

ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ВЕЩЕСТВ ПО РАСТЕНИЮ

- 1. Введение. Организация системы транспорта у растений.**
- 2. Передвижение элементов минерального питания по растению.**
- 3. Транспорт органических веществ.**

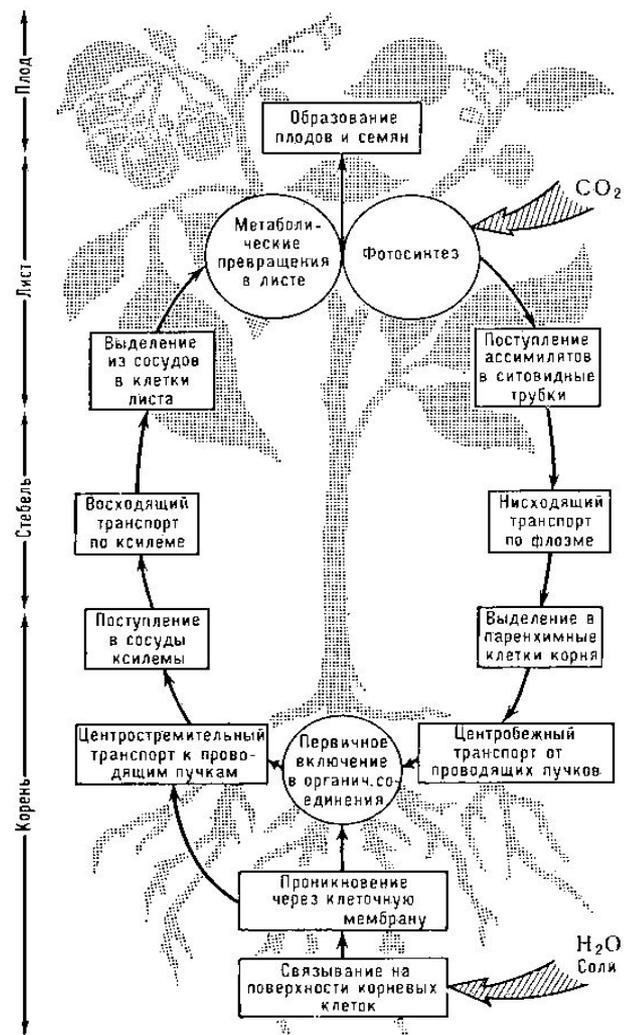
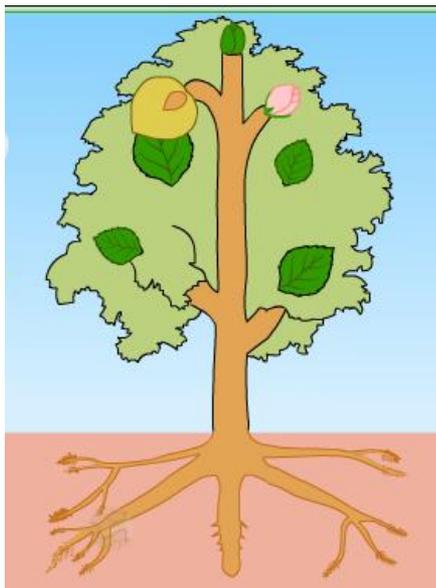
I. Роль изучения транспорта веществ:

- теоретическое значение как одна из проблем физиологии
- практическое значение
- взаимосвязь отдельных органов в единую физиологическую систему

Донорно-акцепторные связи между органами:

- органы, поставляющие питательные вещества – **доноры**,
- органы, потребляющие – **акцепторы**.

Назовите доноры минеральных питательных веществ и органических веществ.

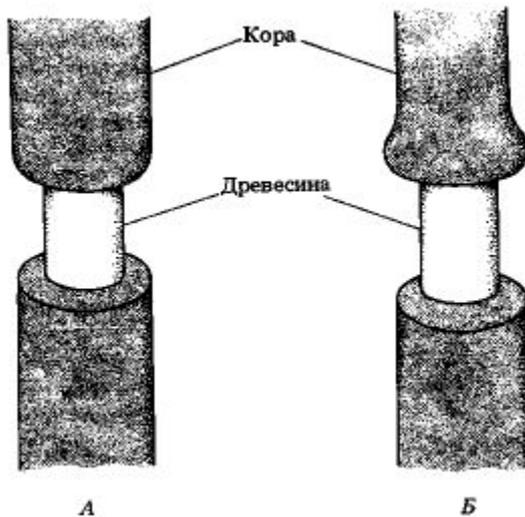




Марчелло Мальпиги
1628-1694

Большую роль в выяснении путей передвижения отдельных питательных веществ сыграл прием кольцевания растений.

Этот прием был применен в конце XVII в. (1679 г.) итальянским исследователем М. Мальпиги, который высказал предположение, что вещества их почвы поступают в корни, затем по древесине в листья и стебли (сырой сок), а после переработки – в обратном направлении по коре.



Опыт Мальпиги со снятием кольцеобразного куска коры со стебля (А). Набухание ткани над кольцом (Б)

Организация системы транспорта

Внутриклеточный

Ближний: в пределах одного органа, по неспецифическим тканям, на короткие расстояния.

Дальний: между разными органами, по специализированным тканям. Транспорт по ксилеме и флоэме.

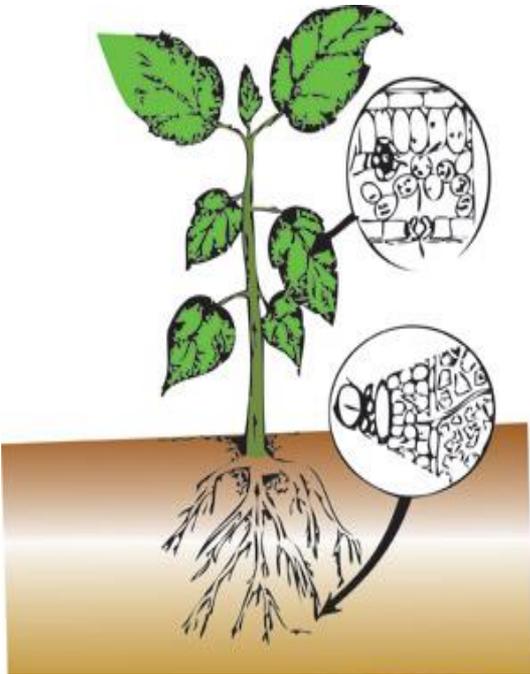
II. Передвижение элементов минерального питания по растению

Назовите акцепторы минеральных веществ

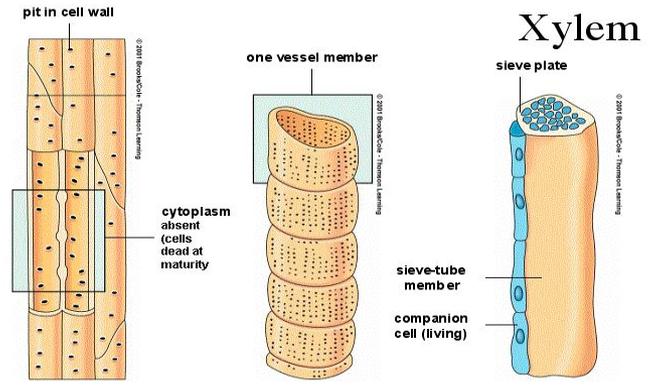
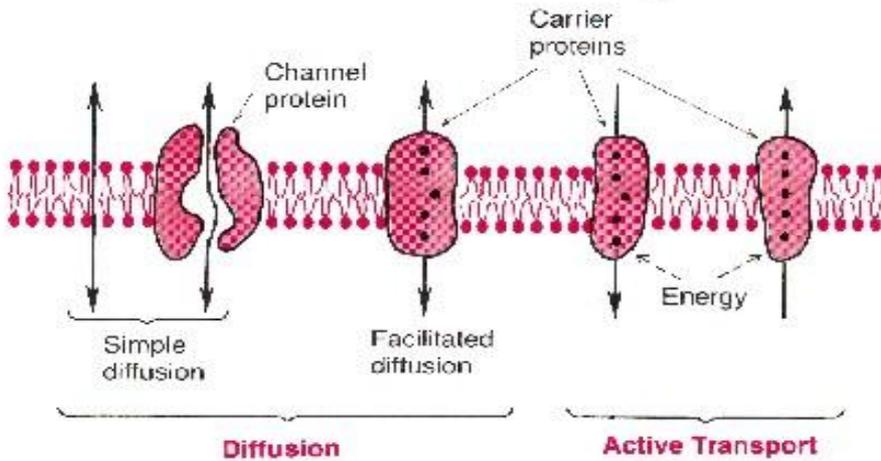
Как осуществляется внутриклеточный транспорт

