н.
- **Codon usage:** разная эффективность использования разных триплетов
Однодольные «предпочитают» XXC/G, часто - XCG и редко – ХТА (в сравнении с двудольными видами).
- **Два типа транспозонов:** ретротранспозоны (вероятно, остатки ретровирусов) и ДНК- транспозоны, преимущественно у с/х растений

Гены митохондрий

1. Синтез белка. - 3 гена рРНК (оперон rrn)

- 10 генов белков пластидных рибосом (rpl/rps)
- 16 генов тРНК (trn) – **не хватает! – импорт!**

2. Дыхание - 9 генов белков НАД Н дегидрогеназы (nad)

- ген апоцитохрома b (cob);
- 5 генов белков биосинтеза цитохрома с (ccb)
- 3 гена субъединиц цитохромоксидазы (гены cox).
- 3 гена субъединиц сукцинатдегидрогеназы (sdh)
у печеночников
- 4 гена АТФ-синтазы (atp)

**Всего: около 50 генов (у печеночных мхов – более 100) ,
из них около 20 - «рабочих» и около 30 - «домашнего хозяйства».**

Некоторые особенности плазмалеммы

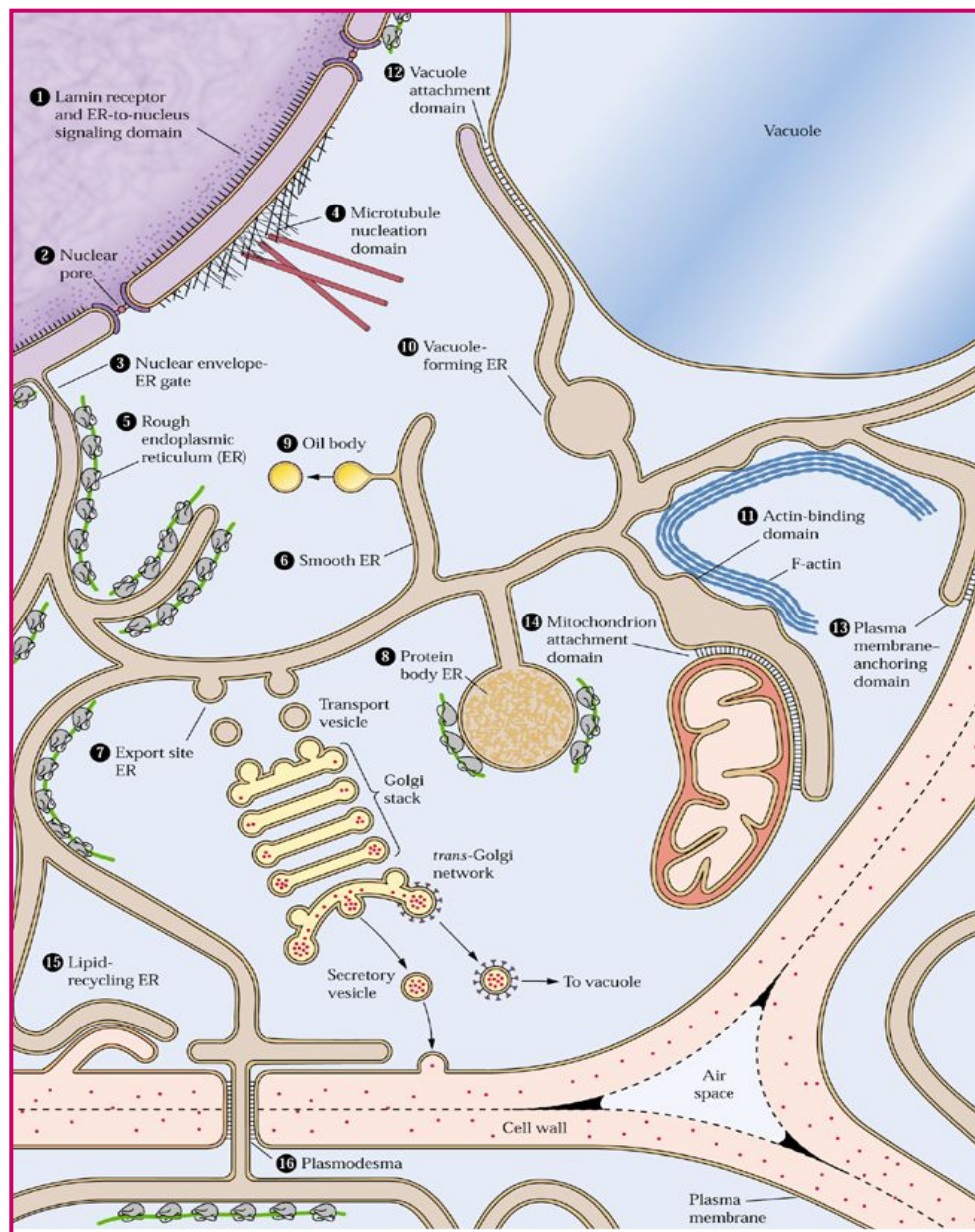
Структурные: зависимость состава от типа клетки

- основные ЖК: пальмитиновая (16:0), олеиновая (18:1, Δ^9), линолевая (18:2, $\Delta^{9,12}$); линоленовая (18:3, $\Delta^{9,12,15}$); стеариновой (18:0) практически нет, арахидоновой (18:4) нет.
- другая схема десатурации ЖК – от Δ^9 к ω -концу (Δ^{12} , ω^3)
- обычно очень мало холестерина – вместо него фитостерины (сито-, стигма- и кампестерин) – в том числе в виде гликозидов и ацилов.
- наличие особых белков: контакты с КС (прежде всего арабиногалактановых), синтез и аранжировка КС

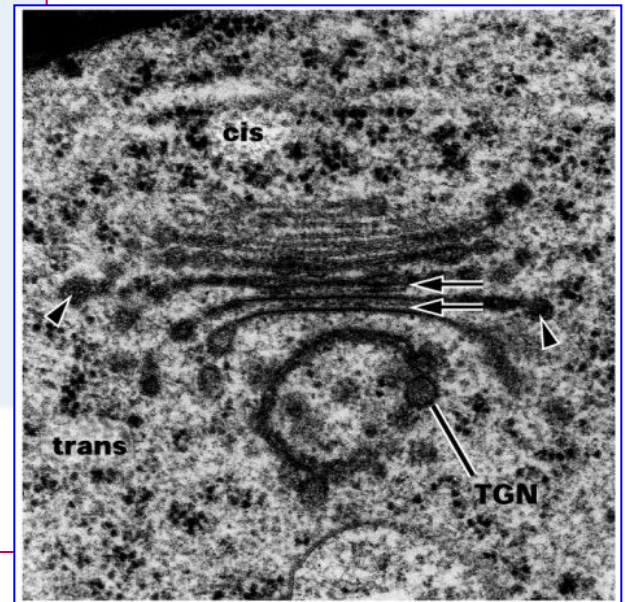
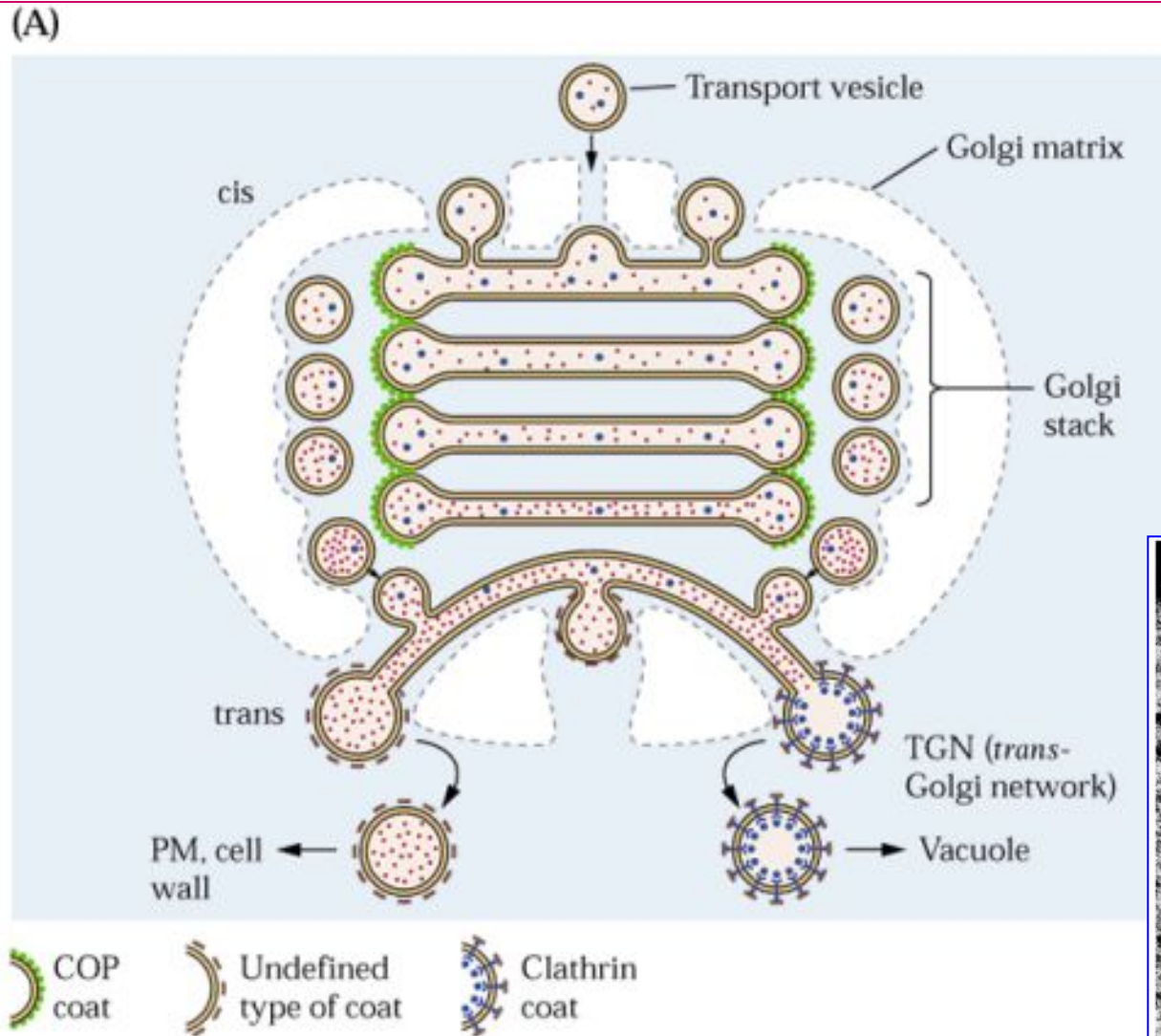
Функциональные:

- $\Delta\Psi \sim 100 - 250\text{mV}$ – выше, чем у животной клетки
- протонная энергетика (Н-АТФ-за р-типа)
- формирование плазмодесм
- нахождение под постоянным «давлением» за счет тургора.

