الامتصاص الأيوني Ion absorption

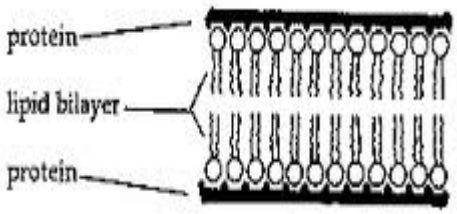
يتكون جدار الخلية من مواد بكتينية وسيليلوز. والسيليلوز يميل إلى التجمع لتكون حلقة تشبه في تشكيلها مركباً ليفياً مجهرياً يسمى (Micro fibrils) حيث أنّ المساحات البينية لهذا المركب تسمح بدخول الماء والهواء والجزيئات الذائبة إلى جدار الخلية.

غشاء البلازما: هو الغشاء المتاخم والواقع بين السايتوبلازم وجدار الخلية. والغشاء الذي يفصل السايتوبلازم عن فجوة الخلية (Vacuole)هو غشاء الفجوة (Tonoplast)، وتوجد النواة، البلاستيدات الخضراء والمايتوكندريا داخل السايتوبلازم.

البلاستيدات الخضراء: هي الأعضاء التي يحصل فيها تحولات الطاقة الضوئية وتمثيل ثاني أوكسيد الكاربون.

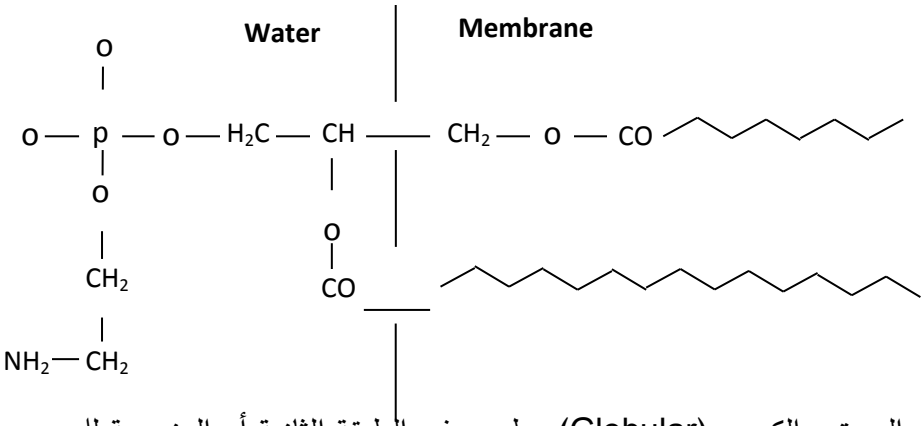
المايتوكوندريا: توجد فيها الأنزيمات التي تسيطر على الخطوات المختلفة لدورة الحامض الكاربوكسيلي الثلاثي (Tricarboxylic acid cycle)، والتنفس والفعاليات الحيوية للأحماض الدهنية.

لغرض تفهم عملية الامتصاص الأيوني فيجب معرفة تركيب ووظائف الأغشية الحيوية فالأغشية الحيوية تتكون من أجزاء متساوية تقريباً من البروتينات والدهون وذات سمك يقدر بـ10nm. إن تركيب الغشاء الحيوي يتكون من طبقتين من جزيئات الدهن ومنها تنظيم نهايات Hydrophobic tails العائدة للأحماض الدهنية واحدة مقابل الأخرى. الحدان الخارجيان لطبقة الدهن تكون مغلفة بطبقة البروتين. إنّ مثل هذا التركيب يمكن أن يعمل لحاجز وذلك لأنّ طبقة البروتين تزيد من الصلابة والجزء الدهني يمنع اختراق الجزيئات الكهربائية المائية (Hydrophobic) التي تضم الأيونات غير العضوية للغشاء الحيوي.



شكل(1): مخطط الغشاء الحيوي حسب (Danielli and Davson 1935).

