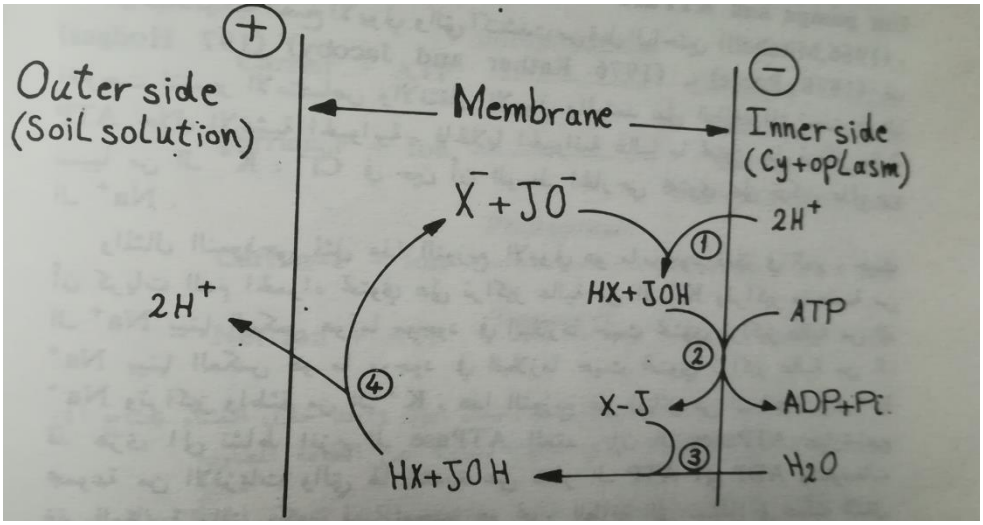
الضخ الايوني Ion Pump وانزيم (ATP_{ase})

ان ميكانيكية الضخ الايوني قد اقترحت من قبل (Mitchell 1966 و Hodges 1973) لتفسير الامتصاص والانتقال الايوني والمعتمد على الطاقة الموجودة في ATP خلال الاغشية الحيوانية ، فالخلايا الحيوانية بشكل عام تحتوي على تراكيز عالية نسبيا من (K^+ و CL^-) في حين الوسط الخارجي يحتوي تراكيز اعلى من Na^+ وهذا ما موجود فعلا في الدم فكرات الدم الحمراء تحتوي على تراكيز عالية من K^+ وتراكيز منخفضة من Na^+ بينما العكس في حالة البلازما التي تحتوي على تراكيز منخفضة من K^+ وعالية من Na^+ هذا التوزيع غير المتماثل K^+ و Na^+ عزي الى نشاط انزيم (ATP_{ase}). ان (ATP_{ase}) لها القدرة على تحليل ATP الى ADP والفوسفات غير العضوية (المعدنية) والتي يكون من نتائجها تحرر طاقة تستغل في عملية النقل الايوني.

ان مضخة الايون Ion Pump عبارة عن مركب يشمل على انزيم (ATP_{ase}) وبروتين سكري Glycoprotein. لقد افترضت ان التحلل المائي ATP يؤدي الى احداث تغير في شكل البروتين بحيث يصبح ملائما لنقل الايون خلال الغشاء الحيوي. لقد اصبح الان وجود ميل من قبل العلماء بان الشحنة السالبة المتواجدة على غشاء البلازما تعود لـ ATP والذي يمثل مصدر للطاقة لعملية الامتصاص والانتقال الحيوي لايونات العناصر الغذائية وان غشاء البلازما يحتوي على عناصر انزيم (ATP_{ase}) والذي يقوم بتحليل (ATP) مائيا اي ان :-

$$ATP + H_2o \xrightarrow[\text{ATPase}]{\text{انزيم}} ADP + Pi(Energy)$$

والشكل التالي يمثل رسما افتراضيا لـ Ion Pump (H–Pump) عن (Mengel & Kirkby 1982)



لاحظ كيفية ضخ الايونات الهيدروجين $2H^+$ من الداخل (السايتوبلازم) الى الخارج (محلول التربة).

