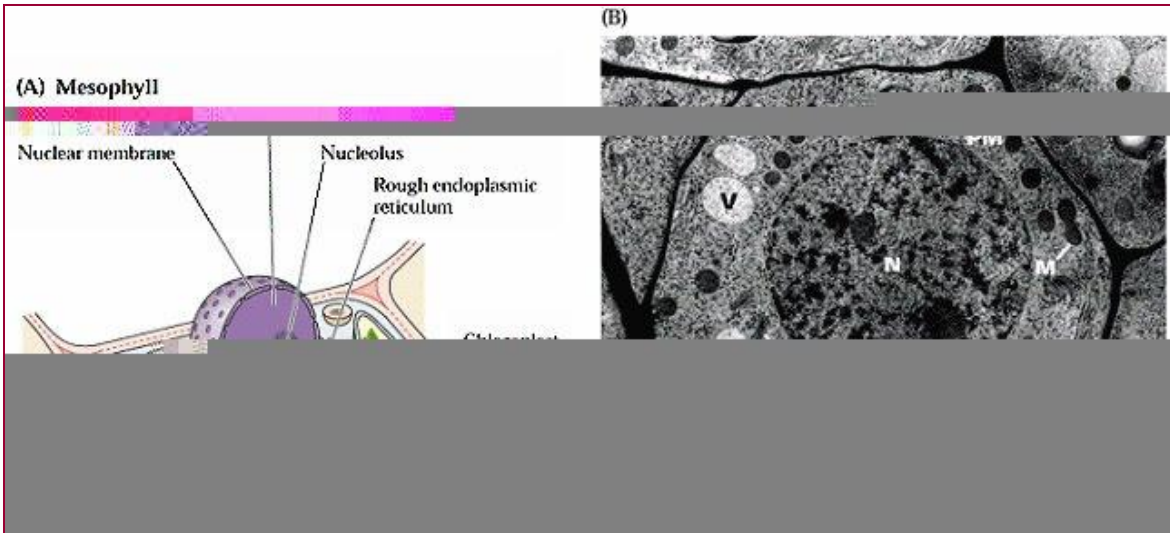


Основные особенности растительной клетки



Три генома – ядерный, пластидный, митохондриальный; их взаимодействие

Мощная клеточная стенка: другая стратегия водного обмена, обмена информацией

Пластиды: фабрики «горячих производств»

Вакуоли: многоцелевые органеллы

Органеллы эукариотической клетки

- **Ядро** *содержит основную часть генома и является местом синтеза ДНК и РНК*
 - **Эндоплазматический ретикулум** *место синтеза большинства липидов клетки, а также большинства белков, предназначенных для других органелл или секреции*
 - **Аппарат Гольджи** *место сортировки и модификации белков и липидов, получаемых от эндоплазматического ретикулума*
 - **Митохондрии** *энергетические станции клетки, основное место синтеза АТФ.*
 - **Пероксисомы** *место многих окислительных процессов*
 - **Лизосомы (для растительных клеток – литические вакуоли)** *место компартментации литических ферментов.*
- Помимо этих органелл растительная клетка содержит*
- **пластиды**
 - **вакуоли.**

Классификация органелл

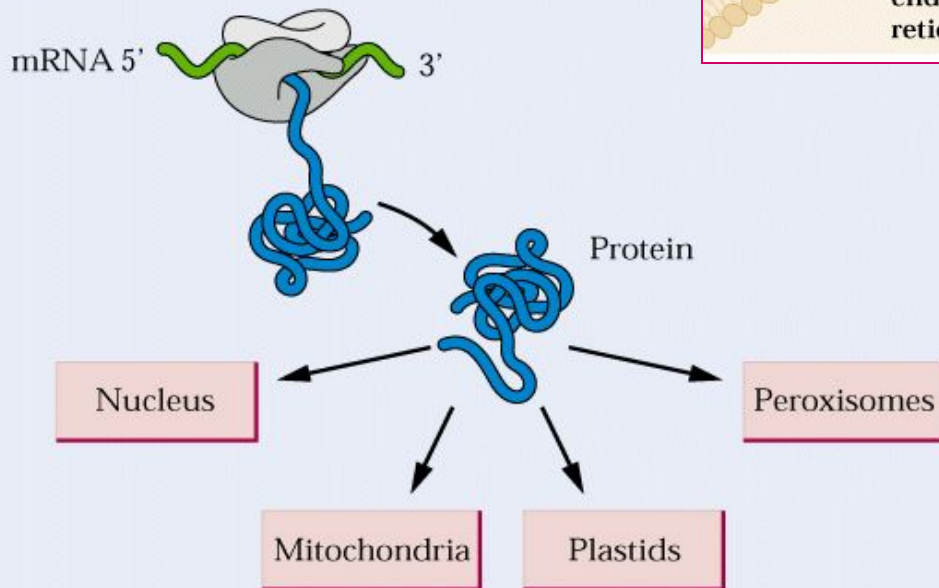
- **Ядро и цитозоль** *связаны между собой ядерными порами, являются топологически едиными, но выполняют разные функции*
- **Митохондрии**
- **Пластиды** *(только для растительной клетки)*
- **Пероксисомы**
- **Эндоплазматическая мембранная система клетки**
остальные мембранные органеллы – ЭР, аппарат Гольджи, вакуоли (только для растительных клеток), лизосомы (для животных клеток), транспортные везикулы.

Два пути сортировки белков: цитоплазматический и секреторный

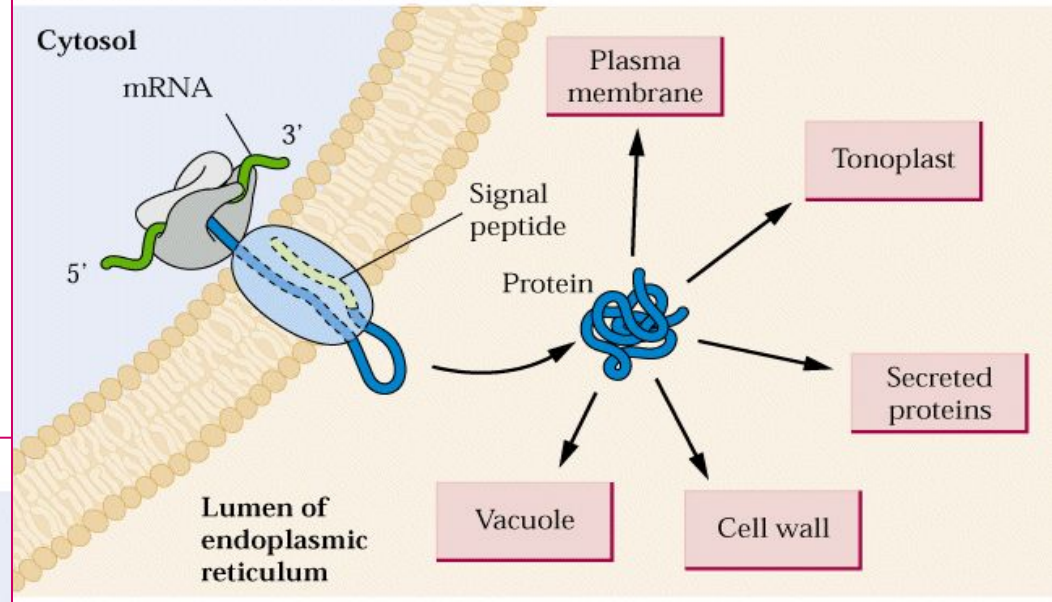
- используется для белков, которые предназначены для плазмид, митохондрий, ядра и пероксисом
- путь транспорта – параллельный
- механизм транспорта - мономолекулярный

(A) Free ribosomes in cytosol

Cytosol



(B) Membrane-bound ribosomes



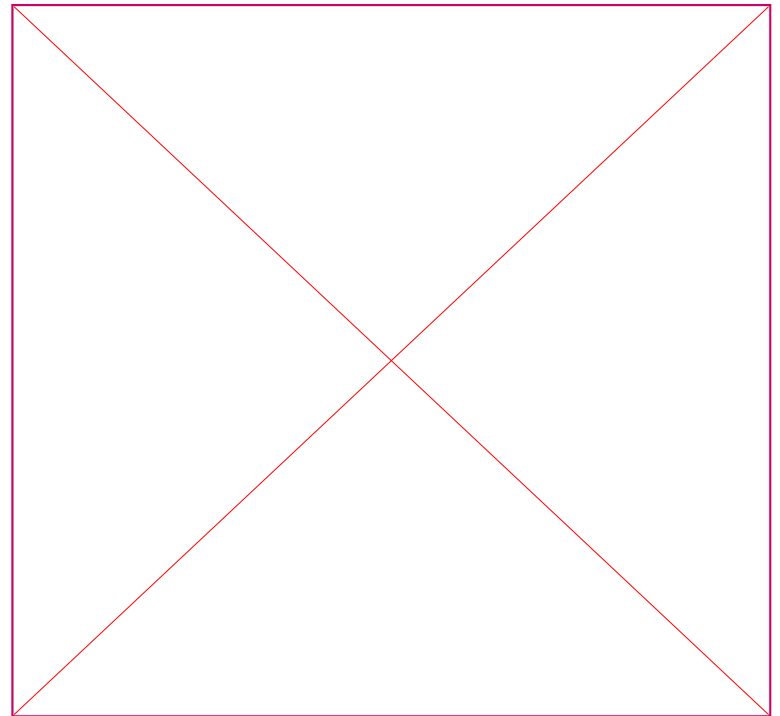
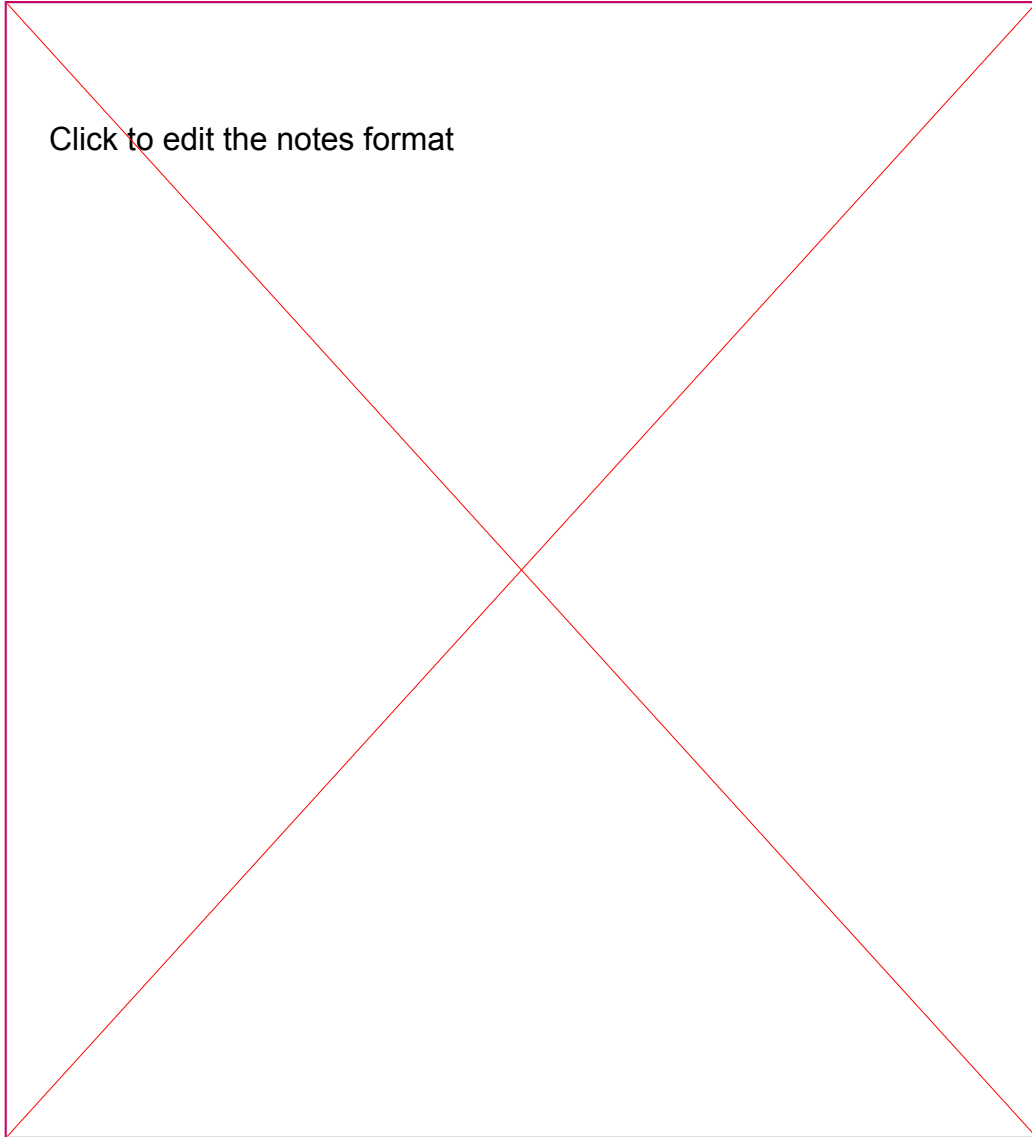
- используется для секретируемых белков, белков плазмалеммы и белков органелл эндомембранной системы
- путь транспорта - последовательный
- механизм транспорта - везикулярный

Сигнальные последовательности транспорта белков в растительной клетке

Целевая органелла	Сигнальная последовательность	Характеристика
Хлоропласты: строма	Н-концевой лидерный пептид («стромальный»)	Последовательность из 40-50 аминокислот
Хлоропласты: люмен и мембраны тилакоидов	Два последовательных N-концевых лидерных пептида	Первый пептид - «стромальный», второй – «люменальный»
Митохондрии: матрикс	Н-концевой пресиквенс	формирует положительно заряженную амфипатическую α -спираль.
Митохондрии: внутренняя мембрана, межмембранное пространство	Два последовательных N-концевых пресиквенса	Первый пресиквенс - как для белков матрикса, второй состоит из остатков гидрофобных аминокислот
Пероксисомы	Сигналы пероксисомальной локализации PTS1 и PTS2	PTS1 – С-концевой трипептид – Ser-Lys-Leu PTS2 локализован на N-конце.
Ядро	Сигналы ядерной локализации NLS. Не отщепляются после переноса белка в ядро	NLS типа 1: Pro-Lys-Lys-Lys-Arg-Lys. NLS типа 2: две последовательности, разделенные спейсером NLS типа 3: Lys-Ile-Pro-Ile-Lys
Сигнальный пептид секреторного пути	Н-концевой лидерный пептид	10-15 остатков гидрофобных аминокислот, формирующих α -спираль.
ЭР	Сигнал локализации в ЭР	С-концевой тетрапептид KDEL (Lys-Asp-Glu-Leu)
Вакуоль.	Сигналы локализации в вакуолях: NTPP, CTPP, внутрибелковый сигнал.	NTPP - N-концевой сигнал: Asn-Pro-Ile-Arg CTPP – С-концевой сигнал.