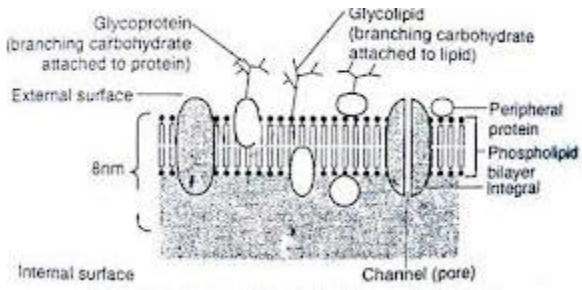
وحديثاً أوضحت بأنّ الأغشية الحيوية تتركب بصورة رئيسية من طبقة ثنائية من amphiphilic وهذه تعني وجود كل من hydrophilic (مجاميع OH ومجاميع NH3 ومجاميع الفوسفات ومجاميع الكاربوكسيل) ومناطق hydrophobic (سلسلة من الكاربون الكهربائي المائي) في الغشاء. ولهذا فإنّ الدهون والبروتينات ربما تُحاط بأواصر كهربائية وأواصر هيدروجينية وأوامر من سلسلة الكاربون الكهربائي المائي.



وفي هذه الحالة إن البروتين الكروي (Globular) مطمور في الطبقة الثانية أو المزدوجة للدهن. قسم من هذه البروتينات ربما يتمدد خلال الغشاء وبهذا تكون قنوات بروتينية من جهة إلى الجهة الأخرى للغشاء. وهذه القنوات تكون مهمة لمرور جزيئات Hydrophobic الصغيرة مثل جزيئات الماء والايونات غير العضوية.

بالإضافة إلى البروتين المطمور في طبقة الدهن المزدوجة والمسمى (بالبروتين الضمني Intrinsic Protein) هناك البروتين الخارجي (Extrinsic Protein) الذي تكون جزيئاته مدمصة على الجهة الخارجية للغشاء الحيوي بواسطة التداخل الكهربائي بصورة رئيسية والتأثير الفسيولوجي لهذا البروتين غير واضح لحد الآن.

البروتينات الضمنية: هي بروتينات أنزيمية بصورة رئيسية. وتسلسل انتظام هذه البروتينات الخاص في الأغشية الحيوية ذو تأثير واضح ومهم في العمليات الفسيولوجية مثل التركيب الضوئي والتنفس.



(مخطط الغشاء الحيوي حسب Singer 1972).

إنّ الأغشية الحيوية غير نفاذة بصورة كاملة بل أنها تسمح بانتشار الأيونات hydrophilic والجزيئات. ودرجة النفاذية تعتمد على المكونات التي تتركب منها الأغشية وان الأنزيمات المتواجدة في الأغشية ربما تدخل بصورة مباشرة أو غير مباشرة في انتقال الأيونات والجزيئات عبر الغشاء.

الامتصاص الايوني والفعاليات الحيوية

تمتص جذور النبات المواد المعدنية والعضوية بشكل عام بصورة ايونية مثل امتصاص (Na^+، K^+، CL^-، $MOO_4^=$، SO_4^{-2}، BO_3^{-3} ، $HPO_4^=$ ، $H_2PO_4^-$ ، NO_3^- ، NH_4^-) (Zn^{+2}، Mn^{+2}، Mg^{+2}، Ca^{+2}، كما يمكن للنبات امتصاص المواد بشكل غير ايوني كامتصاص الاحماض الامينية او امتصاص المركبات المخلبية Chelated Compound والتي هي مركبات للعناصر الغذائية الصغرى مثل امتصاص (Fe–APCA ، Fe–EDTA) . كلمة Chelate هي كلمة لاتينية تعني خلب بمعنى ان العنصر الممسوك بقوة من اكثر من جهة تماما.

العنصر الغذائي لكي يمتص من محلول التربة ويدخل في ايض النبات فأنه يجب ان يخترق الجدار الخلوي ثم غشاء البلازما فالسيتوبلازم الفجوة العصارية (التونوبلاست) ومنها الى الخشب في الجذر ثم الخشب في الساق ومنه الى طبقة الميزوفيل في الورقة.

