# ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ВЕЩЕСТВ ПО РАСТЕНИЮ

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

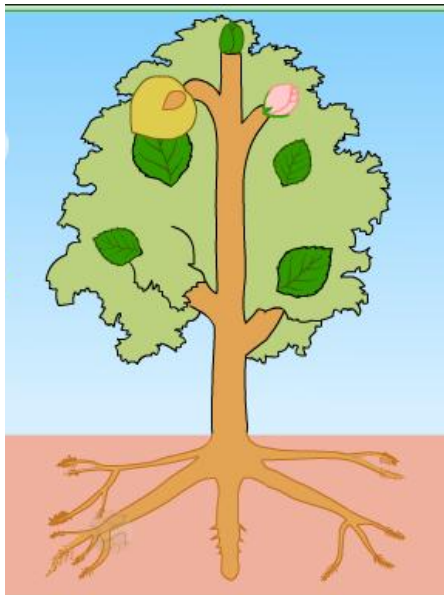
I. Роль изучения транспорта веществ:

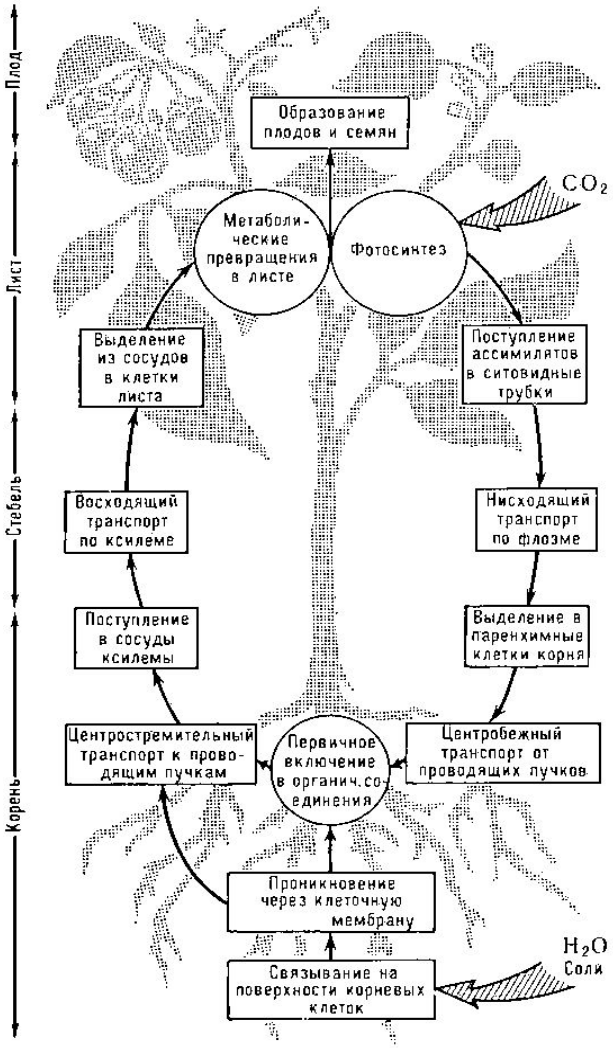
- теоретическое значение как одна из проблем физиологии
- практическое значение
- взаимосвязь отдельных органов в единую физиологическую систему

Донорно-акцепторные связи между органами:

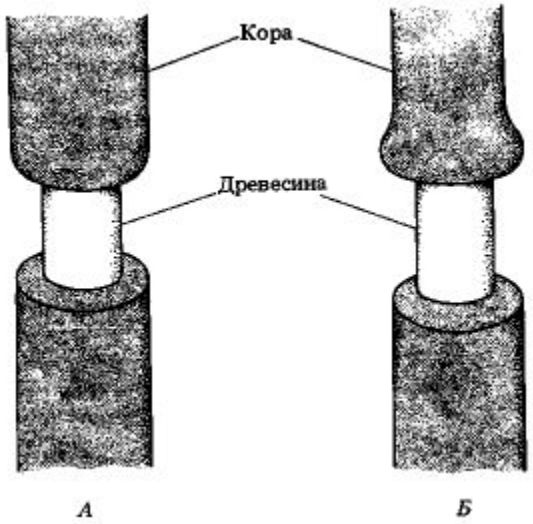
- органы, поставляющие питательные вещества – ***доноры***,
- органы, потребляющие – ***акцепторы***.

Назовите доноры минеральных питательных веществ и органических веществ.





**Марчелло Мальпиги**
1628-1694




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

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.