Назовите системы ближнего транспорта

По какой ткани осуществляется дальний транспорт минеральных веществ

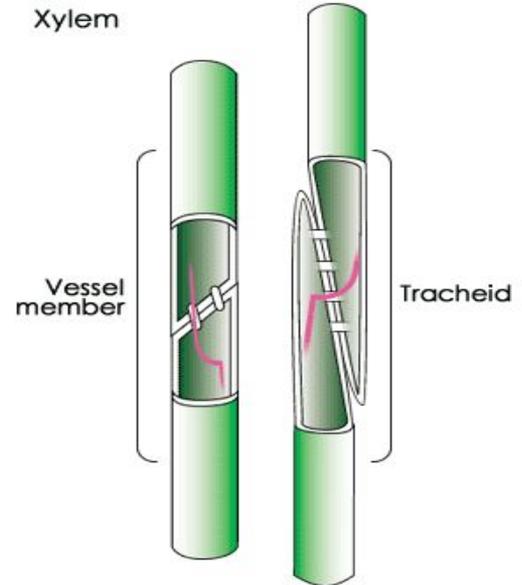
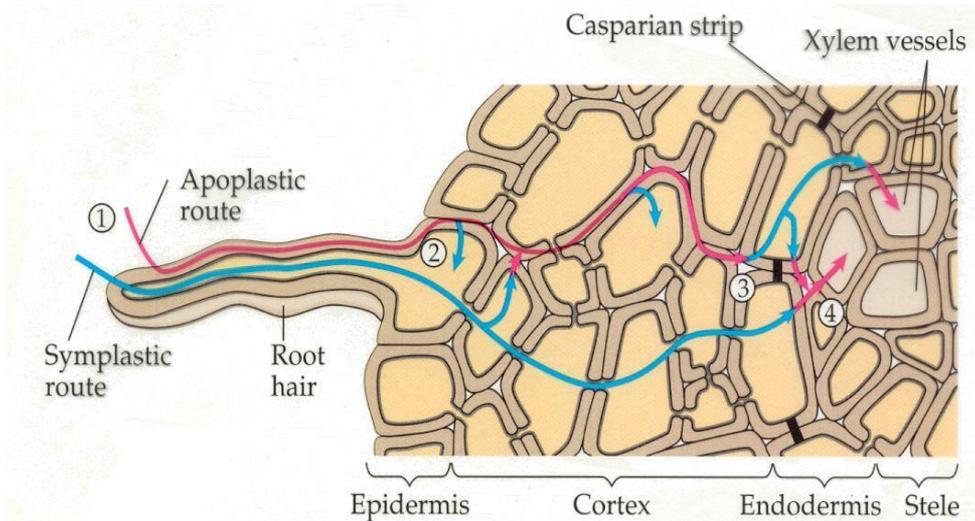


Cell Membrane Transport



Conducts water and dissolved minerals

Conducting cells are dead and hollow at maturity



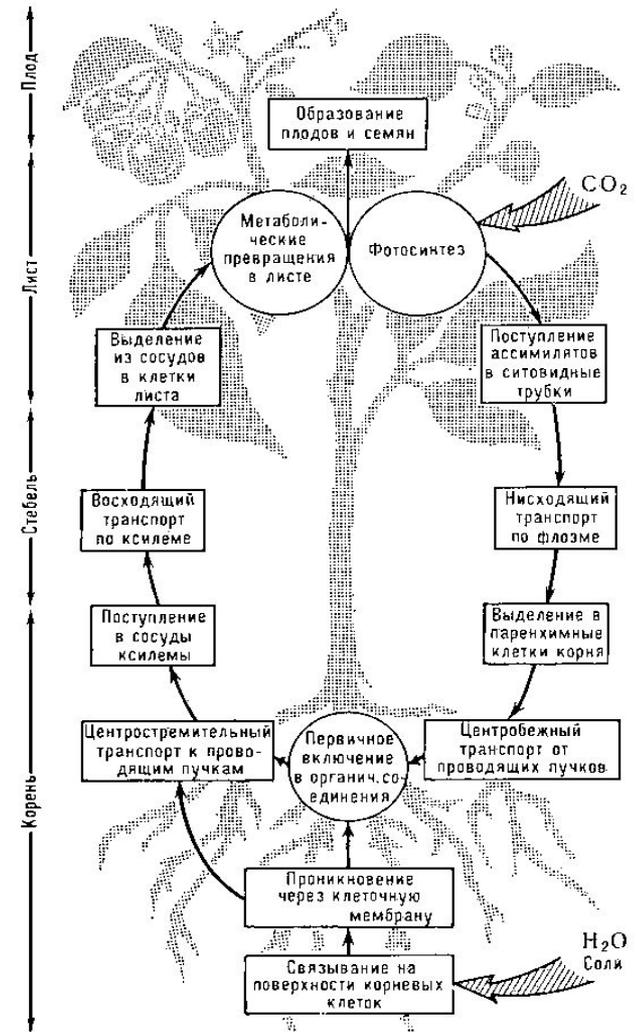
Круговорот минеральных веществ в растении. Реутилизация

Для растительного организма характерна экономность в использовании питательных веществ, что выражается в способности к **реутилизации** (повторному использованию) основных элементов минерального питания.

Повторному использованию подвергается большинство элементов минерального питания, в том числе P, N, K, Mg и др.

Элементы, которые практически не реутилизируются - Ca и B, что связано с малой подвижностью и плохой растворимостью соединений, в состав которых входят эти элементы.

Рециркуляция



В растении существуют два градиента распределения минеральных веществ:

- для элементов, подвергающихся повторному использованию, характерен **базипетальный градиент распределения**, т. е. чем выше расположен лист и чем он моложе, тем больше в нем азота, фосфора, калия.
- для элементов, не подвергающихся повторному использованию (кальций, бор), характерен **акропетальный градиент распределения**. Чем старше орган, тем больше содержание в нем указанных элементов.

Практическое значение исследования распределения элементов питания по органам растения:

- по отношению к элементам, подвергающимся повторному использованию, признаки голодания будут проявляться, прежде всего, на более старых листьях,
- по отношению к элементам, не подвергающимся реутилизации, признаки дефицита проявляются в первую очередь на молодых листьях.

Следовательно, градиент страдания растений направлен в противоположную сторону градиента распределения.

III. ТРАНСПОРТ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

1. Распределение ассимилятов в растении.
2. Пути передвижения ассимилятов.
3. Механизм транспорта.
4. Регуляция транспорта.

1. Распределение ассимилятов в растении

**Передвижение ассимилятов
подчиняется схеме донор-акцептор**

Доноры (источники)
ассимилятов -
фотосинтезирующие
ткани, запасающие ткани
(органы).

