الفصل التاسع

نزول المواد الغذائية المذابة من الأوراق (النسغ النازل)

نزول المواد الغذائية المذابة من الاوراق

(النسغ النازل)

مقدمة:

ان المواد الغذائية تنساب من الاوراق عن طريق خلايا تشبه الانابيب المنخلية Sieve Tube Element في نباتات مغطاة البذور والخلايا المنخلية Sieve cells في نباتات عارية البذور وقد عرف منذ أكثر من قرن بانه اذا اجريت عملية الحز (التحليق) Girdling حول الساق أو غصن فان الجزء الذي يقع فوق الحلقة قد يتضخم بسبب تجمع المواد الغذائية واما الجزء الواقع أسفل الحلقة فقد يتوقف نموه كما في الشكل المرقم (٩-١ أ. ب) كما ايدت تجارب (Mason and Maskell. 1928) هذه الفكرة.

تشريح انسجة اللحاء:

ان اللحاء نسيج معقد التركيب ويتكون من عدة انسجة متداخلة مع بعضها وهي:

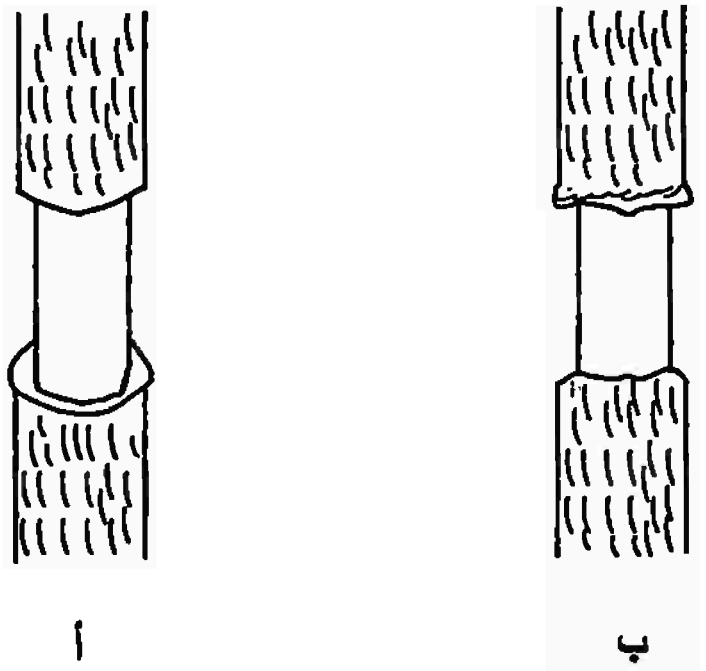
١- الانابيب المنخلية. وهي توجد في لحاء مغطاة البذور Sieve Tube Element وفي عارية البذور تسمى Sieve Cells.

٢- الخلايا الحشوية اللحائية المرافقة للانابيب المنخلية وهي خلايا ترافق الانابيب المنخلية وتسمى الخلايا المرافقة Companion cells في نباتات مغطاة البذور. أما في عارية البذور فتوجد خلايا مشابهة تدعى Albuminous cells ومن الجدير بالذكر ان دور الخلايا المرافقة هي مساعدة الانابيب المنخلية في عملية نقل المواد الغذائية.

٣- بالاضافة لذلك توجد خلايا حشوية خازنة للنشأ بصورة رئيسية وتسمى Phloem Parenchyma وكذلك توجد الأشعة اللبية Ray Cells التي تقوم بوظيفة الخزن ونقل للمواد الغذائية جانبيا Lateral Transport.

٤- كذلك توجد الياف وأنسجة ميكانيكية Sclereids تقوم بوظيفة تقوية أنسجة اللحاء ميكانيكياً. وعند مقارنة الخشب باللحاء نجد ان اوعية الخشب تكون

من خلايا ميتة وفقدت محتوياتها ومكونة أنابيب غير مانعة نسبيا لحركة الماء والمواد الذائبة بينما تكون الأنابيب المنخلية اللحائية حية وذات برتوبلاست ومنتهية بصفيحة منخلية Sieve plate ولكنها أصغر من الـ Perforation Plate الموجودة في أنابيب الخشب.



شكل رقم (٩-١): أ- جذع أو ساق شجرة قد أزيل منه القلف (نسيج اللحاء) بشكل حلقة .
ب- نفس جذع أو ساق شجرة بعد مدة من الزمن ويلاحظ تجمع المواد الغذائية فوق مكان الحلقة مما يدل على أن المواد الغذائية تنتقل خلال أنسجة اللحاء.