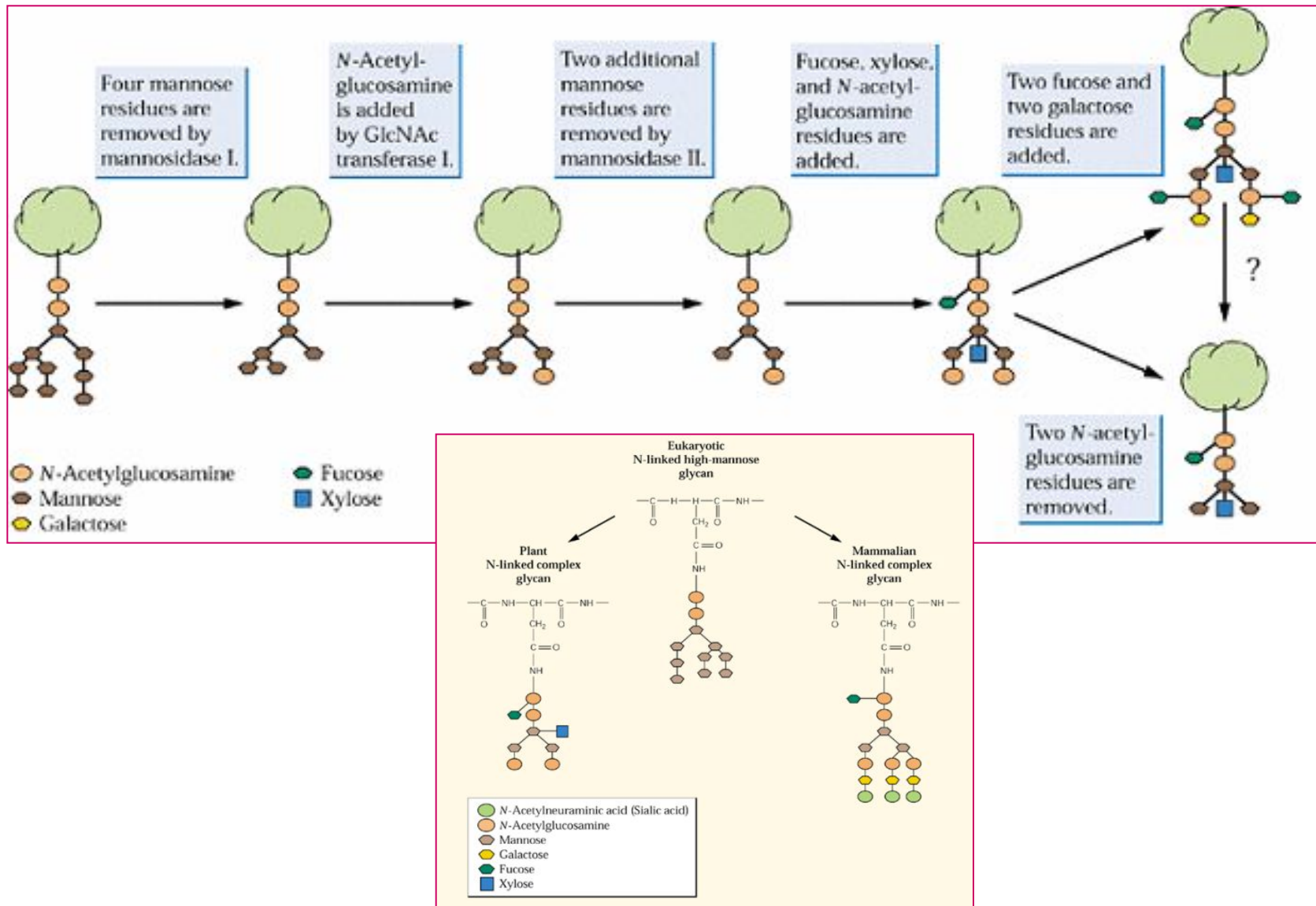
Функциональные участки растительного ЭР



Структура растительного аппарата Гольджи



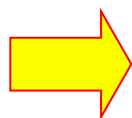
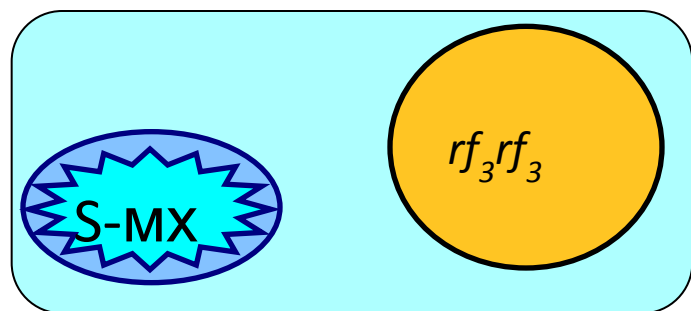
Гликозилирование белков в АГ



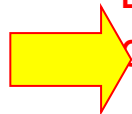
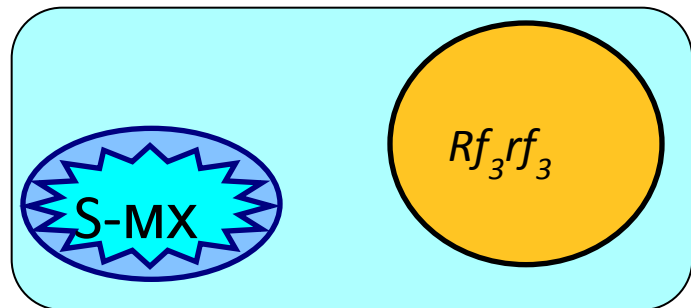
Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС): спорофитный и гаметофитный контроль

«USDA»-тип - S-ЦМС

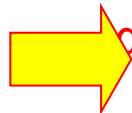
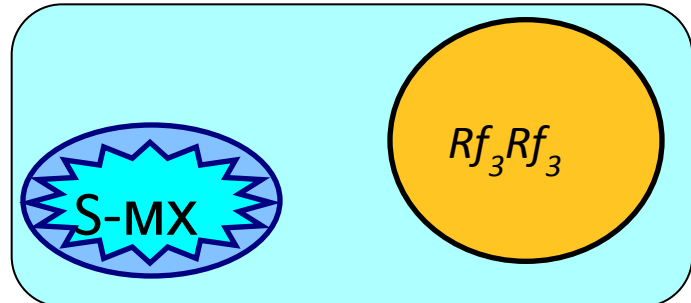
«Молдавская» - М-ЦМС



Стерильность



Полное (!)
восстановление
фертильности



Восстановление
фертильности

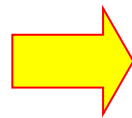
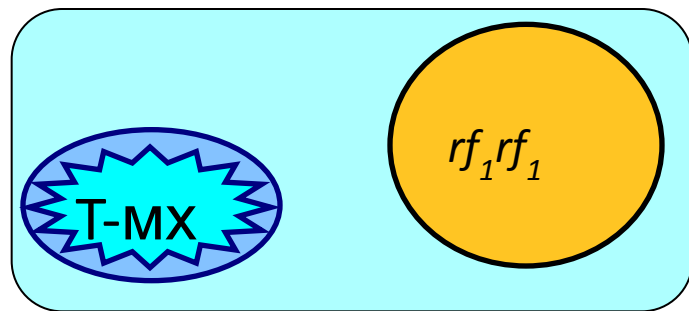
Ядерный ген Rf_3

Спорофитный
[2n] контроль

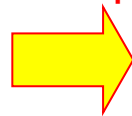
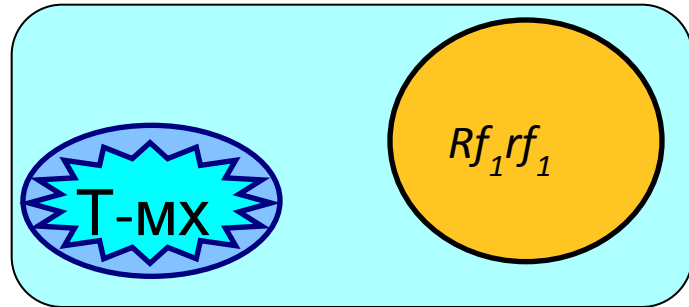


Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС): спорофитный и гаметофитный контроль

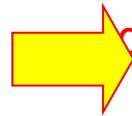
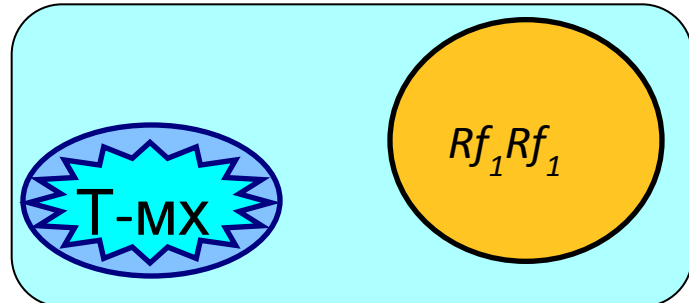
«Техасская» - Т-ЦМС



Стерильность



Половина (!)
пыльцевых зерен
фертильна



Восстановление
фертильности

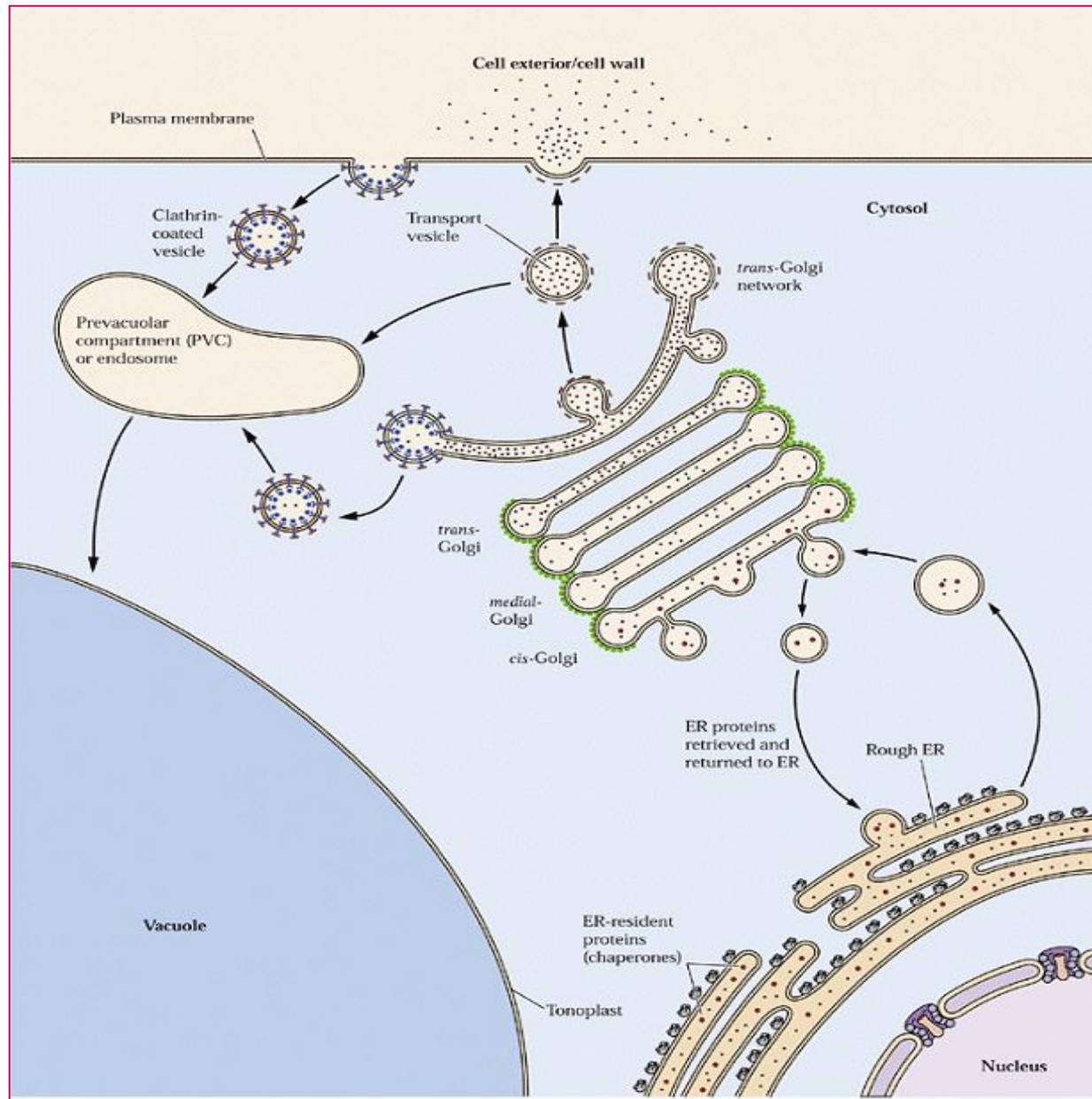
Ядерные гены Rf_1 и Rf_2

Гаметофитный
[1n] контроль



Rf_2 -ген –
доминантная
гомозигота

Секреторный путь транспорта белков: общая схема



Вакуоли – multifunctional organelles

1. Цель «создания» вакуолей - «дешевый» способ увеличения клетки?

2. В клетке есть как минимум два типа вакуолей:

запасающие (с нейтральным pH) и литические (с кислым pH)

3. Функции вакуолей:

- **Хранение** (ионы, сахара, полисахариды, пигменты, аминокислоты, белки, вторичные метаболиты)
- **Лизис веществ** (в литических вакуолях - кислые гидролазы: протеазы, нуклеазы, гликозидазы, липазы)
- **Защита от патогенов и травоядных** (токсичные вещества – цианогенные гликозиды, кумарины и др., ферменты – хитиназы, глюканазы)
- **Пигментация** (водорастворимые пигменты – антоцианы, беталаины)
- **Изолирование и детоксикация токсичных веществ** (наличие белков-переносчиков из семейства ABC-транспортеров)
- **Регулирование pH и ионный гомеостаз**
- **Регулирование тургорного давления**

Клеточная стенка – это не «деревянная тюрьма» для несчастной клетки...