الفراغ الحر او الفراغ الخارجي Free Space or Outer Space

لقد بينت الدراسات الى ان انتقال الماء والمغذيات خلال الجدار الخلوي للجذر(البشرة والقشرة) في محلول التربة تتم بعملية الانتشار. وان هذه العملية هي عملية فيزيائية بحتة لا تحتاج الى بذل طاقة من قبل النبات وان هذا الجزء الذي تتحرك به الايونات بحرية تامة وبدون اي مقاومة والذي يشكل حوالي 10% من الحجم الكلي للجذور قد اطلق عليه الفراغ الحر او الفراغ الخارجي.

جميع الفرضيات او النظريات التي تتناول امتصاص المغذيات في الفراغ الحر هي خاصة بالامتصاص الحر او السالب Passive Absorption في حين ان النظريات او الفرضيات التي تتعلق بالغشاء بالبلازما الذي تواجه به الايونات صعوبة اثناء مرورها بالامتصاص الحيوي للمغذيات Active Absorption . اشارت الدراسات ان الفراغ الحر يشمل المسامات البينية المتواجدة في الجدران الخلوية لخلايا البشرة والقشرة وحتى طبقة الاندوديرمز حيث تمثل الشريط الكاسبري الحر الفاصل للفراغ الحر.

س/ ماهي نوع الشحنة الذي يحملها جدار الخلية للجذور وغشاء البلازما؟

ج/ ان جدار الخلية وغشاء البلازما يحمل شحنة سالبة حاله في ذلك حال الغرويات للتربة (الطين والدبال) والتي تعود الى مجاميع الكاربوكسيل لحامض البكتيك والى مجاميع الفوسفات والتي تعود للفوسفوبيدات في الغشاء وعليه فان غشاء البلازما يقوم بجذب الكاتيونات وتتنافر مع الانيونات ولذلك فان توزيعا حديثا سيطرأ على الايونات الداخلة الى الفراغ الحر والخارجة منه الى الوسط الخارجي مرة اخرى وقد اكتشف هذه العملية دونان واطلق على هذا التوزيع بتوزيع

دونان Donan Distribution ويسمى الجزء الذي يتم فيه هذا التوزيع والذي يشكل حوالي 20% من حجم الفراغ الحر بفراغ دونان Donan Free Space . وعلى هذا الاساس فان للجذور سعة تبادلية كاتيونية لان الكاتيونات المتواجدة على سطح الجدار الخلوي يمكنها التبادل والامتزاز مع الكاتيونات الاخرى المتواجدة في محلول التربة فمثلا النباتات البقولية لها سعة تبادلية كاتيونية اعلى من النجيليات . وهناك جملة من الملاحظات حول فراغ دونان

أ- حجم الفراغ يبقى ثابتا وتكون الايونات في انتقال متعاكس بمعنى ان الايونات التي تدخل في محلول التربة الى الفراغ وكذلك تخرج من الفراغ الحر الى محلول التربة الخارجي.

ب- دخول الايونات من محلول التربة الى الفراغ الحر يكون غير اختياري اي ان لا يميز بين الايونات والكاتيونات لأنه جميعها تدخل الى داخل الفراغ الحر من محلول التربة بواسطة عملية الانتشار الى ان يصبح التركيز في محلول التربة مساوٍ للتركيز في الفراغ الحر.

ت- اوضح العالم Epstein ان عملية الانتشار خلال الفراغ الحر او الفراغ الخارجي تحدث في النسيج الميت او الحي وهذا دليل اخر على ان الانتشار خلال الفراغ الحر غير حيوي او غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات الحي.