عن: Devlin, 1966

خواص الأنابيب المنخلية الناضجة:

١- ان الانابيب المنخلية الناضجة تكون عديمة النواة وذات غشاء خلوي رقيق كما انها لا تحتوي على غشاء للفجوات Tonoplasts مما يؤدي إلى امتزاج السايتوبلازم بعصير الفجوات.

٢- توجد مركبات بروتينية تسمى Slime bodies وتكثر قرب الصفيحة المنخلية وقد توجد فيها بعض البلاستيدات.

٣- قلة وجود المواد الدهنية في الأنابيب المنخلية.

٤- ملاحظة ظاهرة حركة البروتوبلازم Streaming في الانابيب المنخلية.

٥- قلة عدد وصغر حجم الـ (Mitocondria) كما ان Endoplasmic Reticulum أو الشبكة الاندوبلازمية تكون منحلية ومحزنة.

٦- حدوث ترسبات مادة الكالوس Callose (مادة كربوهيدراتية) في الصفيحة المنخلية وعلى جوانب الانبوب المنخلي ايضا وقد يؤدي إلى غلق بعض الفتحات Pores في الصفيحة المنخلية.

خصائص النقل في اللحاء:

لقد قام Ball and Dixon سنة ١٩٢٢ بتجربة لمعرفة معدل حركة المواد الغذائية في أنسجة اللحاء فقد درسا درنة بطاطا في نهاية فرع مدة ١٠٠ يوم فوجد في البطاطا ما يقارب ٥٠ غرام من الكاربوهيدرات قد وصلت عبر أنسجة اللحاء وكذلك قاسوا مساحة المقطع العرضي للحاء فوجدا بانه ٠,٤٢٢ ملليمتر مربع وبهذا تكون كمية الكاربوهيدرات (غرامات) المارة في وحدة المساحة وبوحدة

$$\text{الزمن هي} = \frac{٥٠}{\frac{٠,٤٢٢}{١٠٠} \times ١٠٠ \times ٢٤}$$

$$= \frac{٥٠}{٢٤ \times ٠,٤٢٢} = ٤,٩ \text{ / غم / سم}^{٢} \text{ / ساعة}$$

وقد أطلق (Canny, 1960) وغيره على هذا العدد الناتج بالاصطلاح Specific Mass Transfer وتكون ابعاده هي وحدة الكتلة / وحدة المساحة. وحدة الزمن.

وقد أراد ان ينسبها إلى وحدة سرعة الحركة فوضع هذه المعادلة:

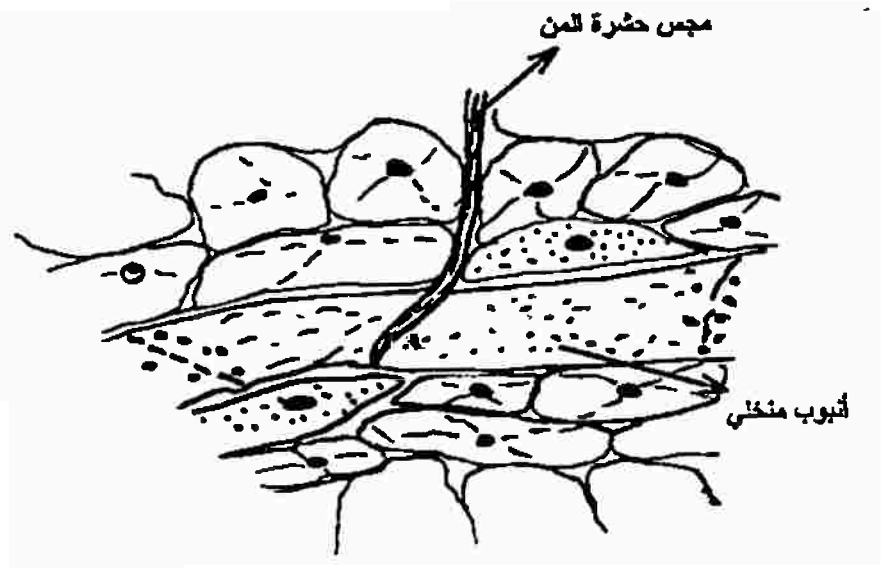
$$S = V \times C \quad \ldots.(١-٨)$$

حيث ان S هي Specific Mass Transfer ويقاس بالغرام /سم^{٢}/ الساعة.

V السرعة تقاس سم / ساعة.

C التركيز ويقاس غم / سم^{٣}.