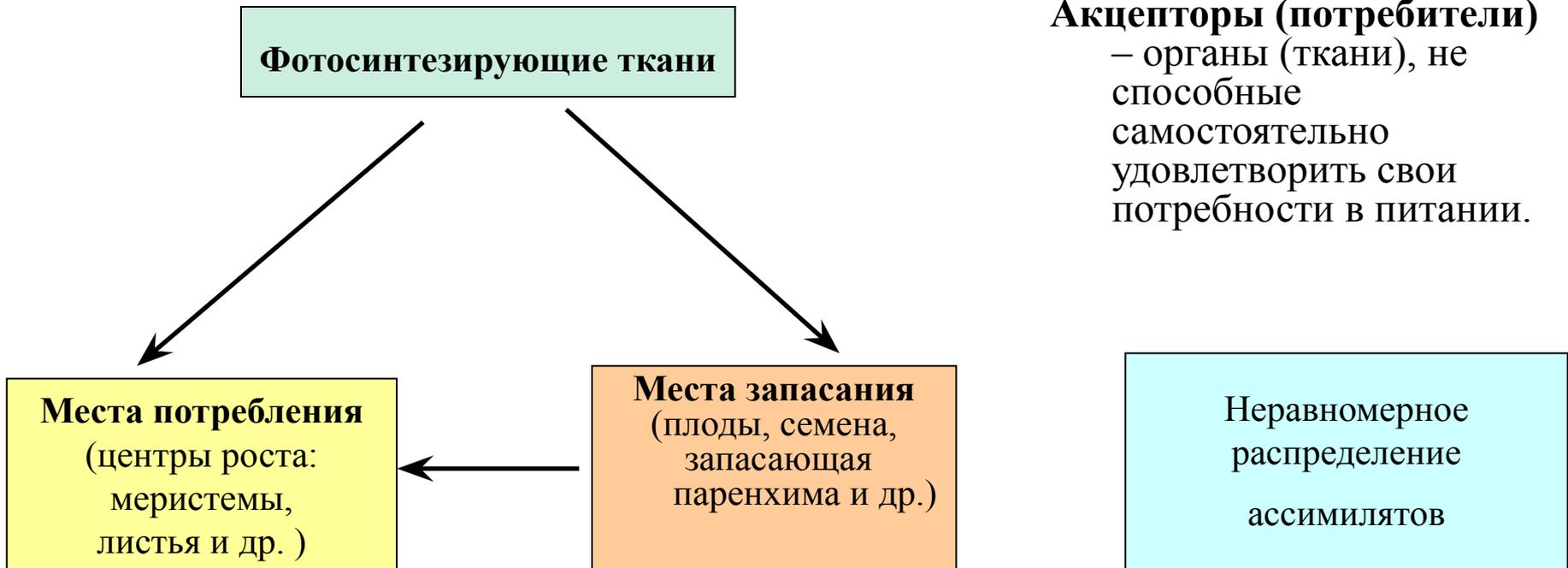
Фотосинтезирующие ткани

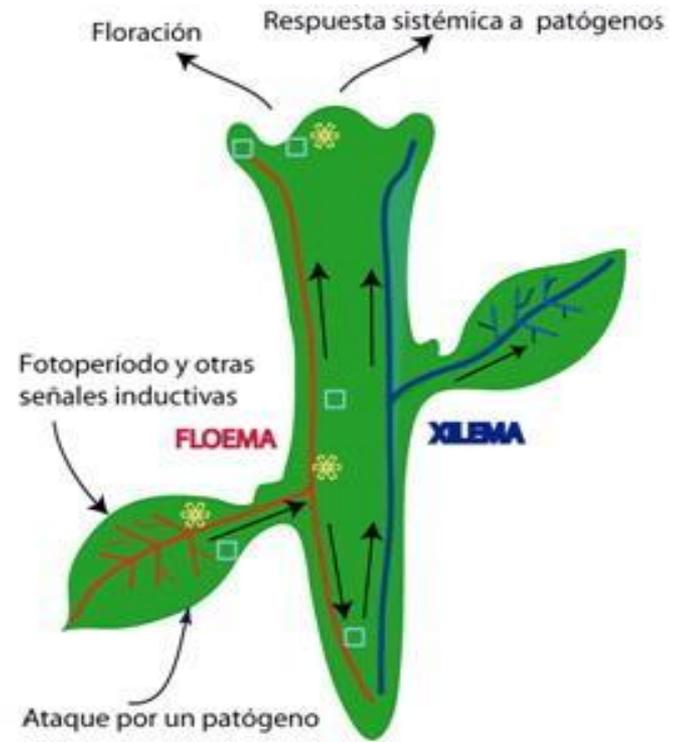
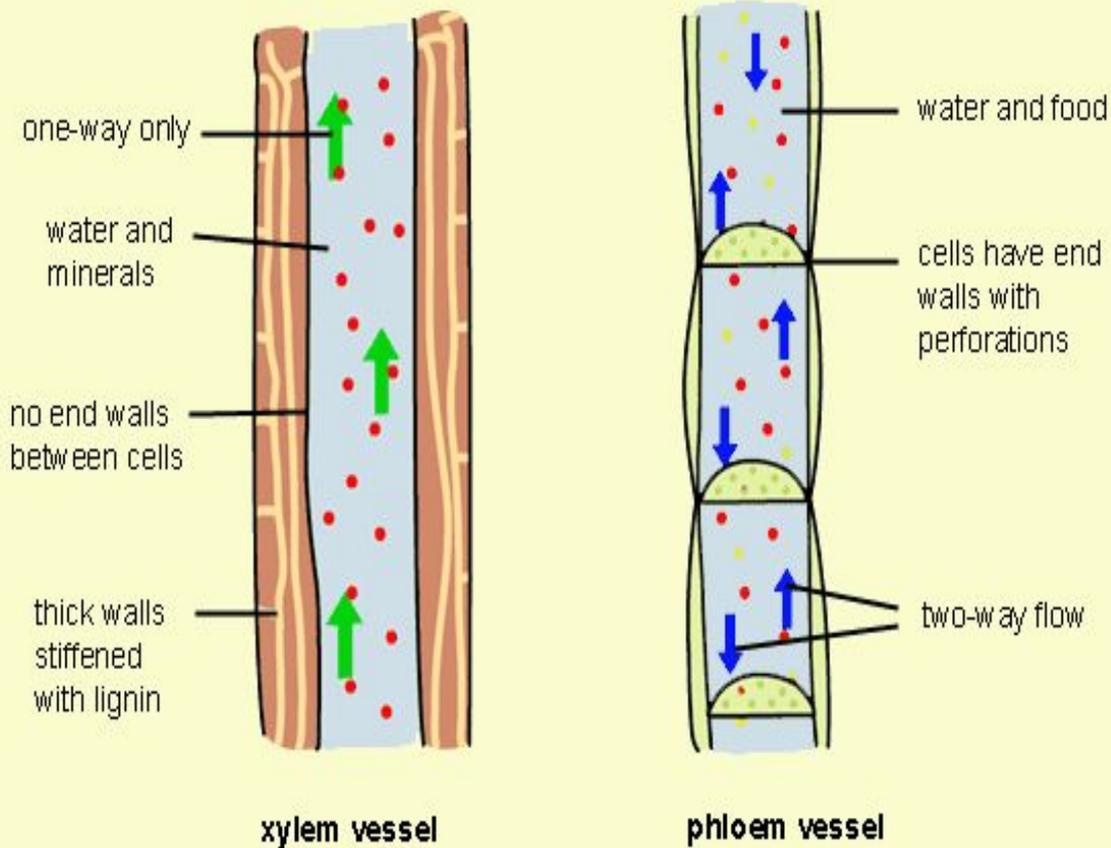
Акцепторы (потребители)
– органы (ткани), не
способные
самостоятельно
удовлетворить свои
потребности в питании.

Места потребления
(центры роста:
меристемы,
листья и др.)

Места запасаания
(плоды, семена,
запасающая
паренхима и др.)