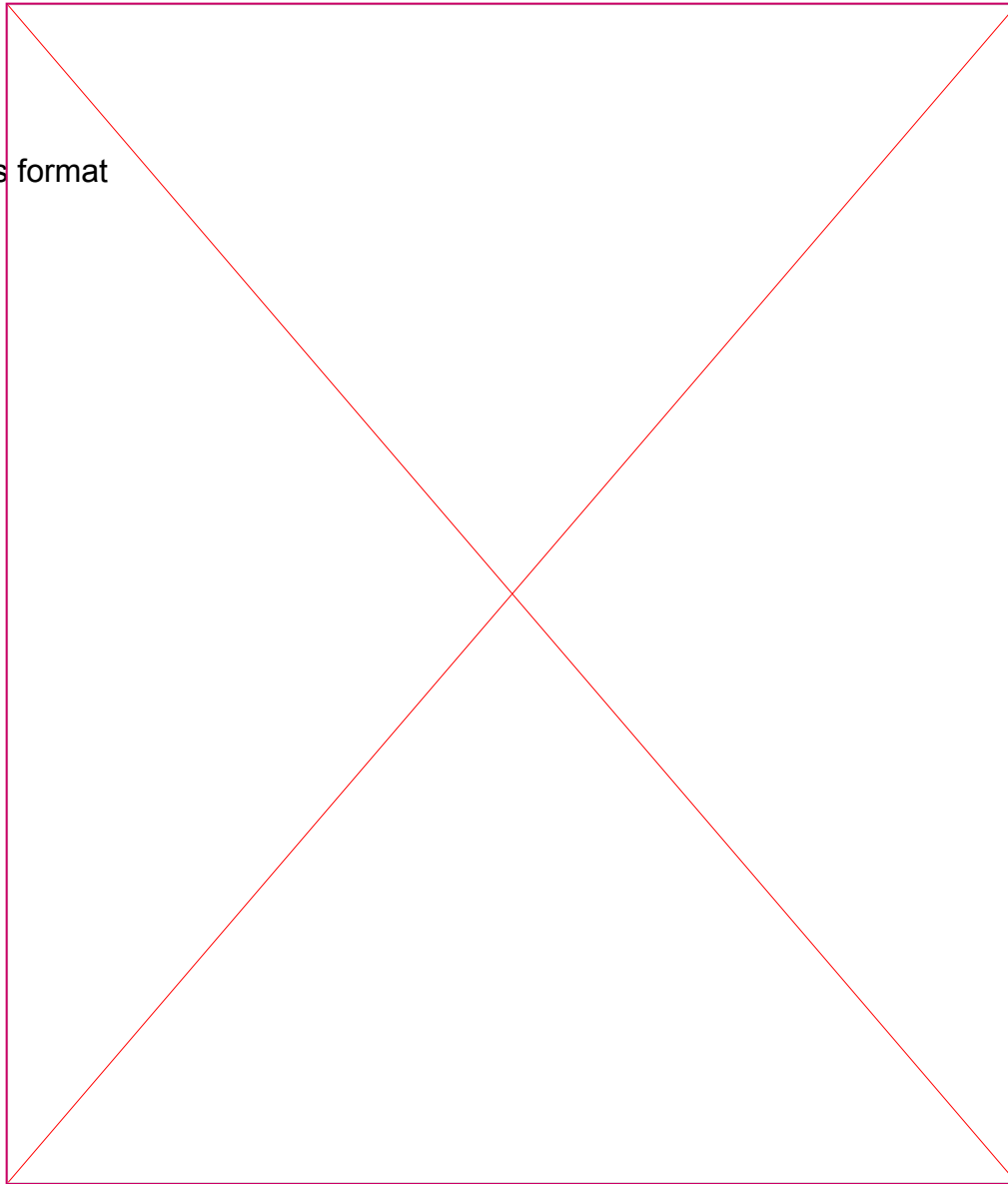
Транспорт ядерно-кодируемых белков в хлоропласт

Click to edit the notes format



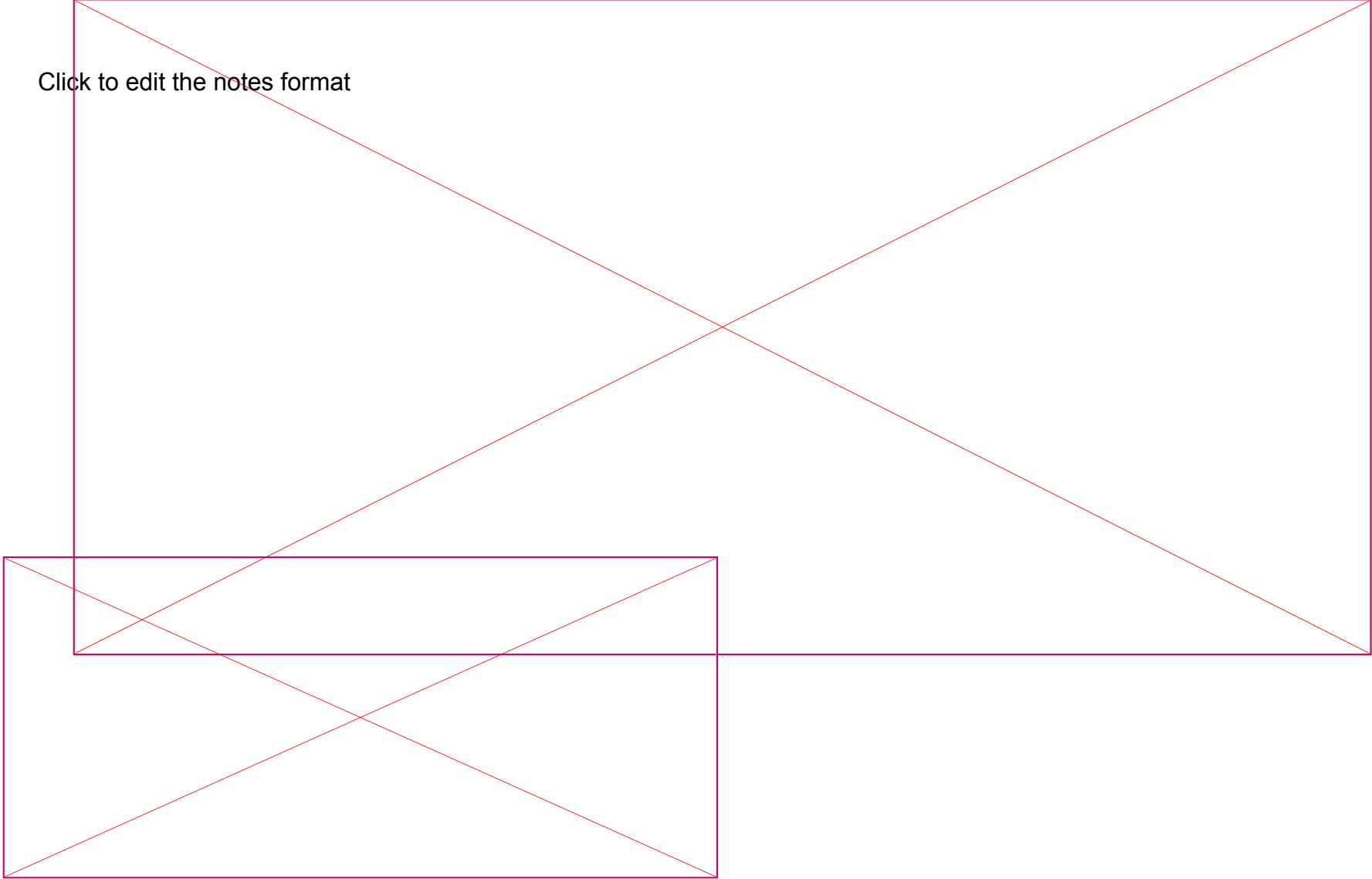
Секреторный путь транспорта белков: общая схема

Click to edit the notes format



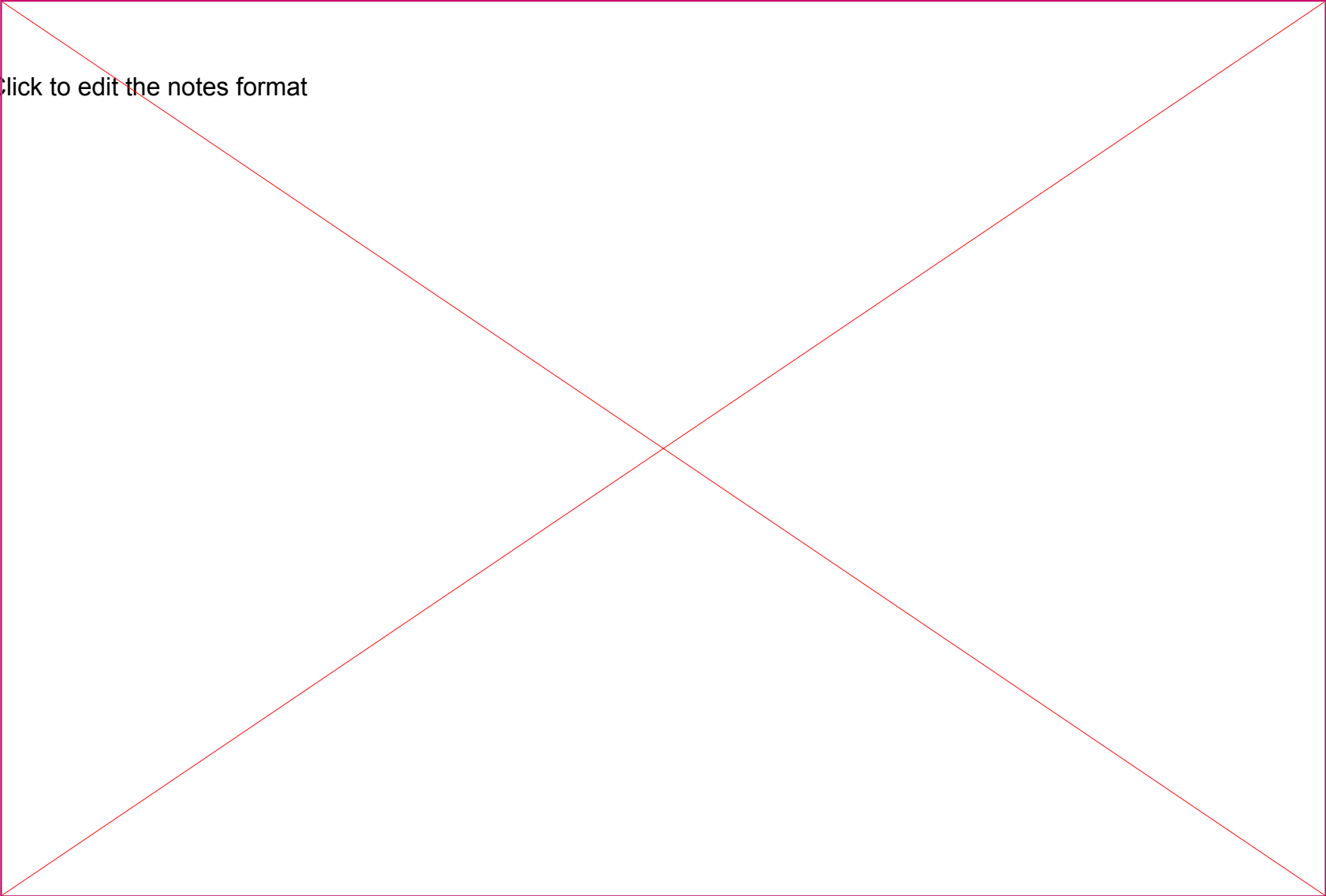
Секреторный путь транспорта белков: транспорт в ЭР

Click to edit the notes format



Секреторный путь транспорта белков: гликозилирование в ЭР

Click to edit the notes format



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

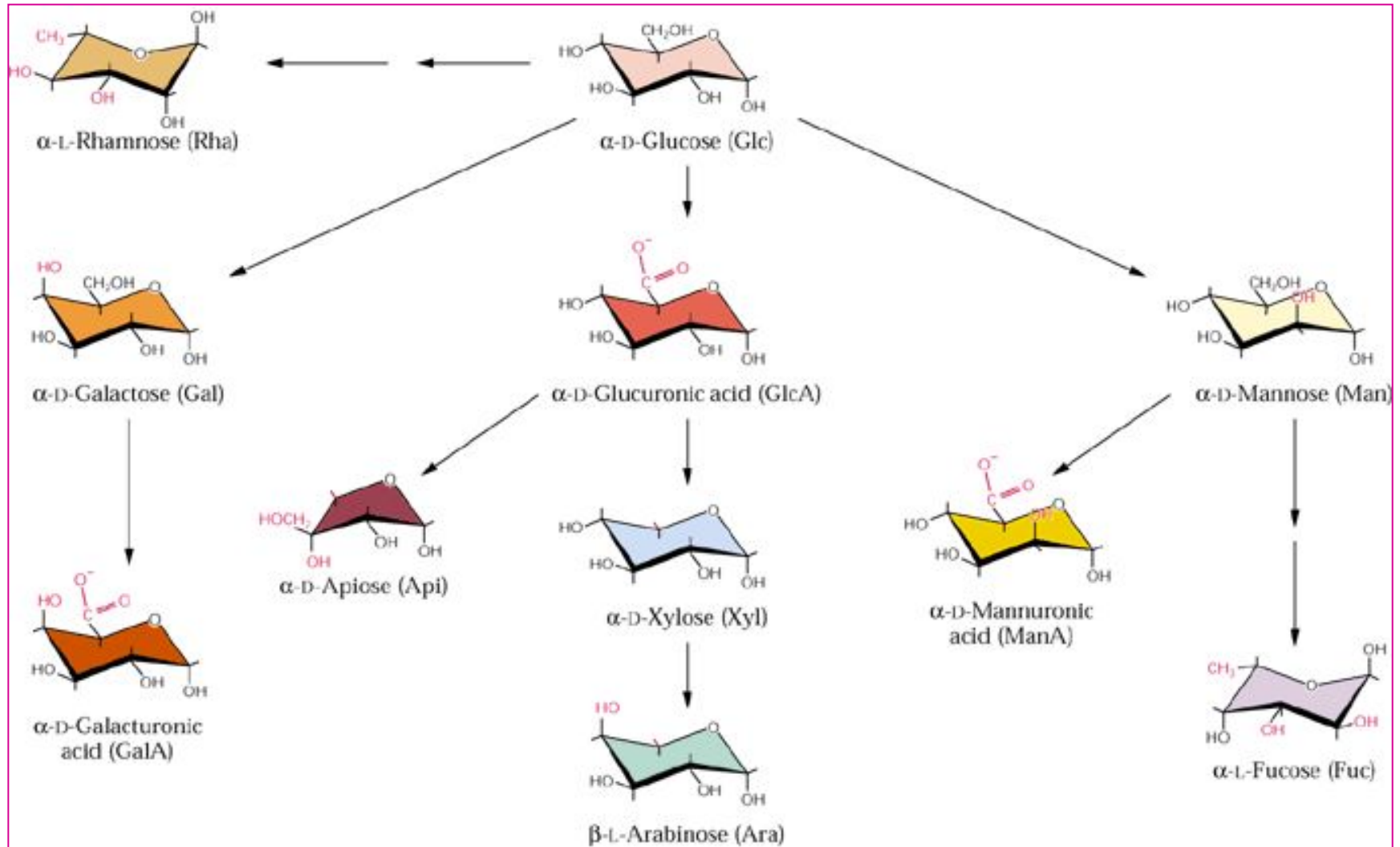
С помощью клеточной стеки клетка решает массу своих проблем:

- 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.

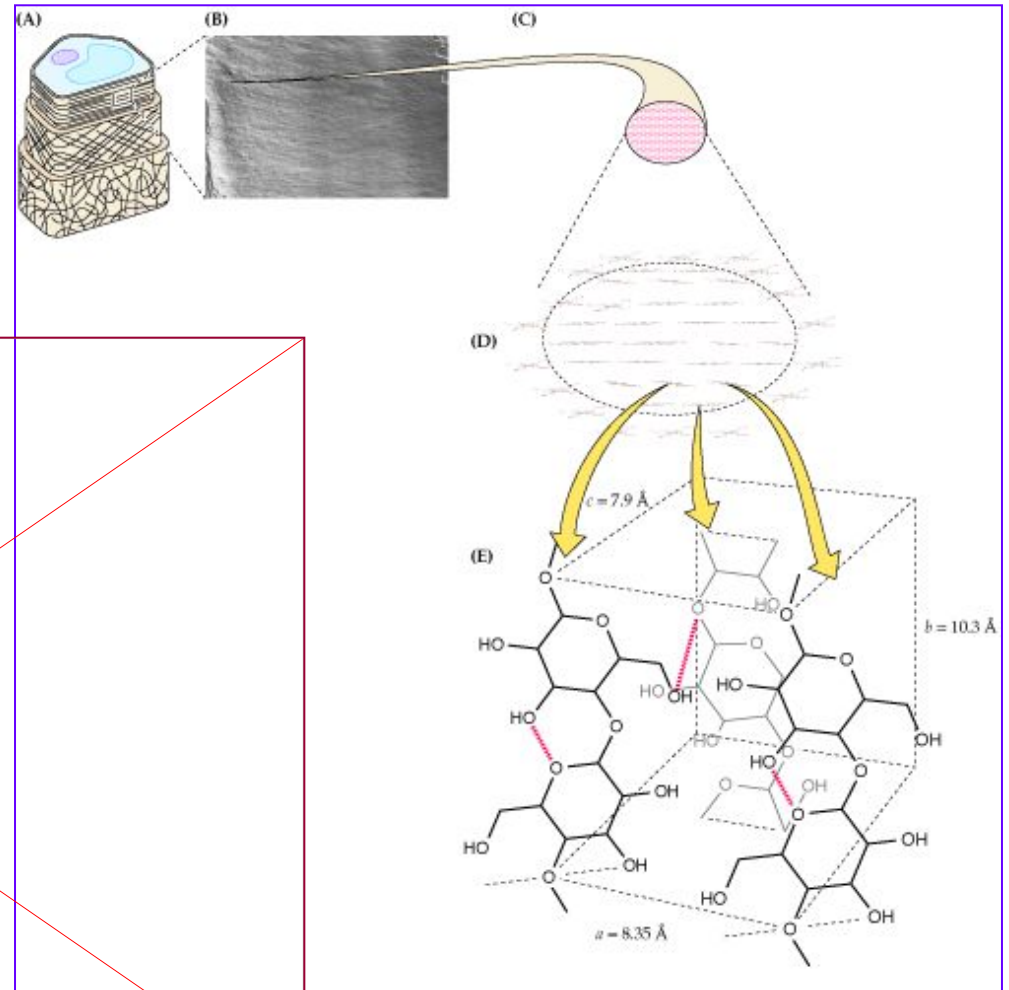
Часто представляет собой три взаимодействующих, но независимых сети полимеров.