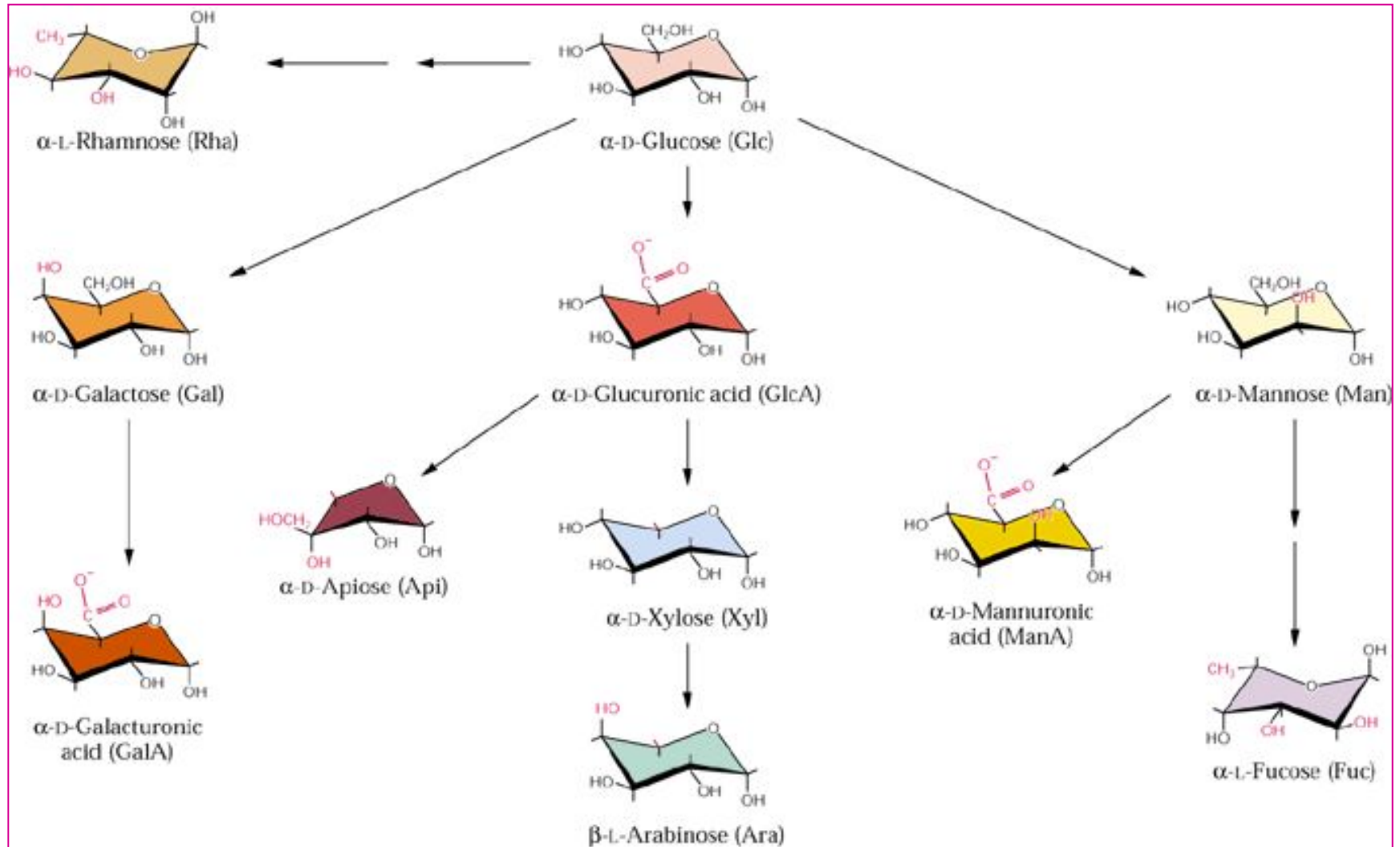
С помощью клеточной стенки клетка решает массу своих проблем:

- создание формы – внешний каркас
- водный баланс
- рост растяжением
- защита
- транспорт веществ
- сигнальные функции.

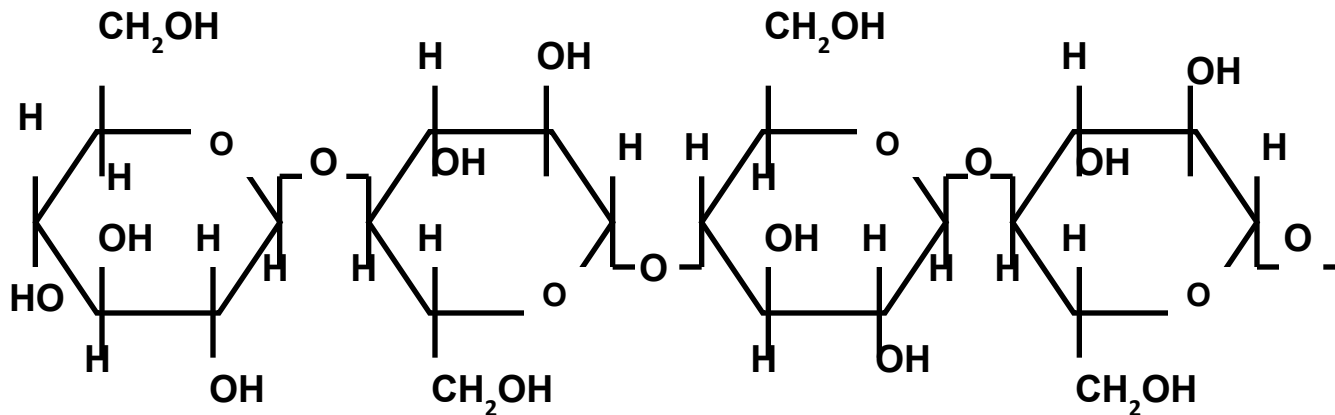
По современным представлениям, стенка растительной клетки – функциональная структура, тонко организованный сложный комплекс разнообразных полисахаридов, белков и ароматических веществ.

Часто представляет собой три взаимодействующих, но независимых сети полимеров.

Полисахариды клеточной стенки построены всего из 11 сахаров



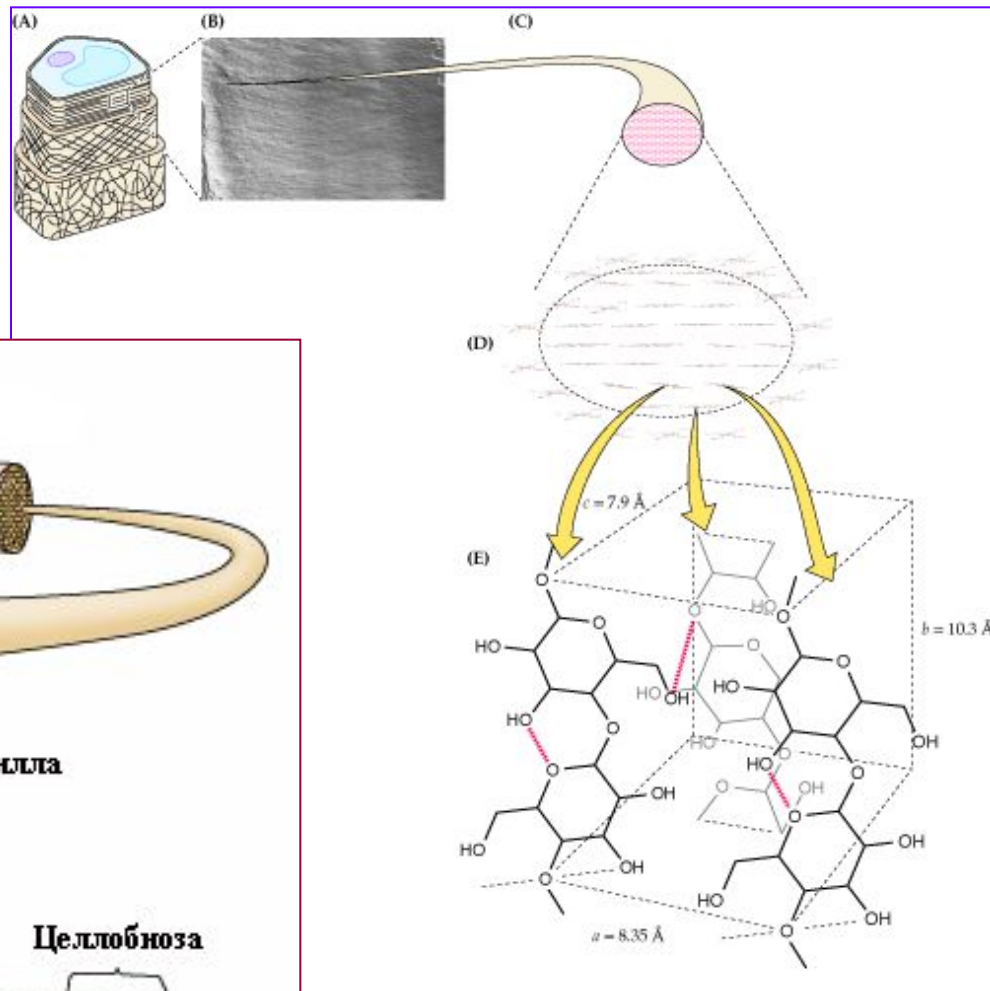
**Каркас клеточной стенки – микрофибриллы,
состоящие из молекул целлюлозы,
агрегированных за счет водородных связей.**



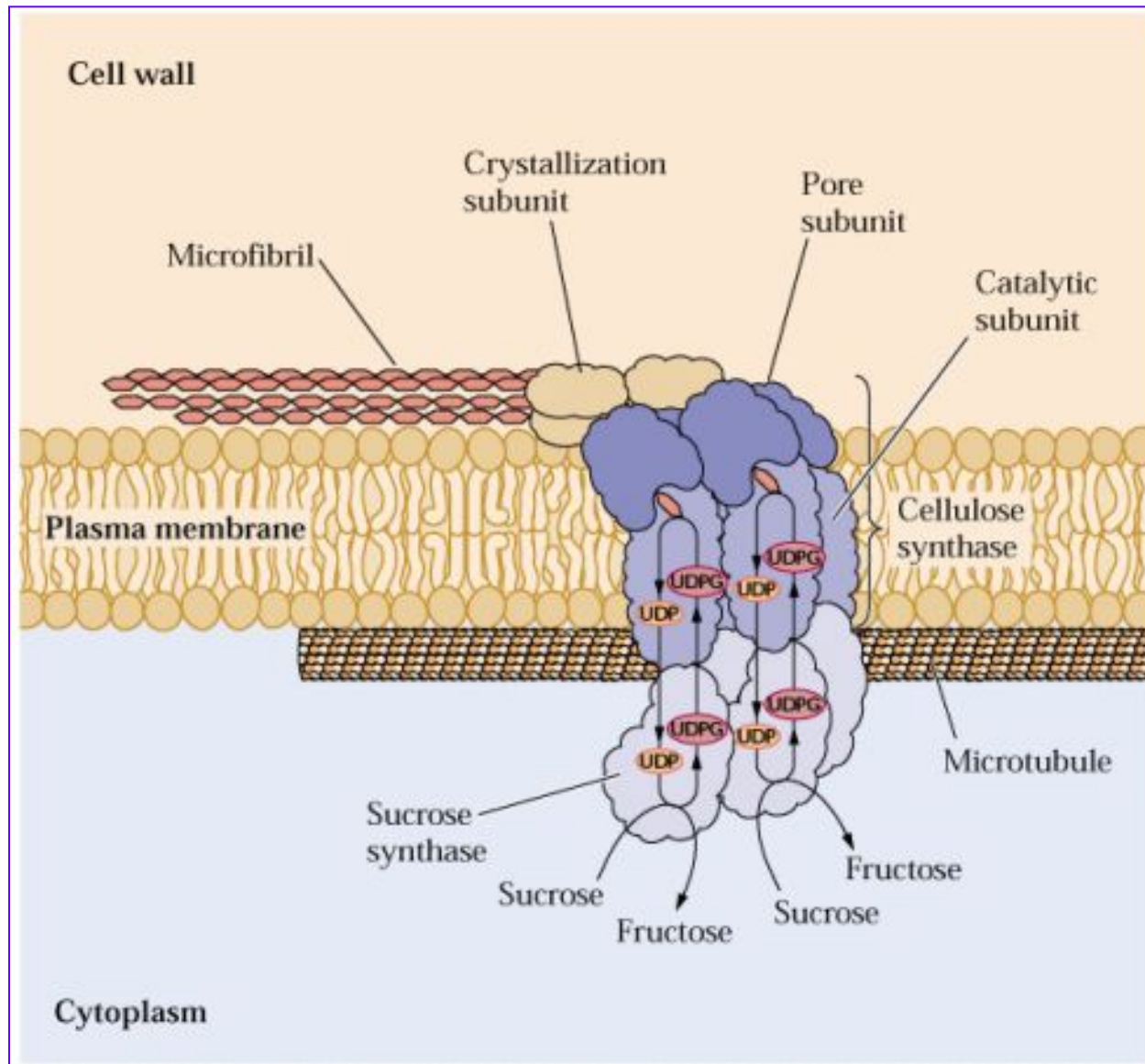
$\beta(1 \rightarrow 4)$

Строение микрофибрилл целлюлозы

«Ядро» - ~50 цепочек целлюлозы, кристаллическая область, 3 x 5 нм.
Вокруг «ядра» - паракристаллическая область - еще ~50 цепочек, но рыхло и H₂O в целом ~4.5 x 8,5 нм



Строение целлюлозо-синтазы



Сшивочные гликаны (cross-linking glycans)

Ксилоглюканы (XyGs)

Фуко-ХуGs XXXG :
XXFG
(двудольные,
некоммелиноидн
.)