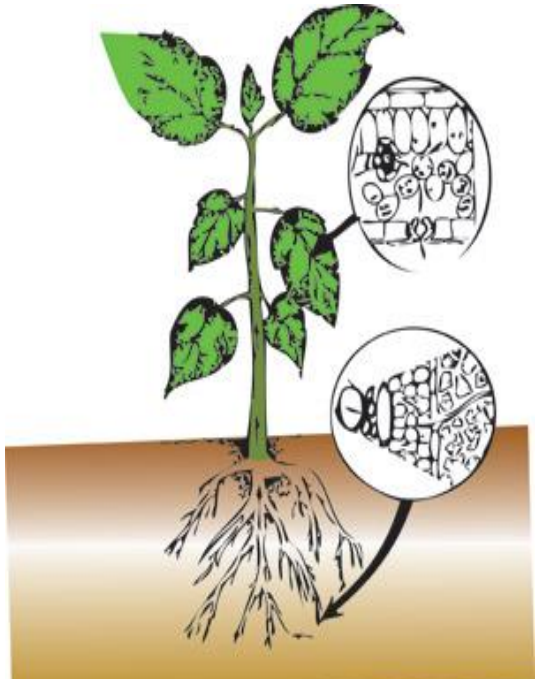
# Организация системы транспорта

***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**



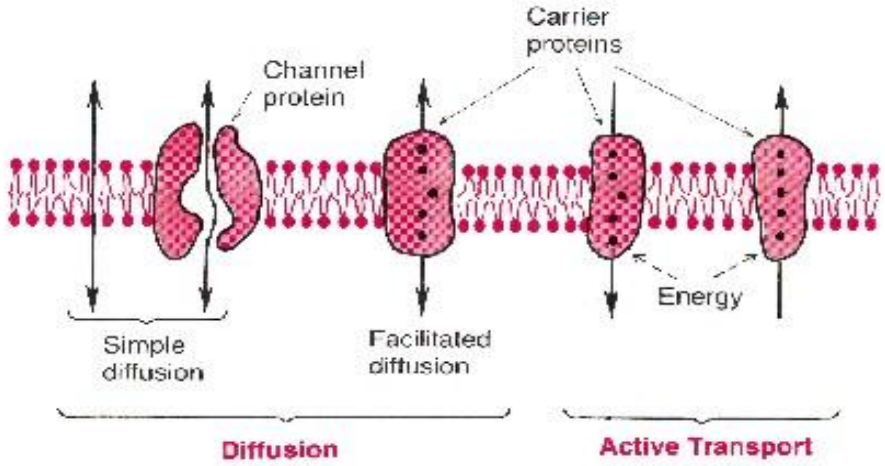
Назовите акцепторы минеральных веществ

Как осуществляется внутриклеточный транспорт

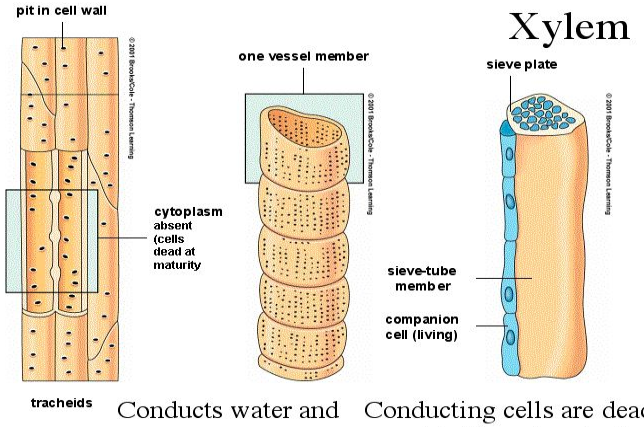
Назовите системы ближнего транспорта

По какой ткани осуществляется дальний транспорт минеральных веществ

# Cell Membrane Transport

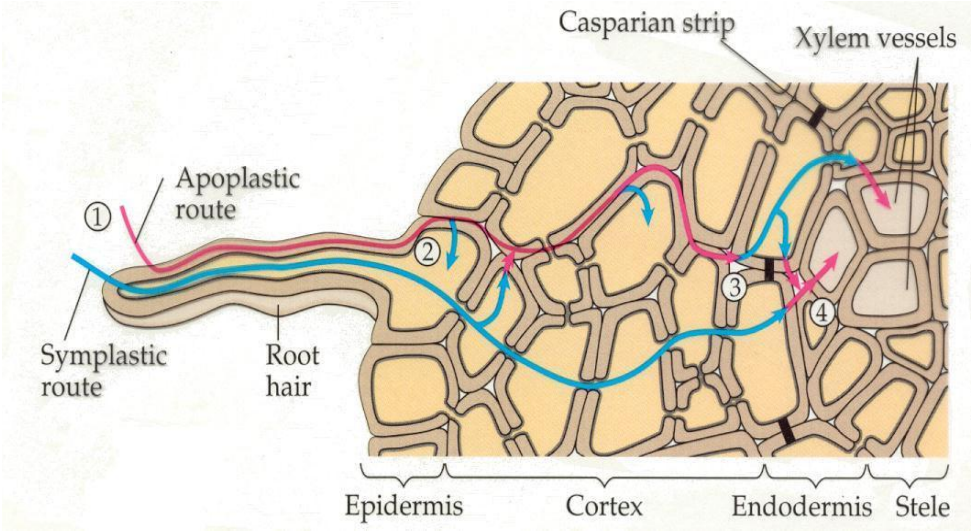


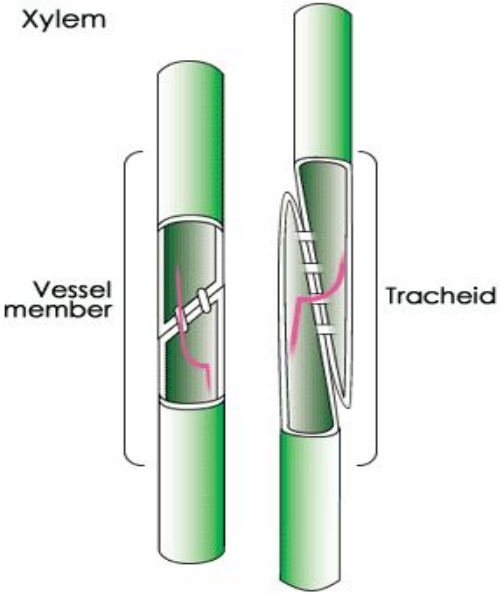

# Xylem




Conducts water and dissolved minerals

Conducting cells are dead and hollow at maturity



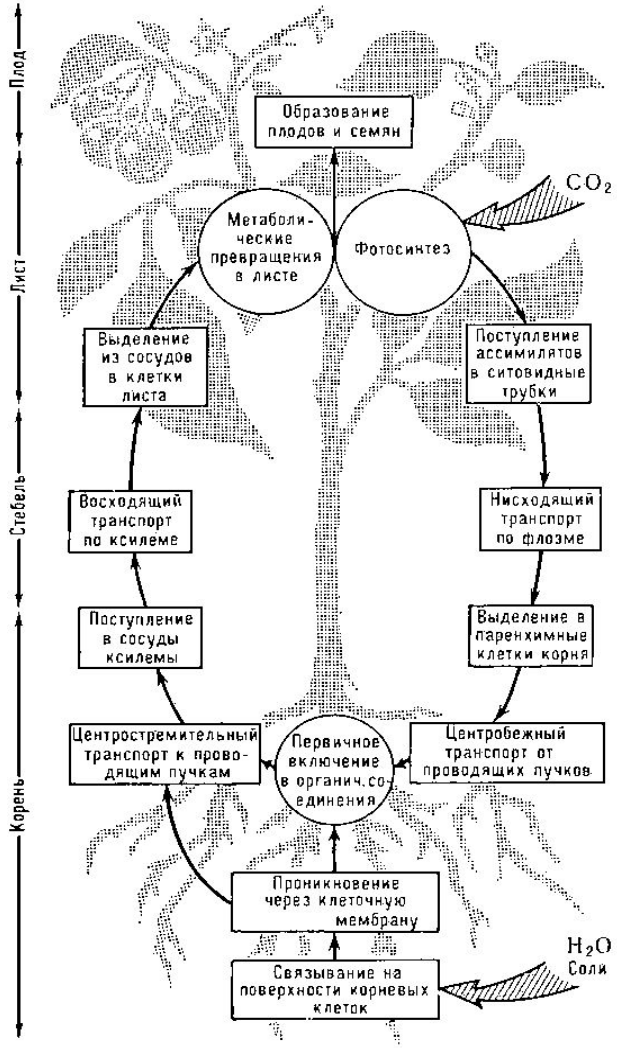



# Круговорот минеральных веществ в растении. Реутилизация

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).

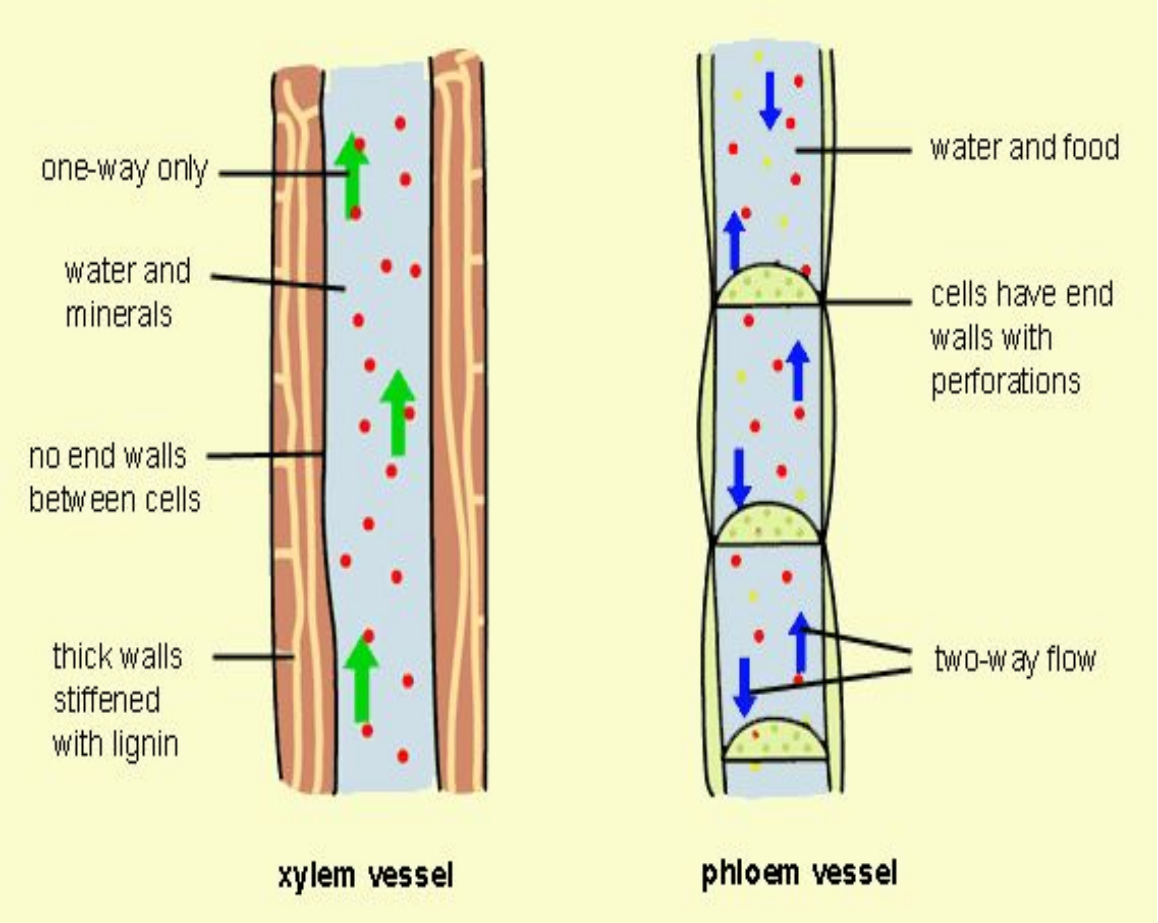
**Акцепторы (потребители)** – органы (ткани), не способные самостоятельно удовлетворить свои потребности в питании.