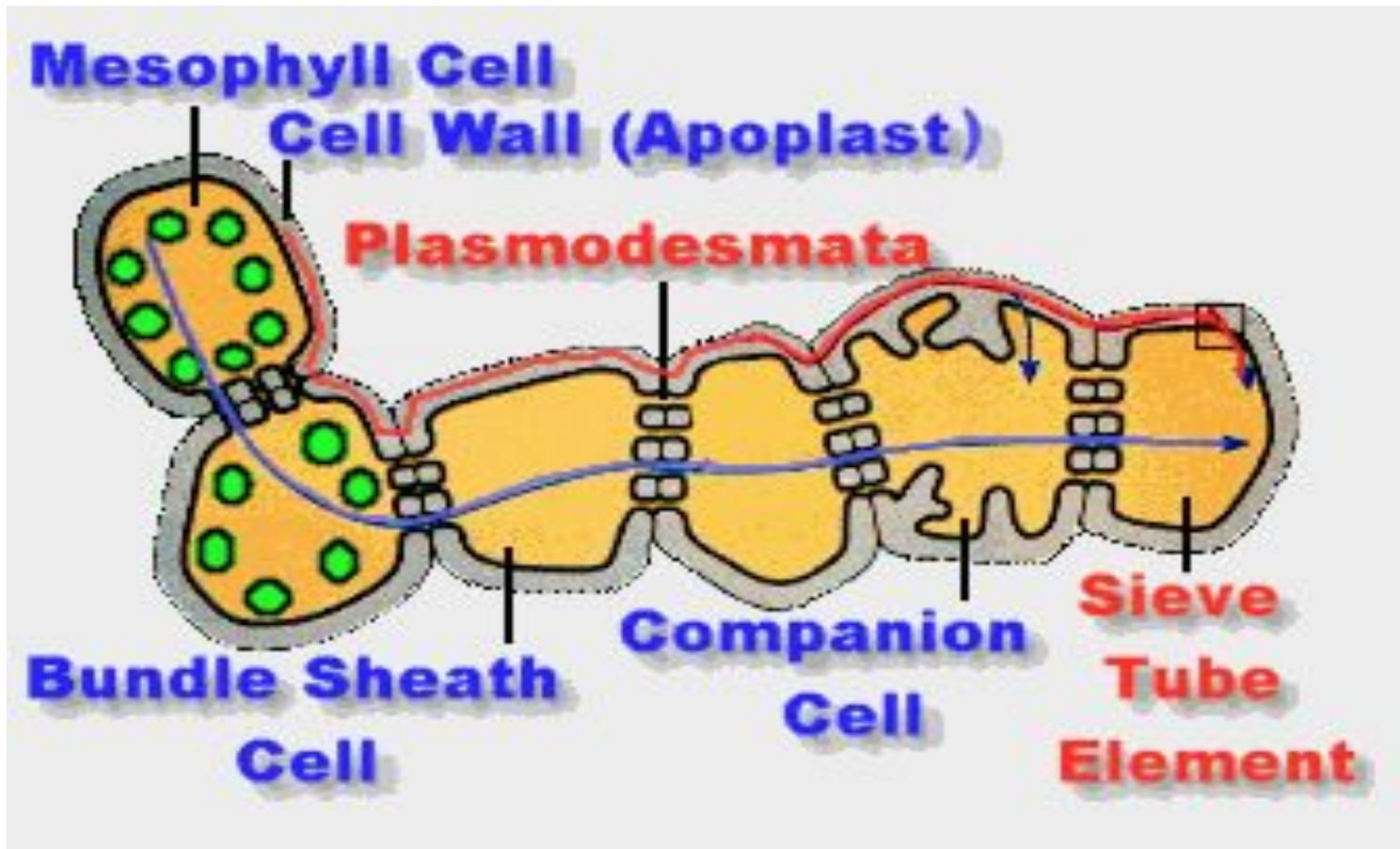
**Неравномерное
распределение
ассимилятов**





Движение по флоэме не имеет определенного направления в отличие от ксилемы, зависит от расположения донора и акцептора.

2. Пути передвижения ассимилятов



2.1. Внутриклеточный транспорт

Это транспорт ассимилятов из хлоропластов в цитоплазму
Крахмал → глюкоза → фруктозодифосфат → триозы.

Триозы выходят из хлоропластов с помощью транспортных белков с затратой энергии.

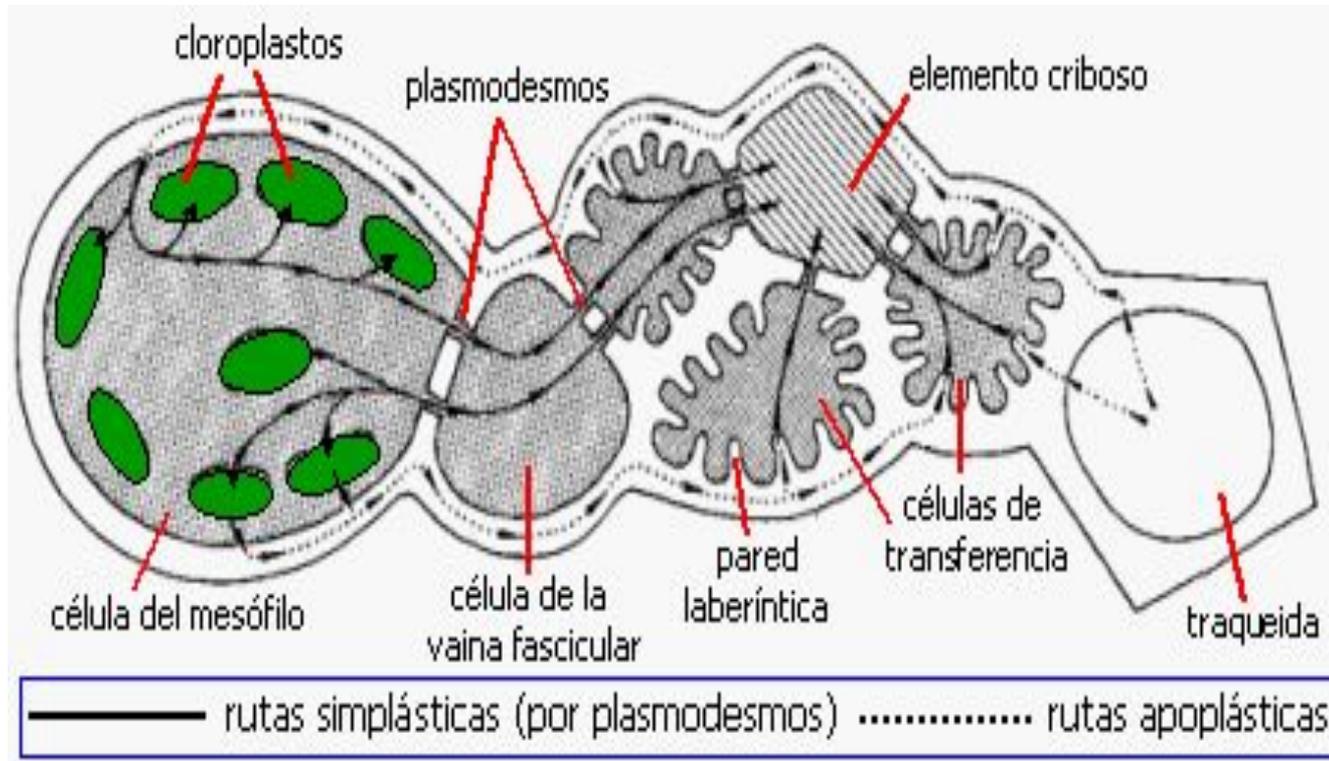
В цитоплазме триозы расходуются на дыхание, синтез гексоз, сахарозы, крахмала. Это позволяет снижать концентрацию триозофосфатов в цитоплазме, что способствует их притоку по градиенту концентрации.