Арабино-ХуGs AXGG,
XAGG, AAGG
Пасленовые, мята

Нерегулярные ХуGs
(коммелиноидные)

Глики со смешанной связью (злаки)

Глюкуроно-арабиноксиланы (GAXs)

Коммелиноидные
Ara: O-3, GlcA: O-2

Некоммелин
Ara, GlcA: O-2

Обозначения:

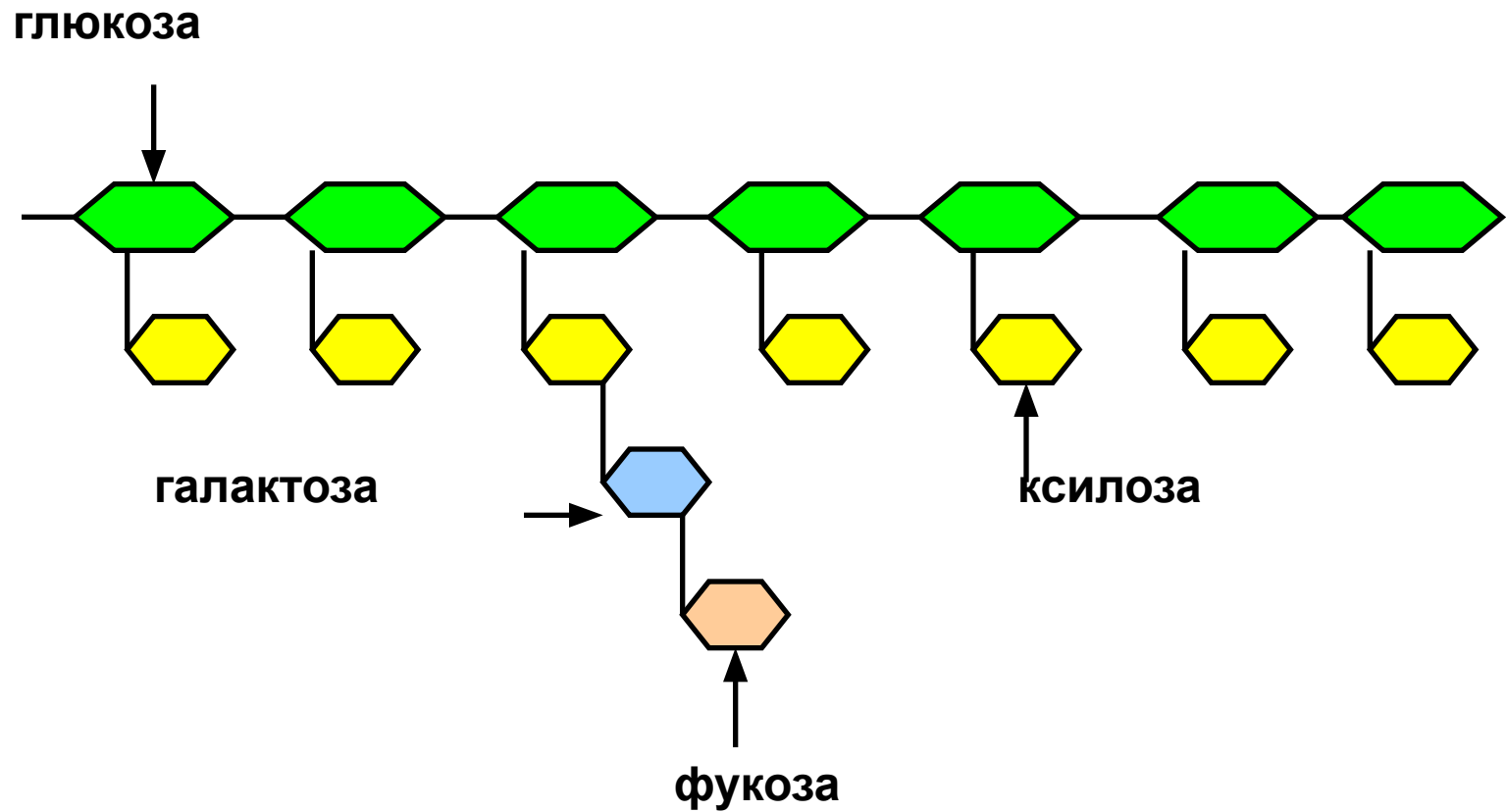
G: Gl

X: Gl-Xyl

L: Gl-Xyl-Gal

F: Gl-Xyl-Gal-Fuc

A: Gl-Xyl-Ara

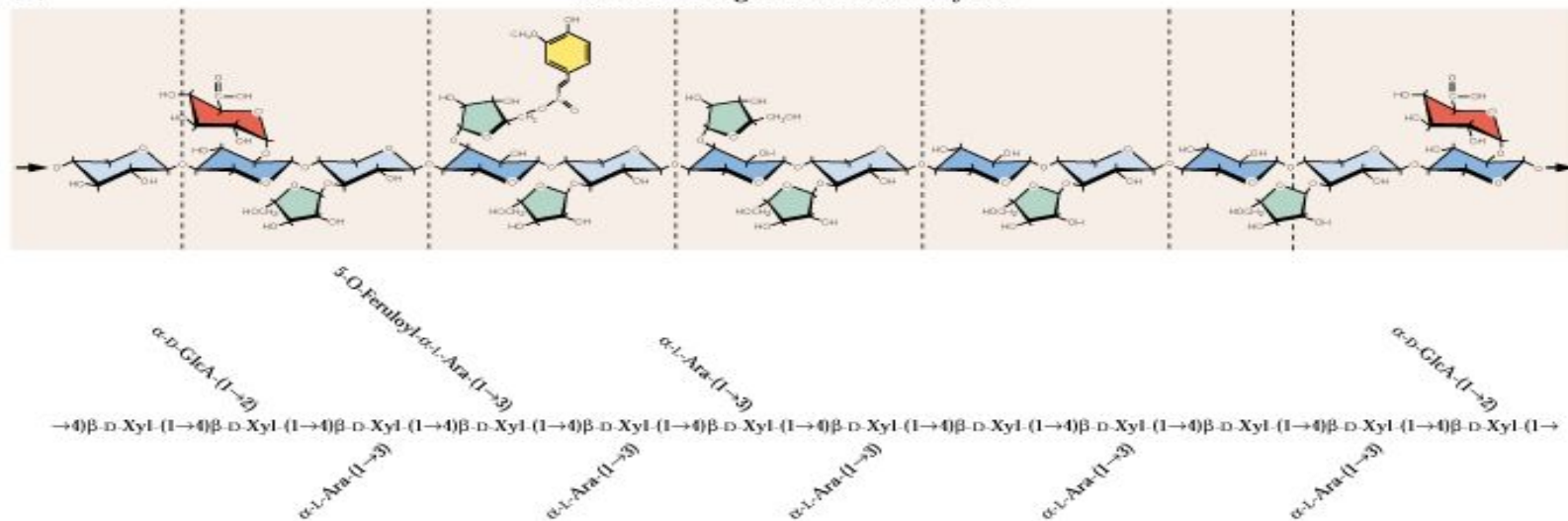


СТРУКТУРА КСИЛОГЛЮКАНА – доминирует в
первичных клеточных стенках двудольных и многих
однодольных растений

Гемицеллюлозы: глюкуроно-арабиноксиланы двудольных и каммелиноидов

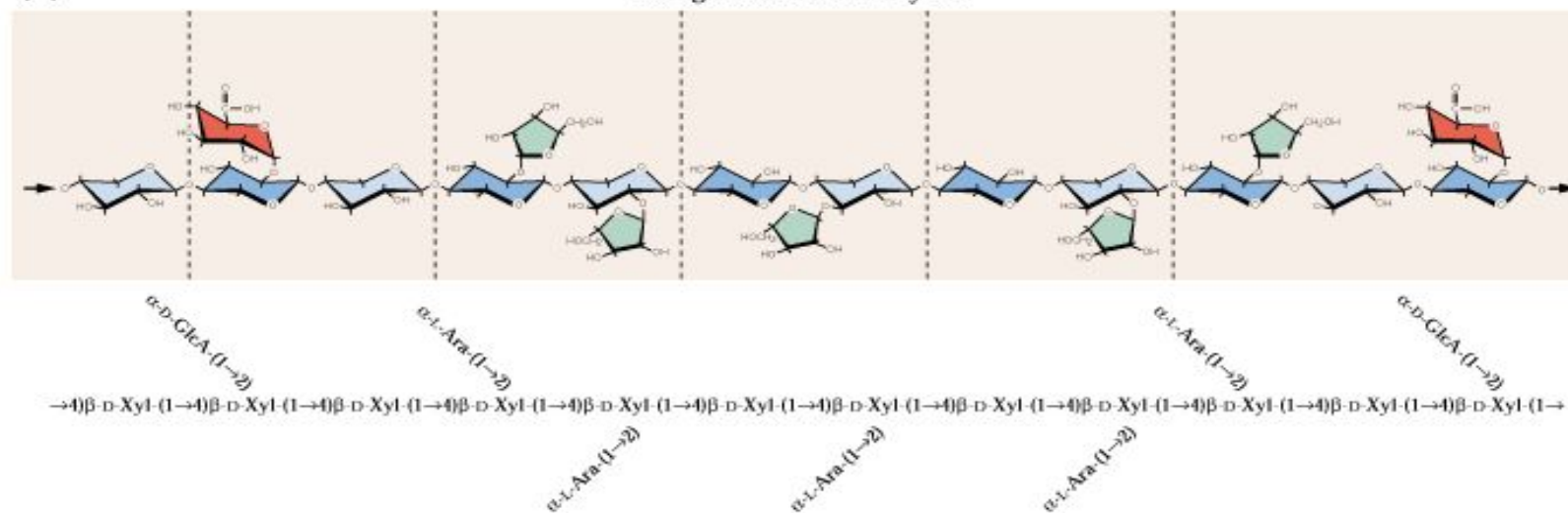
(C)

Commelinoid glucuronoarabinoxylans

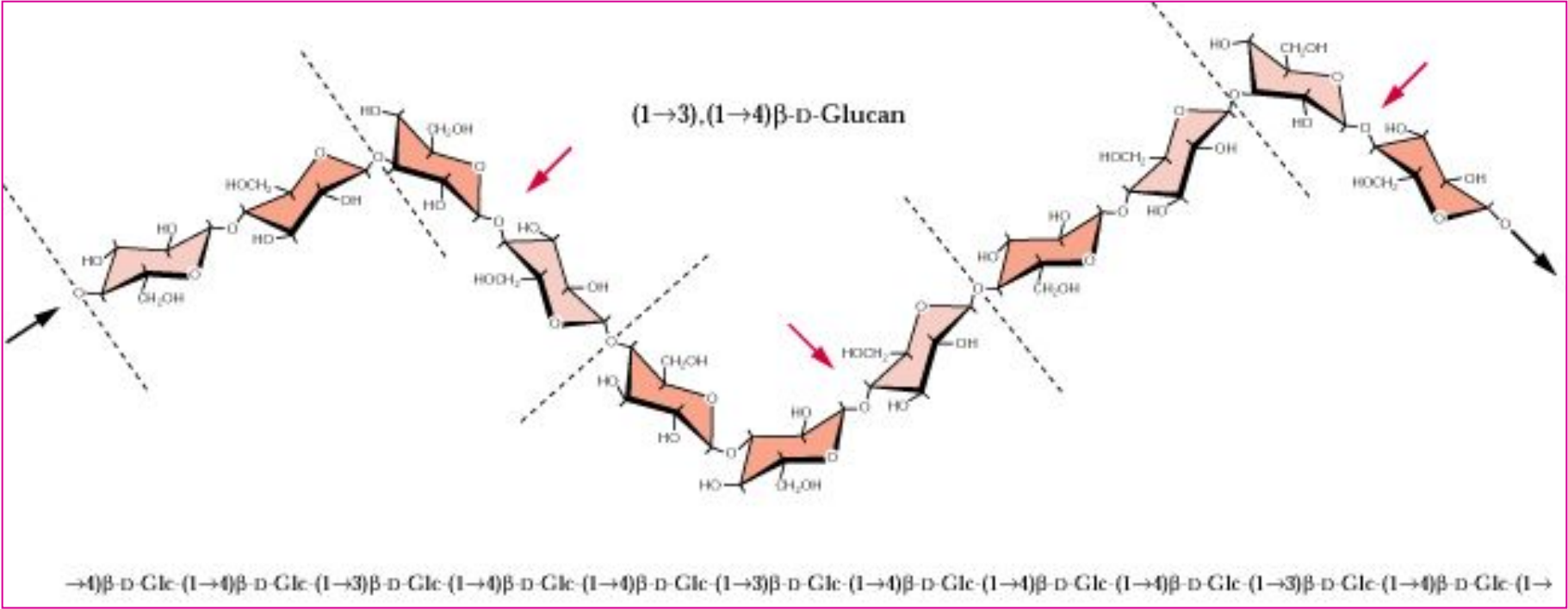


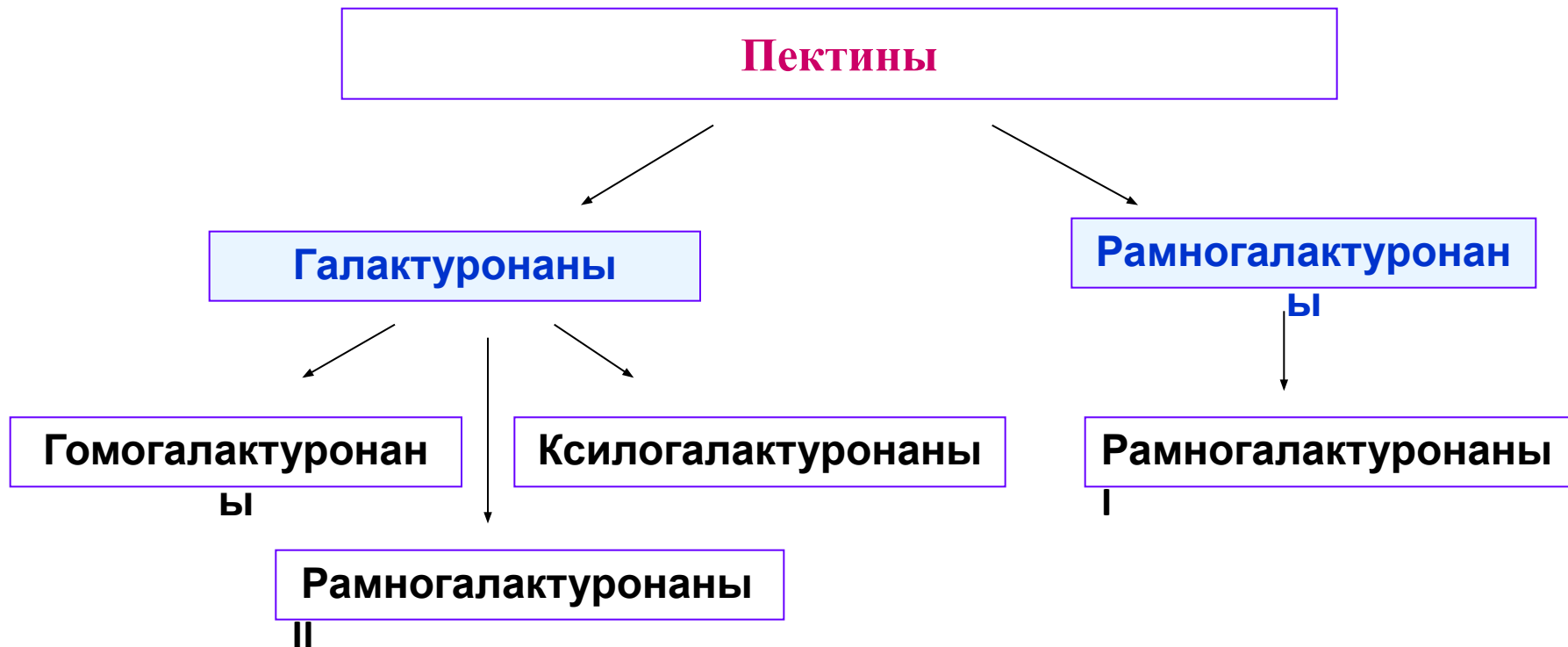
(D)