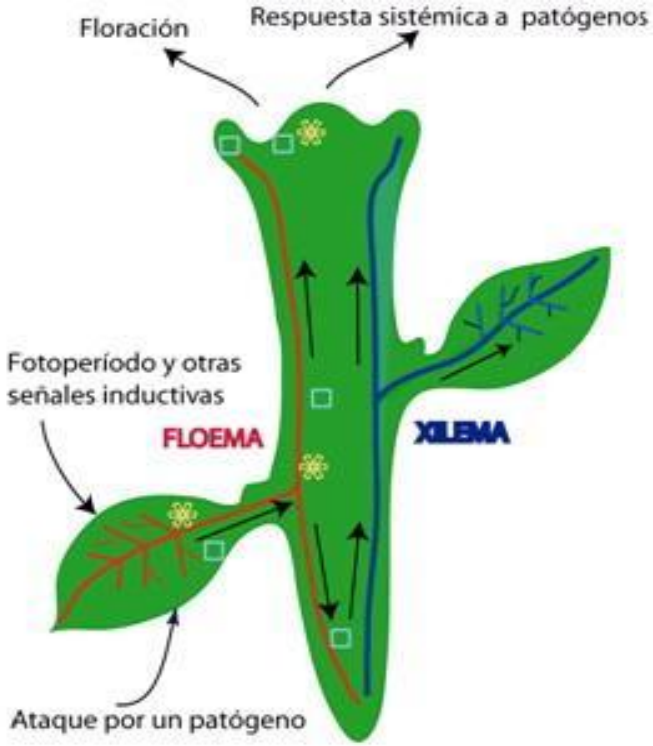
**Фотосинтезирующие ткани**

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

**Места запасания** (плоды, семена, запасающая паренхима и др.)

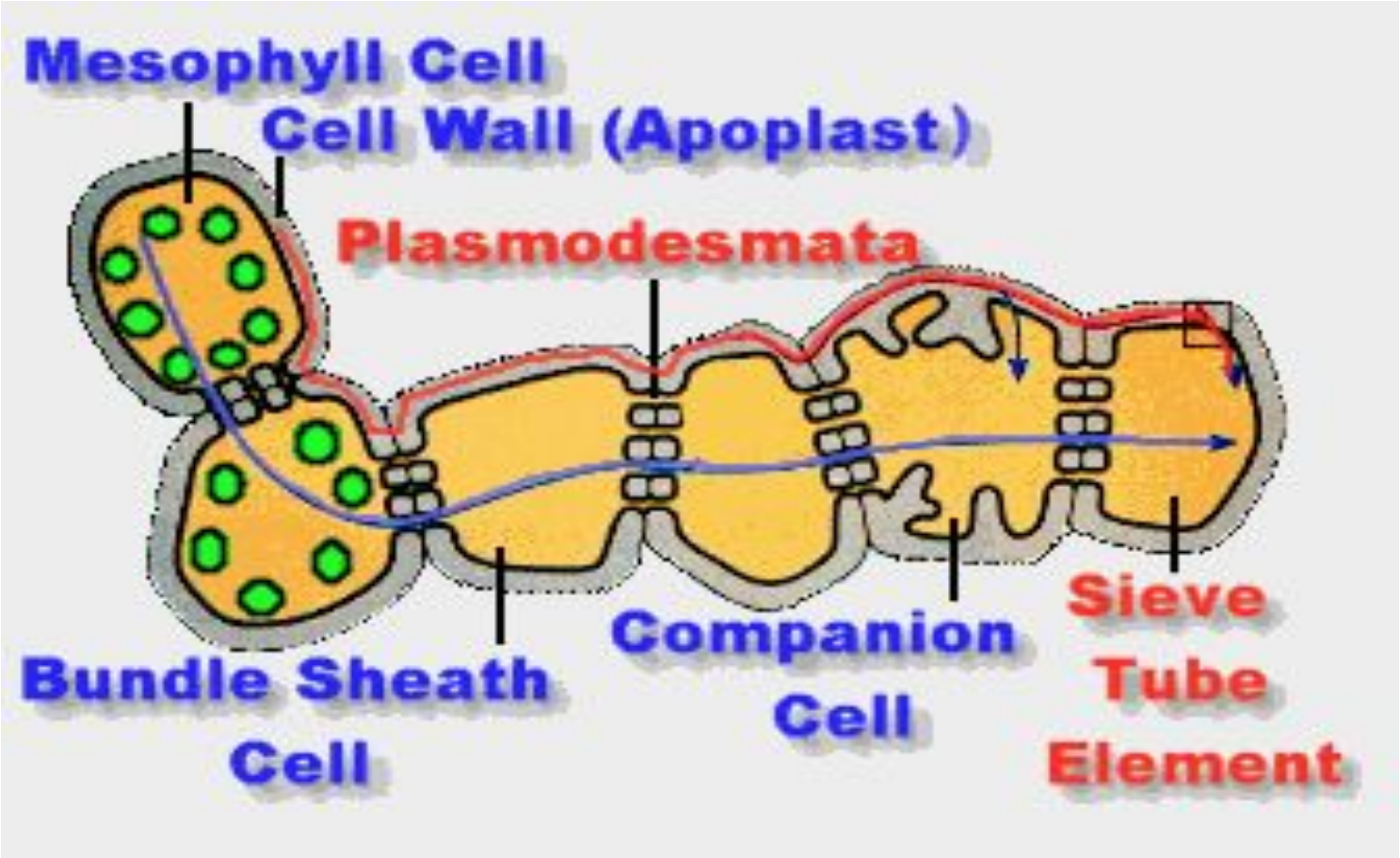
Неравномерное распределение ассимилятов




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.