Полисахариды клеточной стенки построены всего из 11 сахаров



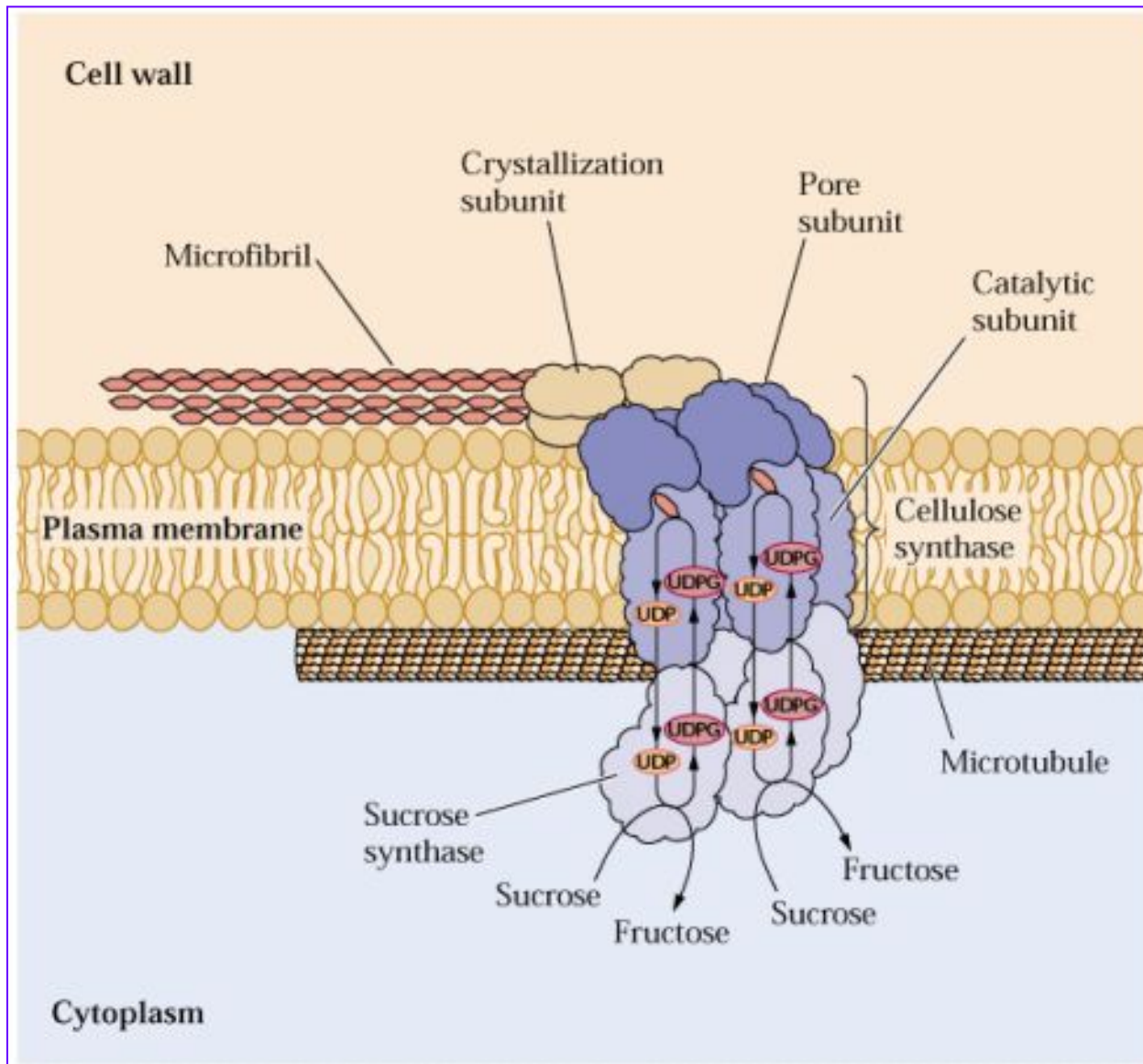
Строение микрофибрилл целлюлозы

«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



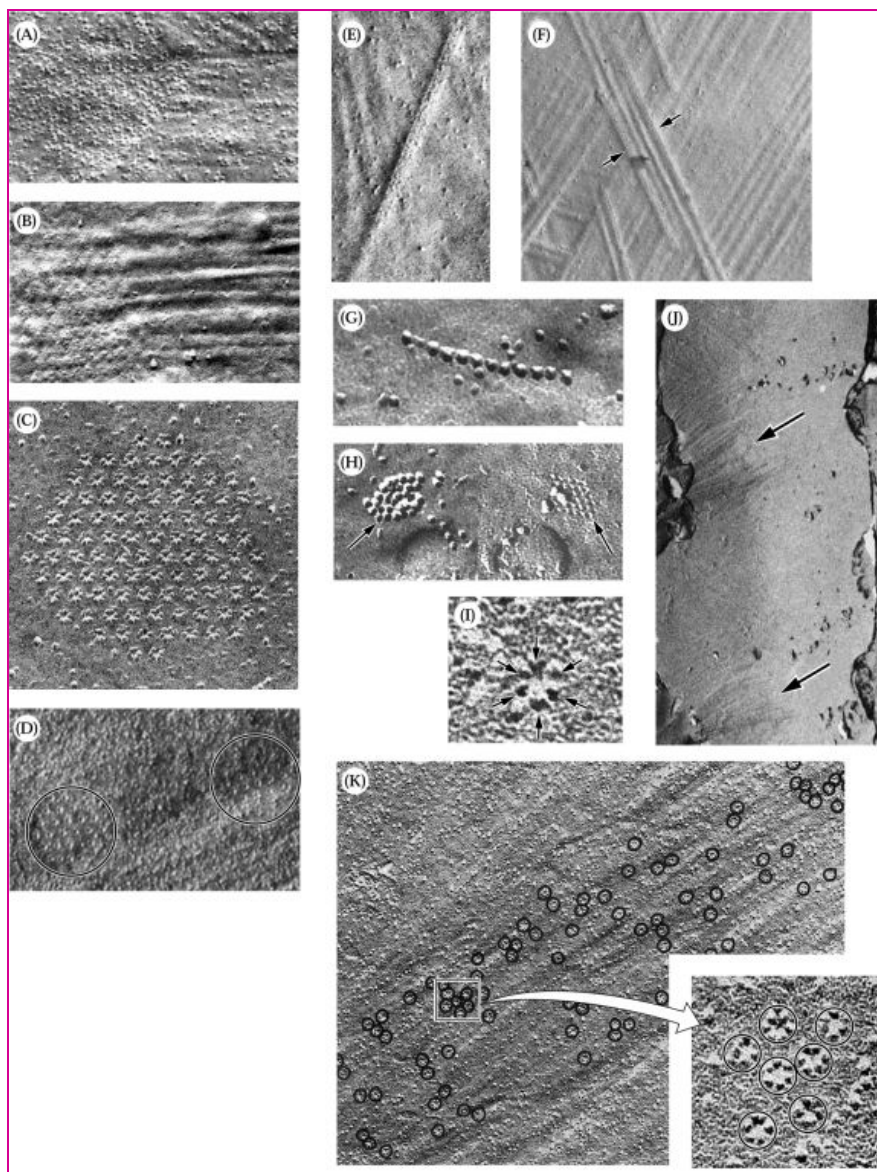
Строение целлюлозо-синтазы

Click to edit the



Электронные фотографии КС с целлюлозо-синтазой

Click to edit the notes format



Сшивочные гликаны (cross-linking glycans)

Click to
**Ксилогликаны
(ХуGs)**

**Глики со
смешанной
связью
(злаки)**

**Глукуроно-
арабиноксиланы
(GAXs)**

Фуко-ХуGs

XXXG : XXFG

(двудольные,
некоммелиноидн.)

Арабино-ХуGs

AXGG, XAGG, AAGG

Пасленовые, мята

Коммелиноидные

Ara: O-3, GlcA: O-2

Некоммелин.

Ara, GlcA: O-2

Нерегулярные ХуGs

(коммелиноидные)

Обозначения:

G: Gl

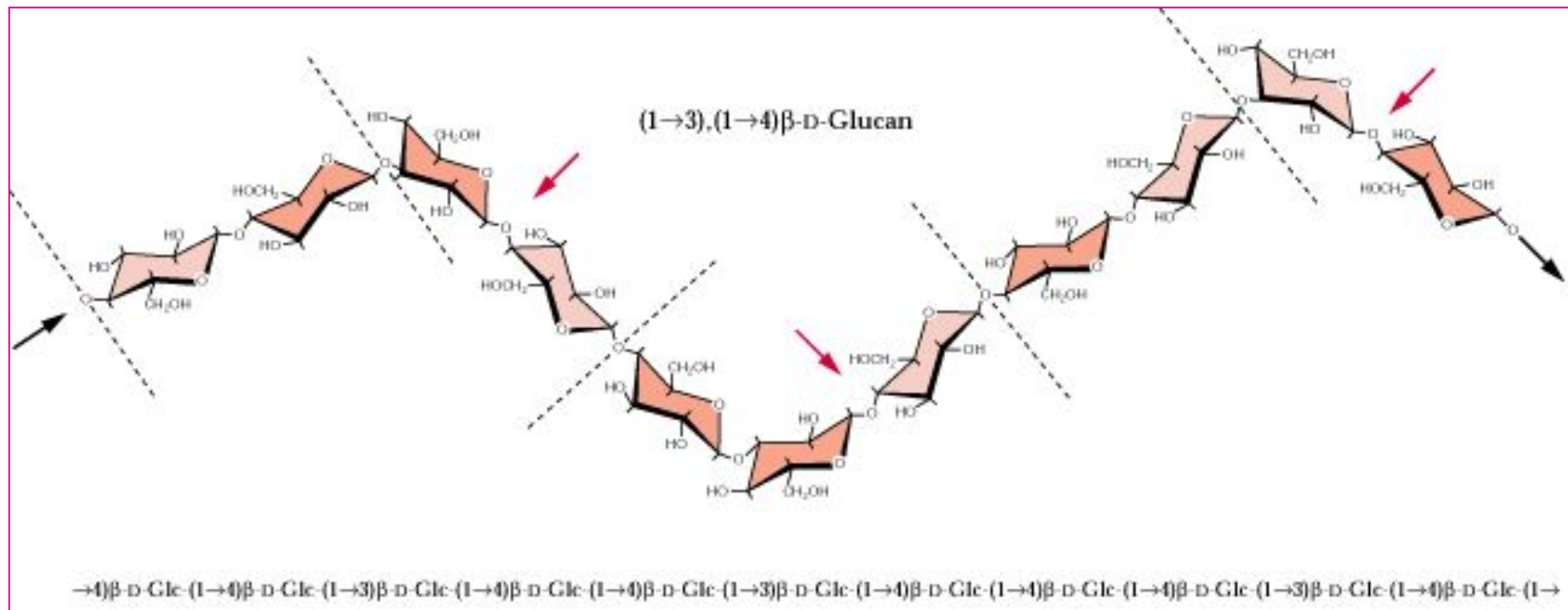
X: Gl-Xyl

L: Gl-Xyl-Gal

F: Gl-Xyl-Gal-Fuc

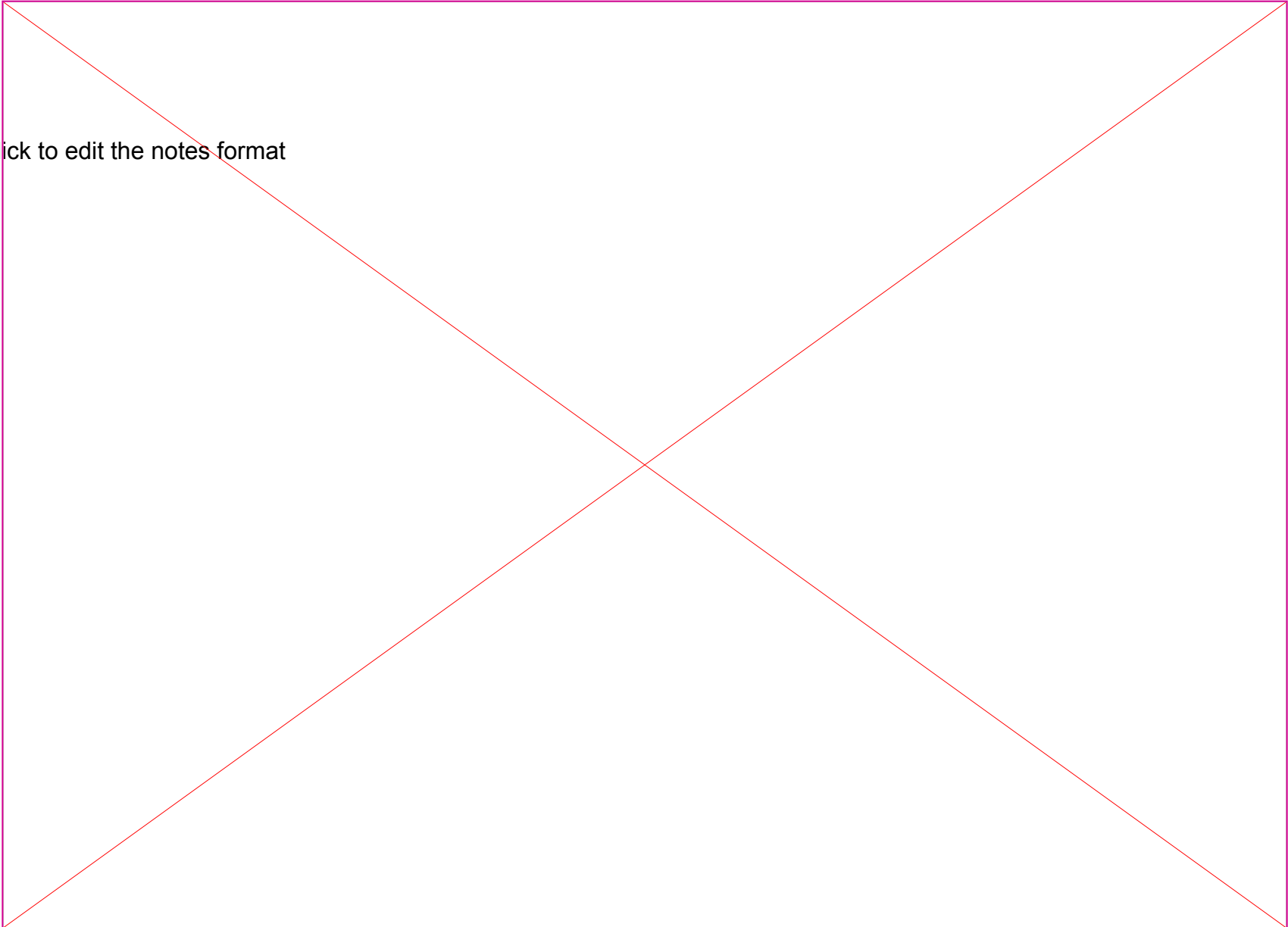
A: Gl-Xyl-Ara

Гемицеллюлозы: глюкан злаковых



Состав гемицеллюлоз у представителей разных таксонов

Click to edit the notes format



Пектины

Галактуронаны

Рамногалактуронаны

Гомогалактуронаны

Ксилогалактуронаны

Рамногалактуронаны I

Рамногалактуронаны II

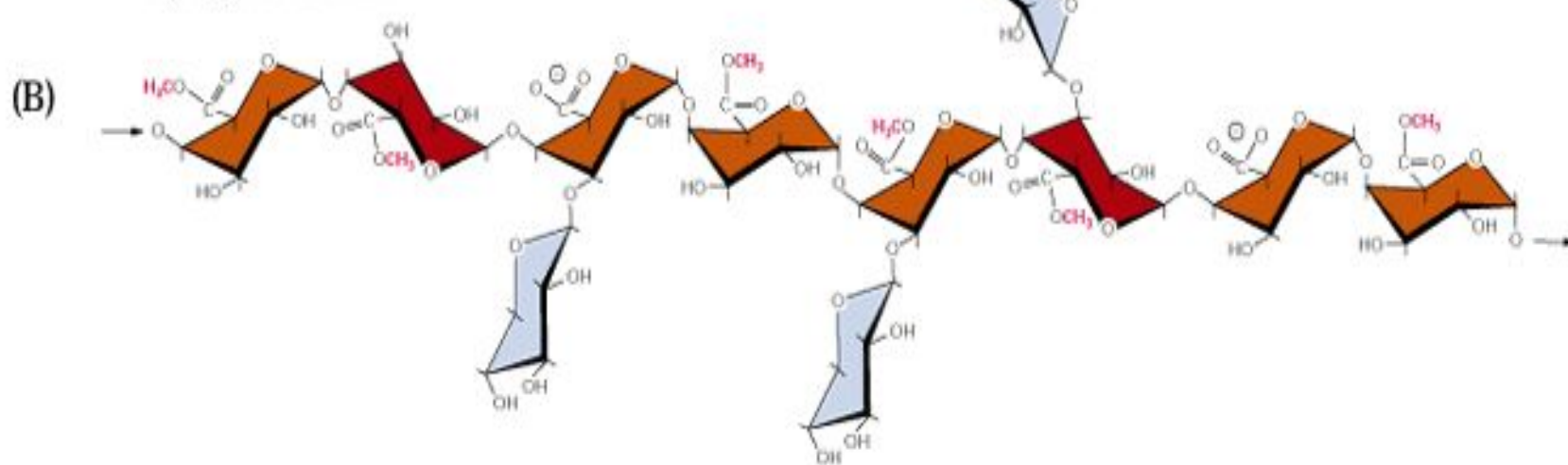
Click to edit t

Пектины: галактоктуронаны (гомо- и ксило-галактуронаны)