Dicot glucuronoarabinoxylans

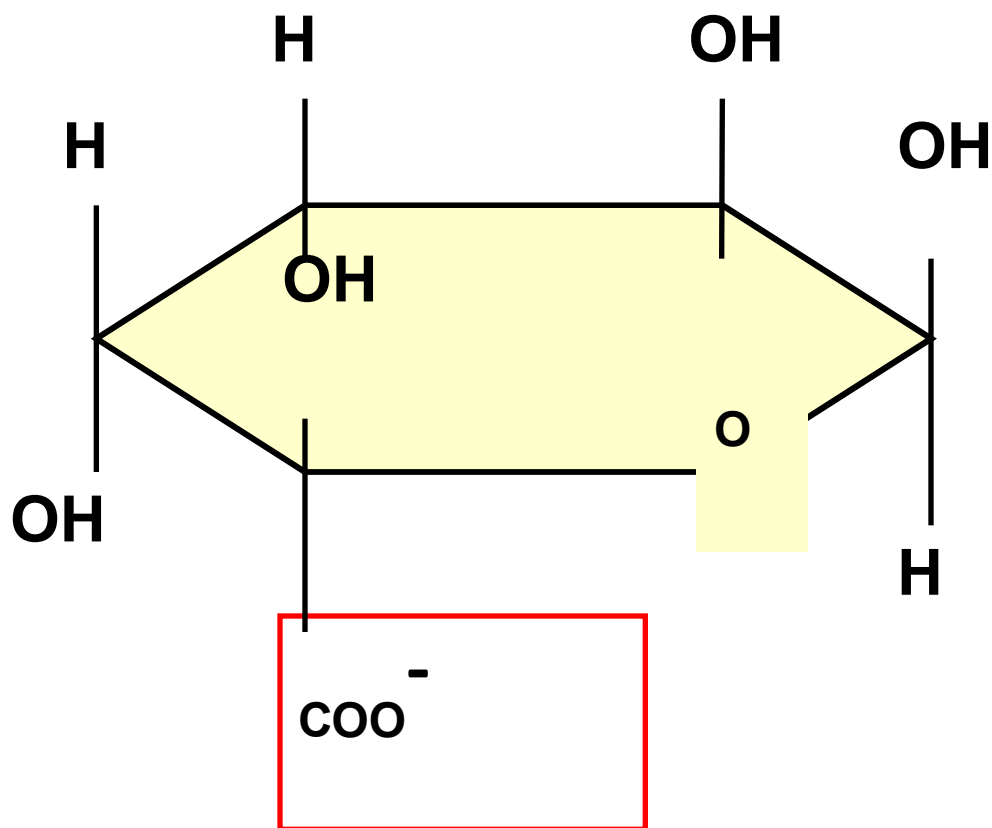


Гемицеллюлозы: глюкан злаковых

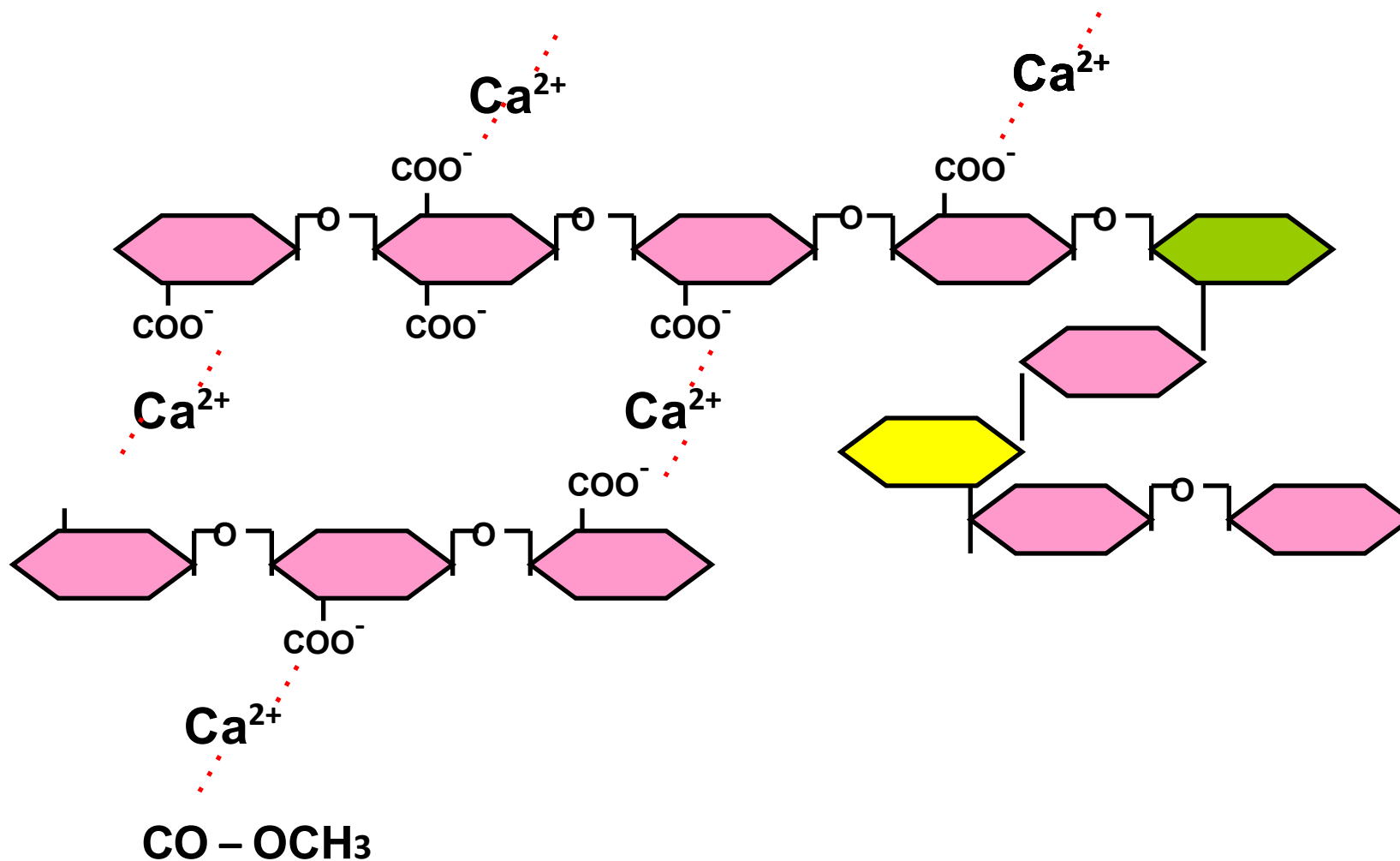




D-галактуроновая кислота.



СТРОЕНИЕ ПЕКТИНА

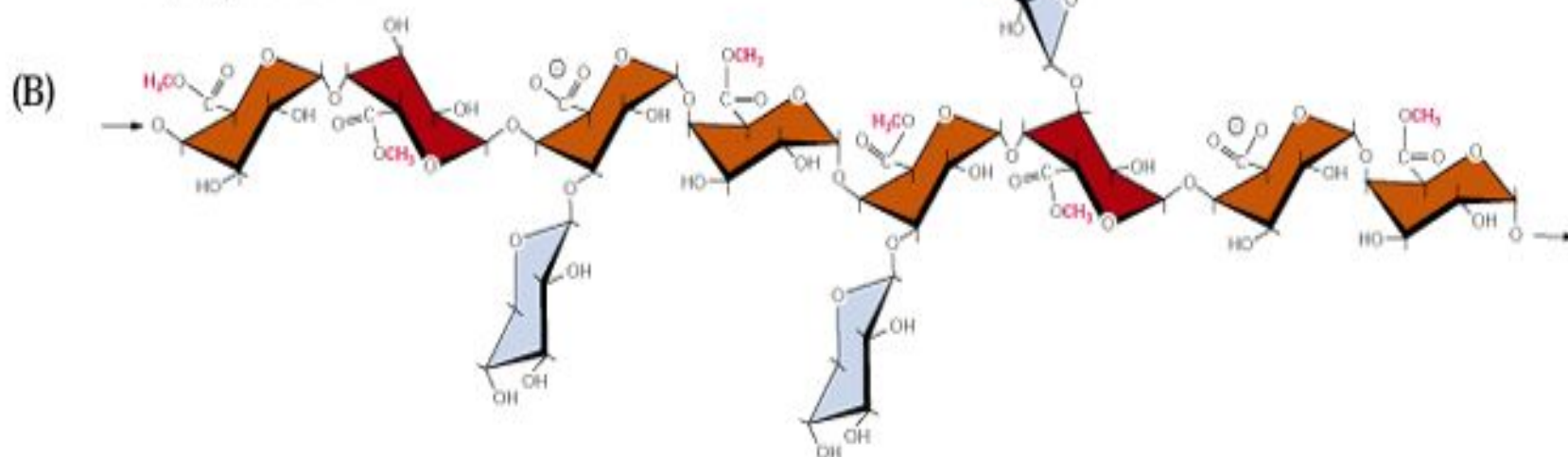


Пектины: галактоктуронаны (гомо- и ксило-галактуронаны)

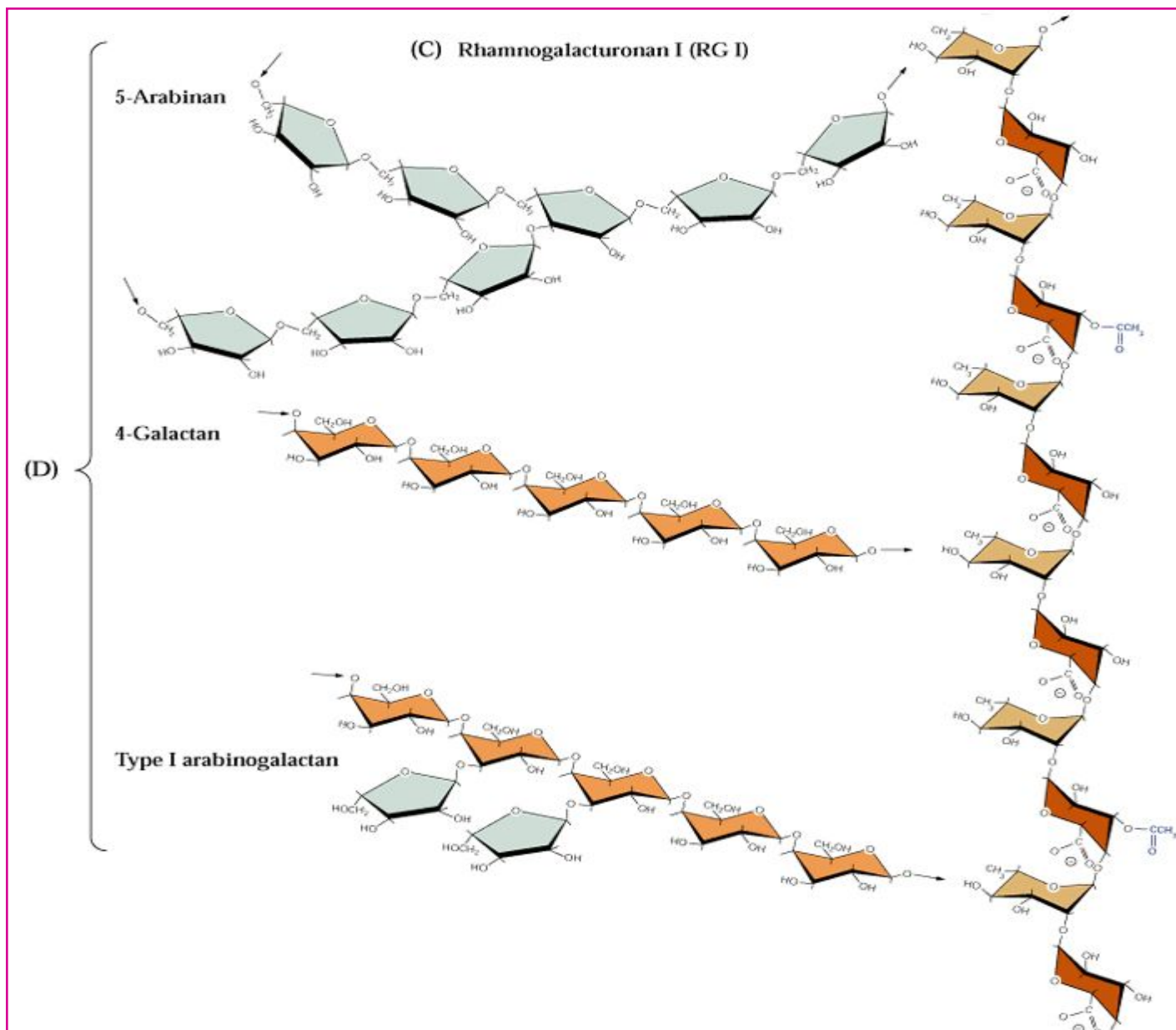
Homogalacturonan (HGA)