وبعد عدة تجارب اتضح بان سرعة جريان المحلول في اللحاء يعادل ١٠٠ – ٢٠٠سم / الساعة هذا وقد استعمل Kennded and Mittler سنة ١٩٥٣ مجس حشرة المن aphid stylet لقياس معدل حركة العصارة في اللحاء حيث ان بعض أنواع المن يستطيع غرس خرطومه في النبات وخصوصا داخل مجرى الانابيب المنخلية اللحائية لامتصاص الغذاء وفي هذه الحالة تصطاد الحشرة مباشرة بينما الخرطوم يبقى داخل النبات ولكنه ينزف محلول غذائي من مجرى اللحاء لساعات بل ولأيام وبهذه الطريقة يجمع المحلول الغذائي ويقاس كل من حجمه وتركيزه ونوعه شكل رقم (٩-٢). وقد وجد (Weatherley et al, 1959) بأن السكروز ($C_{12}H_{22}O_{11}$) هو المادة الرئيسية السائرة في النسغ النازل وتوصل إلى معدل ٢٠٠سم بالساعة كمعدل لحركة مجرى اللحاء



شكل رقم (٩-٢): خرطوم حشرة المن Aphis faba وهو داخل الانبوب المنخلي لنبات Antherícum lilage (St. Bernard's Lily).

عن: Zieglèr, 1963

والجدول رقم (٩-١) يبين معدل انتقال المواد في اللحاء في عدة نباتات مختلفة كما ان Zimmermann سنة ١٩٦٩ توصل إلى معدل حركة العصارة في اللحاء إلى ما يقارب ٧٠ سم ساعة.

جدول رقم (٩-١).

معدلات نقل المواد الغذائية ف اللحاء وفي النباتات مختلفة عن (Devlin, 1966).

النبات	معدل الحركة سم /ساعة	المصدر Reference
الفاصوليا الحمراء Red Kidney Bean	١٠٧	Biddulph and Cory, 1957
البنجر السكري Sugar Beet	٨٥- ١٠٠	Kursanov et al, 1953
صنف من العنب Concord grape	٦٠	Swanson and Elshishiny, 1958
الصفصاف Willow	١٠٠	Weatherley et al, 1959
قصب السكر Sugar cane	٢٧٠	Hatch and Glazion, 1964
صنف من القرع Straight necked squash	٢٩٠	Webb and Gorham, 1964
قرع عسلي Pumpkin	٤٠-٦٠	Pristupa and Kursanov, 1957
فول الصويا Soybean	١٠٠	Vernon and Aronoff, 1957

اتجاه حركة نقل العصارة في اللحاء:

ان كلمة النسغ النازل ليست صحيحة تماماً وقد تصح على الاغلب في النباتات الراقية الخضراء عندما تستلم الجذور المواد الغذائية المصنوعة في

الاوراق والمتحركة باتجاه الجذور بيد ان اتجاه حركة العصارة اللحائية يعتمد على مكان شحن المواد الغذائية او ما يسمى المصدر (Source) وكذلك مكان استلام المواد الغذائية (Sink) وعلى نطاق أوسع فتعتبر أماكن الشحن Sources هي الأوراق الناضجة القائمة بعملية التركيب الضوئي وكذلك الجذور الخازنة للمواد الغذائية ودرنات البطاطا في دور الانبات وكذلك سويداء البذور في عملية الانبات أما أماكن الاستلام (Sinks) فتشمل البراعم النامية والأوراق الفتية النامية والجذور النامية والقائمة بخزن المواد الغذائية والاثمار والبذور المتطورة في النمو.

وبصورة عامة فان اتجاه حركة العصارة الغذائية في اللحاء هي من مناطق الشحن Sources إلى مناطق الاستهلاك Sinks بغض النظر عن مواقعهما.

هذا وقد وجد بأن حركة العصارة في اللحاء قد تكون للاعلى ولذلك سميت acropetal او للأسفل basipetal كما وجد ان العصارة الجارية في اللحاء نحو الاسفل تغذي الجذور بينما العصارة الجارية في اللحاء نحو الاعلى تغذى الاوراق الفتية والبراعم.

كما قام Hale and Weaver سنة ١٩٦٢ بتعريض ورقة العنب (Vitis vinifera) النامية جيداً إلى ثاني اوكسيد الكاربون $C^{14}O_2$ الذي في الكاربون المشع (C^{14}) وبعد ستة ساعات قطع الغصن الحاوي على هذه الورقة ومن ثم صورت شعاعياً فوجد ان الكاربون المشع المتمثل بعملية التركيب الضوئي قد بقى محصوراً في أطراف الورقة نفسها ولم تصدر الورقة منها أي مواد غذائية لانها في طور النمو والبناء غير انه في حالة استعمال أوراق أكثر تقدما في العمر لغرض المعاملة بـ $C^{14}O_2$ فوجد ان اتجاه الاشعاع يسير للاعلى باتجاه الاوراق الصغيرة ولهذا تردد ما يسمى بحركة العصارة اللحائية في اتجاهين مختلفين (Bidirectional Movement) شكل رقم (٩-٣) وقد قام عدد من الباحثين بتجارب لاثبات تلك الفرضية ومنهم (Biddulph; Baker, 1969 et al, 1958) واستنتج هؤلاء الباحثون بأن اتجاه حركة نقل العصارة في اللحاء هي متعددة الاتجاهات ومعتمدة على