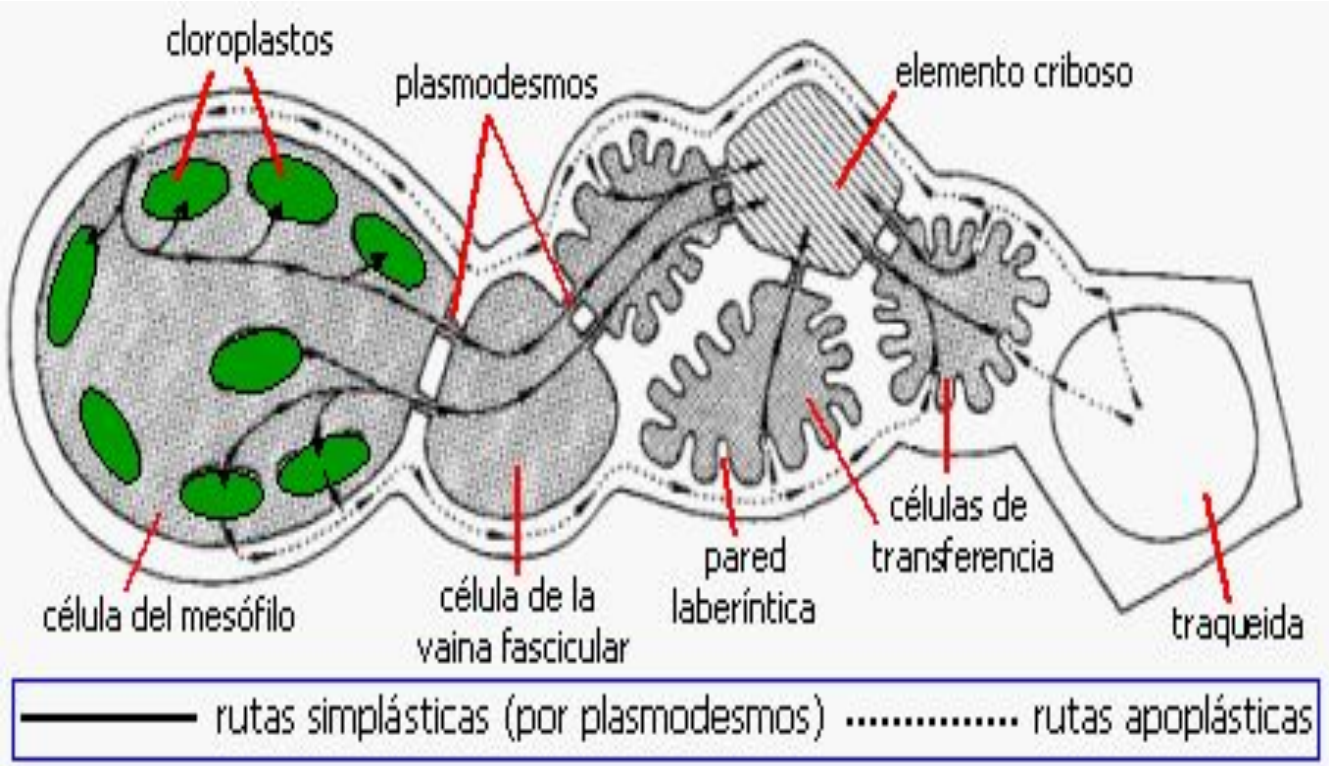
В цитоплазме триозы расходуются на дыхание, синтез гексоз, сахарозы, крахмала. Это позволяет снижать концентрацию триозофосфатов в цитоплазме, что способствует их притоку по градиенту концентрации.

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

# 2.2. Межклеточный паренхимный транспорт

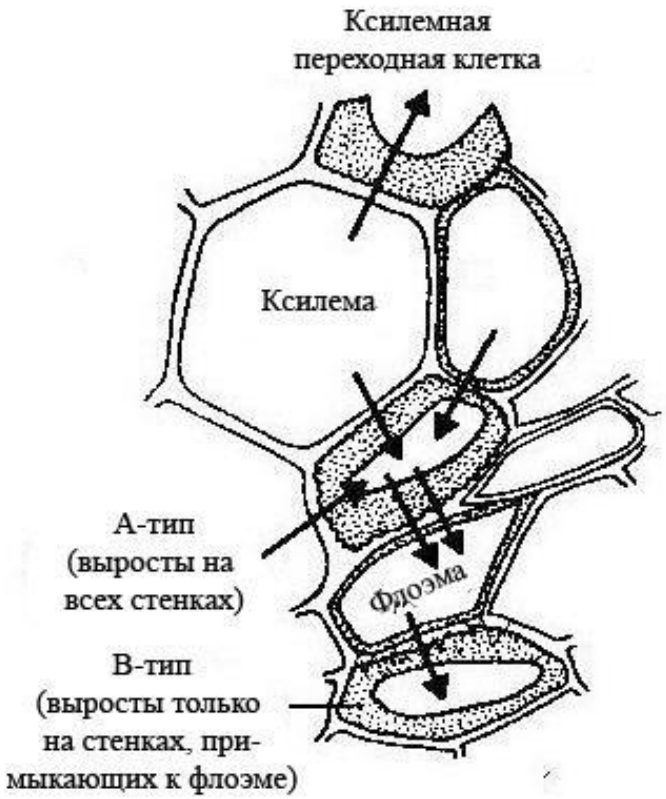
Ближний транспорт может осуществляться двумя путями — по плазмодесмам (симпласту) или по апопласту.

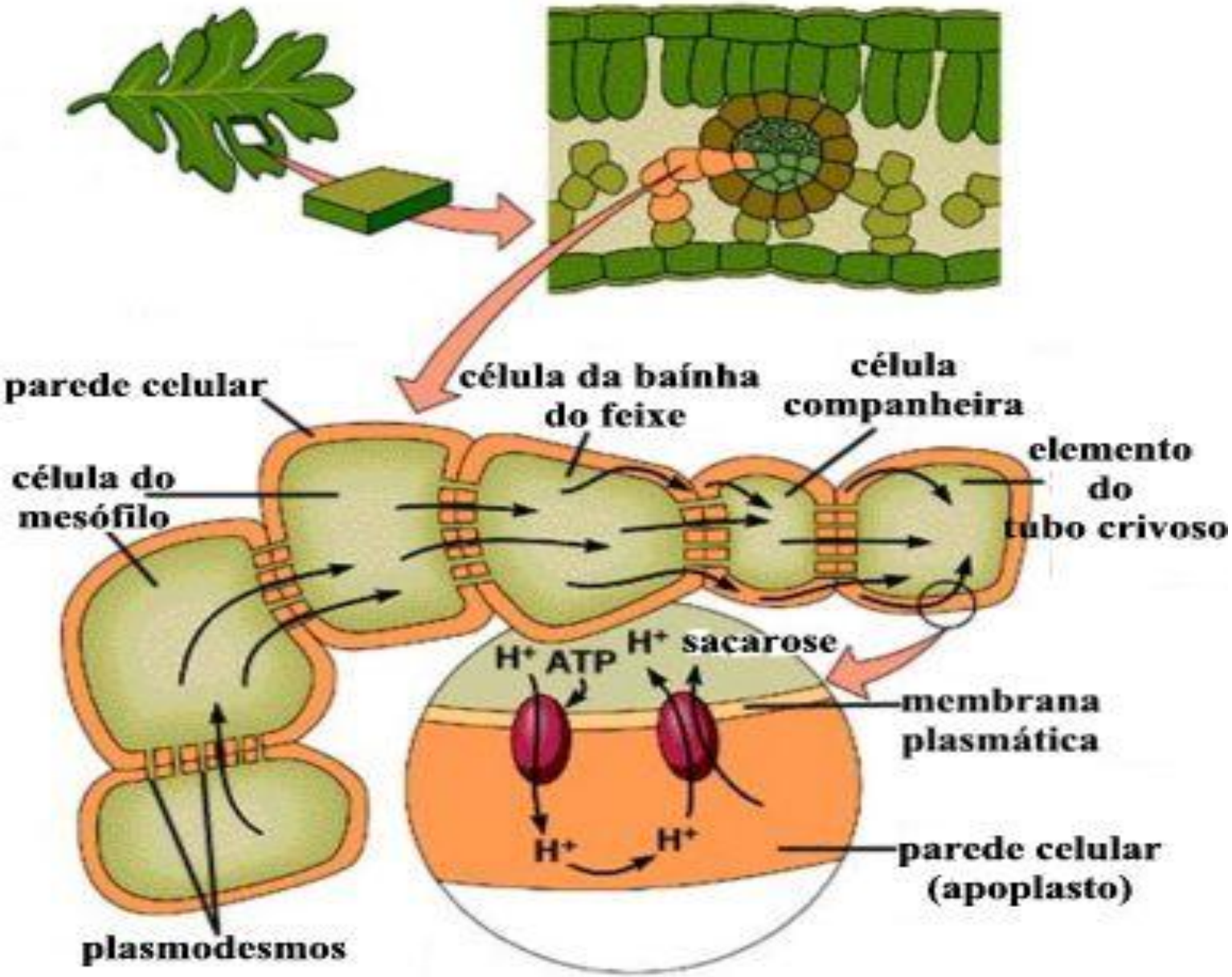
Скорость перемещения ассимилятов в паренхимных тканях 10—60 см/ч