Xylogalacturonan

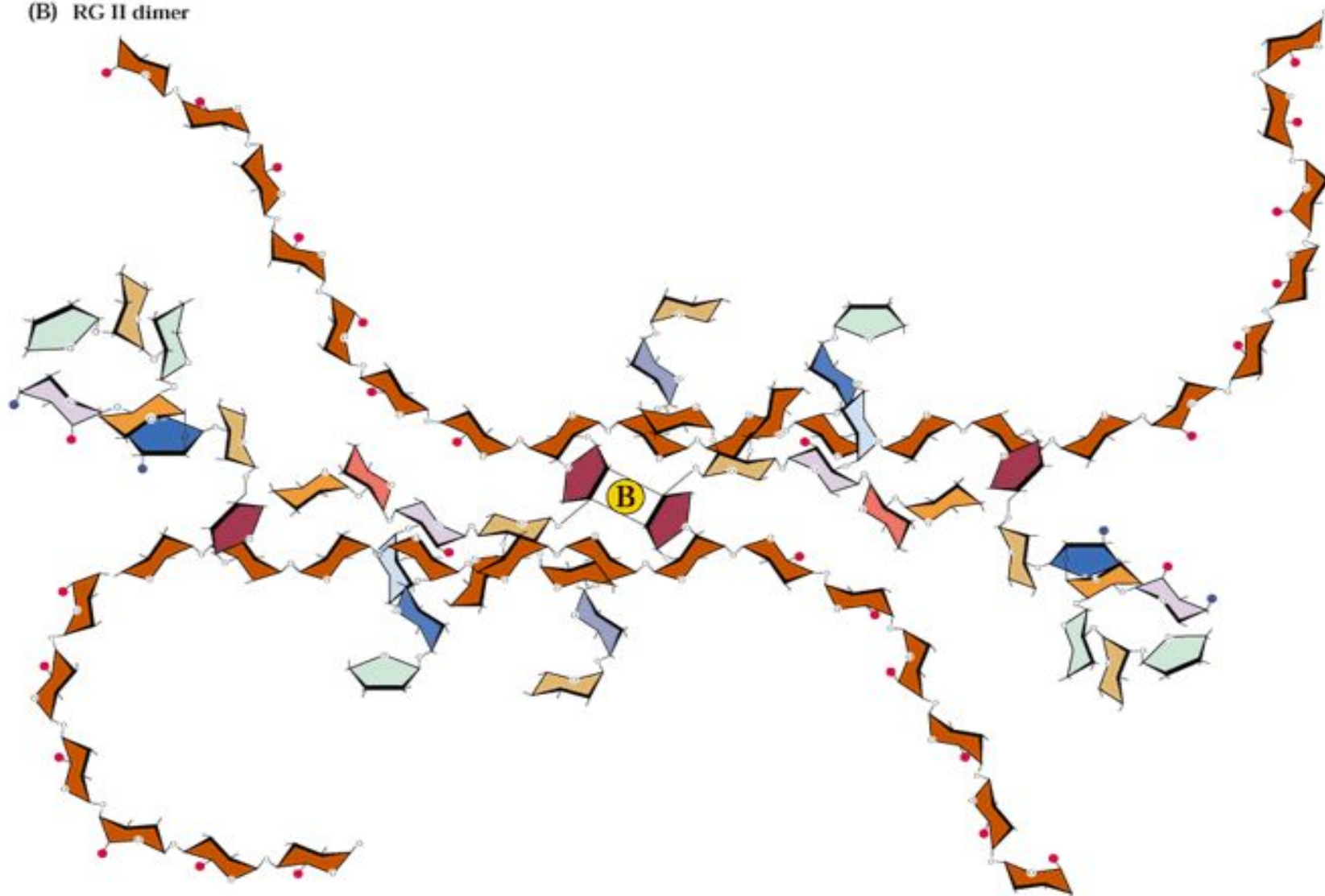


Пектины: рамногалактуронаны I гетерополимер: линейная цепь из чередующихся остатков GalA и Rha с различными боковыми фрагментами)



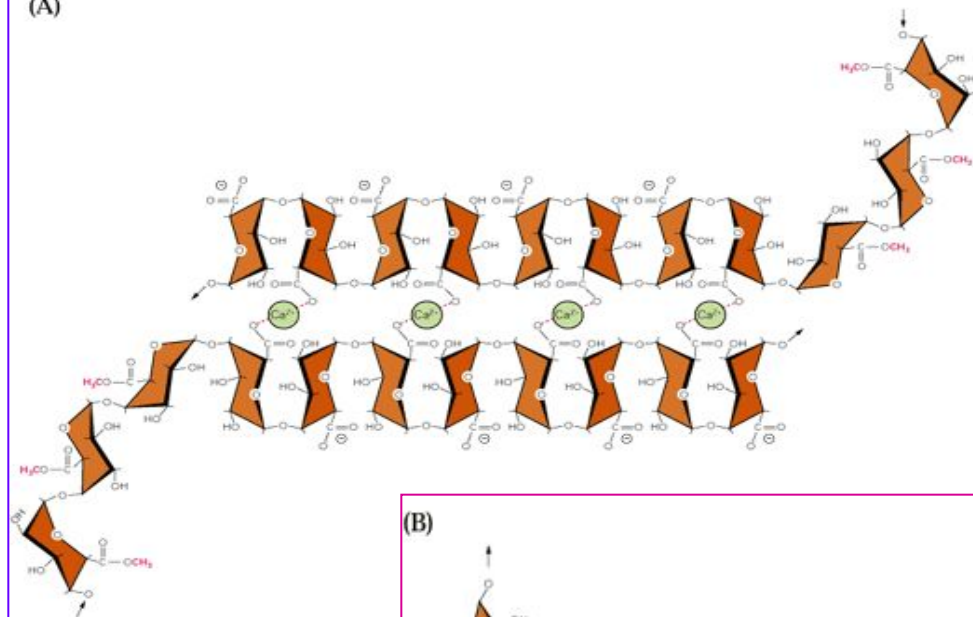
Пектины: димер рамногалактуронана II
(мономеры RGII 4200kDa связаны диэфирными связями остатками апиозы через бор)

(B) RG II dimer



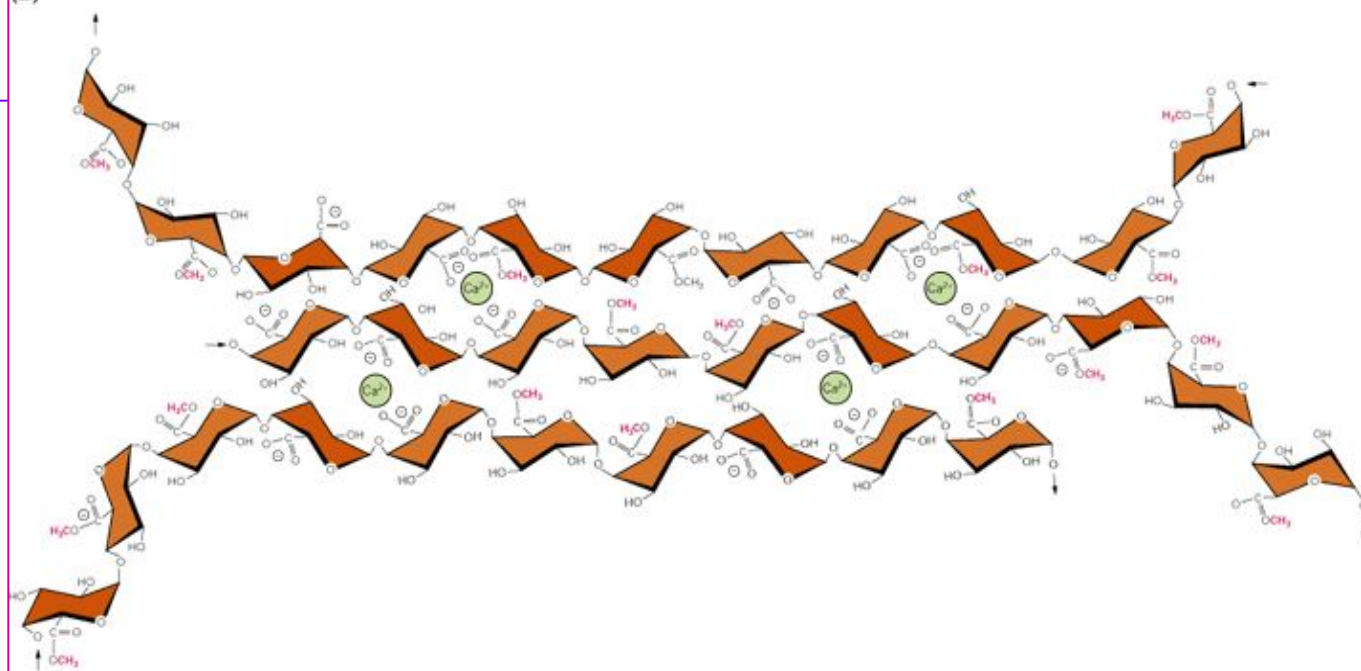
«Замковые зоны» пектиновой сети

(A)

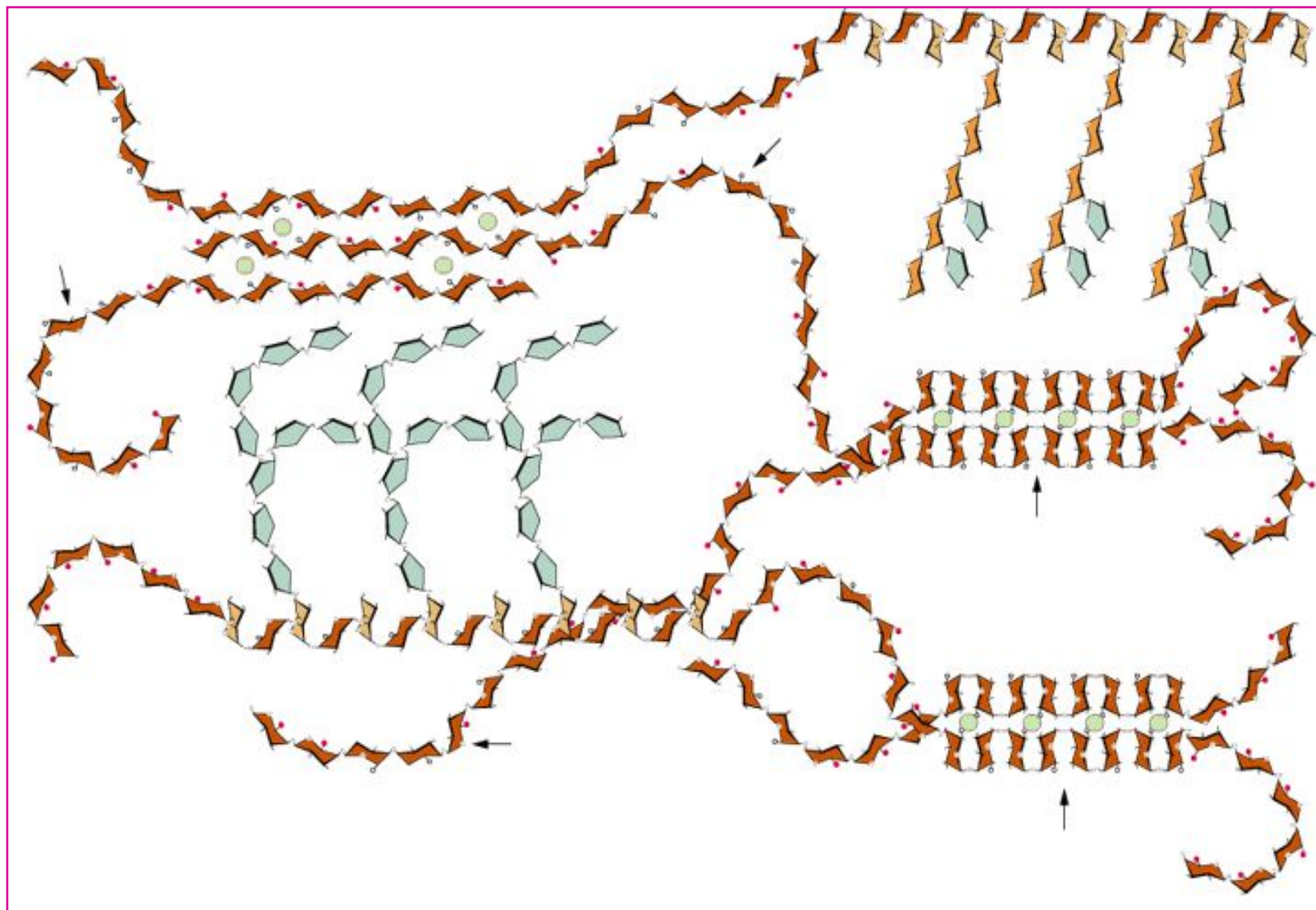


Синтез пектинов – В АГ в метоксилированном виде. Пектин-метил-эстераза (РМЕ) избирательно отщепляет Met.