متطلبات النمو وتوفر المواد الغذائية ولقد وجد ان حركة نقل المواد الغذائية لمسافات بعيدة نسبياً تحدث في الانابيب المنخلية بمساعدة الفعاليات الحيوية في الخلايا المرافقة ولهذا فيعتبر النقل عملية حيوية وتحتاج إلى طاقة لغرض انجازها كما ان حركة النقل في اللحاء تبطيء بارتفاع درجة الحرارة قلة الاوكسجين ووجود المواد المثبطة للافعال الحيوية (Metabolic inhibitors) مثل السيانيد (CN^-) وغيرها.

ومن الخصائص الاخرى لحركة النقل في اللحاء هى امكانية نقل المواد عبر الكامبيوم و الخشب والعكس بالعكس أي وجود حركة جانبية في النقل.

وكذلك ظهر ان الانابيب المنخلية تفتقر للانزيمات كما ان تراكيز الكالسيوم والبورون تكون قليلة في الانبوب المنخلي.

وقد يتوقف الانبوب المنخلي عن عمله الفسيولوجي بسبب حدوث الترسبات من قبل المواد المسماة (Slimes) والكالوس (1, 3 glucoside linkages, Callose) والـ Tylosoides وهي مجتمعات من الـ Polysaccarides وكذلك قد تؤدي بعض المواد الكيميلوية والحرارة والاضرار الطبيعية إلى غلق الانبوب المنخلي.

أما نوعية المواد المنقولة فوجد أن أكثرها هو سكر القصب أو سكر الطعام ($C_{12}H_{22}O_{11}$) وقد يكون مجرى التفاعلات الحيوية المتعلقة بصنع السكروز ولغاية

وصوله إلى الانابيب المنخلية كالآتي:

Chloroplast

Phosphohexoisomerase

Fructose – 6 – Phosphate ⟶ Clucose – 6 – Phosphate

Product of

Photosynthesis

Phospoglucomutase

Glucose – 6 – Phosphate ⟶ Glucose – 1 – Phosphate

UDP – glucose

Glucose – 1 – Phosphate + UTP ⟶ UDP – glucose + P – P

Pyrophosphorylase Pyrophosphate

Sucrose synthetase

UDP – glucose + Fructose – 6 – Phosphate ⟶ Sucrose Phosphate + UDP

Cytoplasm

Sucrose Phosphate + Carrier ⟶ Sucrose – Carrier + H_3PO_4

Sieve Tube

Suorose – Carrier ⟶ Sucrose + Carrier

ويأتي بعد ذلك مادة (Raffinose ذو ١٨ ذرة كاربون) و(Stachyose ذو ٢٤ ذرة كاربون) وكذلك (Verbascose ذو ٣٠ ذرة كاربون) كما ان بعض الهرمونات ومبيدات الاعشاب (Herbicides) وبعض الصبغات (dyes) والفايرس (virus) قد توجد في مجرى اللحاء والجدول رقم (٩-٢) يبين بعض المواد الذائبة والجارية في انسجة اللحاء في عدة نباتات.

شكل رقم (٩-٣): اتجاه حركة المواد الغذائية المصنوعة في عملية التركيب الضوئي بثلاثة مراحل أثناء نمو وتطور غصن العنب Vitis vinifera ويظهر ان اتجاه حركة العصارة اللحائية تعتمد على متطلبات النمو وتوفر الغذاء.

عن: Hale and Weaver, 1962

جدول رقم (٩-٢) بعض المواد الذائبة والجارية في انسجة اللحاء في بعض النباتات عن: Currier, 1969.

النبات	المادة
شيلم	Fructose
فول الصويا	Fructosc
بطاطا	Fructose
بنجر سكري	Fructose
صنوبر	Fructose
فاصوليا	Fructose
لهانة	Fructose
شيلم	Fructose
فول الصويا	galactose
بطاطا	galactose
بنجر سكري	galactose
صنوبر	galactose
فاصوليا	Raffinose
لهانه	galactose
لهانه	galactose
صنوبر	galactose
فاصوليا	Mannose
قرع	Raffinose
قرع عسلى	Raffinose
Pumpkin squash	
قرع شجر	Stachyose
قرع عسلى	Verbascose