ان تحلل ATP بواسطة انزيم ATP_{ase} يسبب تغيرا في تركيز الـPH وكذلك تغيرا في الجهد الكهربائي حيث تصبح الخلية اكثر سالبيه وكذلك اكثر قاعدية مقارنة بالوسط الخارجي الذي يصبح اكثر ايجابيه واكثر حامضيه (زيادة تركيز الهيدروجين بالخارج) وهكذا يتولد فرق جهد كهربائي نتيجة الاختلاف في تركيز ايونات الهيدروجين في الداخل والخارج وهذا التغير في الجهد الكهروكيمياوي Electrochemical potent يمكن التعبير عنه بالمعادلة الاتية التي وضعت من قبل Poole 1978

$$Pmf = -PH + Ed\ (Em - E\ cal)$$

حيث ان Pmf تعني Proton motive force اي القوة المحركة للبروتون اي القوة التي يتم بواسطتها نقل الايونات (البروتونات)الكاتيونات ضد التدرج في الجهد الكهروكيمياوي خلال الغشاء وكما يلاحظ من الشكل فان ضخ الايونات للهيدروجين يتوقف على الامداد بالـ ATPولكن افترض انه يتم انتاج $2H^+$ في السايتوبلازم وضخها الى الخارج لكل جزيئة واحدة من الـATP . وكما يلاحظ فان اساس عملية الضخ الايوني (H–Pump) في النموذج الافتراضي السابق ترتبط ارتباطا وثيقا بتحلل الـATP والتي تؤدي الى التناضح والتنافذ الكيمائي Chemiosmosis لايونات الهيدروجين عبر الغشاء والتي افترضت في فترة سابقة من قبل العالم Mitchell 1966 والتي يمكن توضيحها كالاتي

1. في الخطوة الاولى يتم تفاعل الجزيئات المتحركة الافتراضية (Jo،X) مع $2H^+$ الاتية من السايتوبلازم مكونة بذلك (JoH، Hx) .
2. في الخطوة الثانية تعمل الـ(Hx،JoH) على تحليل (ATP) الى (ADP) و(PI) ويتكون المركب(X–J).
3. في الخطوة الثالثة يتحلل (X–J) مائيا ليتكون من جديد كل من (JoH، Hx).
4. في الخطوة الرابعة يفقد كل من (Hx و JoH) الهيدروجين الى خارج الغشاء لتكون من جديد الجزيئات المتحركة الافتراضية (X و Jo) وهكذا يمكن ان تعاد العملية من جديد.

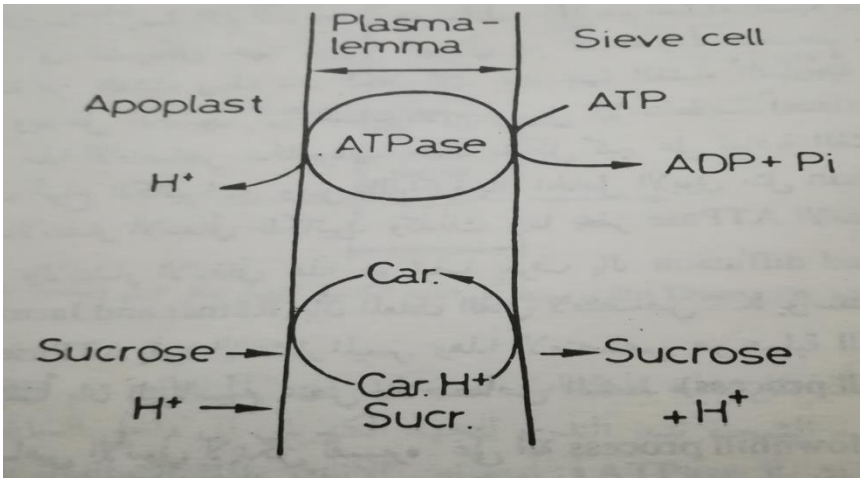
ان المحصلة النهائية لهذه العملية تحرر($2H^+$) الى خارج الغشاء (محلول التربة) والمرتبطة بتحلل جزيئة واحدة من (ATP).