(B)



Пектины: зоны «Ca²⁺-застежек» и количество нейтральных боковых цепочек RGI регулируют размер пор клеточной стенки

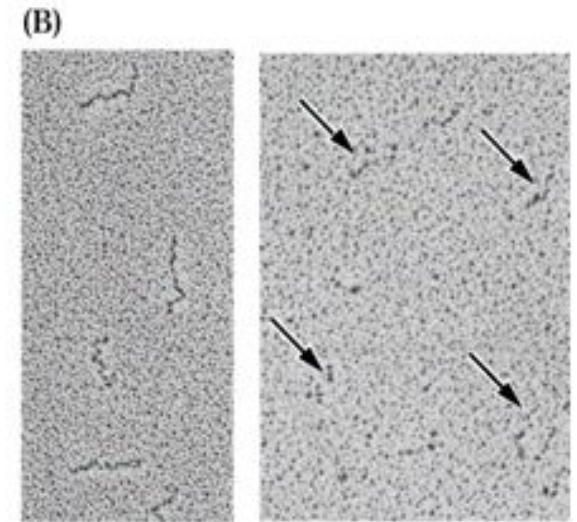
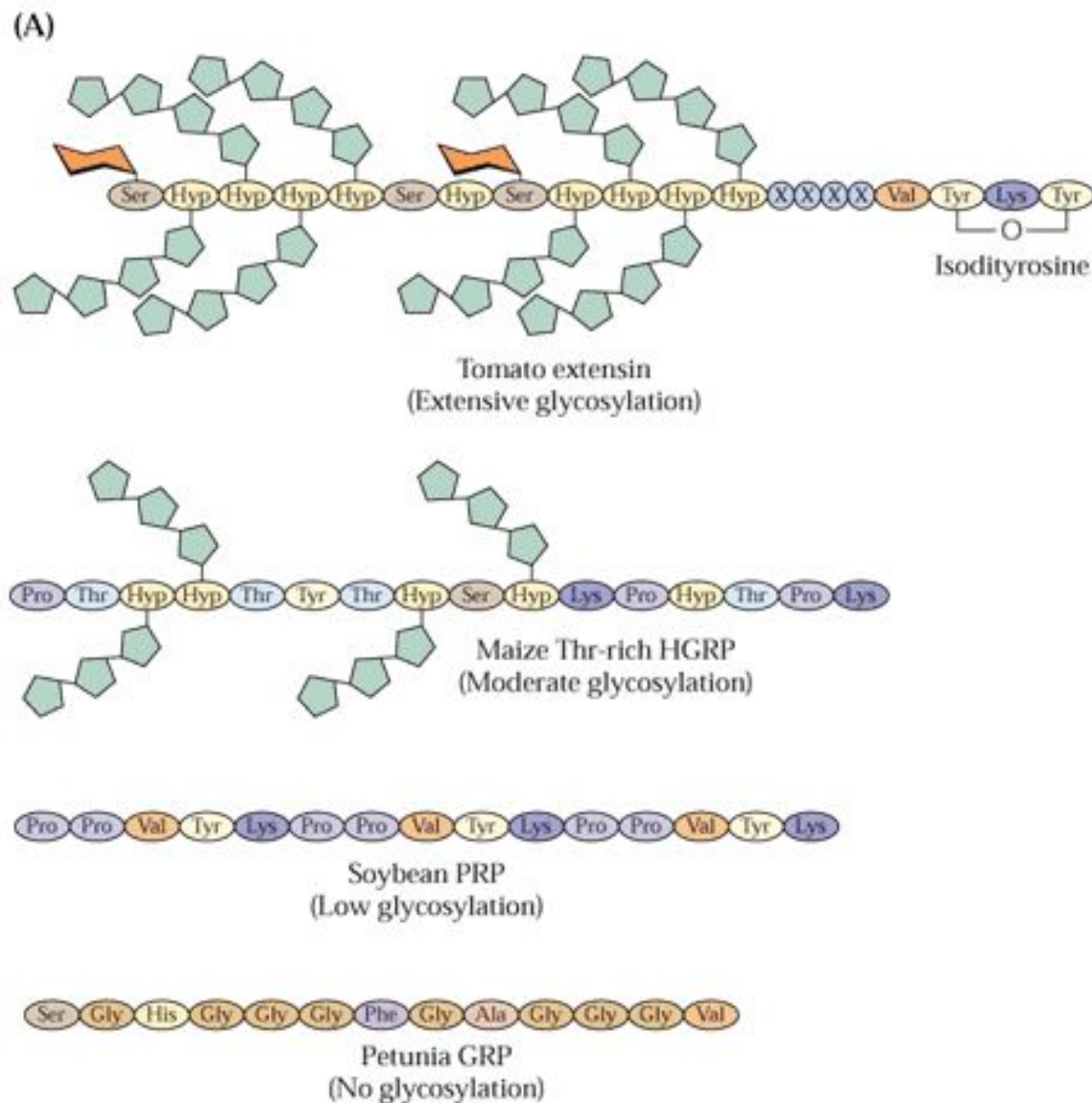


Пектины: функциональная сеть клеточной стенки

Функции пектинов:

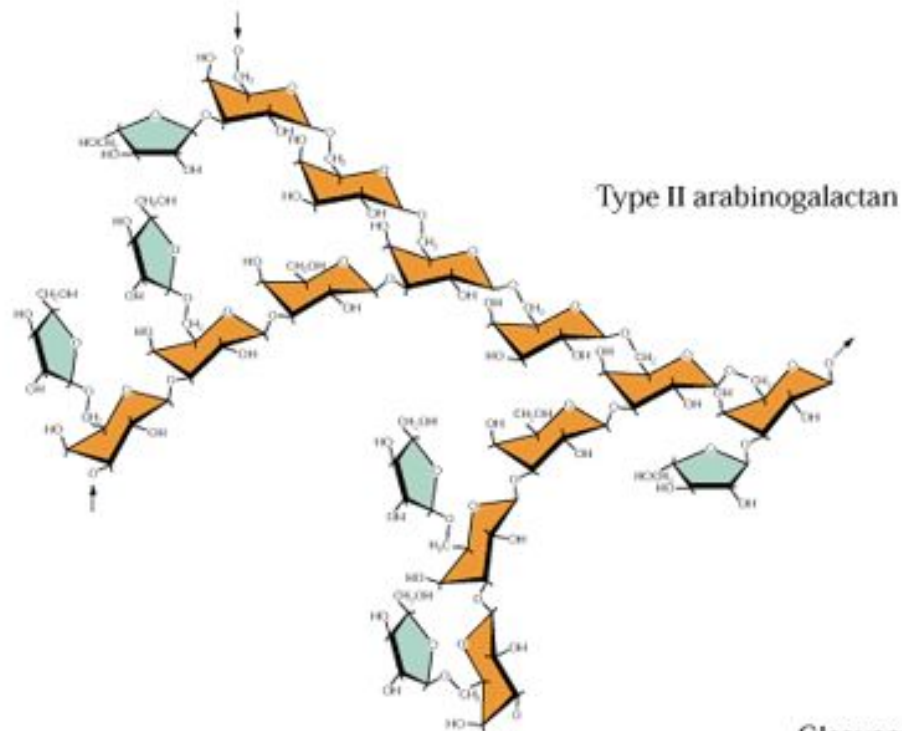
- определяют размер пор КС
- определяют поверхностный заряд КС
- адгезионные свойства КС
- ионнообменные свойства КС
- формирование срединной пластинки
- фиксирование ферментов КС
- депо Ca^{2+}

Структурные белки клеточной стенки: HGRPs, PRPs, GRPs (гидроксипролин-, пролин- и глицин- обогащенные)



Структурные белки клеточной стенки: AGPs (арабино-галактановые белки - протеогликаны).

(A)



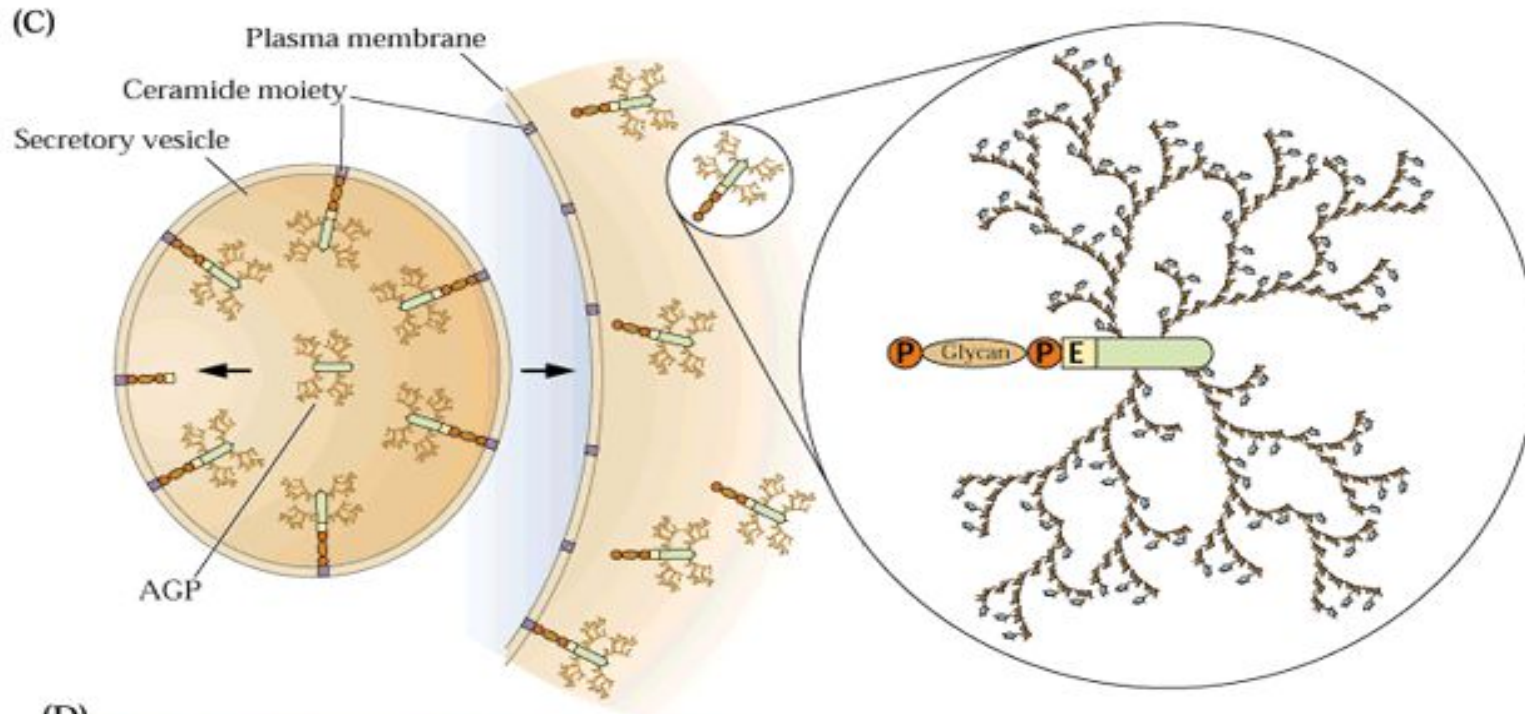
(B)



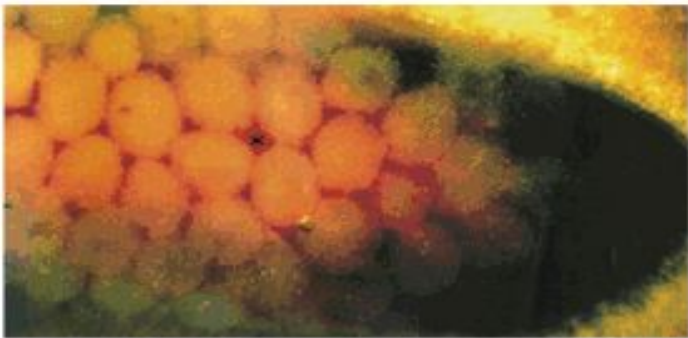
В состав клеточной стенки входят структурные белки:

- 1. Гликопротеины, обогащенные аминокислотой оксипролином – экстенсины;**
- 2. Белки, обогащенные аминокислотой пролином;**
- 3. Гликопротеины, обогащенные аминокислотой глицином;**
- 4. Арабиногалактановые белки;**