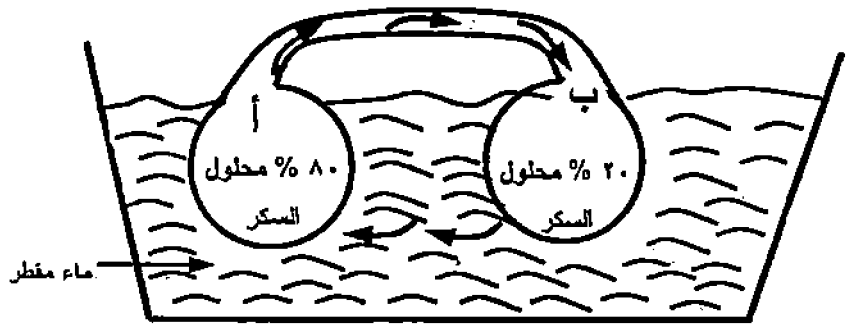
النبات	المادة
تبغ	Sugar Phosphate (glucose – 6 – phosphate
لهانة	Mannitol
الزنبق	Mannitol
الزنبق	Sorbitol
تفاح	Malic acid
برتقال	Citric acid
طماطا	Oxalic acid
فول الصويا	Alanine
فول الصويا	Asparagine
فول الصويا	aspartic acid

ميكانيكية انتقال العصارة الغذائية في اللحاء:

١- فرضية Mass flow or Pressure Flow Hypothesis

وضعت هذه الفرضية لأول مرة من قبل Munch سنة ١٩٣٠ وقد أيد هذه الفرضية (Crafts, 1961) وكذلك (Zimmermann, 1963) وهي تفترض بان زيادة الضغط الانتفاخي في خلايا الورقة الحشوية نتيجة الفعاليات الحيوية وتجمع المواد السكرية فيها وامتصاص الماء والتي تعتبر كمصدر Source بينما يقل هذا الضغط كثيراً في الأنسجة الأخرى المستهلكة (Sink) والموجودة في بقية أنحاء النبات ونتيجة لذلك تسير المواد الغذائية والماء من أماكن التصدير (Sources) إلى أماكن الاستهلاك Sinks في الأنابيب المنخلية وتساعد هذه الحركة الفعالية الحيوية للخلايا المرافقة للأنابيب المنخلية. وتشمل المواد المنقولة السكرور وبعض المركبات النتروجينية العضوية ومركبات غير عضوية(Crafts and Crisp, 1971) ولفهم هذه الميكانيكية تجرى تجربة فيزياوية حيث يؤخذ غشائين مغذين للماء فقط (أ، ب) أو مايسمى أزموميتر (osmometer) ويغمران بالماء المقطر ويتصلان ببعضهما بانبوبة ليكونا جهازاً مقفلاً كما في الشكل (٩-٤)

فاذا فرض أن الغشاء (أ) يحتوي على محلول سكري بنسبة (٨٠ %) بينما في الغشاء (ب) يكون المحلول السكري (٢٠ %) لذلك ينتقل الماء المقطر أولا إلى داخل كلا الغشائين غير ان الضغط الانتفاخي سيكون في الغشاء (أ) أكثر بكثير مما في الغشاء (ب) مما يؤدي إلى خروج قسم من محلول (أ) متجها نحو (ب) ويستمر الانتقال حتى يتساوى تركيزا محلولي السكر داخل الغشائين وعندئذ يتوقف سريان المحلول في الانبوبة ويتم التوازن الديناميكي بين محلولي الغشائين داخل الجهاز المقفل والماء المحيط به.



شكل رقم (٩-٤): رسم تخطيطي لتوضيح ميكانيكية (Pressure Flow) للعالمMunch عن: Munch, 1930.

وتعتمد هذه النظرية على عدة مقومات منها:

١- النزف عند قطع الساق أو النضح Exudation كما اوجده (Crafts, 1931).

٢- وجود الضغط الانتفاخي Turgor Pressure الذي يكون عاليا في مكان الانتاج والتصدير أو الأوراق (source) وواطئا في مكان الاستهلاك كالجذور (Sink).

٣- سرعة حركة المواد الذائبة والجارية في اللحاء لأجل معرفة معدل حركة المواد الذائبة في اللحاء يجب أن نستعرض فرق الضغط الازموزي

(Osmotic Pressure) والانتفاخي (Turgor Pressure) بين مايسمى sink و Source الذي يقدر بحوالي (- ١٥ ضغط جوي) كما حدد بطريقة مجسات حشرة المن (Weatherly et al, 1959) وبعبارة أخرى ان الضغط الازموزي في اللحاء للورقة أكثر مما في لحاء الجذر بخمسة عشر مرة ولذا افترضنا ان فتحات الصفيحة المنخلية Sieve plate غير مملوئة بمادة الكالوس callsoe ولجسام slime bodies أو غيرها كما في الشكل المرقم (٩-٥).