Образующаяся сахароза не накапливается в цитоплазме, а экспортируется или временно аккумулируется в вакуолях, образуя резервный пул

2.2. Межклеточный паренхимный транспорт

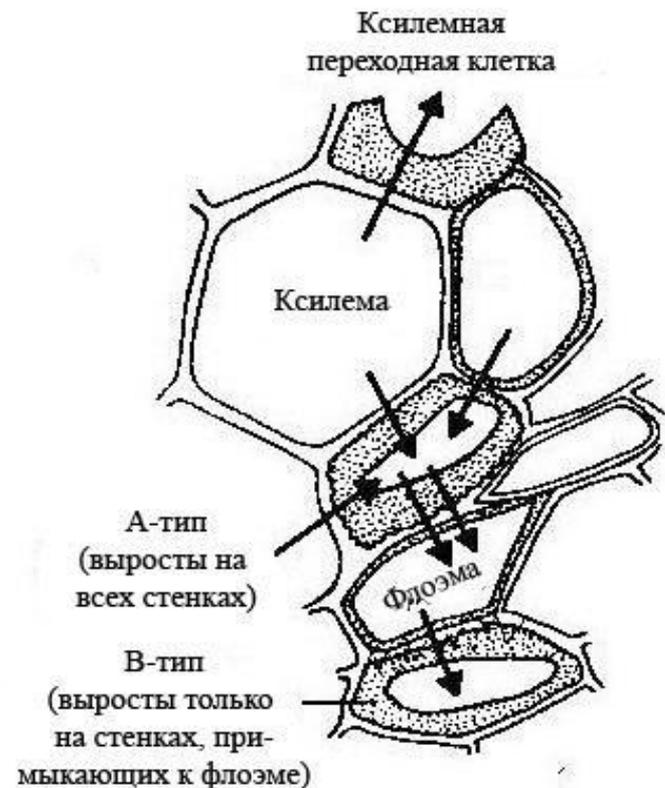
Ближний транспорт может осуществляться двумя путями — по плазмодесмам (симпласту) или по апопласту.

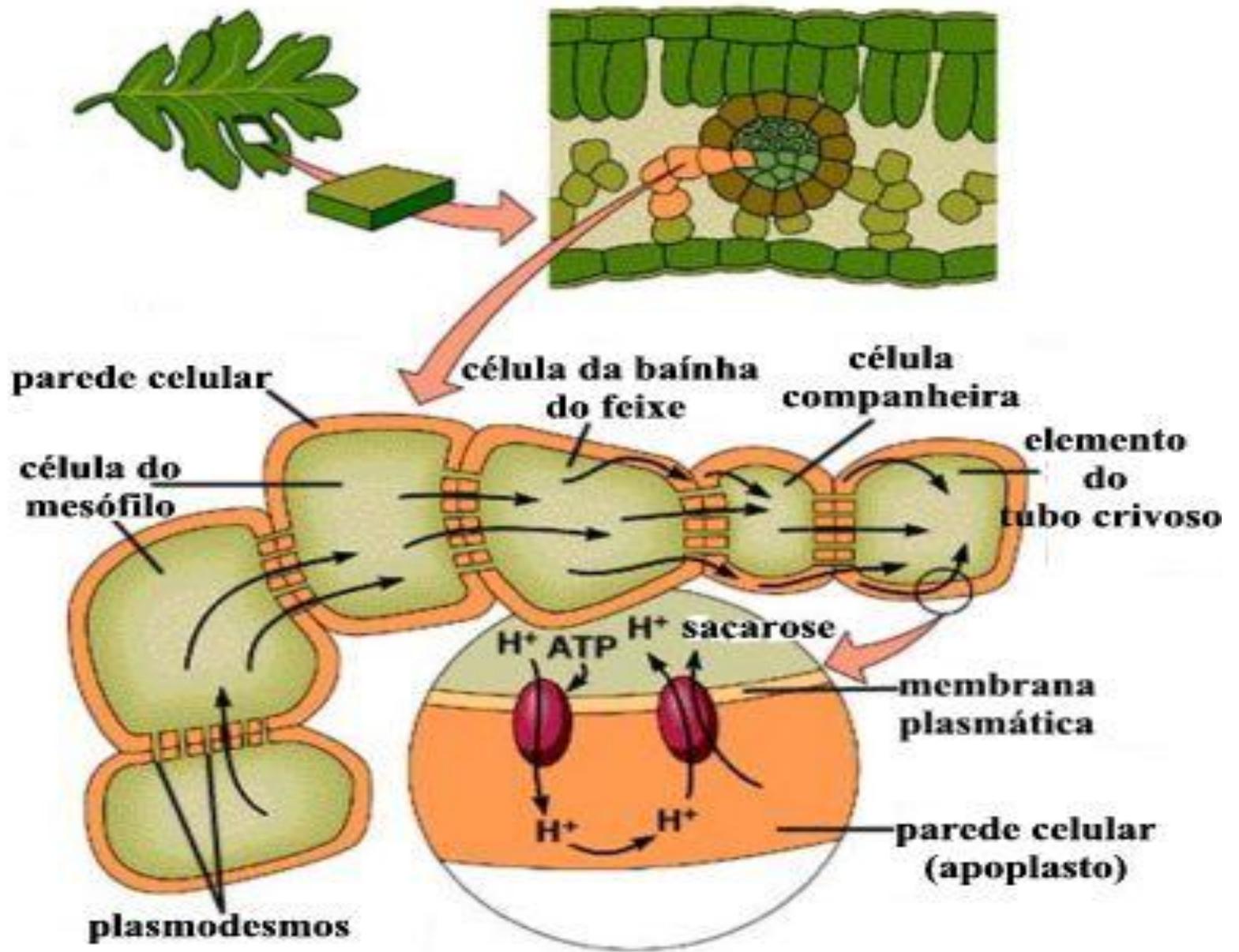
Скорость перемещения ассимилятов в паренхимных тканях 10—60 см/ч



Из апопласта и симпласта ассимиляты поступают в сопровождающие (передаточные) клетки (посредники между клетками листовой паренхимы и ситовидными трубками)

Имеют многочисленные выросты клеточных стенок. Благодаря выростам поверхность плазмалеммы возрастает. Одновременно это увеличивает емкость свободного пространства и создает благоприятные условия для абсорбции веществ





2.3. Флоэмный транспорт

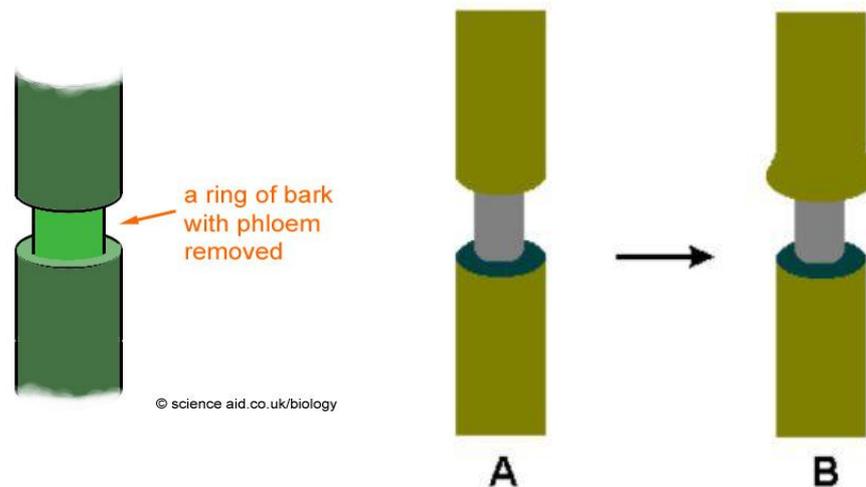
Доказательства флоэмного транспорта

1) Кольцевание, 1679 г.
итал. Марчелло
Мальпиги.