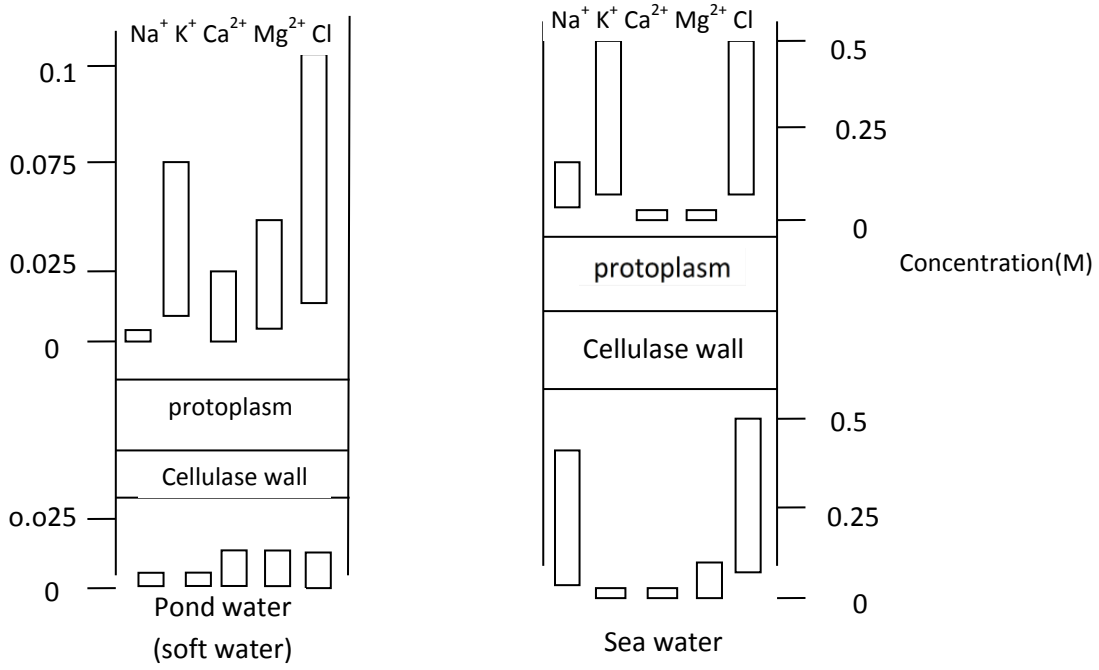
ث- دخول الايونات او الماء الى الفراغ الحر لا يحتاج بذل طاقة لانه يحدث بفعل الانتشار وهذا ما يطلق عليه بالامتصاص السلبي غير الحيوي بينما دخول جزيئات الماء او الايونات عبر غشاء البلازما والسايتوبلازم وغشاء الفجوة ومنها الى الفجوة العصارية يحدث بعملية الامتصاص النشط او الفعال (الامتصاص الحيوي) وهذه العملية تحتاج الى بذل طاقة من قبل النبات الحي.

الامتصاص الأيوني والفعاليات الحيوية : Ion uptake and Metabolism

أجرى الباحث Hoagland D.R. 1948,1944 ومساعدوه عدة تجارب على نوعين من الطحالب هي:

طحلب ①Nitella الموجود في الماء العذب. طحلب ②Valonia الموجود في ماء البحر.
وتوصلوا إلى نتائج ذات أثر جيد في عملية الامتصاص الأيوني بواسطة النبات فقد وجدوا بأنّ تراكيز الأيونات في فجوة خلية هذه الطحالب لا يتطابق أولا ينسجم مع التراكيز الخاصة للظروف الغذائية لهذه الطحالب. حيث وجدوا تراكيز عالية من K , Cl في فجوات كلا الطحلبين إلا أنّ الصوديوم كان تركيزه في فجوة طحلب الـ Valonia أقل من تركيزه في ماء البحر.
وقد استُنتِجَ من هذه النقاط المهمة ما يلي:

1. النبات قادر على امتصاص الأيونات بصورة انتقائية: وهذه العملية تسمى بالامتصاص الأيوني الانتقائي (Selective ion uptake).
2. إنّ تراكيز أنواع متعددة من الأيونات في الفجوة أعلى من تراكيزها في الوسط الخارجي. وهذا يدل على أن تجمع الأيونات قد حصل ضد نسبة الزيادة أو النقصان في التركيز against concentration gradient.
3. كون عملية الامتصاص تحتاج إلى طاقة. تحصل عليها من الفعاليات الحيوية للخلية.