لذلك يمكن الرجوع إلى معادلة (poiseuille equation) لجريان السوائل في أوعية مصفحة وفارغة والمعادلة كما يلي:

(Weatherley and Johnson, 1968)

$$\Delta P = \frac{8\,\eta\,V \times 10^{-6}}{r^2} \qquad \ldots\ldots(٢-٨)$$

حيث أن ΔP هو التناقص في الضغط مقدراً بضغط جوي/ سم.

η هي لزوجة للمحلول بوحدة Poise.

V هي سرعة حركة المحلول سم/ ثانية.

R هو نصف قطر الانبوب الذي يجري فيه المحلول مقاسا بالسنتمتر.

10^{-6} هو كمية ثابتة.

فاذا افترض بأن فرق الضغط (ΔP) هو ١٥ ضغط جوي بين غصن ورقي وجذر مع العلم بأن المسافة بينهما هي ١٥ متر لذلك نحصل على ١ ضغط جوي لكل متر من الشجرة أو ما يعادل ٠,٠١ ضغط جوي/ سم كما نفترض بأن لزوجة المحلول(η) هي ١,٥ × ١٠$^{-٢}$ poise ونصف قطر الانبوب (r) هو ١٢ × ١٠$^{-٣}$. لذلك نجد أن (v) او سرعة الحركة تعادل ٠,١٢ سم/ ثانية أو ٤,٣٢ متر/ ساعة. أما الانتقاد الموجهة لنظرية Mass flow هو ان المواد الذائبة في اللحاء تسير باتجاهين واحد للأعلى والآخر للأسفل كما وجده (Peel et al, 1969).

كما وجد ان النقل في اللحاء يتوقف على وجود المواد السامة مثل سايانيد البوتاسيوم(KCN) وهذا يعني ان عملية النقل تعتمد على عمليات حيوية فسيولوجية

بصورة رئيسية ويتوقف سير العمليات الحيوية عند وجود المواد السامة وليس على وجود فرق في الضغط الازموزي والانتفاخي بين مكان الانتاج والتصدير source وكان الاستهلاك sink.

٢- فرضية الانسياب البروتوبلازمي Protoplasmic streaming

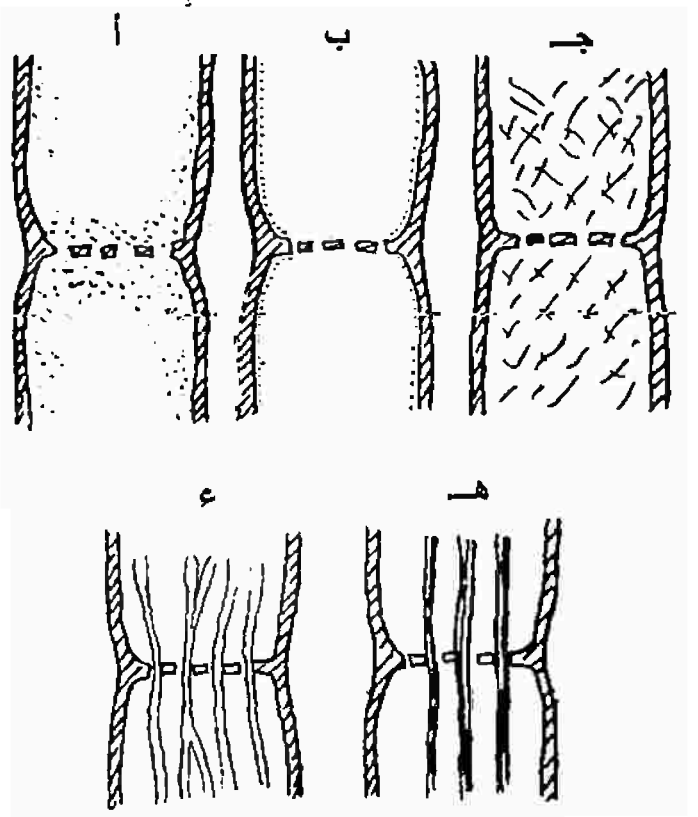
افترض Devries عام ١٨٨٥ وغيره من الباحثين بأن لنسياب بروتوبلازم خلايا اللحاء ومعه المواد الذائبة يحدث من خلية منخلية لاخرى وفي سريان دوري شكل رقم (٩-٦) وقد افترض ان تنقل الجزيئات من انبوبة وعائية منخلية إلى الخلايا الأخرى بواسطة الانتشار Diffusion الذي يتم عادة خلال الشرائط السايتوبلازمية cytoplasmic strands الموجودة في الأنابيب المنخلية ويتم الانتشار سريعا لمسافات قصيرة جداً وتفترض النظرية انتقال المواد الذائبة في كلا الاتجاهين المتضادتين Bidirectional في نفس الوقت وفي وعاء واحدا لما الدليل الذي يساعد على هذه النظرية هو تعثر انتقال المواد الذائبة في اللحاء تحت الظروف التي تقلل الانسياب البروتوبلازمي (Thaine, 1962).