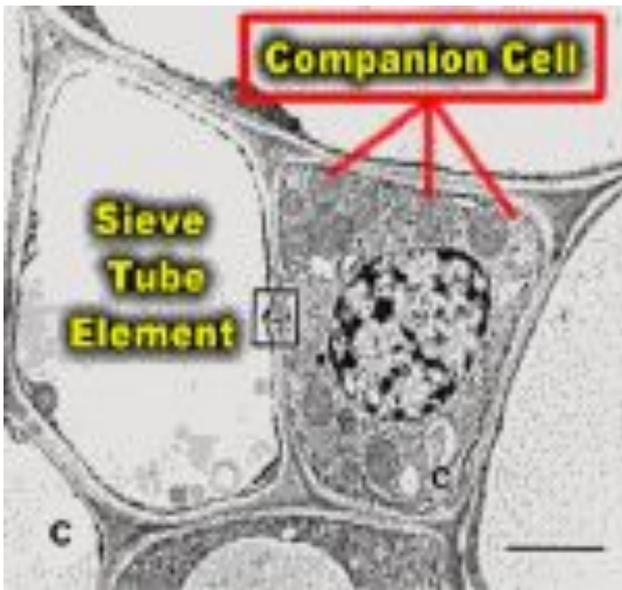
2) Использование
радиоактивных
меток $^{14}\text{CO}_2$.

3) Метод получения
флоэмного сока с
помощью сосущих
насекомых.

Эта методика получила
название афидная (от лат.
тли — *Aphidoidea*)



Выделяется медвяная роса - падь

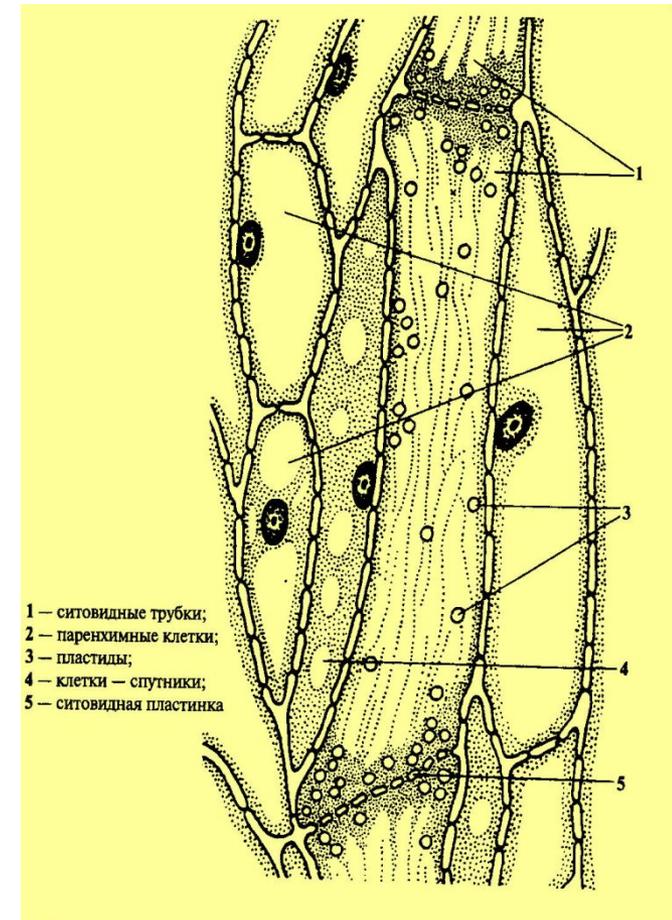


Структура флоэмы

В отличие от ксилемы флоэма представляет собой совокупность живых клеток.

Флоэма состоит из нескольких типов клеток, специализированных в метаболическом и структурном отношении:

- ситовидные трубки (ситовидные клетки) - транспортная функция
- клетки-спутницы - энергетическая роль
- передаточные клетки.





célula companheira

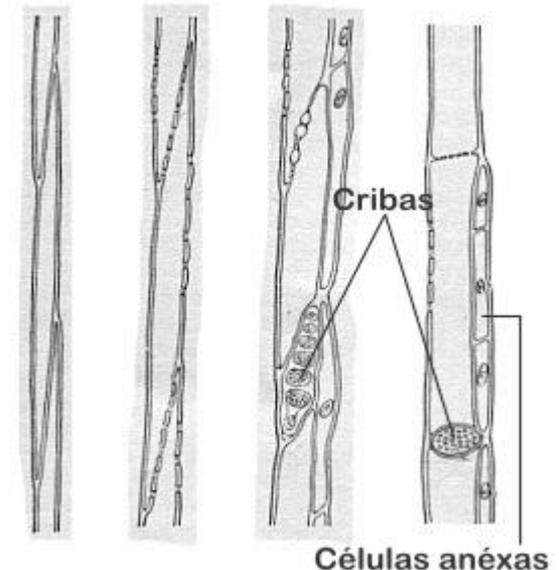
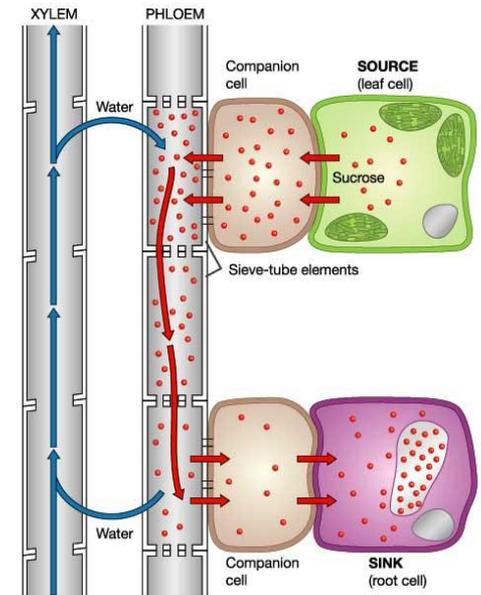
célula do tubo crivoso

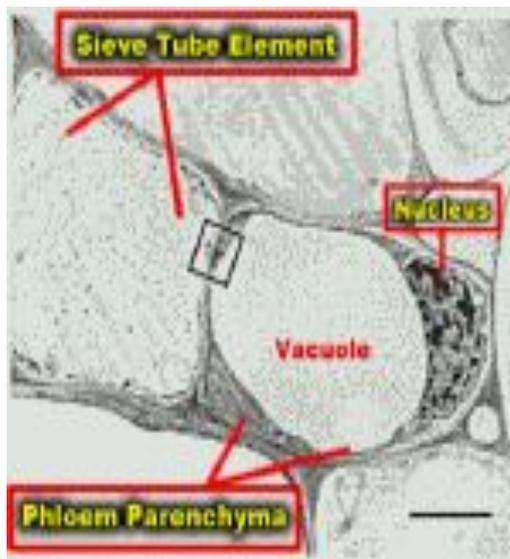
placa crivosa

5 μm

Особенности ситовидных трубок

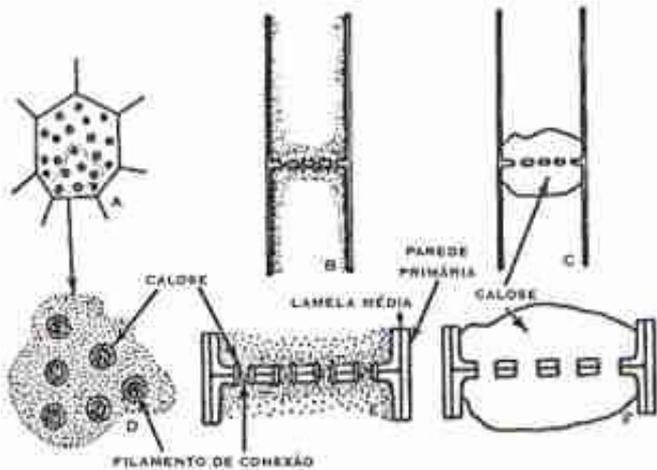
- протопласты с ограниченной метаболической активностью;
- система межклеточных контактов посредством ситовидных полей СП;
- вертикальные ряды вытянутых цилиндрических клеток с тонкими клеточными оболочками.
- клетки (членики) отделены друг от друга ситовидными пластинками, пронизанными многочисленными порами, через которые проходят цитоплазматические тяжи.