Homogalacturonan (HGA)

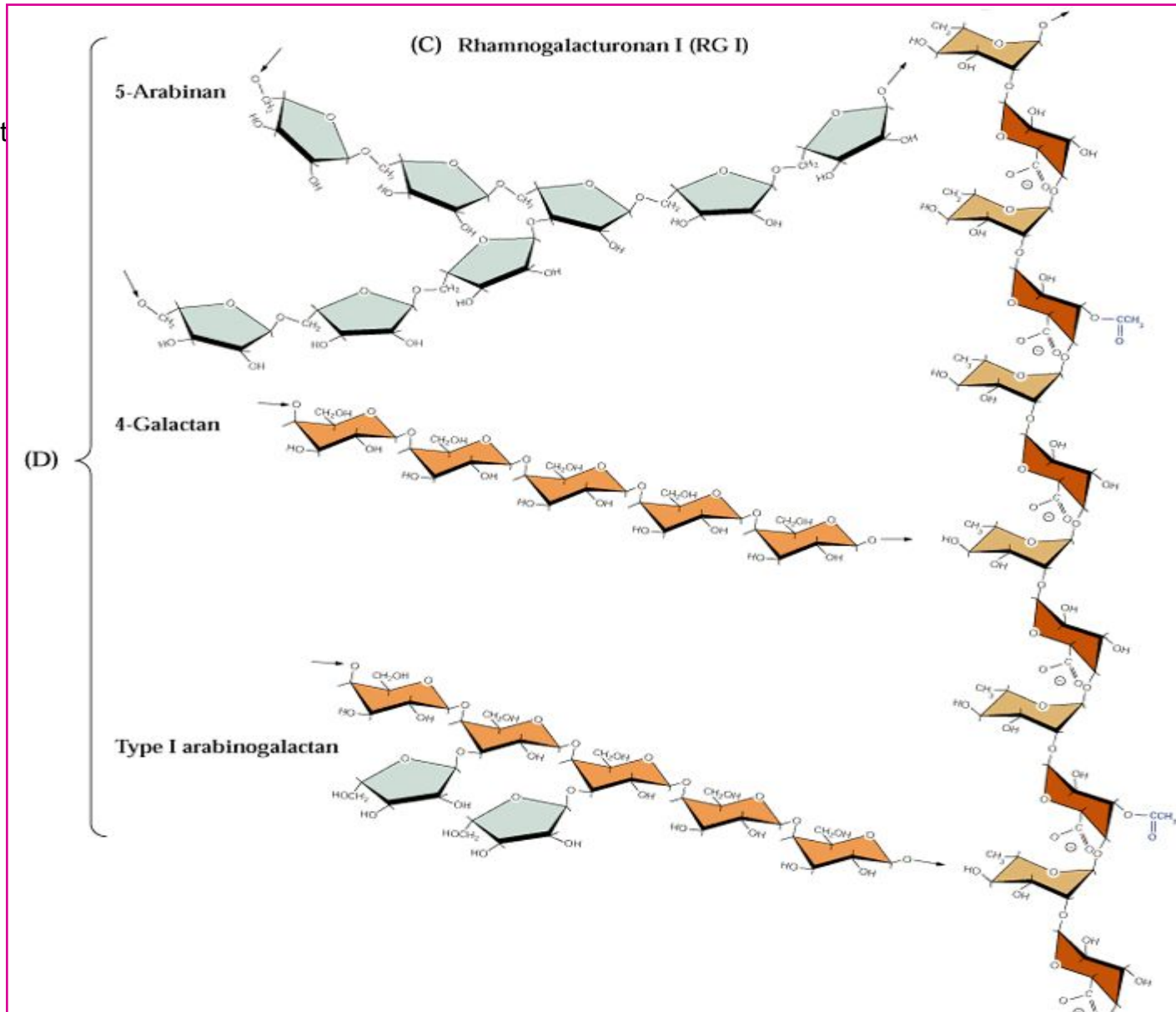


Xylogalacturonan

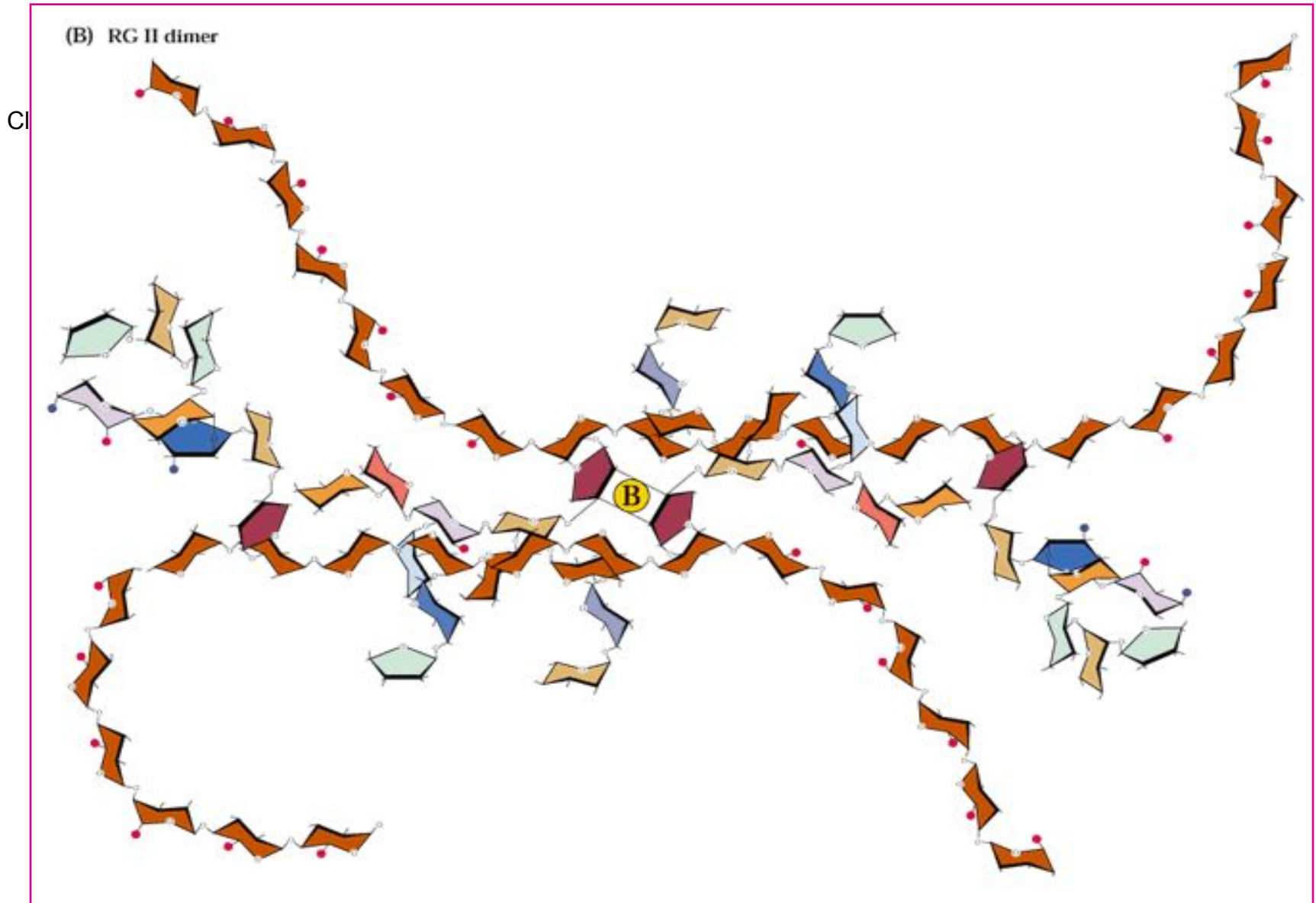


Пектины: рамногалактуронаны I гетерополимер: линейная цепь из чередующихся остатков GalA и Rha с различными боковыми фрагментами)

Click to edit t

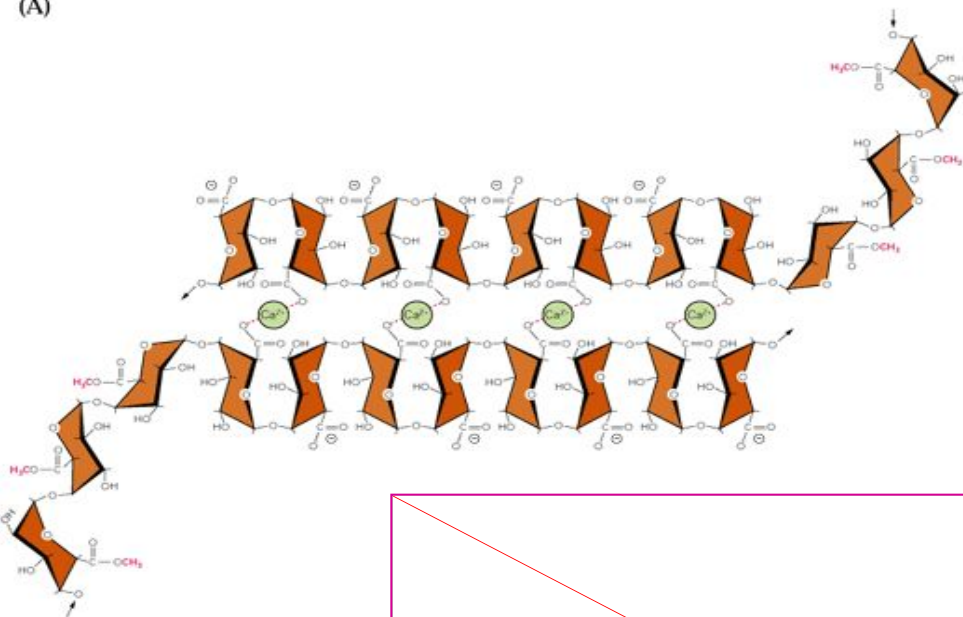


Пектины: димер рамногалактуронана II мономеры RGII 4200kDa связаны диэфирными связями остатками апиозы через бор)



«Замковые зоны» пектиновой сети

(A)



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

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

Click to edit the notes format



Пектины: функциональная сеть клеточной стенки

Click to edit the

Функции пектинов:

- **определяют размер пор КС**
- **определяют поверхностный заряд КС**
- **адгезионные свойства КС**
- **ионнообменные свойства КС**
- **формирование срединной пластинки**
- **фиксирование ферментов КС**
- **депо Са²⁺**

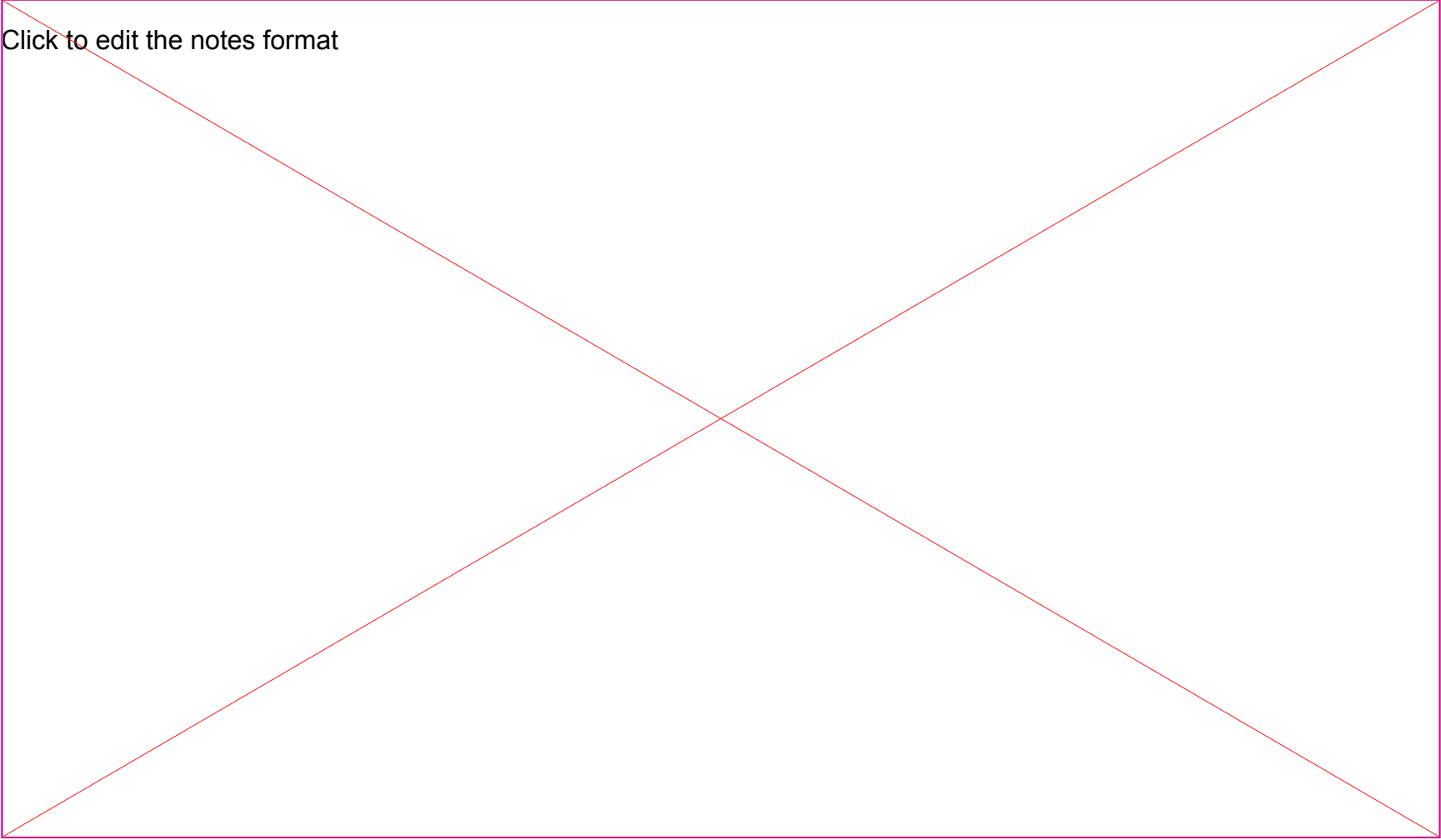
**Структурные белки клеточной стенки:
HGRPs, PRPs, GRPs (гидроксипролин-, пролин- и глицин- обогащенные)**

Click to edit the notes format



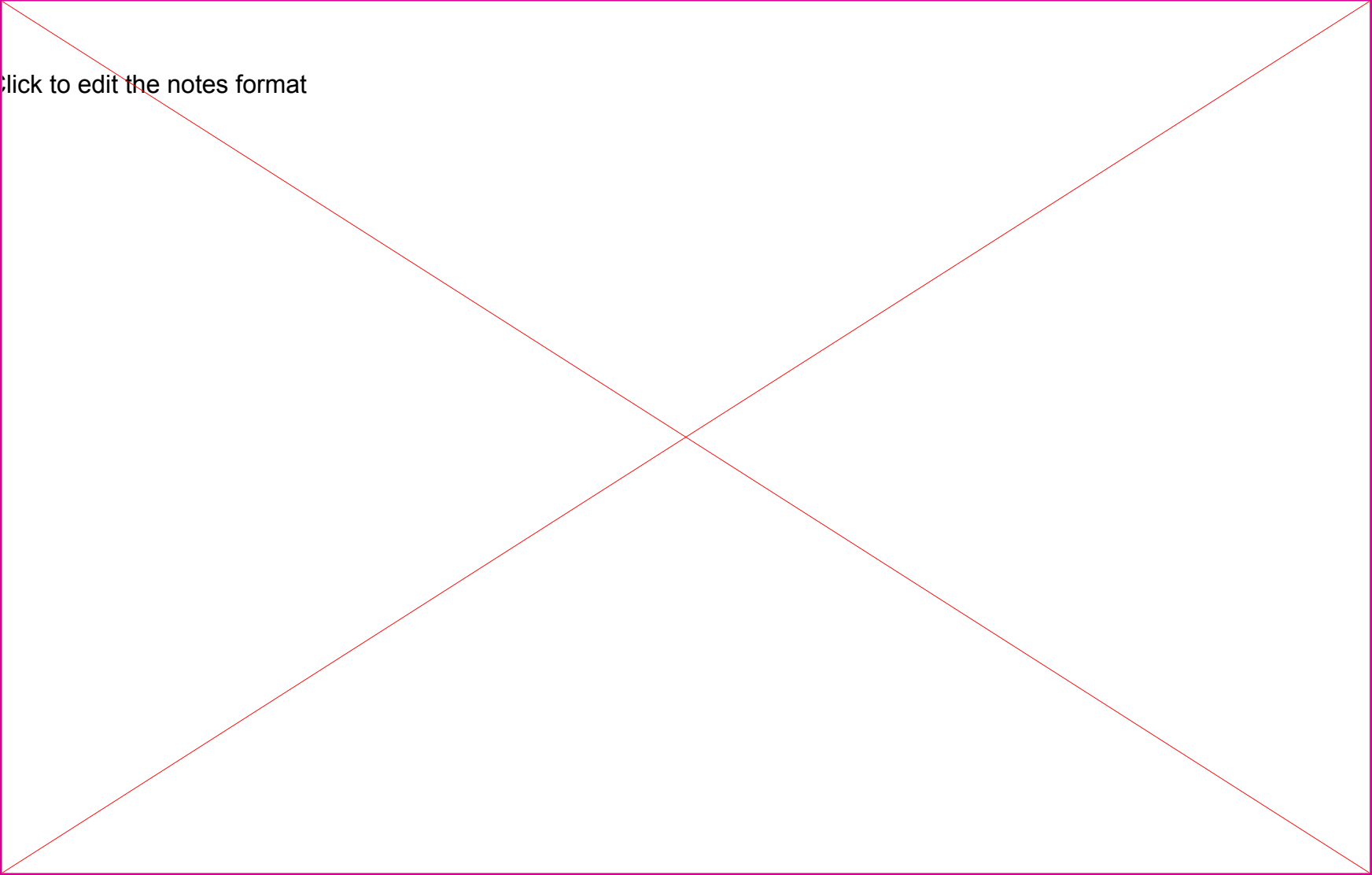
Структурные белки клеточной стенки: AGPs (арабино-галактановые белки - протеогликаны).