أما النقد الأساسي الموجه لهذه النظرية هو ان حركة لنسياب السايتوبلازم والمواد الذائبة في اللحاء تحتاج إلى سايتوبلازم فعال جدا ومن المعلوم ان سايتوبلازم الأنابيب المنخلية الناضجة يعتبر غير فعال وخال من النواة من الناحية الحيوية كما لم تنجح الدراسات والبحوث في اثبات مثل هذا الانسياب السايتوبلازمي في الأوعية المنخلية الناضجة. أما نقطة الضعف الأخرى في هذه النظرية هي عدم كفاية معدل الانسياب البروتوبلازمي ليعلل الانتقال المحسوب في الانابيب المنخلية فقد احتسب معدل الانسياب بما مقداره ١٥ سم/ ساعة وهذا الرقم قليل جداً بالنسبة للمعدل ١٠٠ سم/ ساعة المحسوبة في نظرية Mass flow.

وأخيراً لم تستطيع التجارب اثبات لنتقال الذائبات في كلا الاتجاهين المتضادين وفي نفس الوقت وفي وعاء واحد، فقد علل Weatherly and) Johnson, 1968) بأن لنتقال الذائبات كالسكر في كلا الاتجاهين المتضادين في نفس الوقت وفي نفس الوعاء المنخلي يجعل المحصلة النهائية لحركة نقل المواد الذائبة تعادل الفرق بينهما وتسبب في بطء حركة المواد المنقولة.

فاذا افترض C_2, C_1 هما تراكيز محلول السكر في طرفي النقل فيكون الشغل المبذول حسب معادلة الكيمياء الفيزياوية هي:

$$W = R\,T\,In\,\frac{C_1}{C_2} \qquad \ldots\ldots(٨-٣)$$



شكل رقم (٩-٥): رسم تخيطيطي لبيان أنواع المواد المالئة للتجاويف المنخلية والمارة خلال الصفائح المنخلية:

أ- فتحات الصفيحة المنخلية مسدودة بالسايتوبلازم

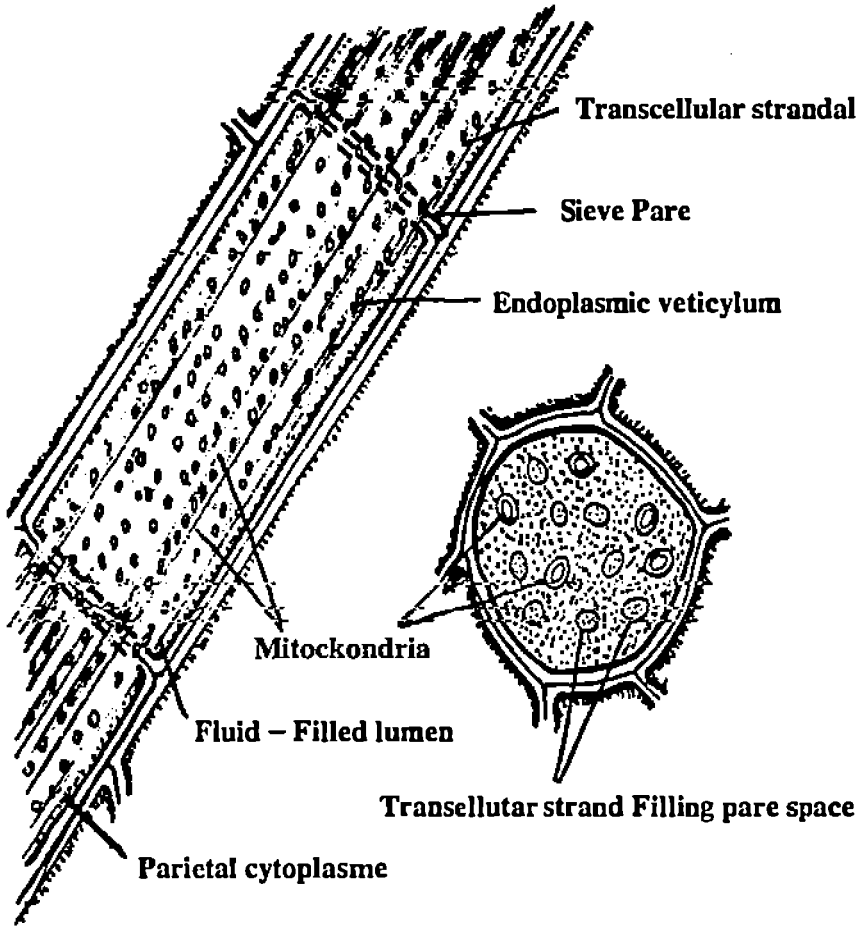
ب- فتحات الصفيحة المنخلية مفتوحة.