По мере развития структура СТ претерпевает изменения:

- распадается ядро;
- уменьшаются размеры и количество пластид и митохондрий;
- исчезает тонопласт, на месте вакуоли образуется полость
- ЭПР гладкий, в виде стопок.
- цитоплазма располагается в пристенном слое.
- плазмалемма сохраняется в зрелых клетках



В порах ситовидных пластинок откладывается углевод каллоза и флоэмный белок (Ф-белок)

Клетки-спутницы

Примыкают к каждой клетке
ситовидной трубки.

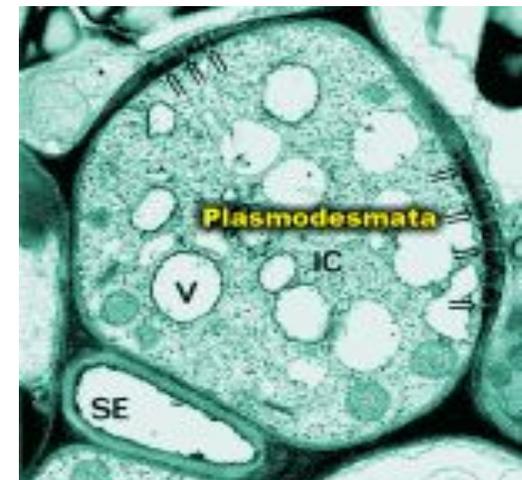
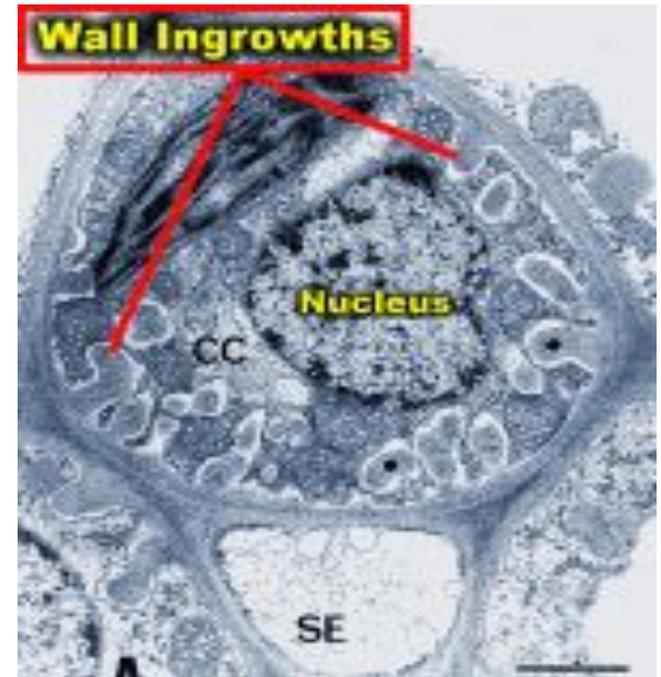
Богаты цитоплазмой

Крупное ядро и ядрышко,

Многочисленные митохондрии и
рибосомы

Имеют высокую
метаболическую активность,
снабжают ситовидные трубки
АТФ.

Клетки- спутницы и ситовидные
трубки связаны между собой
плазмодесмами.



Состав флоэмного экссудата

Composition of White Lupine Xylem & Phloem Sap		
Substance	Xylem Sap (mg l-1)	Phloem Sap (mg l-1)
Sucrose	*	154,000
Amino acids	700	13,000
Potassium	90	1,540
Sodium	60	120
Magnesium	27	85
Calcium	17	21
Iron	1.8	9.8
Manganese	0.6	1.4
Zinc	0.4	5.8
Copper	T	0.4
Nitrate	10	*
pH	6.3	7.9

Концентрация флоэмного сока колеблется в пределах от 8 до 20%. На 90% или более флоэмный сок состоит из углеводов, в основном из дисахарида сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$). У некоторых видов наряду с сахарозой транспортной формой углеводов служат: олигосахара (**раффиноза, вербаскоза, стахиоза**) – Березовые, Мальвовые, Вязовые, Тыквенные некоторые спирты (**маннит** - Маслиновые, **сорбит** - Розоцветные, **дульцит** - Бересклетовые). Моносахариды (глюкоза и фруктоза) составляют малую долю передвигающихся углеводов. Азотистые вещества транспортируются по флоэме в виде аминокислот и амидов. Во флоэмном соке обнаружены низкомолекулярные белки, органические кислоты, фитогормоны, витамины, неорганические ионы.

Отличительной особенностью флоэмного сока является слабощелочная реакция (pH = 8,0-8,5), высокая концентрация АТФ и ионов K^+ .

Особенности передвижения по флоэме

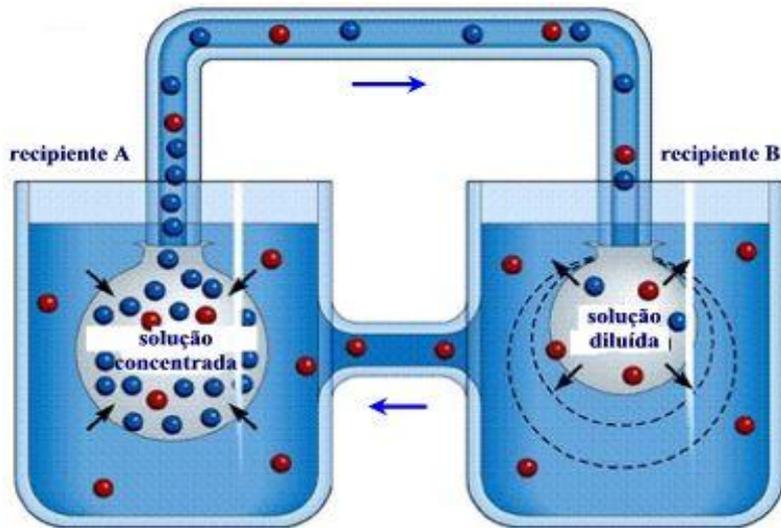
- Высокая скорость - 50—100 см/ч (по симпласту 6 см/час).
- Большое количество переносимого материала. За вегетационный период вниз по стволу может пройти 250 кг сахара.
- Перенос на большие расстояния – до 100 м.
- Относительная масса флоэмы не велика.
- Ситовидные трубки очень тонкие – диаметр 30 мкм (толщина волоса – 60-71 мкм).

Влияние условий внешней среды

Транспорт веществ по флоэме зависит:

- **от температуры.** Оптимальная температура 20 и 30 °С.
- **условия минерального питания** (бор, фосфор, калий ускоряют скорость передвижения сахарозы).
- **вода**
- **связь с метаболизмом:** тормозится в присутствии всех метаболических ингибиторов (азид натрия, йодацетат, динитрофенол и др.) и ускоряется при добавлении АТФ.

Механизм флоэмного транспорта



Гипотеза «массового тока»
Выдвинута в 1930 г. Э. Мюнхом.

Ассимиляты транспортируются от источника (А) к месту потребления (В) по градиенту тургорного давления, возникающего в результате осмоса.

Между В и А создается осмотический градиент, который в СТ превращается в градиент гидростатического давления. В результате во флоэме возникает ток жидкости под давлением от листа к корню.