كما يتضح وكنتيجة ضمنية لهذه العملية هي نشوء

أ. فرق في الجهد الكهربائي ب. فرق في الجهد الكيميائي

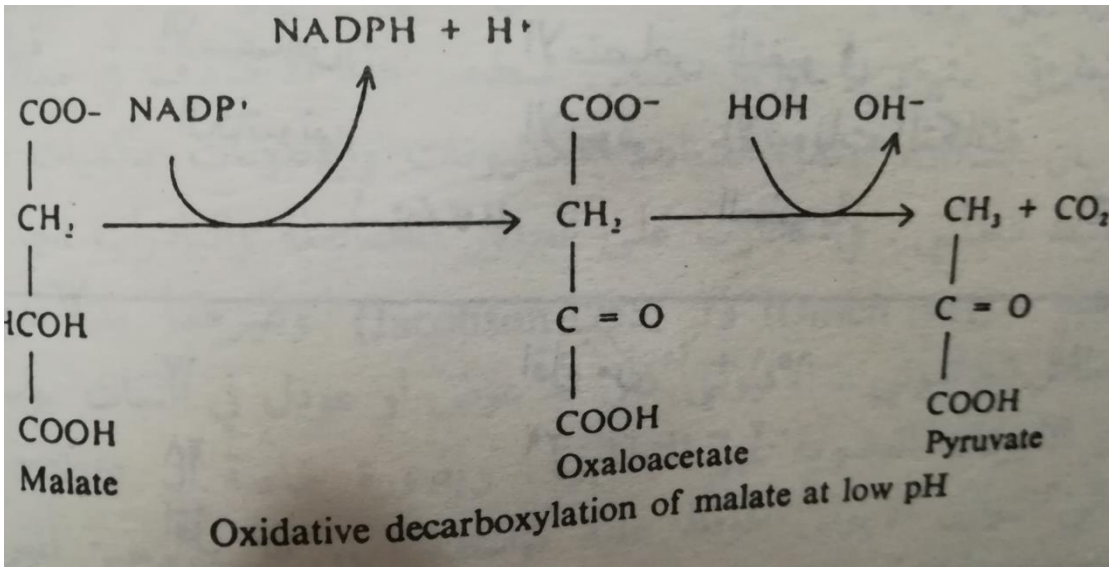
وبالتالي يصبح الجانب الداخلي للغشاء اكثر سالبيه (محمل بشحنة سالبة) بسبب فقد الجزء الداخلي لـ($2H^+$) وفي نفس الوقت اكثر قاعدية بينما يصبح الجانب الخارجي من الغشاء اكثر حامضية ومحمل بشحنة موجبة لاكتساب الجزء الخارجي لـ($2H^+$) وبهذه الكيفية فان الكاتيونات تجذب الى الداخل لمعادلة التغير في الجهد الكهربائي السالب.

ان هذا النوع من الامتصاص الكاتيوني يعتمد بدرجة كبيرة على نفاذية الغشاء الحيوي والتي تختلف باختلاف الكاتيونات اي ان هناك اختيارية لنقل الايونات خلال الغشاء ويعود ذلك لوجود مضادات حيوية ، فقد وجد ان مادة الفالينومايسين متخصصة لنقل البوتاسيوم خلال الغشاء. ويرى Rather & Jacoby 1976 ان المعدل العالي لامتصاص البوتاسيوم يمكن ان يعزى الى نشاط انزيم ATP_{ase} المسير لانتشار البوتاسيوم خلال خلايا النبات. ان مثل هذا النوع من الامتصاص هو انتقال سلبي حر اي لا يحتاج الى طاقة بيد ان هناك دلائل قد اشارت الى ان البوتاسيوم يمكن ايضا ان يمتص حيويا اي نتيجة بذل طاقة من قبل النبات الحي. اما امتصاص الايونات فلا يمكن تفسيرها على انها تتم بعملية الامتصاص السلبي الحر لأنه يجب بذل طاقة للتغلب على شحنة الجدار الخلوي وشحنة غشاء البلازما السالبة ، ومع ذلك فهناك ايضا افتراضات على امكانية حدوث امتصاص سلبي للايونات تتبادلها مع OH^- والـHCO_3^- المتواجدة في الوسط الخارجي للنبات.



ملاحظة/ ولو ان انتشار الكتيونات والانيونات تمت بطريقة سلبية لكنها مرتبطة اصلا بالتحلل المكافئ لـ (ATP) بواسطة انزيم الـ(ATP_{ase}) اي انها امتصاص حيوي.

مما تجدر الاشارة اليه ايضا انه قد يحدث تغير للPH (ارتفاع PH) نتيجة عمليات Decarboxylation التي تحدث في داخل النبات مثل تحول Oxalic acetic Acid الى Malic Acid ومن ثم الى حامض البايروفك بمعنى تلاشي مجموعة كاربوكسيل والمعروف ان مجاميع الكاربوكسيل تكون مسؤولة عن الاحماض العضوية فكلما زاد عدد مجاميع الكاربوكسيل يكون الحامض اكثر حامضية وكما يتضح ذلك من المعادلات الاتية:



Oxidative decarboxylation of malate at low pH