(تركيز الأيونات في فجوة كل من Nitella و Valonia وعلاقتها بتراكيز الأيونات في الوسط الخارجي Hoagland).

4. إنّ العلاقة بين الفعاليات الحيوية والامتصاص الأيوني غير مفهومة بصورة كاملة لحد الآن. بالرغم من الامتصاص الأيوني وارتباطه مع التنفس معروف منذ سنة 1932 حيث وضحت هذه العلاقة من قبل لوندكارو(Lundegardh 1932) وتوضح ارتباط الانتقال الأيوني بالجريان الاليكتروني في حلقة التنفس وقد أوضح هذا العالم بأنّ السايتوكروم لا تلعب أي دور في عملية الامتصاص الأيوني حيث أنها لا تتواجد في كل من غشاء البلازما وغشاء فجوة الخلية.

الانتقال الحيوي والانتقال الحر للمغذيات

يخضع امتصاص وانتقال ايونات العناصر الغذائية في محلول التربة الخارجي وحتى نقل هذه الايونات الى المحلول الداخلي للنبات اي (لكي تعبر غشاء البلازما والسايتوبلازم ....ومنها الى الفجوة العصارية لكي تدخل هذه الايونات في الفعالية الحيوية للنبات) تحتاج الى قوتين هما:

1.التغير في القوة الكهربائية

2.التغير في الجهد الكهربائي

ولهذا الايونات تتحرك لمحصلة هاتين القوتين اي التغير في الجهد الكهروكيمياوي Electro Chemical Potential Gradient ومحلة هذا التغير تنتهي بالتوازن بينهما وهذا التوازن قد شرح من قبل Nernest كما يأتي

$$\Psi i - \Psi o = E = \frac{RT}{ZF} ln \frac{CO^{+}}{CL^{+}} = \frac{RT}{ZF} ln \frac{AO^{-}}{AI^{-}}$$

$$\Delta G = RTln \frac{C2}{C1}$$

Ψi = شحنة الوسط الداخل للسايتوبلازم

Ψo = شحنة الوسط الخارجي (وسط نمو النبات)

E = فرق الجهد الكهربائي (وتمثل الفرق بين الشحنة في الداخل والخارج)

R = ثابت الغازات = 1.987

T = درجة الحرارة المطلقة = (273 + درجة حرارة نمو النبات)

F = ثابت فرداي = 23000 كالوري

Ln = اللوغاريتم الطبيعي = 2.3 log 1o

O,I = تمثل رمز المحلول الداخلي والخارجي على التوالي وعند تعويضها في المعادلة ينتج او نحصل على الاتي

$$E = \frac{58}{1} log \frac{CO^{+}}{CI^{-}}$$

ولو فرضنا ان تركيز البوتاسيوم في الداخل هو عشرة اضعاف تركيزه في الخارج اي حدث تجمع للبوتاسيوم من الداخل وهذا هو الشيء

$$E = \frac{58}{1} log \frac{1}{10} = 58\, log 10^{-1} = -58 m.v (\text{مليفولت})$$

هذه القيمة صغيرة وهذا يدل على ان البوتاسيوم يتجمع وينتقل للداخل بعملية الامتصاص الحر.