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



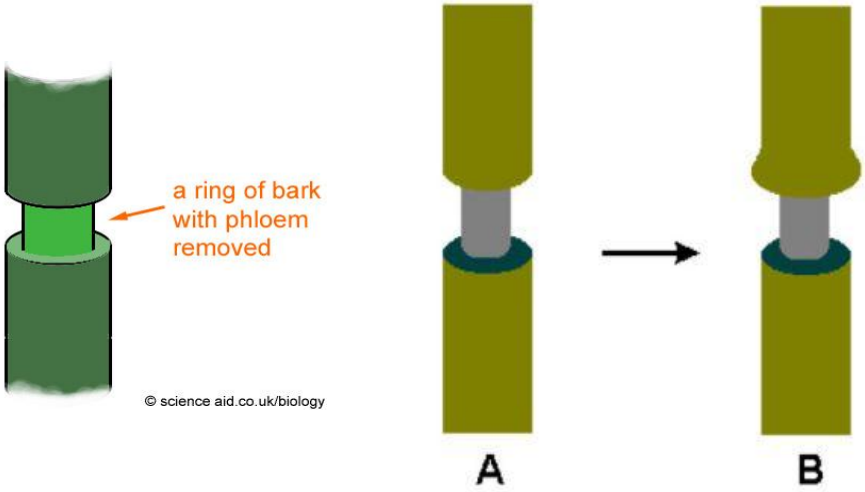

parede celular
célula da baínha do feixe
célula companheira
elemento do tubo crivoso
célula do mesófilo
H+ ATP
H+ sacarose
membrana plasmática
H+
H+
parede celular (apoplasto)
plasmodesmos

# 2.3. Флоэмный транспорт

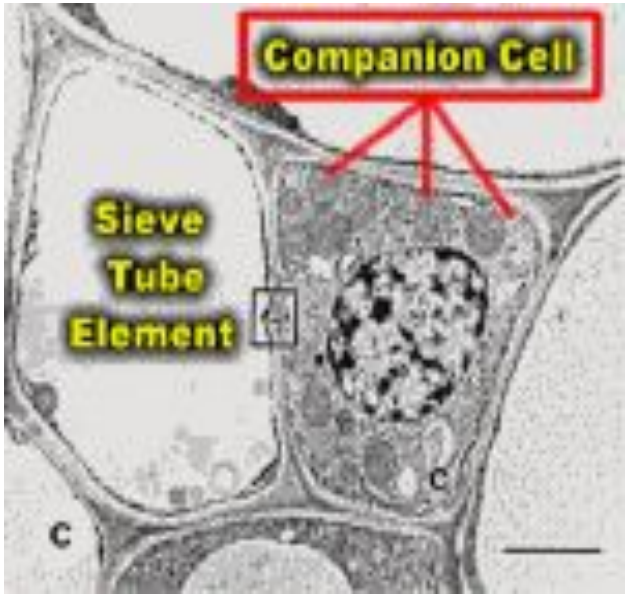
Доказательства флоэмного транспорта

1) Кольцевание, 1679 г. итал. Марчелло Мальпиги.
2) Использование радиоактивных меток $^{14}CO_2$.
3) Метод получения флоэмного сока с помощью сосущих насекомых.

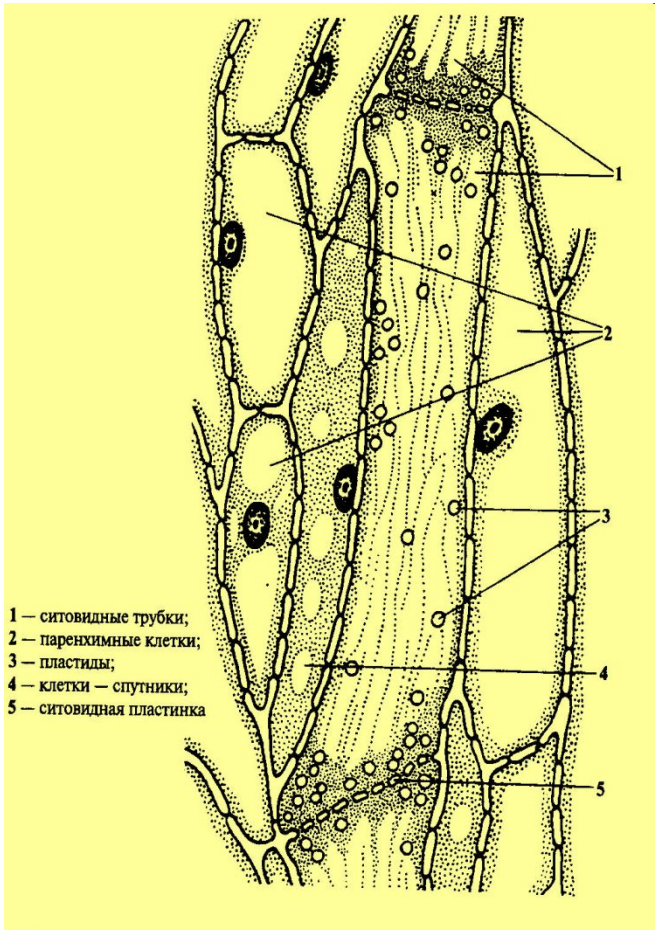
Эта методика получила название афидная (от лат. тли — *Aphidoidea*)



Выделяется медвяная роса - падь




# Структура флоэмы




В отличие от ксилемы флоэма представляет собой совокупность живых клеток.

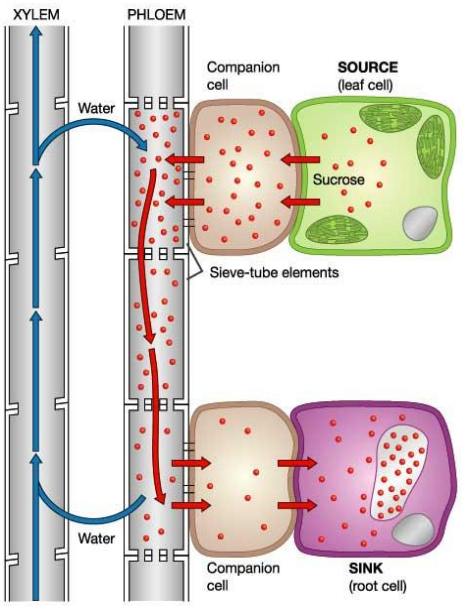
Флоэма состоит из нескольких типов клеток, специализированных в метаболическом и структурном отношении:

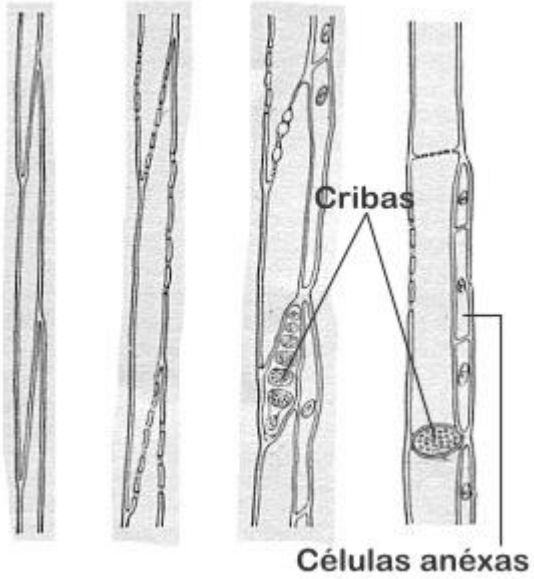
- ситовидные трубки (ситовидные клетки) - транспортная функция
- клетки-спутницы - энергетическая роль
- передаточные клетки.