Click to edit the notes format



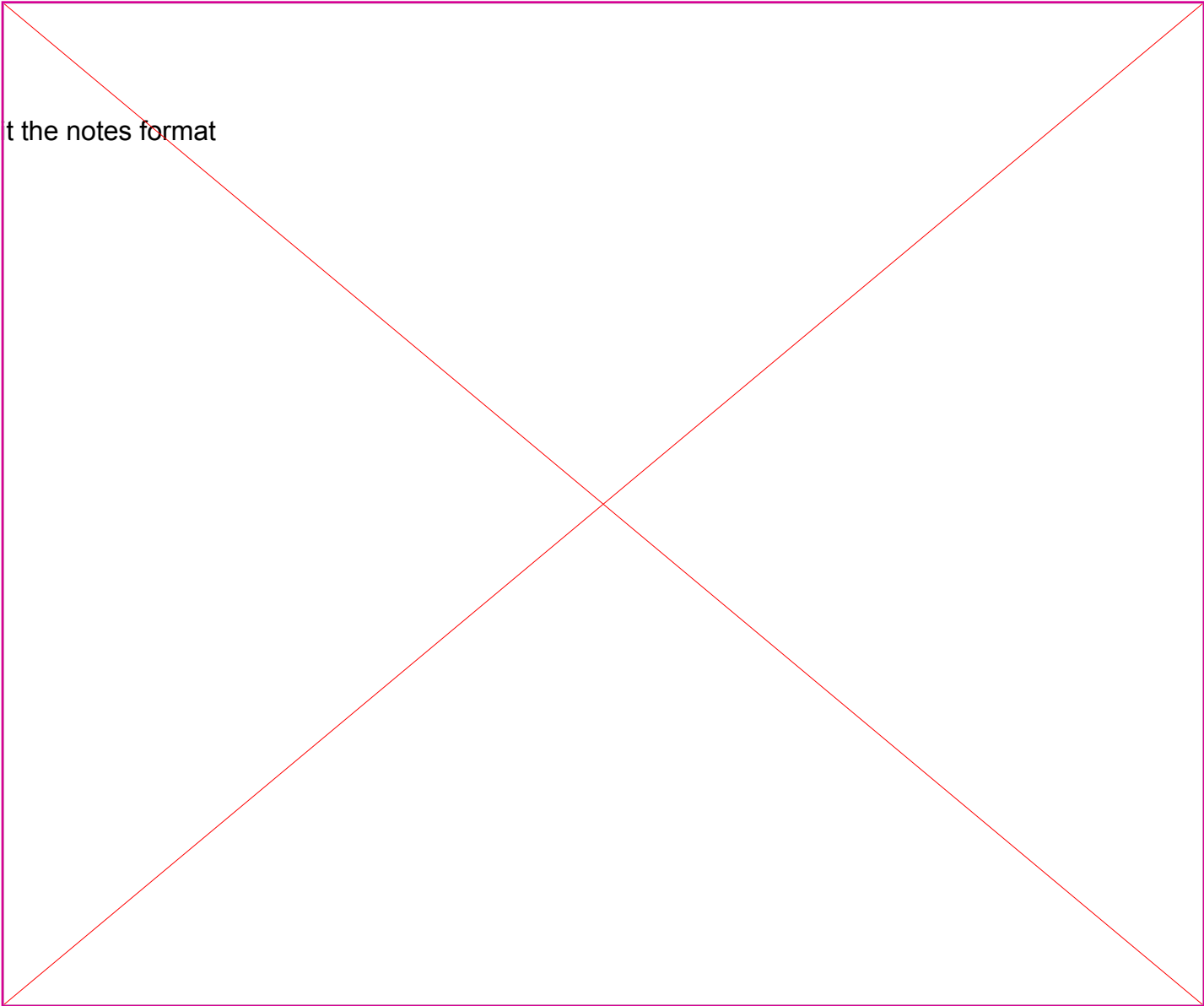
**Структурные белки клеточной стенки:
AGPs (арабино-галактановые белки - протеогликаны).**

Click to edit the notes format

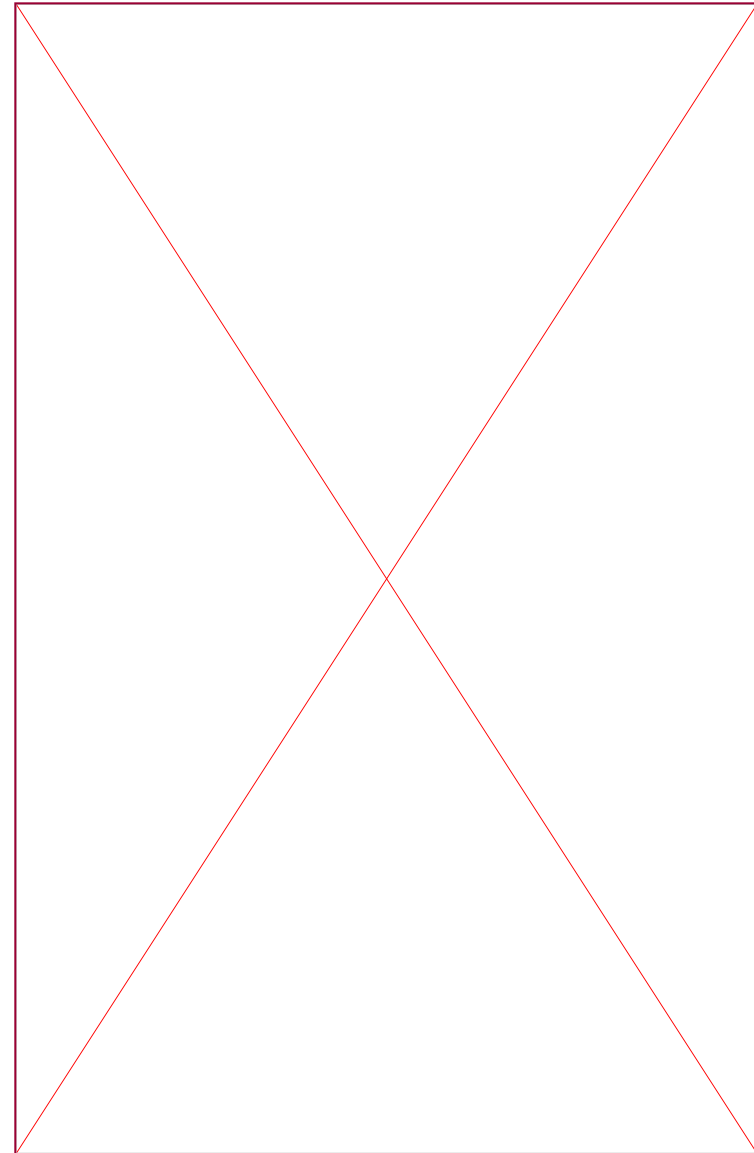
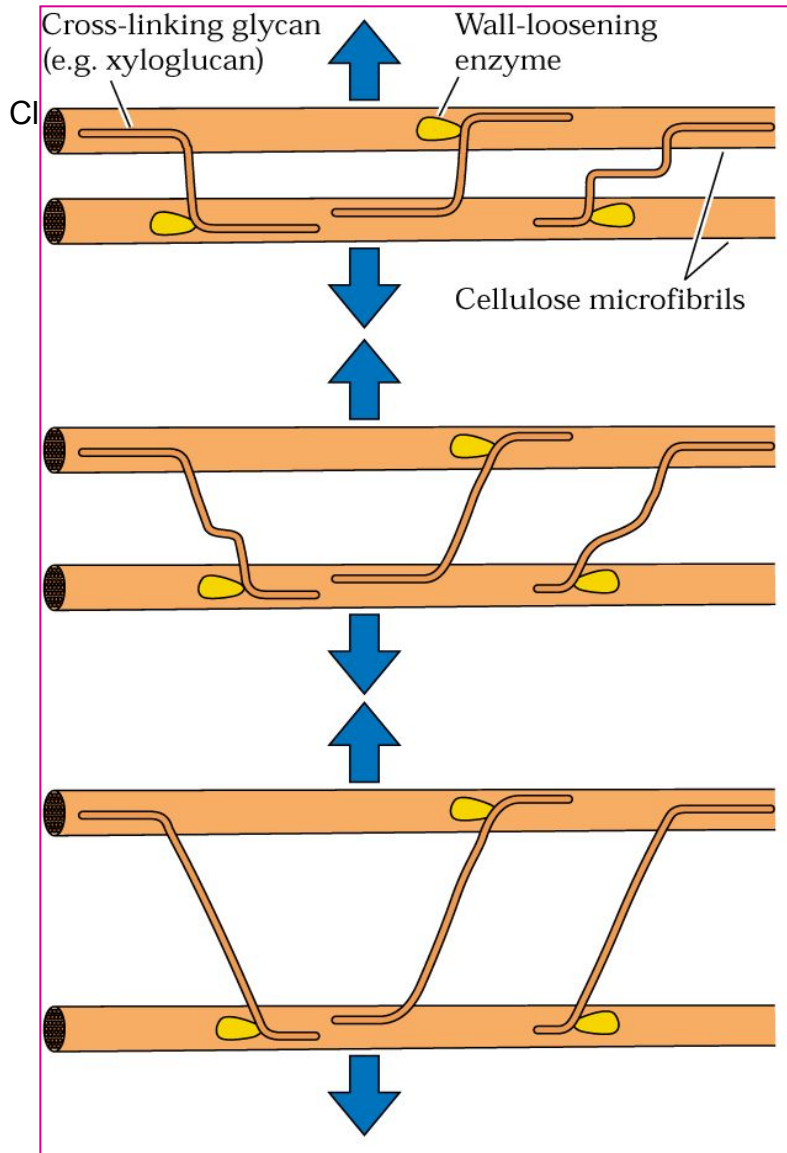


Трёхмерная модель двух типов клеточной стенки: тип I (двудольные) и тип II (коммелиноиды)

Click to edit the notes format

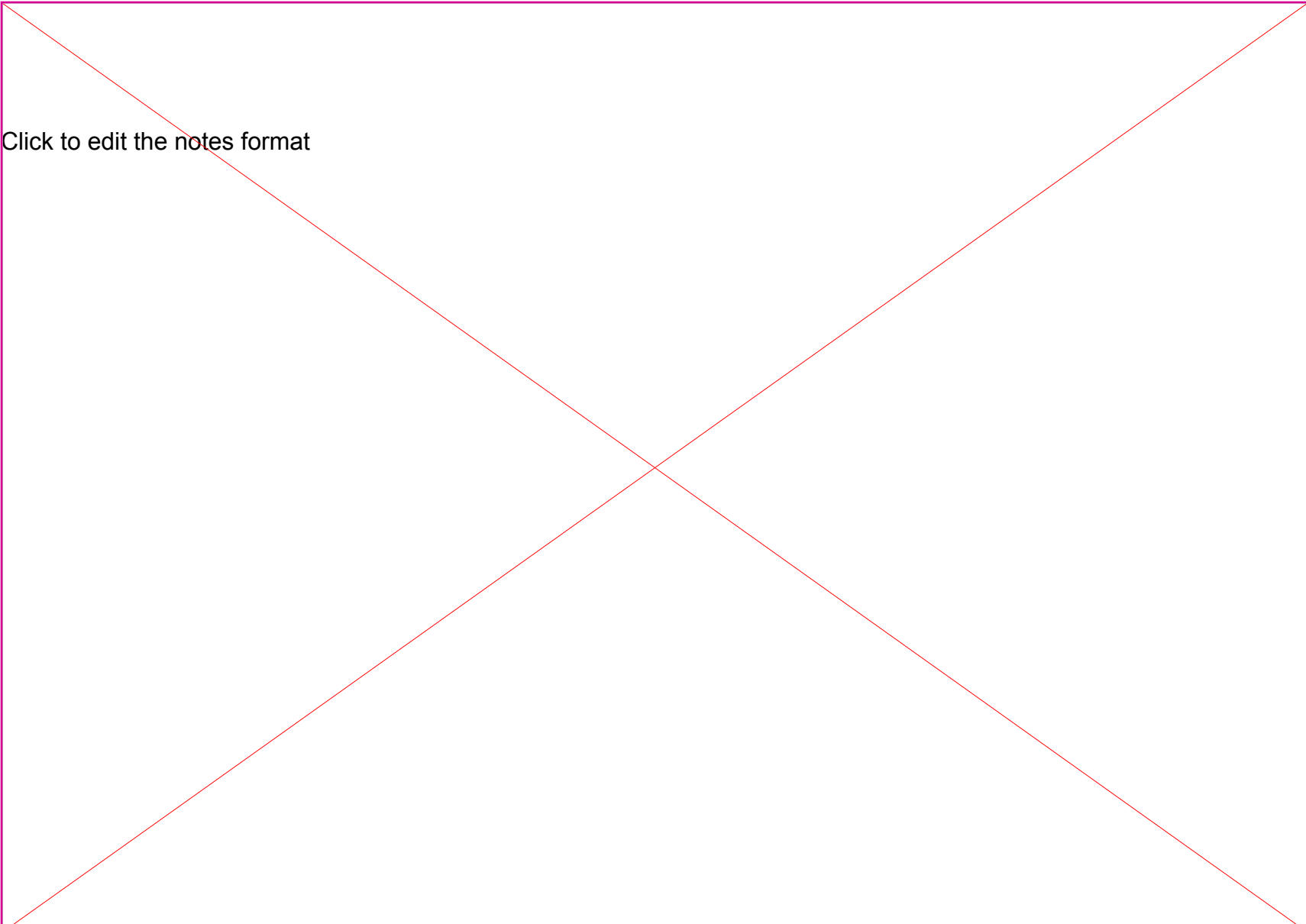


Возможное участие ХЕТ (ксилоглюкан-эндотрансгликозилазы) и экспансина в росте клеток растяжением



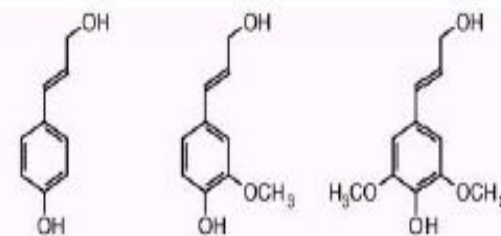
Лигнины: фенилпропаниодная сеть вторичных клеточных стенок

Click to edit the notes format



Образование лигнина:

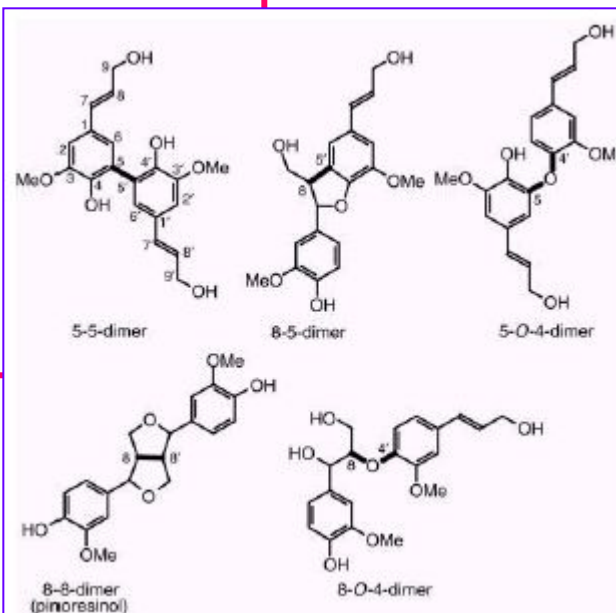
окислительная конденсация фенолпропаноидов случайным образом.