جـ- خيوط بروتوبلازمية Plasmatic Filamemts ملأت الانبوب المنخلي والصفيحة المنخلية بشكل شبكي.

د- خيوط بروتوبلازمية بشكل حزم (Strands) تملأ الانبوب المنخلي ومارة بالصفيحة المنخلية

هـ- خيوط بروتوبلازمية محاطة بأغشية (Membranes).

عن: Thaine, 1964



شكل رقم (٩-٦): حركة المواد المذابة من أنبوب منخلي لآخر بواسطة انسياب السايتوبلازم (Streaming).

عن: Thaine, 1964

حيث ان W هو الشغل المبذول $\frac{\text{calories}}{\text{mole}}$ للسكروز المنقول.

و R هو معامل الغاز الثابت ويساوي تقريبا 1.87 calorie/ degree/ mole.

و T هي درجة الحرارة المطلقة (الدرجة المئوية + ٢٧٣) أو درجة كالفن.

و Ln هو لوغاريتم طبيعي أو log 2.303.

و $\frac{C_1}{C_2}$ هما تراكيز المادة المنقولة (السكروز) في طرفي جهاز النقل بوحدة $\frac{\text{mole}}{\text{liter}}$ وهذا يعني انه كلما ازداد فرق التركيز كلما ازدادت الطاقة اللازمة لانجاز النقل وتؤدي إلى زيادة سرعة حركة النقل بينما في حالة streaming يلاحظ كلما ازداد فرق التركيز بين الاتجاهين في وعاء واحد كلما بطئت حركة النقل وقلت الطاقة اللازمة لنقل المولد.

٣- نظرية الانتشار الفعال: Activated Diffusion

بما ان كل مادة تدخل في الأنابيب المنخلية سوف تتاسب في الغصارة الدائرة في الأنابيب المنخلية ولهذا تعتبر نقطة دخول المواد إلى الأوعية المنخلية هي العامل المحدد لنقل المواد الغذائية في الأوعية المنخلية لذلك يتوقع وجود الأيونات غير العضوية في مجرى اللحاء وقد اظهرت تجارب Mason and Phillis سنة ١٩٣٧ بأن أيونات الكبريت والمغنيسيوم والكلور تنتقل في أنسجة اللحاء وقد سهل اكتشاف العناصر المشعة دراسة انتقال المواد الذائبة في النبات كما قام Biddulph et al, 1958 بعدة تجارب حول هذا الموضوع واستنتجوا بأن الأيونات تمتص أولا من الجذور وتتحرك بعد ذلك في مجرى الخشب وقسم من الأيونات قد يعاد توزيعها عن طريق اللحاء وقليل منها تنتقل في اللحاء وهذا يعني عدم استطاعتها من دخول الأنابيب المنخلية كما درس (Bukovac and Witter, 1957) مدى حركة وانتقال النظائر المشعة للعناصر الغذائية المضافة لنبات الفاصوليا وكانت نتيجة الدراسات في الجدول المرقم (٩-٣).

جدول رقم (٩-٣) حركة بعض العناصر المعدنية في لحاء الفاصوليا عن:
Bukovac and Witter, 1957

متحركة mobile	متوسطة الحركة intermediate	غير متحركة immoble
البوتاسيوم	الحديد	الليثيوم
الروبيديوم	المنغنيز	الكالسيوم
الصوديوم	الزنك	السترونتيوم
المغنيسيوم	النحاس	الباريوم
الفسفور	الموليبدنيوم	البورون
الكلور		

وقد أيدت تجارب (Mcilrath 1955) بعدم امكانية نقل عناصر الليثيوم والبورون في اللحاء أما العناصر الثقيلة فقد اعتبرت بأنها متوسطة الحركة في اللحاء غير ان تجارب حديثة على ايدي الباحثين (Eddings and Brow, 1967) اظهرت بأنها متنقلة بدرجات متفاوتة. أن ممر العناصر الغذائية المتنقلة في اللحاء يتبع العلاقة من المصدر Source إلى المستهلك sink فقد بين (Biddulph et al, 1958) بأن مجرى انتقال الفسفور في نبات الفاصوليا تشبه لحد كبير انتقال المواد السكرية في اللحاء باستثناء ان الفسفور يؤخذ اولا عن طريق الجذور وينتقل للاوراق عن طريق الخشب ومن هناك قد يعاد توزيعه للجذور أو للأوراق الفتية في الأعلى.