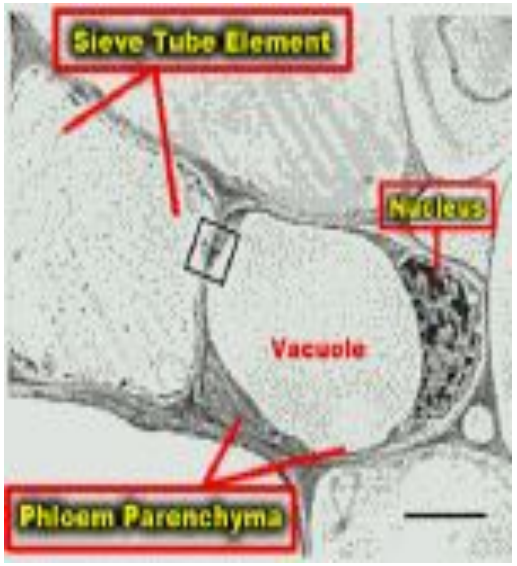
célula companheira
célula dó tubo crivoso
placa crivosa

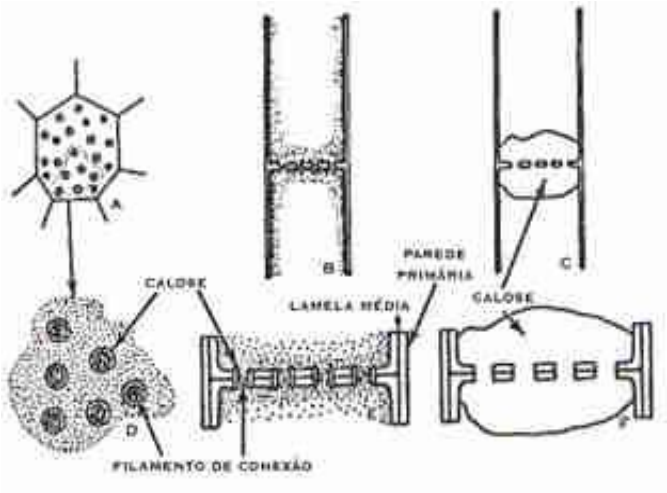
# Особенности ситовидных трубок

- 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.

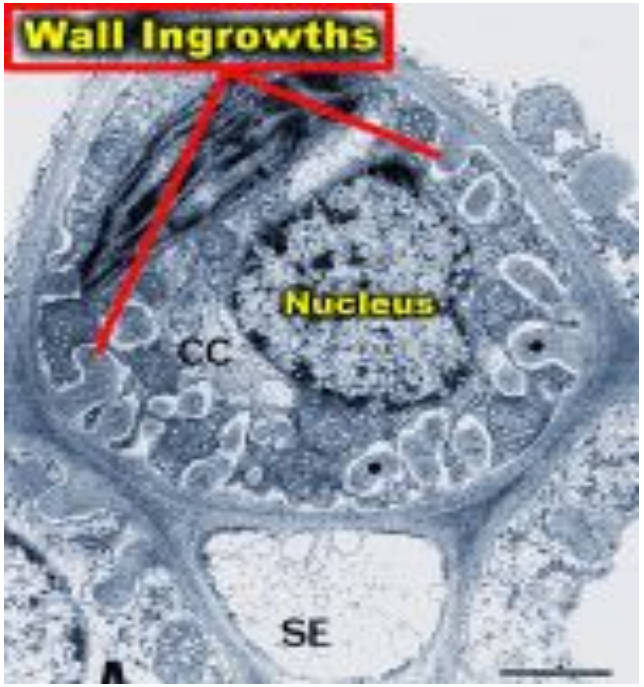
Богаты цитоплазмой

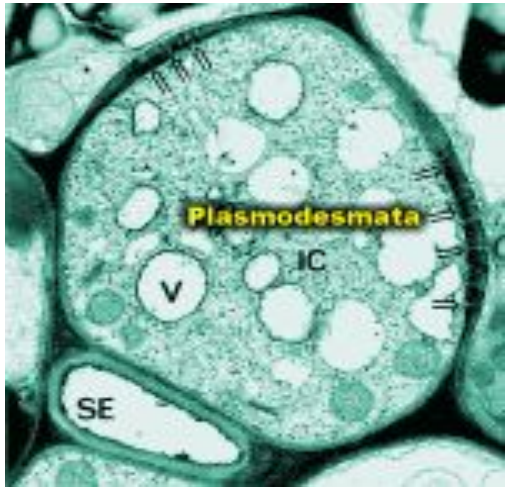
Крупное ядро и ядрышко,

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 ($C_{12}H_{22}0_{11}$).
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

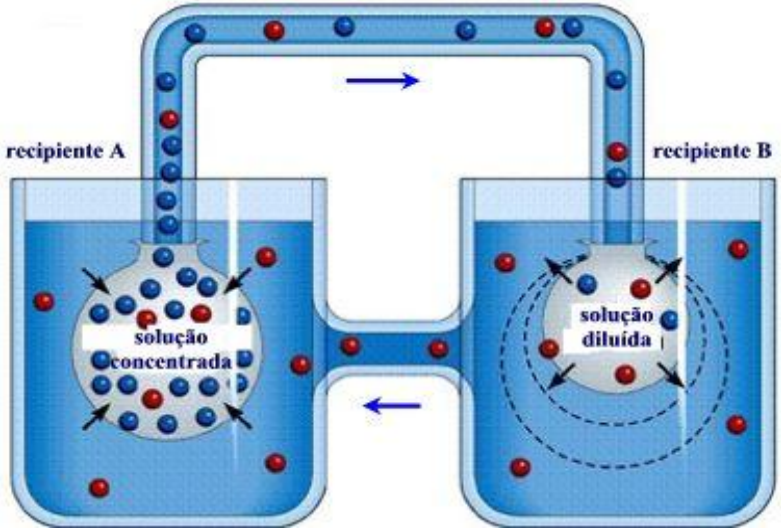
- Высокая скорость - 50—100 см/ч (по симпласту 6 см/час).
- Большое количество переносимого материала. За вегетационный период вниз по стволу может пройти 250 кг сахара.
- Перенос на большие расстояния – до 100 м.
- Относительная масса флоэмы не велика.
- Ситовидные трубки очень тонкие – диаметр 30 мкм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

# Влияние условий внешней среды

Транспорт веществ по флоэме зависит:

- **от температуры**. Оптимальная температура 20 и 30 $^0$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