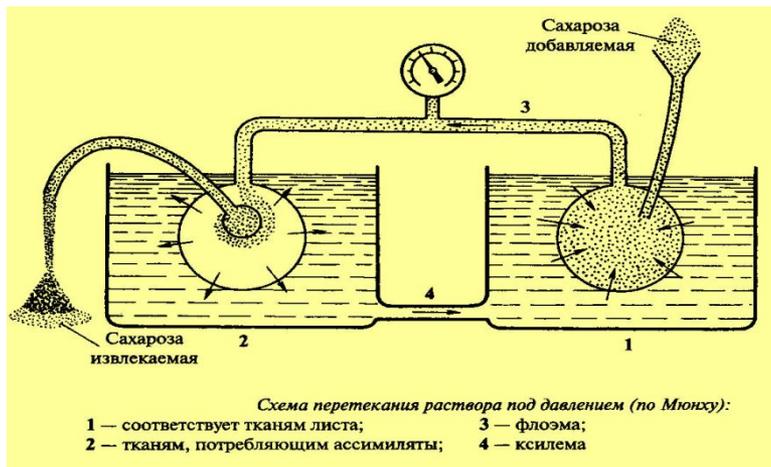


Схема перетекания раствора под давлением (по Мюнху):

- 1 — соответствует тканям листа;
- 2 — тканям, потребляющим ассимиляты;
- 3 — флоэма;
- 4 — ксилема

Гипотеза электроосмотического потока

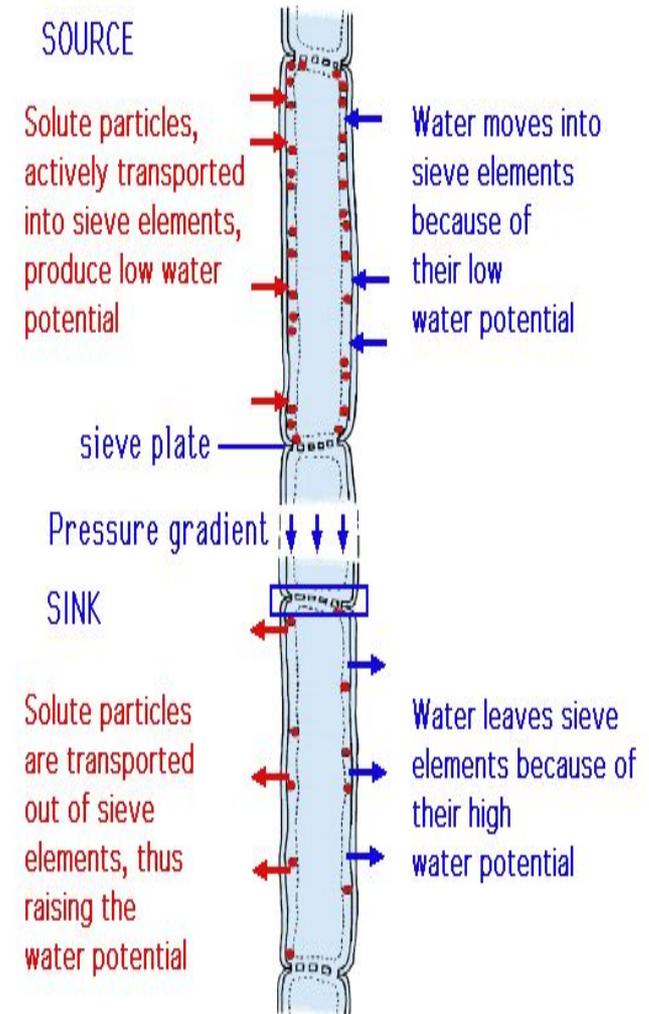
Выдвинута в 1979 году Д. Спаннером

На каждой ситовидной пластинке возникает электрический потенциал, что связано с циркуляцией ионов K^+ .

K^+ активно (с затратой энергии АТФ) поглощается выше ситовидной перегородки и проникает через нее в нижний членик.

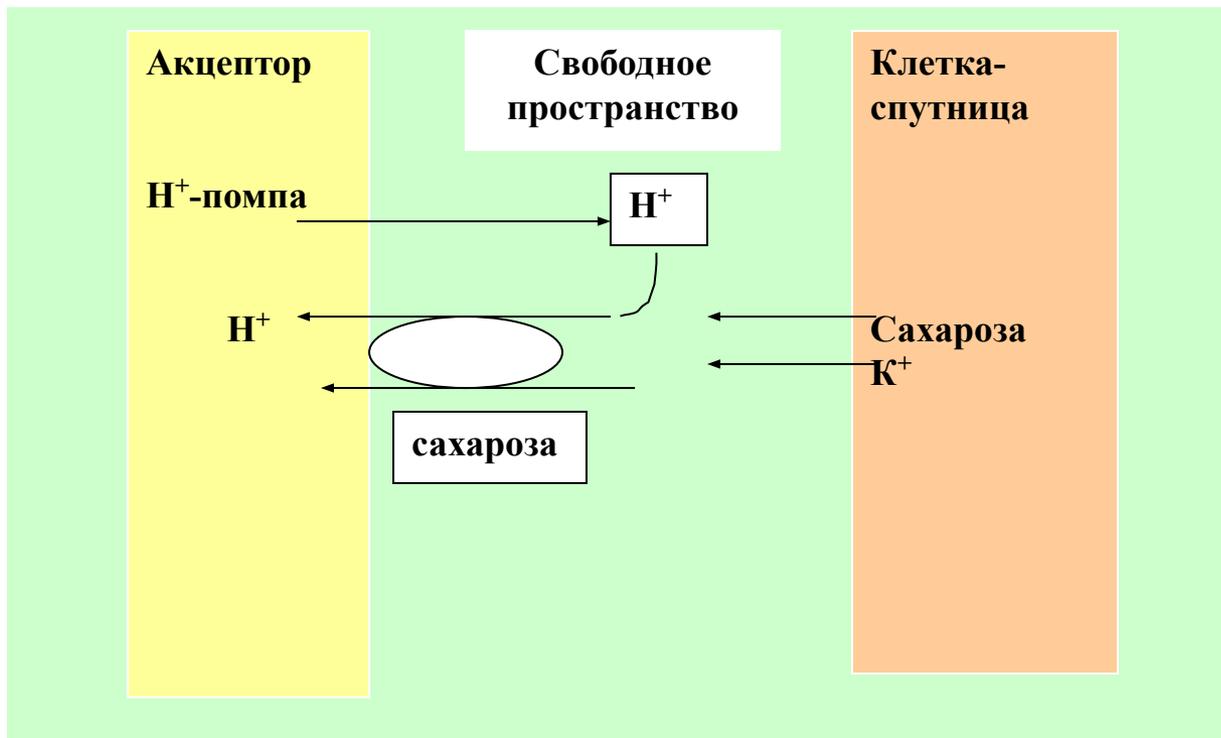
По другую сторону перегородки ионы K^+ пассивно выходят в сопровождающую клетку. Активное поступление K^+ с одной стороны ситовидной трубки обеспечивается тем, что ассимиляционный поток обогащает ситовидную трубку АТФ.

Возникающий на каждой ситовидной пластинке электрический потенциал и является движущей силой потока сахарозы по флоэме.



Разгрузка флоэмы

В плазмалемме акцепторов работает H^+ -помпа. H^+ выкачиваются (апопласт закисляется), что способствует отдаче K^+ и сахарозы. Возникает ΔpH , что приводит к поступлению H^+ в симпорте с сахарозой (H^+ по градиенту, сахароза – против).



Непрерывная циркуляция внутренней водной среды – неотъемлемый атрибут жизни

Структурные и функциональные взаимосвязи между восходящим и нисходящим водными потоками обеспечивают функционирование единой гидродинамической системы в растении.

Сходство с незамкнутой кровеносной системой животных