p-coumaryl alcohol

coniferyl alcohol

sinapyl alcohol



5-5-dimer

8-5-dimer

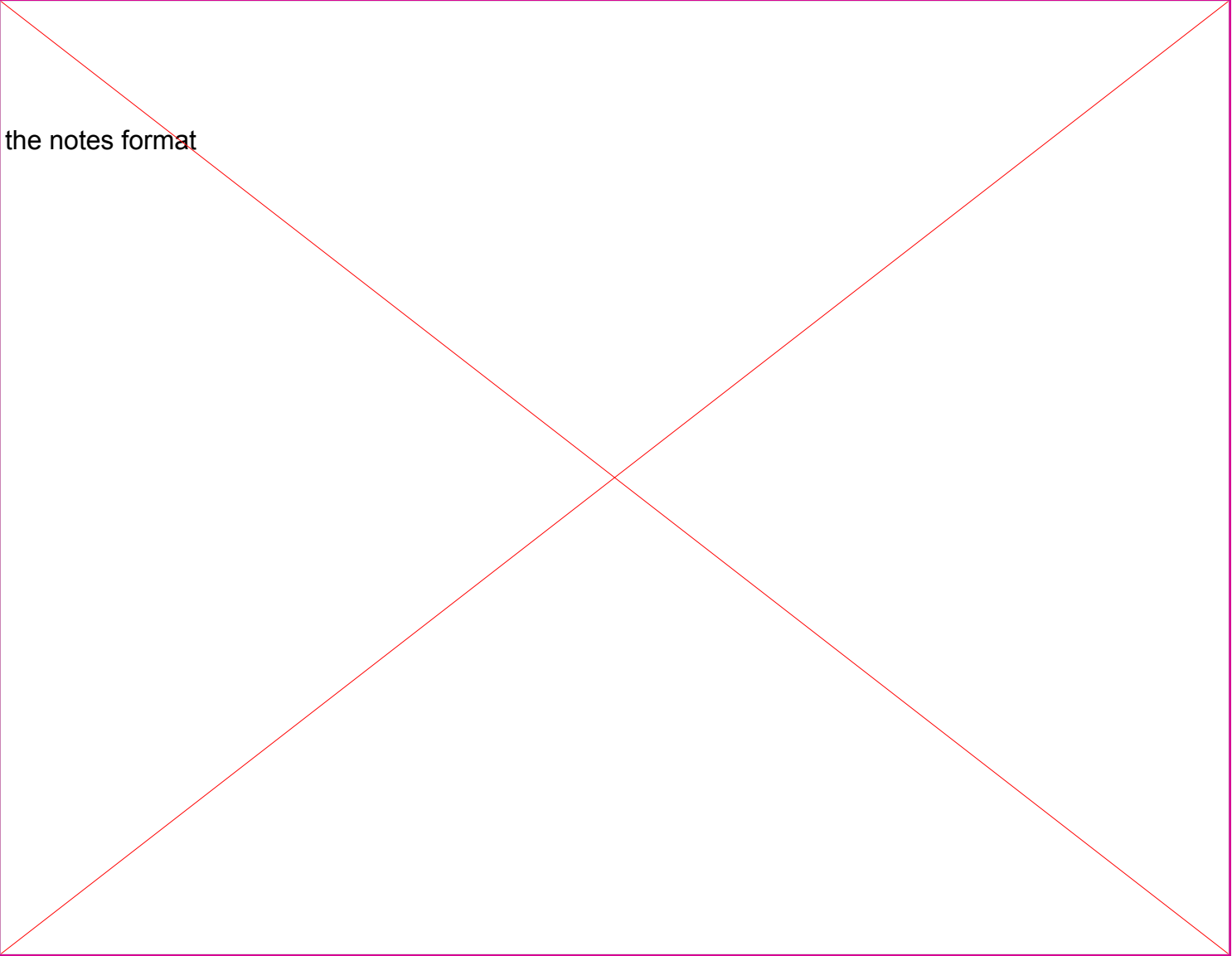
5-O-4-dimer

8-8-dimer
(pinoresinol)

8-O-4-dimer

Образование лигнинов: целенаправленная конденсация мономеров.

Click to edit the notes format



Некоторые особенности плазмалеммы

Структурные: зависимость состава от типа клетки

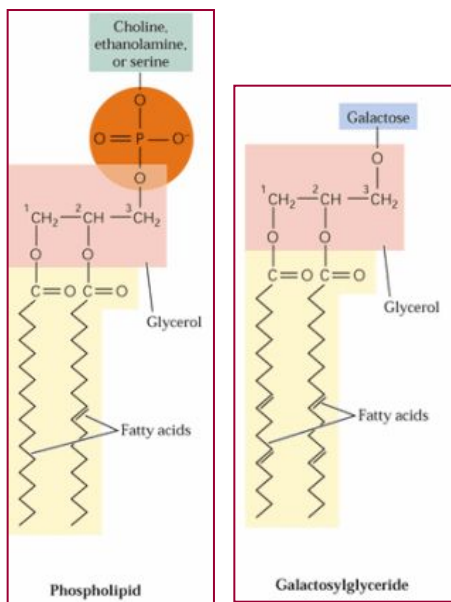
- основные ЖК: пальмитиновая (16:0), олеиновая (18:1, Δ^9), линолевая (18:2, $\Delta^{9,12}$); линоленовая (18:3, $\Delta^{9,12,15}$); стеариновой (18:0) практически нет, арахидоновой (18:4) у семенных растений нет.
- другая схема десатурации ЖК – от Δ^9 к ω -концу (Δ^{12} , ω^3)
- обычно очень мало 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 (H^+ -АТФ-за р-типа)
- формирование плазмодесм
- нахождение под постоянным «давлением» за счет тургора.

Фитостерины, диацилглицериды и варианты «заякоривания» белков в мембранах

Click to edit the notes format



**Фосфолипиды
(плазмалемма)
Гликозилглицериды
(пластиды)**

Click to edit the notes format

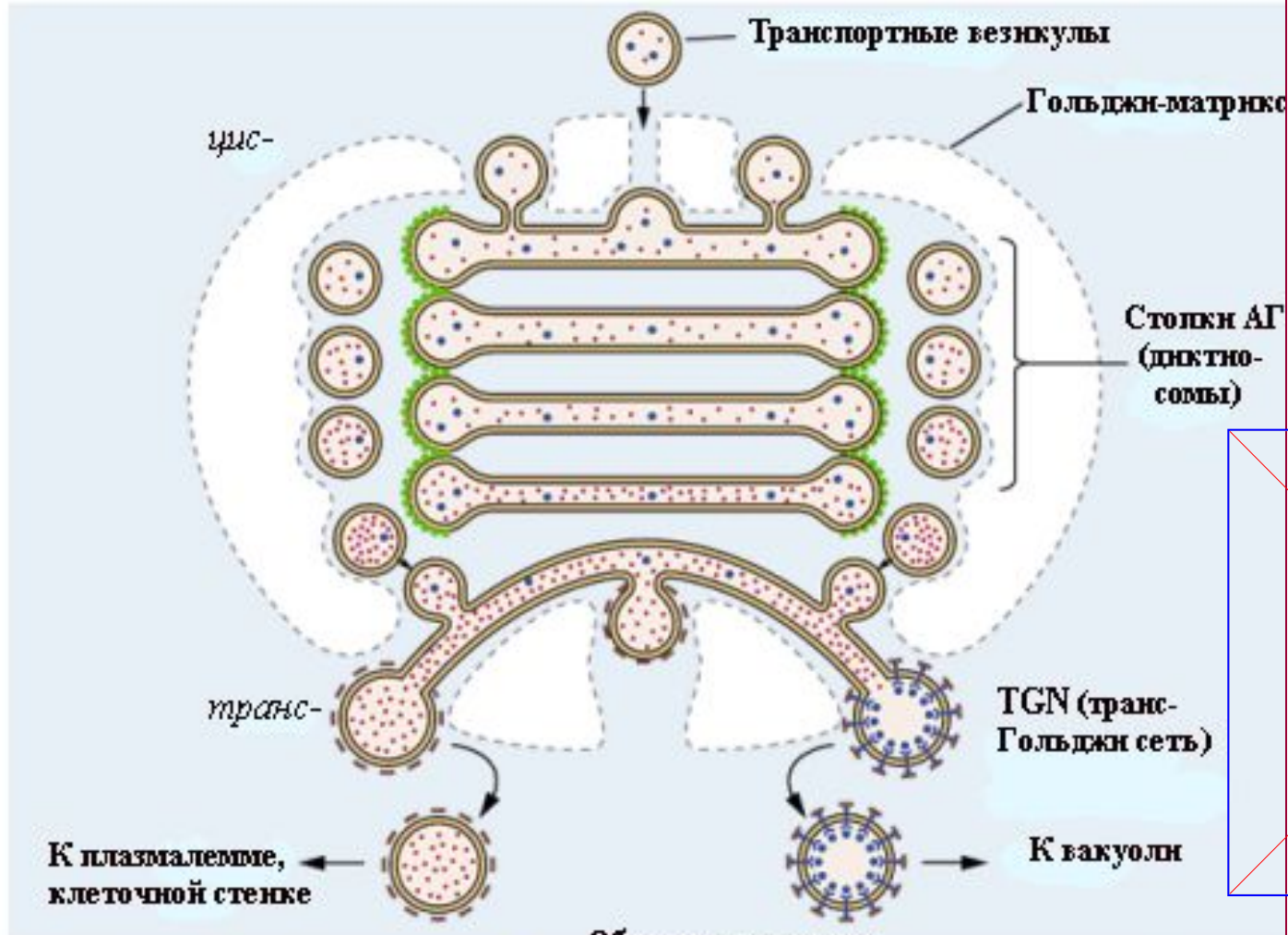
Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Структура растительного аппарата Гольджи

(A)



Оболочки везикул:

1. COP (белками оболочки - coat protein)
2. Везикулы без белкового покрытия
3. Клатринном (окаймленные везикулы)

Везикулярный транспорт, типы везикул

Click to edit the notes format

COPII – транспорт от ER к Гольджи, **COPI** – «ретроградный» транспорт - от Гольджи к ER
Окаймленные - формирование превакуолярного компартмента от *транс*-Гольджи или плазмалеммы (эндоцитоз). **Без белкового покрытия** – от *транс*-Гольджи к мембране (экзоцитоз), а также от превакуолярного компартмента к литическим вакуолям.

Синтез ксилоглюканов (А) и пектинов (В) проходит в разных компартментах АГ

Click to edit the notes format

До сих пор
неясно как
работает АГ.
Две модели:
1. «Везикулы
– челноки»
Цистерны
неподви□□□Ї
жбиеЭ0взщєє
□вѳ·Λ0у –
≡еѡкП'улбЙ
и□□□& □Кк蓋
∧Цли Нагп
萊R□吳
≈L3≈Yи滕_□
□蓑
цѳт□R膜к□J
s□□□滕呀b著
T^sц□C^D_{C3}
給 PкПтригн
o
wчплюнуG_x0

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

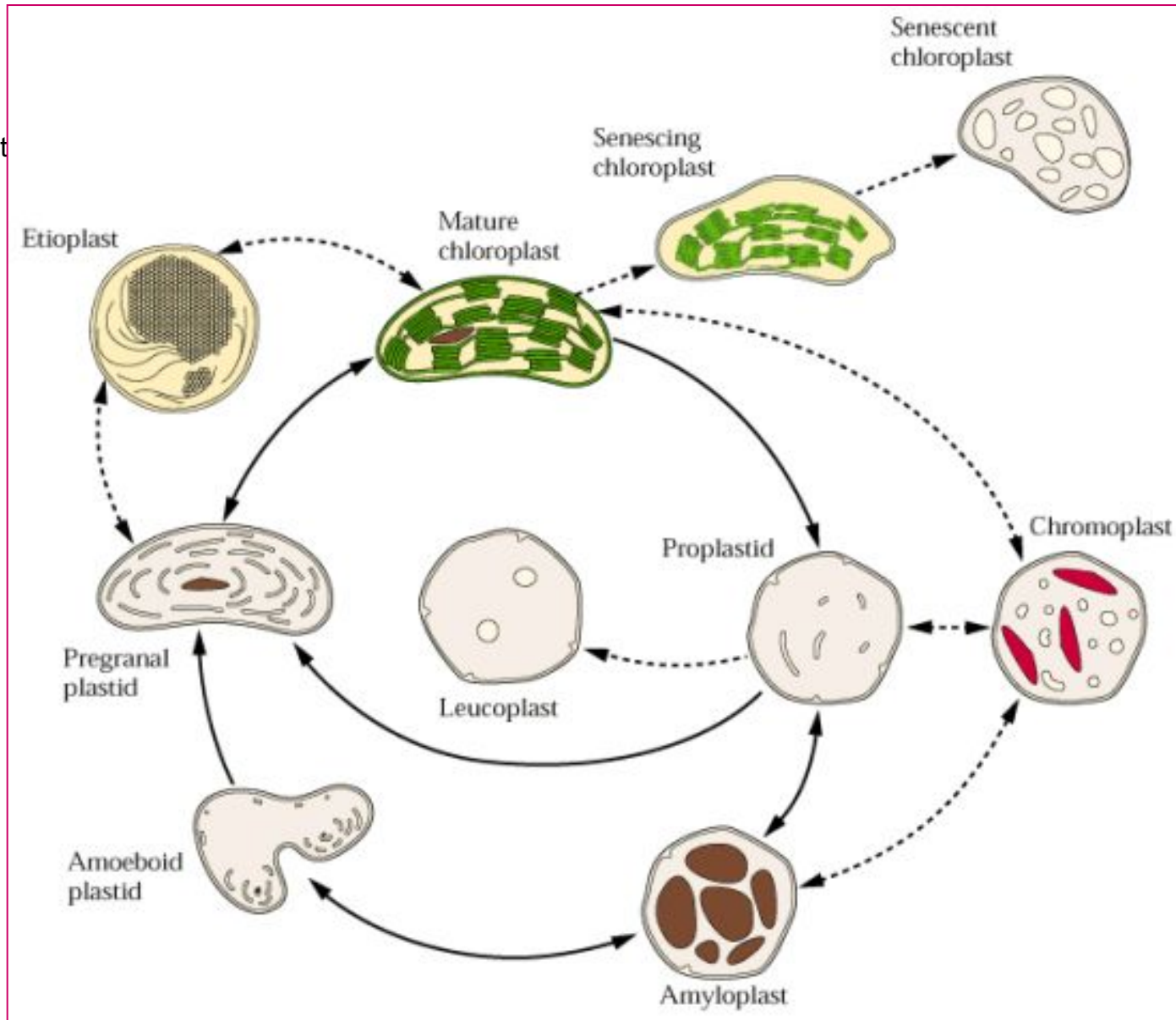
Click to edit the notes format

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 TTTTAGGG) **есть не всегда**
- **Большое количество генов с высокой гомологией бактериальным** (до 50% по аминокислотному составу белка)
- **Более высокий уровень метилирования** (30% цитозинов генома пшеницы, у животных – не более 7%). Другая схема метилирования – не только CpG, но и CpXpG, возможно метилирование по A.
- **Измененные сигналы полиаденилирования** (часто их два – FUE: UUGUA, -80-190 нукл. от места поли-A, NUE: AAUAAA, - 40 н.
- **Codon usage:** разная эффективность использования разных триплетов
Однодольные «предпочитают» ХХС/Г, часто - ХСГ и редко – ХТА (в сравнении с двудольными видами).
- **Два типа транспозонов:** ретротранспозоны (вероятно, остатки ретровирусов) и ДНК- транспозоны, преимущественно у с/х растений