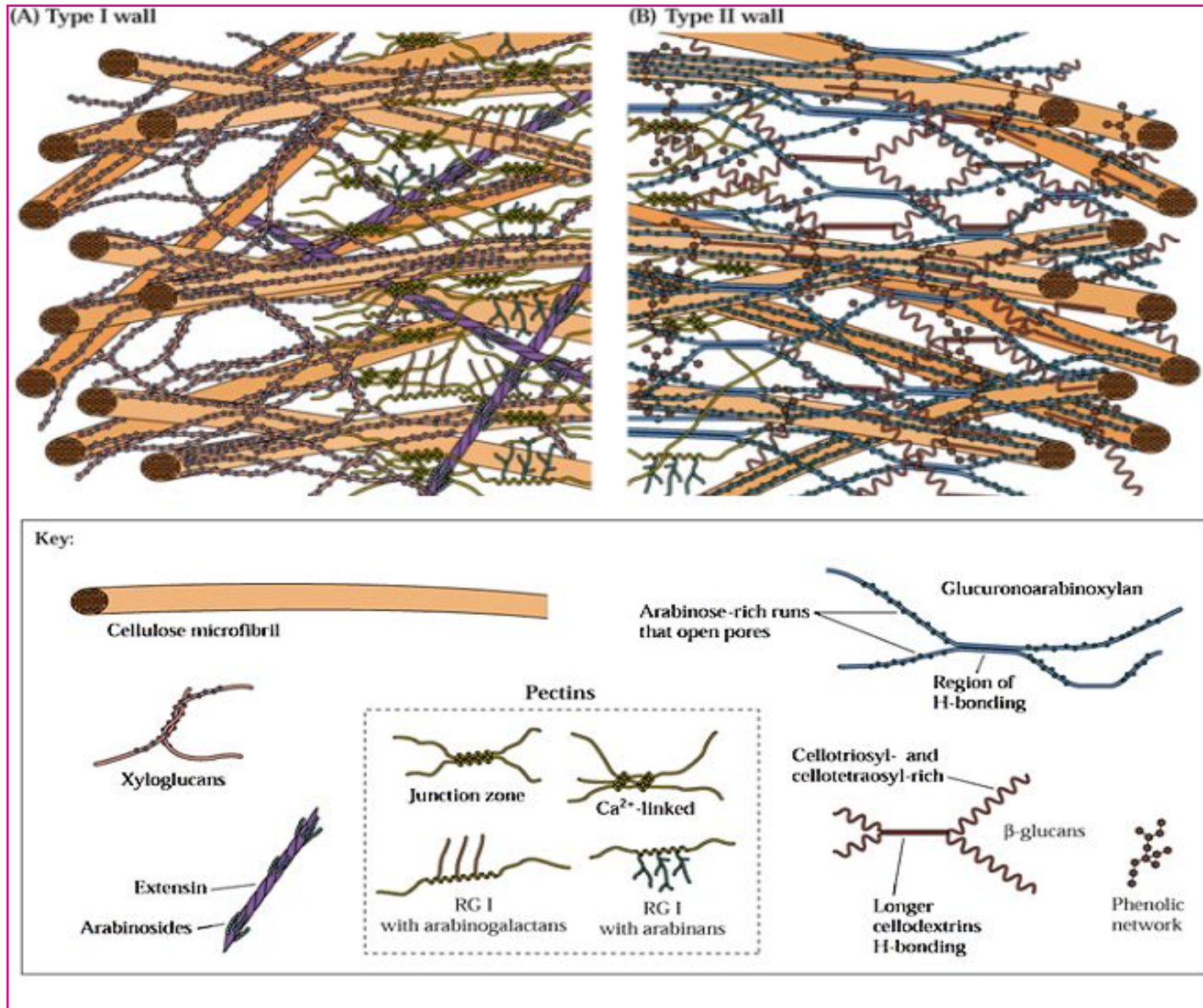
Структурные белки клеточной стенки: AGPs (арабино-галактановые белки - протеогликаны).



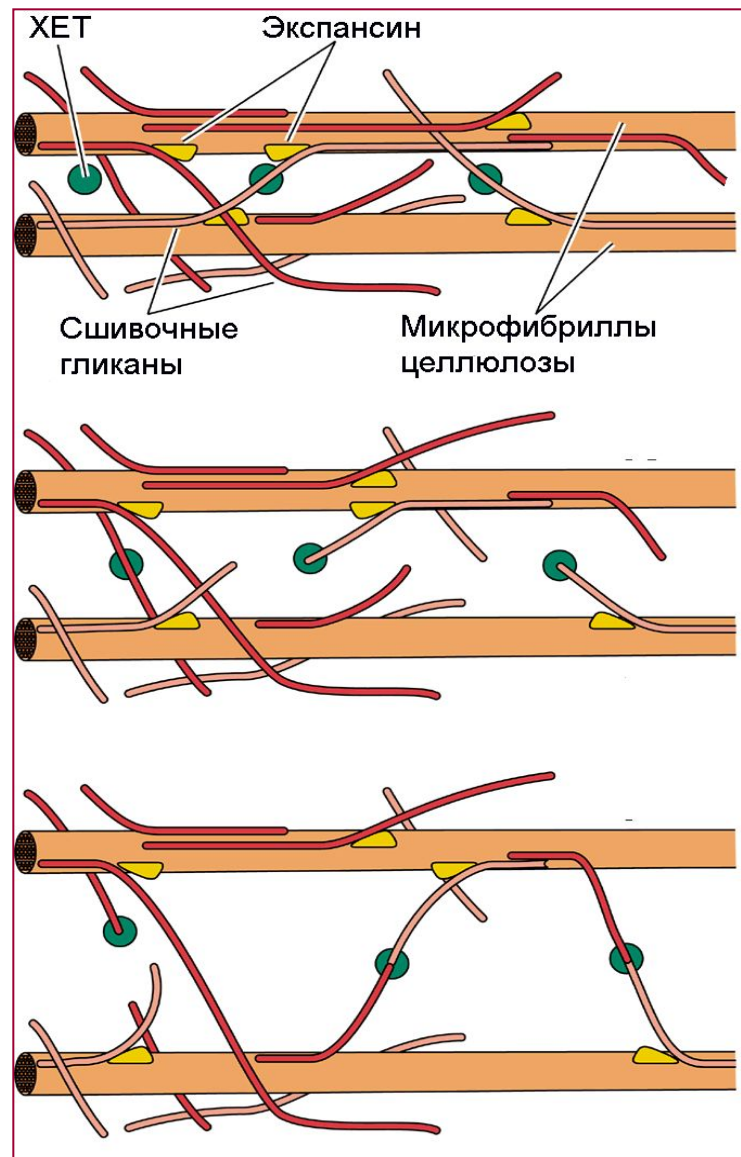
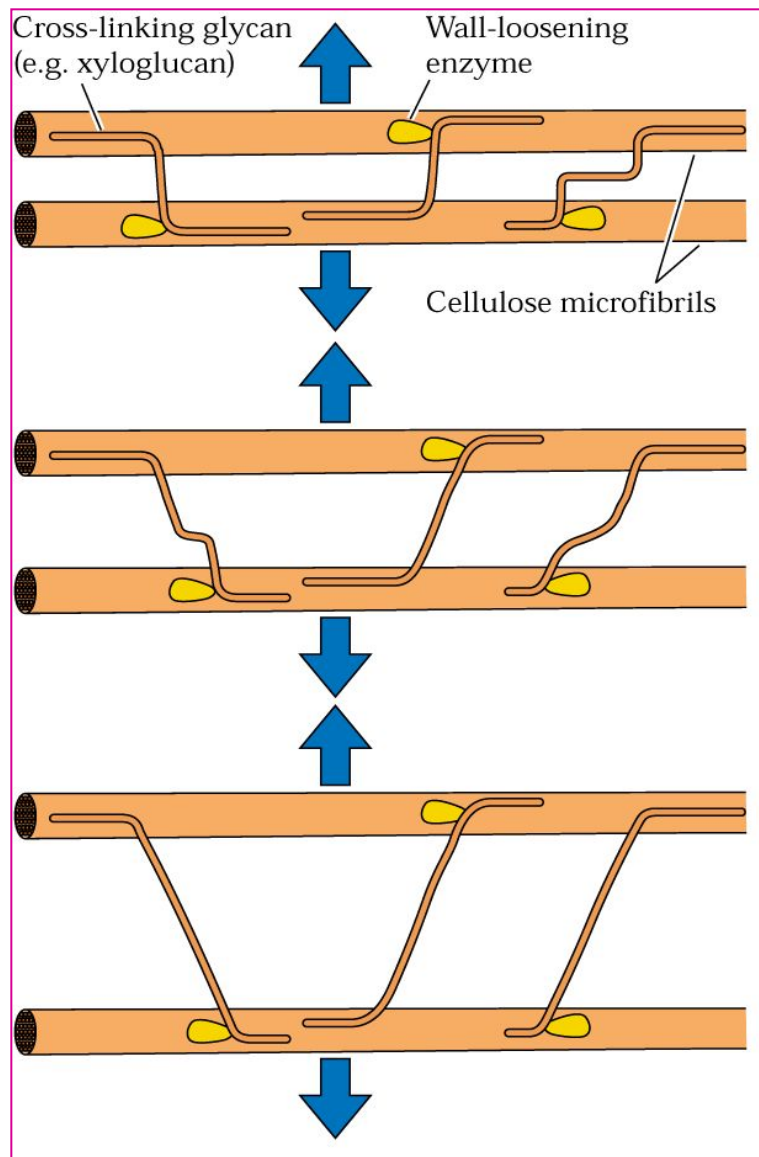
(D)



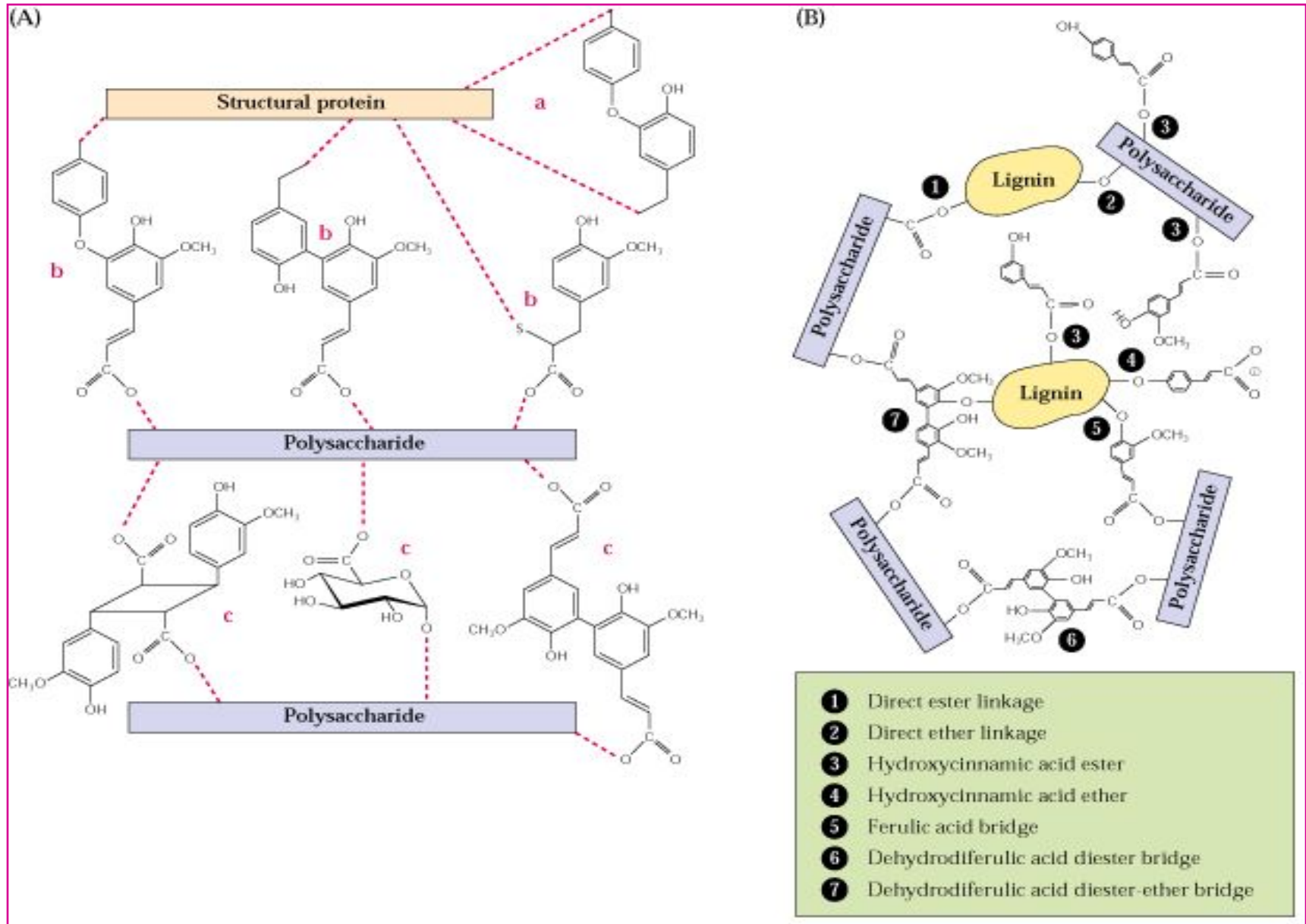
Трёхмерная модель двух типов клеточной стенки: тип I (двудольные) и тип II (коммелиноиды)



Возможное участие ХЕТ (ксилоглюкан-эндотрансгликозилазы) и экспансина в росте клеток растяжением



Лигнины: фенилпропаниодная сеть вторичных клеточных стенок



Образование лигнина: окислительная конденсация фенолпропаноидов случайным образом.