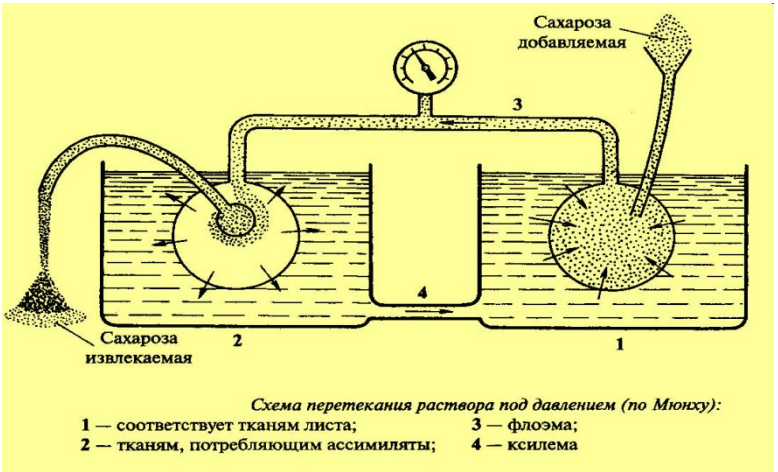




*Схема перетекания раствора под давлением (по Мюнху):*
1 — соответствует тканям листа;
2 — тканям, потребляющим ассимиляты;
3 — флоэма;
4 — ксилема

**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 подавлением от листа к корню.

# Гипотеза электроосмотического потока

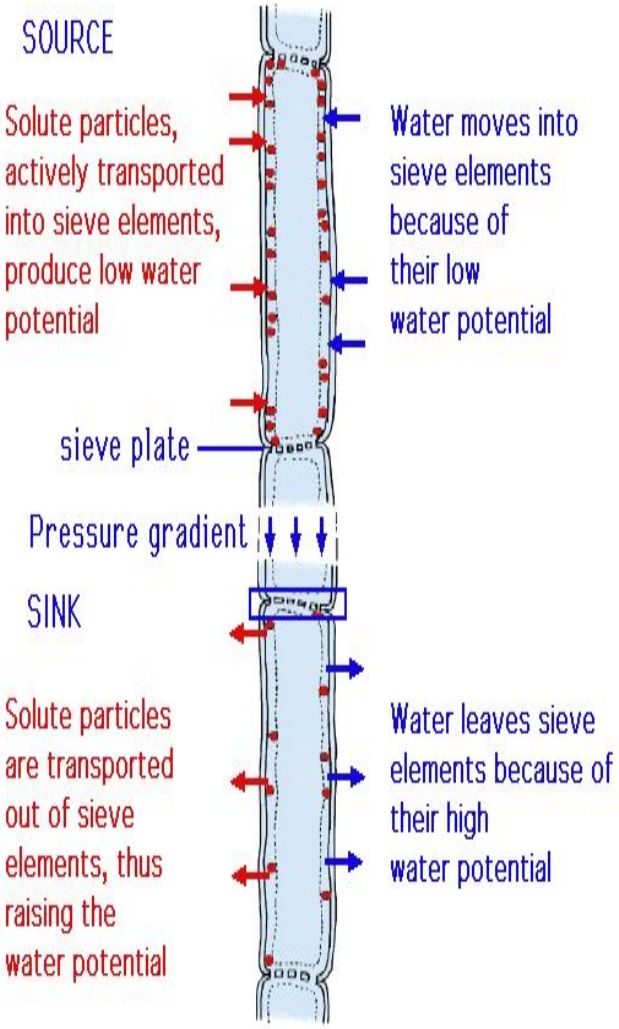
Выдвинута в 1979 году Д. Спаннером

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.

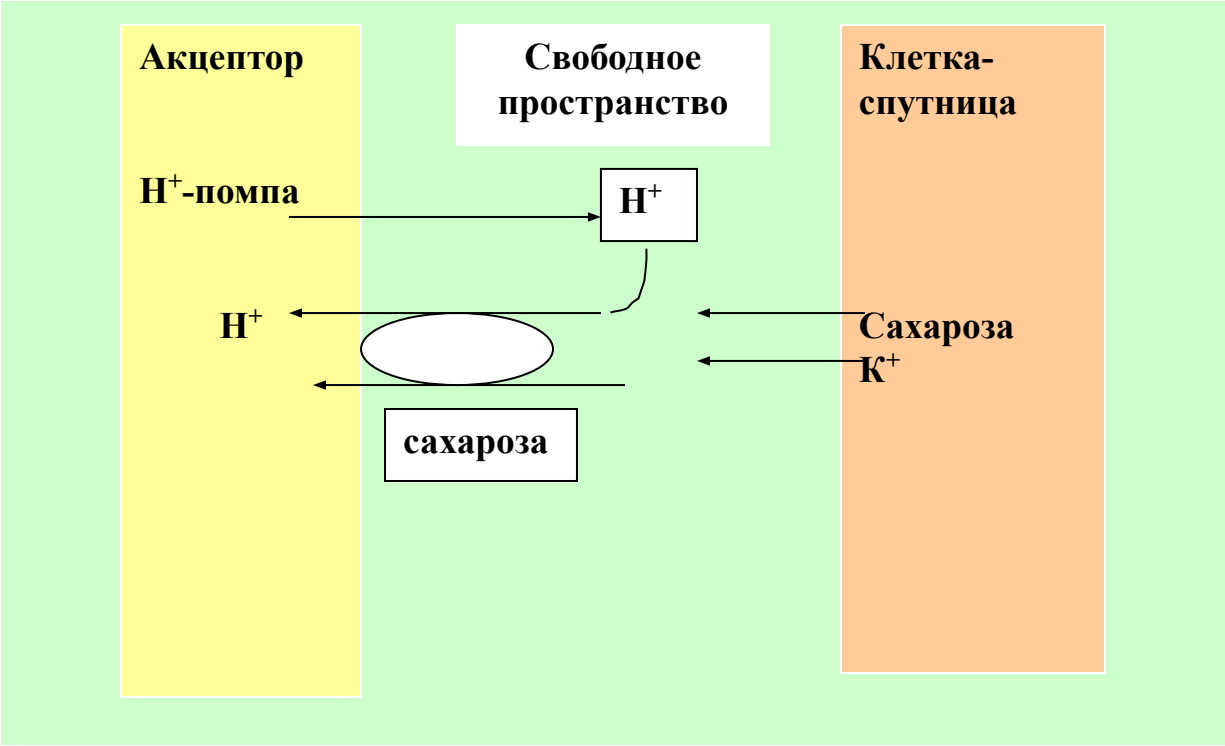
По другую сторону перегородки ионы $K^+$ пассивно выходят в сопровождающую клетку. Активное поступление $K^+$ с одной стороны ситовидной трубки обеспечивается тем, что ассимиляционный поток обогащает ситовидную трубку АТФ.

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



# Разгрузка флоэмы

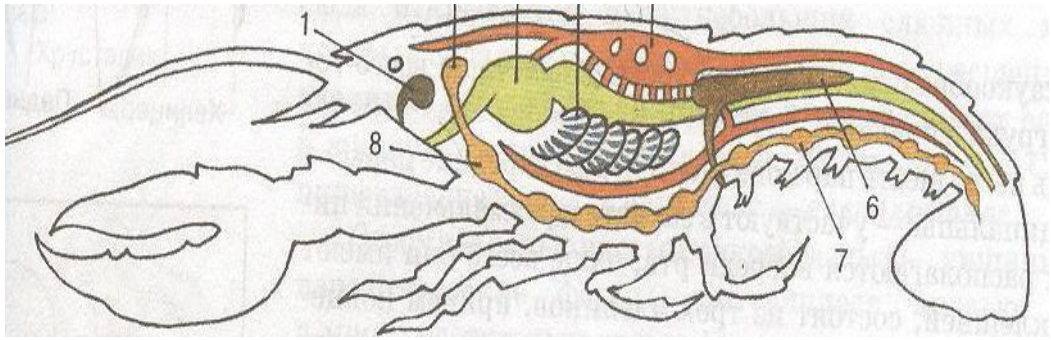
В плазмалемме акцепторов работает $H^+$-помпа. $H^+$ выкачиваются (апопласт закисляется), что способствует отдаче $K^+$ и сахарозы. Возникает ΔpH, что приводит к поступлению H+ в симпорте с сахарозой (H+ по градиенту, сахароза – против).