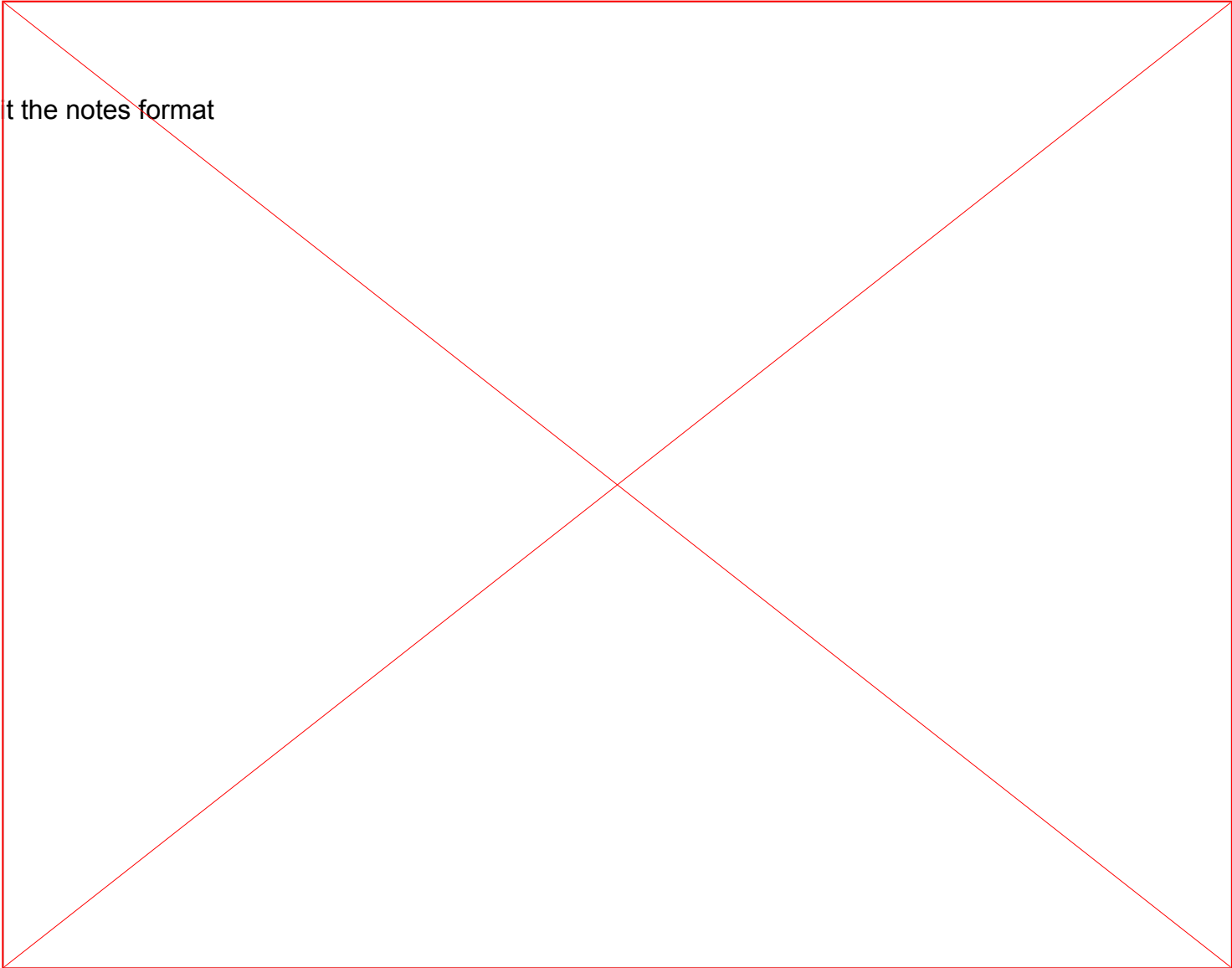
Взаимопревращения пластид контролируются ядерным геномом

Click to edit t



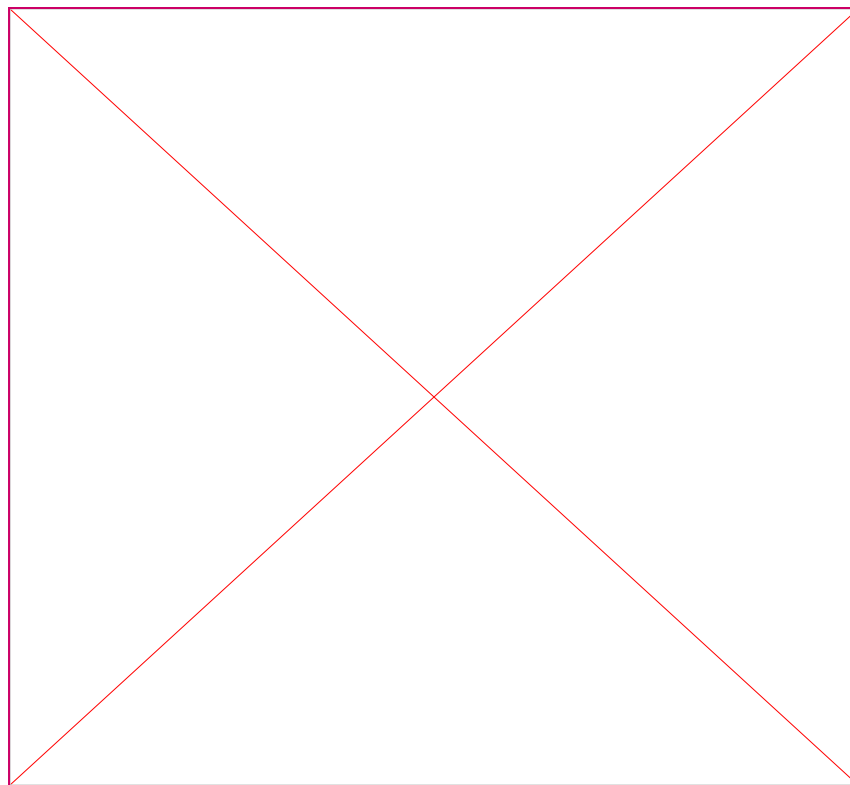
Хлоропласт – «главный» представитель пластид

Click to edit the notes format



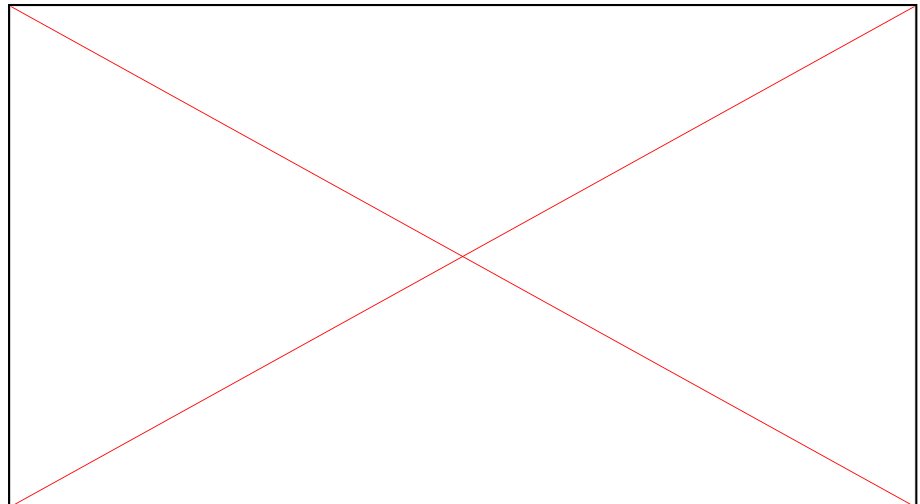
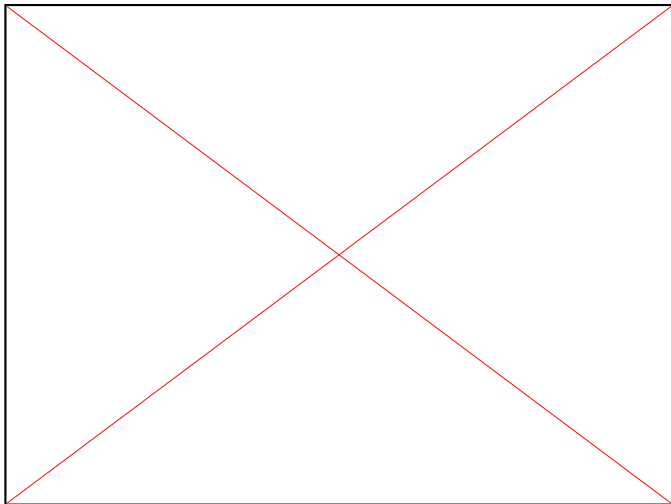
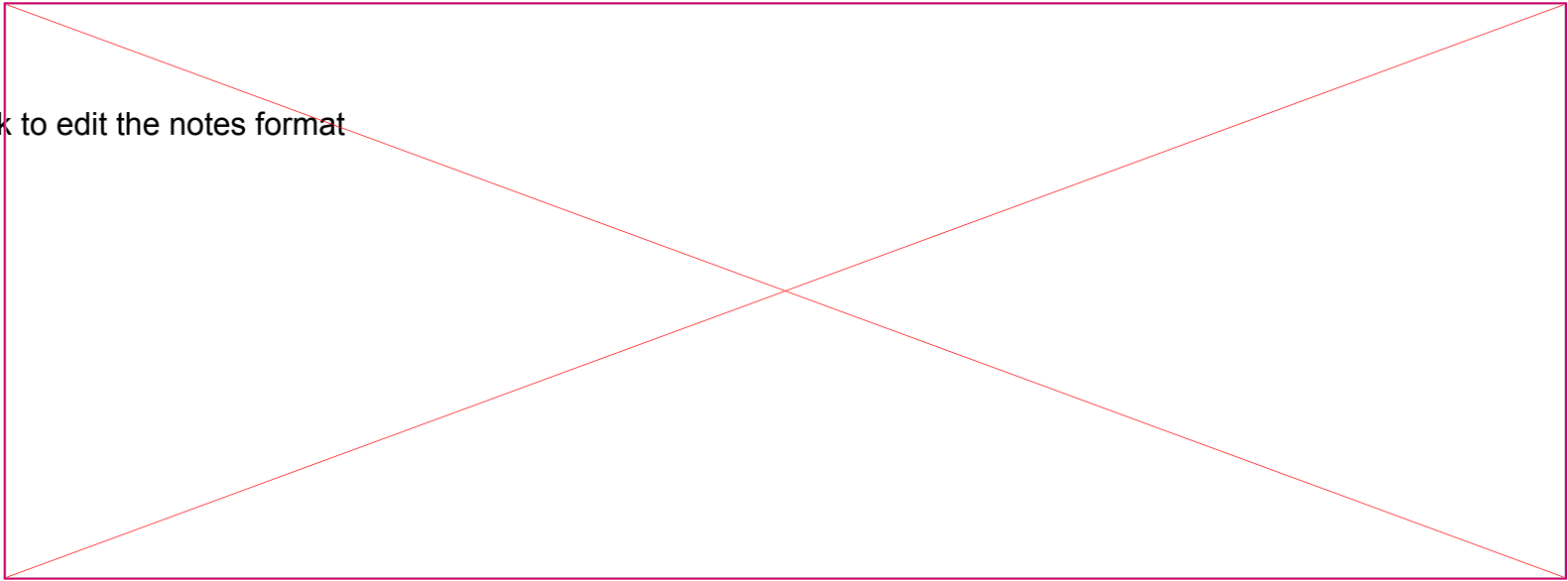
Фитоферритин в пропластидах мезофилла сои, амилопласт

Click to edit the notes format



Этиопласт: структура проламеллярного тела, формирование хлоропласта

Click to edit the notes format



Структура хлоропластного генома риса.

Click to edit the notes format

Два типа генома:

- с двумя IR размером (обычно около 20 kb).

Почти все покрытосеменные

- без IR.

Многие голосеменные, горох, бобы.

Вариации размера:

от 89 kb – сифоновая зеленая водоросль

Codium fragile

до 400 kb - *Acetabularia*

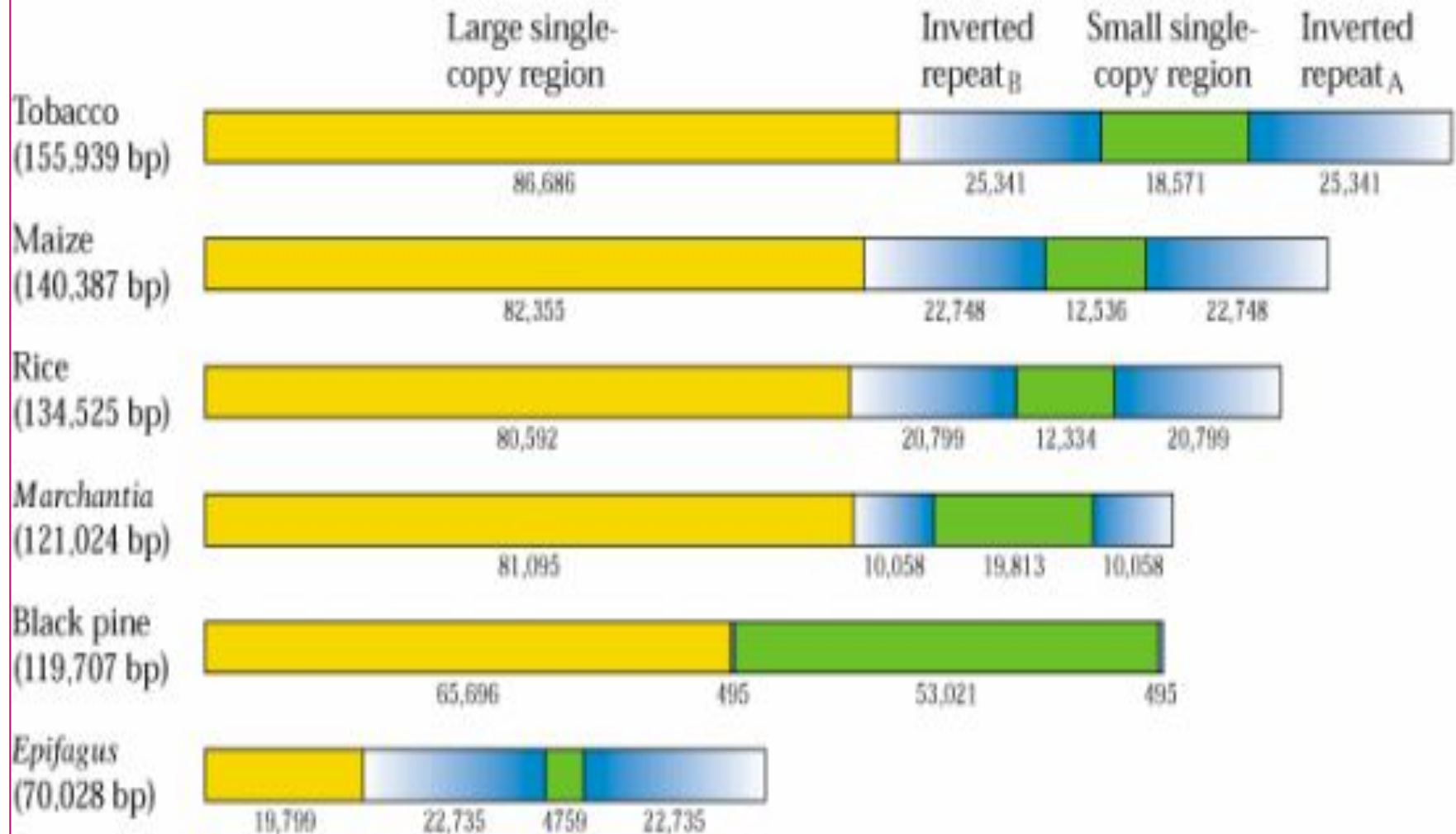
Обычно – 120 – 160 kb

Размеры IR –

от 0,5 до 76 kb

Структура хлоропластного генома разных видов растений

(B)



Сходства и отличия хлоропластного генома и белоксинтезирующей системы от бактериальных

Сходства:

- Кольцевая ДНК
- Содержание G/C аналогично бактериальному (36-40%)
- ДНК не связана с гистонами
- Прокариотический мотив в промоторах генов
- Полицистронное считывание мРНК
- 70S рибосомы
- Синтез белка начинается с N-формилметионина
- Синтез белка ингибируется хлорамфениколом

Различия

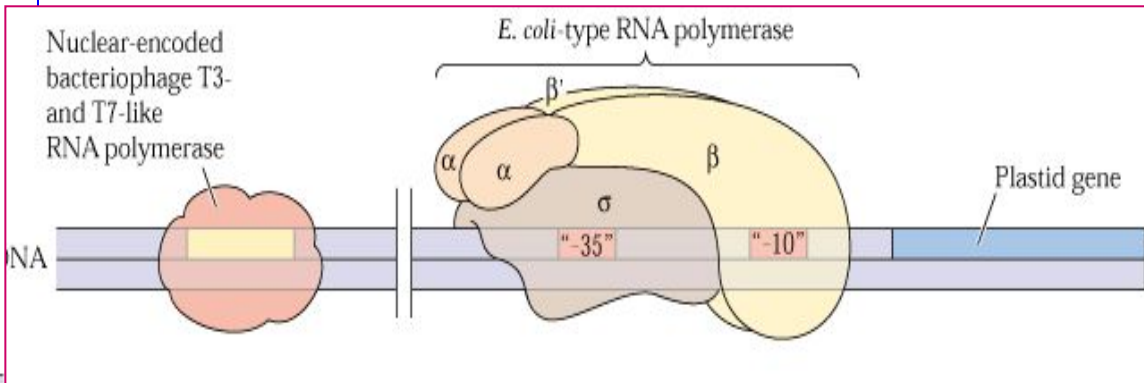
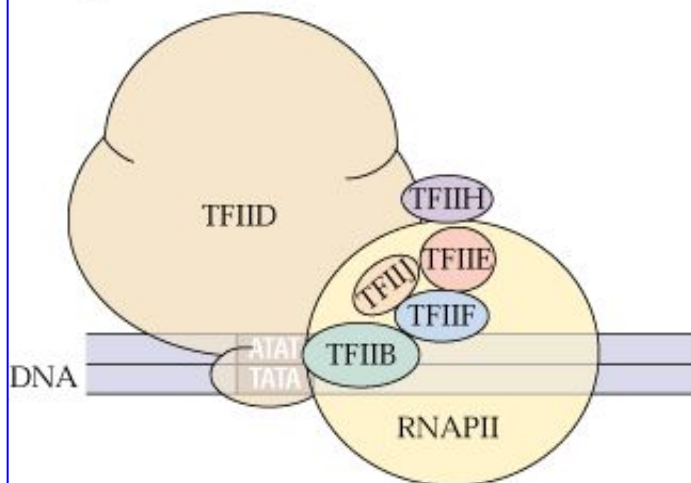
- Наличие интронов, сплайсинга, в том числе транс-сплайсинга
- Метилирование ДНК
- Редактирование мРНК