عادة يبلغ الجهد الكهربائي للخلايا الحية (60−80) ملي فولت ولغرض معرفة فيما اذا كانت الايونات قد انتقلت سلبا او حيويا نطبق المعادلة الاتية :

Ed = Em− Ecal (m.v)

Ed = القوة الناقلة للأيونات

Em = تمثل الجهد الكهربائي المقاس

Ecal = تمثل الجهد الكهربائي المحسوب

جدول يوضح قيم (E) للأيونات بالملي فولت

نوع الايون	Em المقاسة	Ecal المحسوبة	Ed (بالملي فولت)	
Na^+	138−	67−	71−	سلبي
K^+	138−	179−	41−	حيوي
Cl^-	138−	99−	237−	حيوي

الاستنتاج:−

- بالنسبة للكاتيونات اذا كانت قيمة (Ed) سالبة فهذا يدل على حدوث امتصاص سلبي اما اذا كانت قيمة (Ed) لها موجبة فهذا يدل على حدوث امتصاص حيوي لأنه يدل على حدوث تجمع وانتقال ضد تدرج التركيز.
- بالنسبة للأيونات اذا كانت قيمة (Ed) سالبة فهذا يدل على حدوث امتصاص حيوي اما اذا كانت قيمة (Ed) لها موجبة فهذا يدل على حدوث امتصاص سلبي.

يمكن القول باختصار اذا كانت اشارة Ed تماثل اشارة الايون الممتص سواء كان كاتيون ام انيون يدل على حدوث تجمع لهذا الايون وانه انتقل ضد تدرج التركيز ولكي يحدث انتقال للايون من التراكيز الواطئة الى التركيز العالي فهذا يحتاج الى بذل طاقة من قبل النبات ويدل على حدوث امتصاص حيوي له. وبالعكس اذا اختلف اشارة Ed عن اشارة الايون الممتص فيدل على حدوث جذب لهذا الايون وان الايون قد انتقل بطريقة فيزيائية اي بالانتشار ولا يحتاج الى بذل طاقة.

الفرق بين الامتصاص السلبي الحر والفيزيائي الحيوي

الامتصاص السلبي Passive absorption	الامتصاص الحيوي(الفعال والنشط)Active absorption
1. لا يحتاج الى طاقة	1. يحتاج طاقة
2. امتصاص متعاكس Reversible	2. غير متعاكس Irreversible
3. غير اختياري Non selective	3. اختياري Selective

الدلائل التي تؤيد عملية الامتصاص النشط (الفعال)

أ− تجمع وامتصاص الأنيونات السالبة الشحنة والتي تشابه الجدار الخلوي وغشاء البلازما ومن المفروض ان يحدث تنافر هذه الايونات السالبة الشحنة مثل امتصاص $H_2po_4^-$ ، Hpo_4^{-2} ، So_4^{-2} و No_3^- وهذا يتطلب بذل طاقة من قبل النبات الحي.

ب- الاستنتاج الرئيس الاخر هو ان تركيز انواع متعددة من الايونات في الفجوة اعلى من تراكيزها في الوسط الخارجي وهذا يدل على تجمع الايونات قد حصل ضد نسبة الزيادة او النقصان في التركيز.

ت- عملية الامتصاص تحتاج الى طاقة والتي تحصل عليها من الفعاليات الحيوية للخلية.

ث- زيادة عملية الامتصاص بارتفاع درجات الحرارة الى حد مناسب والحرارة نوع من انواع الطاقة.

ج- الاوكسجين لوحظ زيادة في امتصاص ايونات العناصر الغذائية بزيادة النسبة المئوية لجهد الاوكسجين.

ح- الضوء وجد ان امتصاص الايونات يزداد بزيادة شدة الضوء وهذا دليل اخر على ارتباط عملية الامتصاص الحيوي بالطاقة الناتجة من عملية التركيب الضوئي .

خ- الكربوهيدرات لقد وجد زيادة لعملية الامتصاص بزيادة محتوى النسيج النباتي من السكريات.

د- التنفس لقد وجد زيادة معدل التنفس يؤدي الى زيادة خروج Co_2 ومن ثم زيادة عملية امتصاص الايونات.

ذ- المواد المثبطة لوحظ ان هناك علاقة بين امتصاص الايونات واستخدام المواد السامة او المثبطة فعند اضافة ثنائي المثيل الى محلول مغذي من كلوريد البوتاسيوم انخفض معدل امتصاص البوتاسيوم لمقدار 90% .