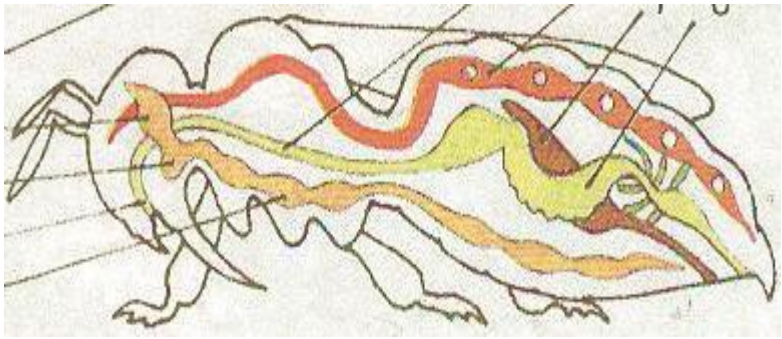


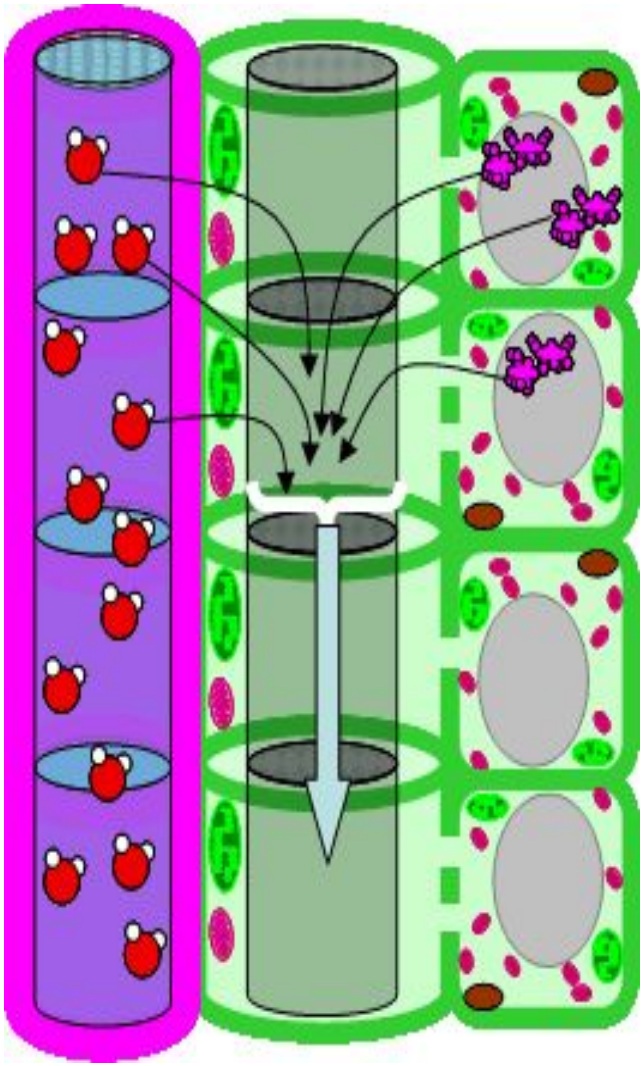
# Непрерывная циркуляция внутренней водной среды – неотъемлемый атрибут жизни

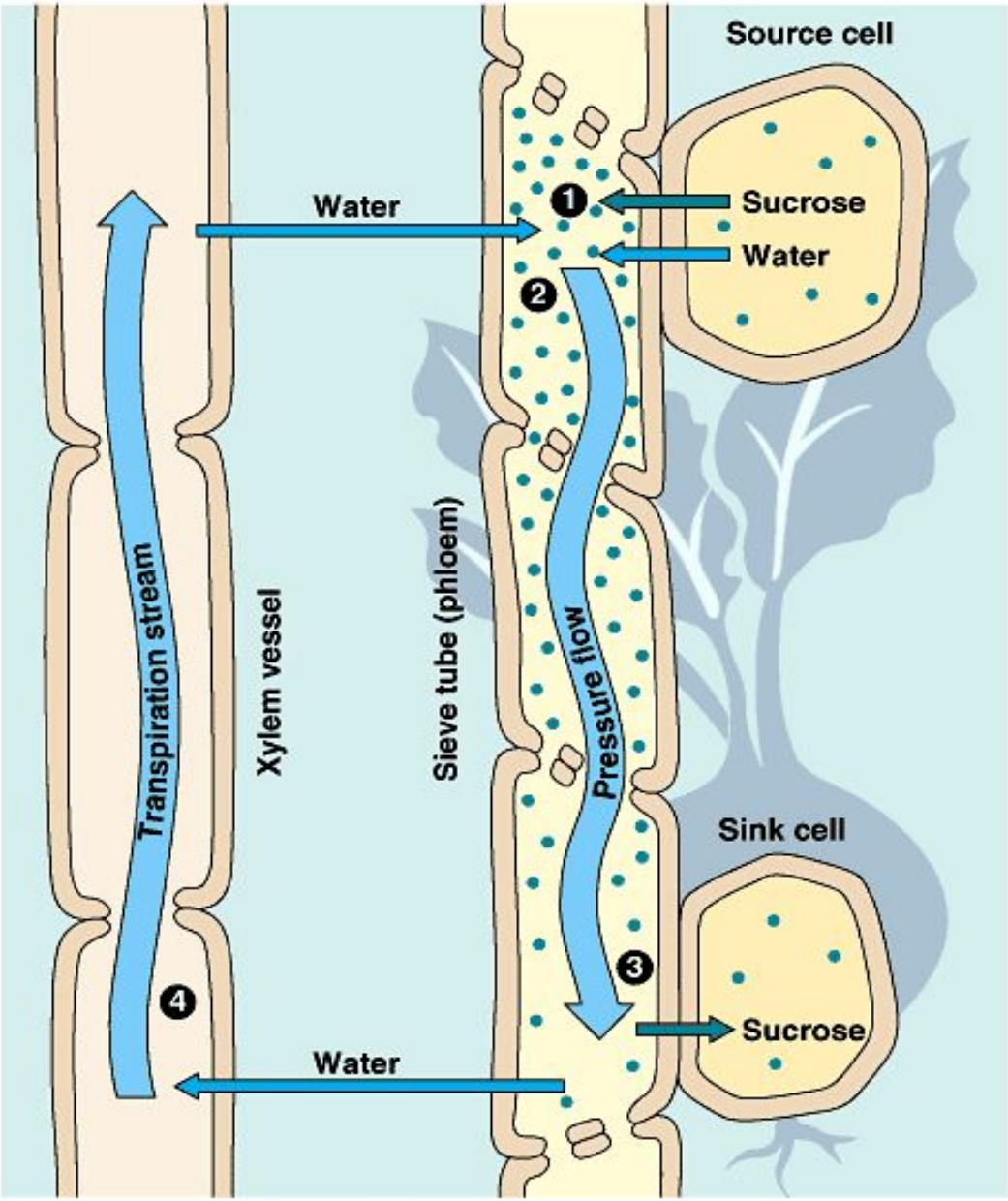
Структурные и функциональные взаимосвязи между восходящим и нисходящим водными потоками обеспечивают функционирование единой гидродинамической системы в растении.

Сходство с незамкнутой кровеносной системой животных






Source cell
Water
Sucrose
Water
Transpiration stream
Xylem vessel
Sieve tube (phloem)
Pressure flow
Sink cell
Sucrose
Water