Гены хлоропластов

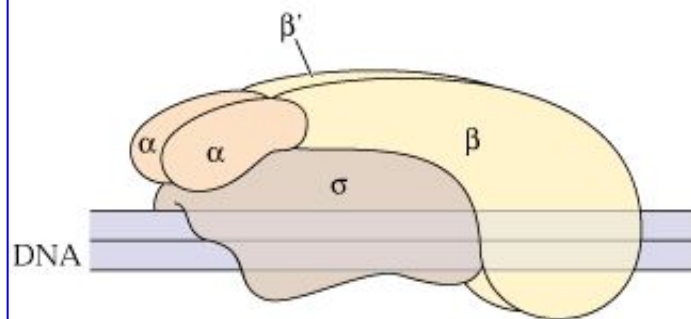
- 1. Транскрипция.** 4 гена субъединиц пластидной РНК-полимеразы (*rpo*)
 - 2. Синтез белка.** - 4 гена рРНК (оперон *rrn*)
 - около 20 генов белков пластидных рибосом (*rpl/rps*)
 - около 30 генов тРНК (*trn*)
 - 3. Фотосинтез.** - 6 генов белков фотосистемы I (*psa*)
 - 14 генов белков фотосистемы II (*psb*)
 - 6 генов ЭТЦ фотосинтеза (*pet*)
 - 6 генов пластидной АТФ-зы (*atp*)
 - ген большой субъединицы Рубиско (*rbcL*)
 - 4. Около 20 генов с другими функциями**
 - гены пластидной НАД Н-дегидрогеназа,
 - гены биосинтеза жирных кислот и др.
- Всего: 110 - 120 генов, из них около 40 – «рабочих»
и около 60 – «домашнего хозяйства».**

Эукариотическая, бактериальная и пластидные РНК-полимеразы, множественность промоторов хлоропластных генов

Eukaryotic RNA polymerase

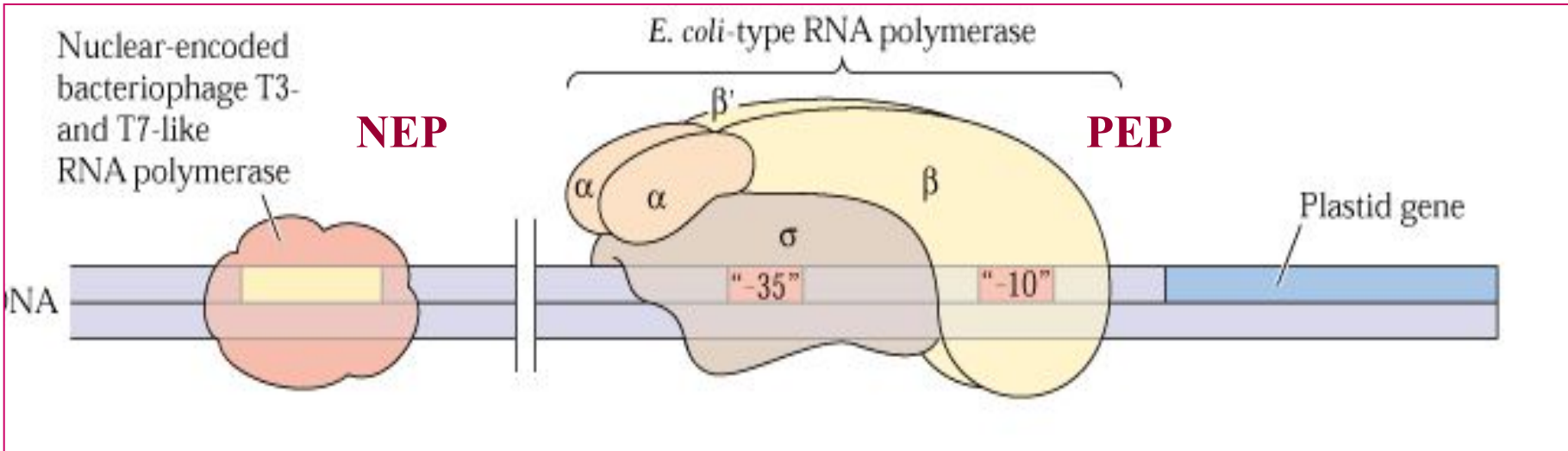


E. coli RNA polymerase



1. Гены со стандартными эубактериальными промоторами (почти все «рабочие» гены). Собственная РНК-полимераза пластид
2. Гены с неканоническими промоторами (гены РНК-полимеразы пластид). РНК-полимераза фагового типа, кодируемая в ядре.
3. Гены с универсальными промоторами (гены «домашнего хозяйства»). Обе РНК-полимеразы

PEP – кодируемая в пластидном геноме и **NEP** – кодируемая в ядре
РНК-полимеразы,



PEP: α и β- субъединицы кодируются в пластидном геноме.
σ – фактор и TF – факторы кодируются в ядре (всего 6 генов)

NEP: один полипептид, ~ 110 kDa. 3 типа NEP кодируются в ядре:

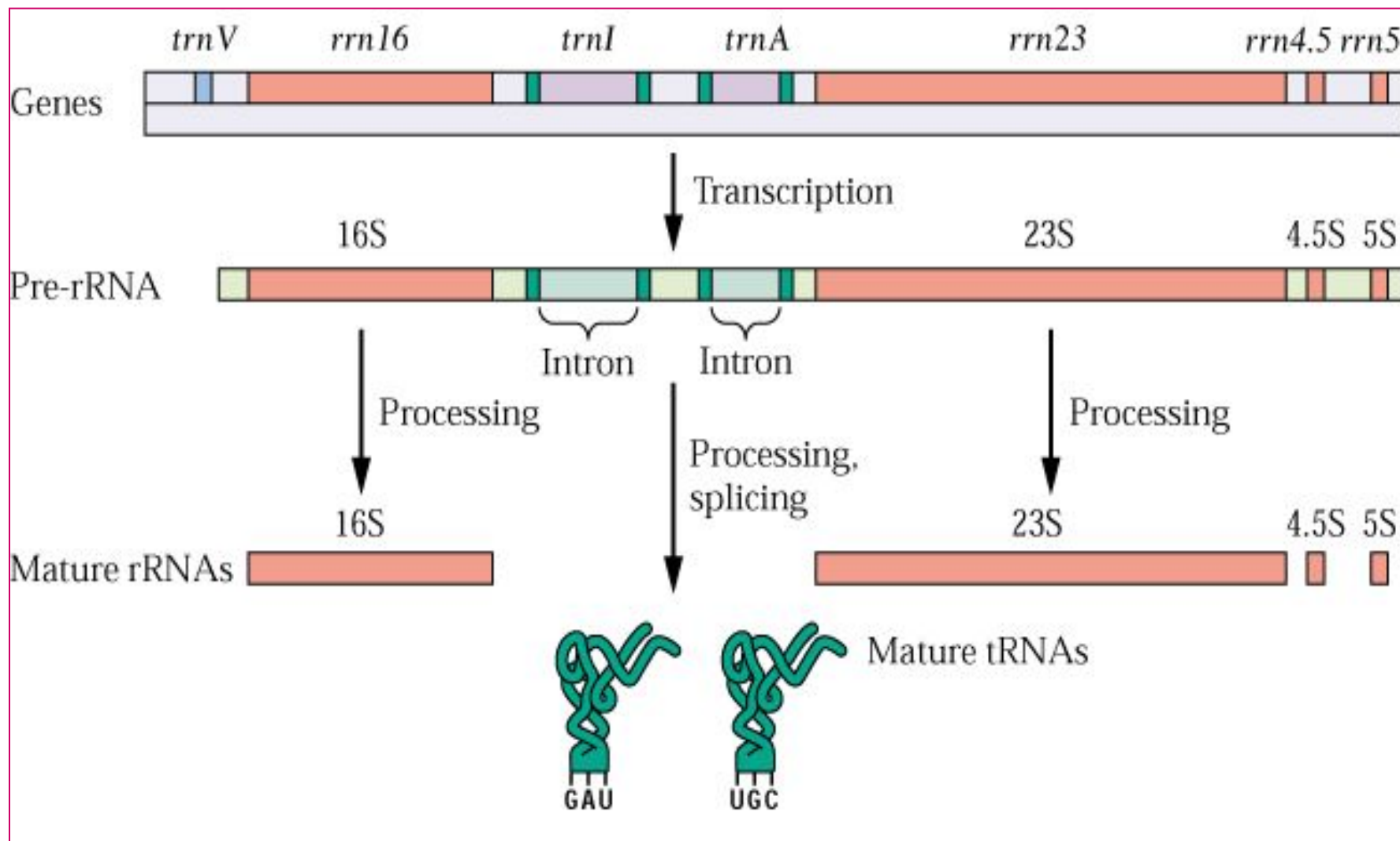
- RpoTr – транспорт в пластиды. Активируется светом.
- RpoTm – транспорт в митохондрии
- RpoTmr – транспорт в обе органеллы. У однодольных, похоже, RpoTmr нет.

Активность в разных органах растения различна.

Например, RpoTm – в меристемах активна, RpoTr – нет.

В цветке RpoTr активна везде, кроме рыльца, где активна RpoTm

Процессинг хлоропластной пре-рРНК растений

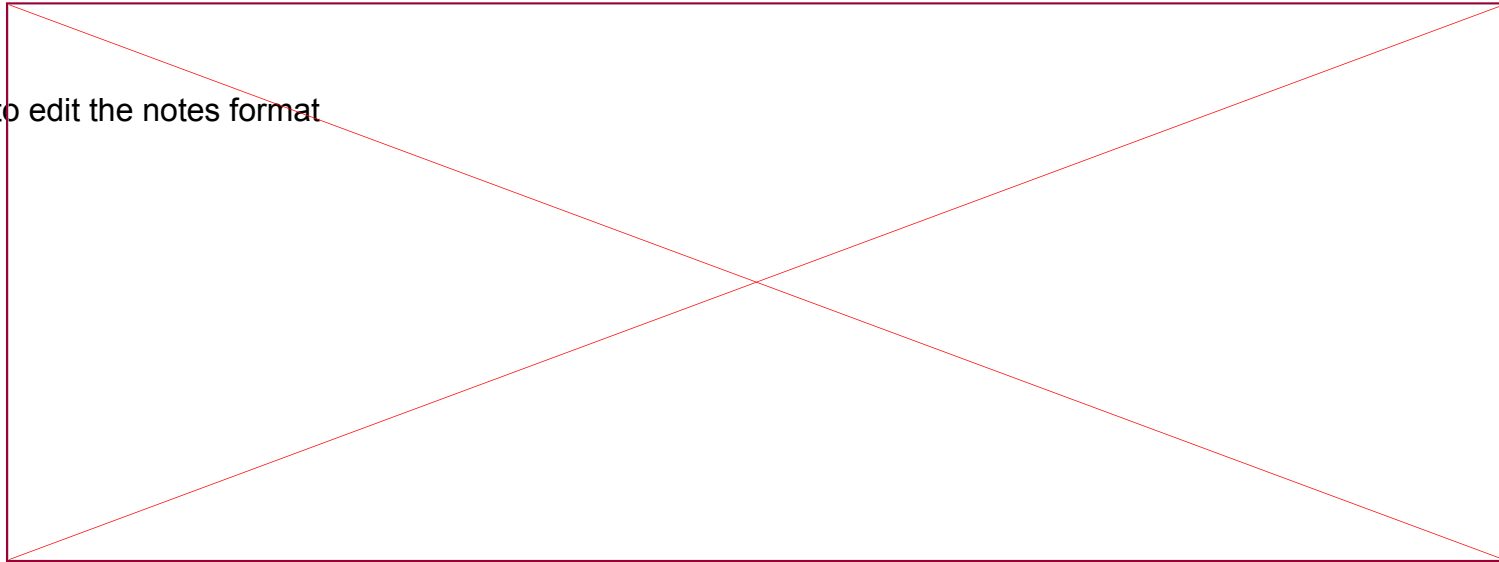


Кстати, такой же порядок генов (*rrn16-trnI-trnA-rrn23*) характерен и для цианобактерий

Структуры зрелой пластидной и ядерной иРНК.

Полиаденилирование выполняет для них функции с точностью до обратного...

Click to edit the notes format



Для стабильности пластидной РНК необходима «шпилька» на 3'-конце и постоянная «работа» (связывание с рибосомами с 5'-конца). Это защищает 3' и 5'-конец РНК от рибонуклеаз.. В то же время, 3'-шпилька в определенных условиях (например, в темноте) может служить сигналом для атаки рибонуклеаз. Таким же сигналом может служить и полиаденилирование 3'-конца пластидной РНК....

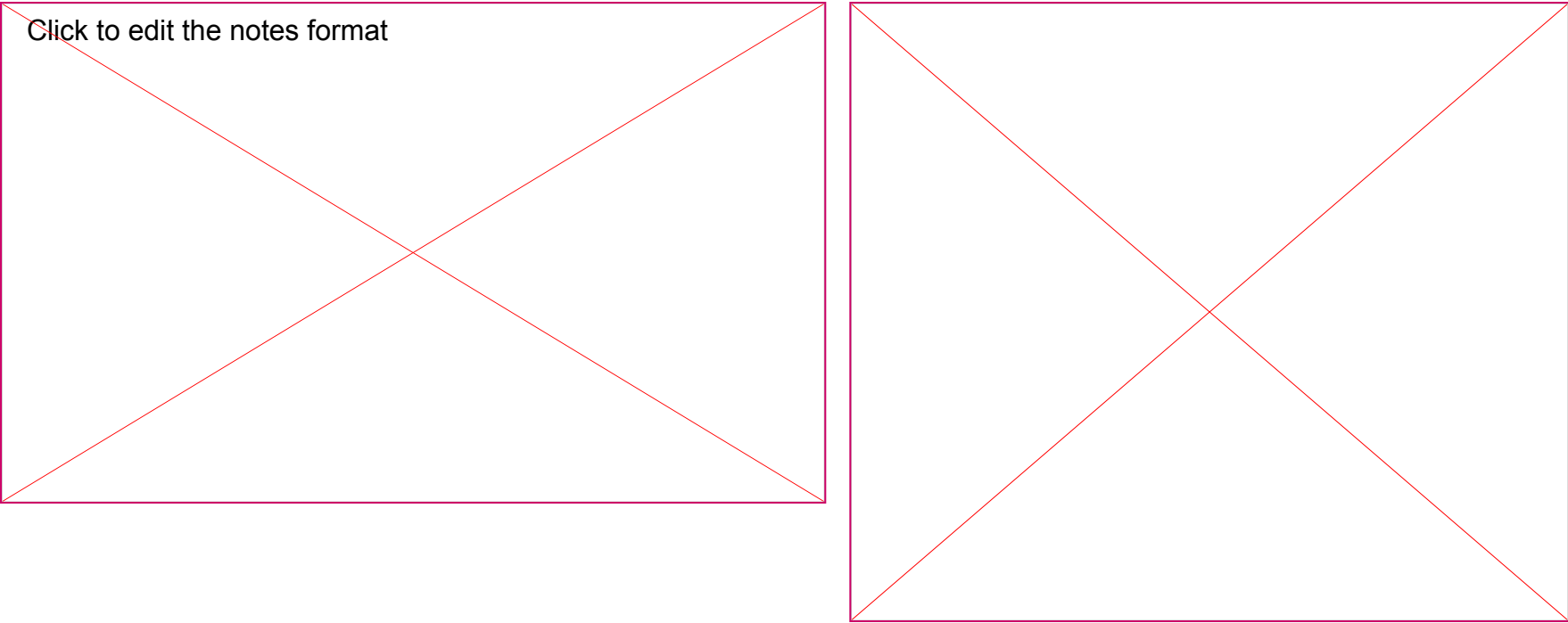
Функции пластид

- **Фотосинтез – NB**
- **Синтез:** все жирные кислоты, многие аминокислоты, синтез пуринов и пиримидинов, альтернативный путь синтеза изопреноидов (в том числе в спецпластидах – лейкопластах), шикиматный путь (параллельно цитозолю)
- **Восстановление** нитритов, сульфатов
- **Запас** (крахмал) – временный (хлоропласты), долгосрочный (амилопласты)
- **Экологические** – окраска плодов, цветков (хромопласты – каротиноиды).

**Пластиды – «фабрика горячих и вредных производств»
растительной клетки**

Растительные митохондрии имеют разнообразный размер и форму

Click to edit the notes format



Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format