

الفصل الثالث

Chapter Three

حسابات النقل الفيزيائي والبايولوجي

Physical and Biological Transport Calculations

المقدمة

أن عملية نقل الماء أو الأيونات أو الاثنين معا بين خارج الخلايا وداخلها أو بين مختلف اجزاء النبات تعتمد على العمليات الفيزيائية أو الحيوية (البايولوجية) أو الاثنين معا. وقد يصل النقل في النهاية إلى حالة التوازن **Equilibrium** كما يحدث في الفراغ الحر من الخلايا **Free Space** كما سنرى ذلك.

النقل الفيزيائي **Physical Transport**

يحدث النقل الفيزيائي بين الأنظمة أو الأجزاء ذات المكونات المتعددة حتى يحدث التوازن الفيزيائي. وقد يحدث النقل الفيزيائي استجابة ظواهر عدة منها:

١- الأزموزية **Osmosis**

من المعلوم أن ظاهرة الأزموزية هي جزء من خواص المحاليل المسماة **Colligative Properties** التي تشمل حدوث الضغط الأزموزي للمحلول بوجود المذاب وانخفاض الضغط البخاري للمحلول مقارنة بالضغط البخاري للماء المقطر وارتفاع درجة الغليان للمحلول مقارنة بدرجة الغليان للماء المقطر فضلا عن انخفاض درجة الانجماد للمحلول مقارنة بدرجة الانجماد للماء المقطر.

أن أبسط حالات الأزموزية هي انفصال المذيب النقي عن المحلول (المذيب + المذاب) بغشاء نصف ناضح يسمح بمرور المذيب فقط خلاله (شكل رقم ٢-٢). ولكي ندرك الضغط الأزموزي للمحلول يجب أن نستعرض الطاقة الحرة **Free Energy** لمكونات المحلول وهذه الطاقة لا تعتمد على درجة الحرارة والضغط فحسب بل على تركيب المحلول.

ولنفرض أن المحلول كان مخففا ويحتوي على المذيب **A** والمذاب **B**. وبعبارة أخرى أن النقل يرتبط أساسا بفرق الطاقة الحرة بين المذيب في المحلول والمذيب النقي.

$$G_{A_{\text{Solution}}} - G_{A_{\text{Pure Solvent}}} = RT \ln \frac{P_{A_{\text{Solution}}}}{P_{A_{\text{Pure Solvent}}}} \dots (1-3)$$

حيث أن GA هي الطاقة الحرة **Free Engery**.

وان P_A هو الضغط البخاري.

وان R هو معامل الغاز الثابت.

وان T هي درجة الحرارة المطلقة.

وان \ln هو اللوغاريتم الطبيعي.

وعند الكلام عن خواص المذيب فالمقصود بالمذيب النقي هو الحالة القياسية وتوضع للحالة القياسية علامة $(^\circ)$. أي أن المعادلة (١-٣) تكتب كالآتي:

$$GA - GA^\circ = RT \ln \frac{P_A}{P_A^\circ} \quad \dots(٢-٣)$$

ومما يذكر انه قد يستعمل قانون رؤولت للتعويض عن الضغط البخاري بمصطلح التركيز ومن المعلوم ان قانون رؤولت يتضمن الآتي:

$$P_A = X_A \times P_A^\circ \quad \dots(٣-٣)$$

حيث ان P_A هو الضغط البخاري للمحلول.

وان P_A° هو الضغط البخاري للمذيب النقي.

وان X_A هو الكسر المولي للمذيب **Mole Fraction of Solvent**.

وبتحويل المعادلة المرقمة (٣-٣) يحدث الآتي:

$$X_A = \frac{P_A}{P_A^\circ} \quad \dots(٤-٣)$$

وفي التعويض في المعادلة المرقمة (٢-٣) يتكون الآتي:

$$G_A - G_A^\circ = RT \ln X_A \quad \dots(٥-٣)$$

ان ذلك يعني ان الطاقة الحرة للمحلول تقل بقلّة الكسر المولي للمذيب X_A (أي عندما يضاف المذاب). هذا ويحتسب الكسر المولي للمذيب كالآتي:

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad \dots(6-3)$$

حيث ان n_A هو عدد مولات المذيب.

وان n_B هو عدد مولات المذاب.

ومما يذكر أنه يمكن تحويل المعادلة (6-3) إلى ما يأتي:

$$GA = GA^\circ + RT \ln X_A \quad \dots(7-3)$$

وبالاستعاضة في المعادلة (6-3) ينتج الآتي:

$$GA = GA^\circ + RT \ln \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad \dots(8-3)$$

أن التغير في الطاقة الحرة للمذيب لكل مول من المذاب المضاف عندما تثبت درجة الحرارة وكمية المذيب بالطاقة الكيماوية (Chemical Potential) ويرمز له

$$\left(\frac{\partial GA}{\partial n_B} \right)_{T, n_A}$$

التي تشق كالآتي:

$$\left(\frac{\partial GA}{\partial n_B} \right)_{T, n_A} = RT \frac{\partial \left(\ln \frac{n_A}{n_A + n_B} \right)}{\partial n_B} \quad \dots(9-3)$$

وتحور المعادلة (9-3) إلى ما يأتي:

$$\left(\frac{\partial GA}{\partial n_B} \right)_{T, n_A} = RT \frac{\partial}{\partial n_B} [\ln n_A - \ln(n_A + n_B)] \quad \dots(10-3)$$

ويمكن أن تحور المعادلة (10-3) إلى ما يأتي:

$$\left(\frac{\partial GA}{\partial n_B} \right)_{T, n_A} = -RT \frac{\partial}{\partial n_B} [\ln(n_A + n_B)] \quad \dots(11-3)$$

كما يمكن تحويل المعادلة (١١-٣) إلى ما يأتي:

$$\left(\frac{\partial GA}{\partial n_B} \right)_{T, n_A} = \frac{-RT}{n_A + n_B} \quad \dots(12-3)$$

ومن المعلوم في الرياضيات أن

$$d \ln x = \frac{dx}{x} \quad \dots(13-3)$$

أي أن

$$d GA = \frac{RT}{n_A + n_B} dn_B \quad \dots(14-3)$$

وبعبارة أخرى أن الطاقة الحرة للمذيب تعتمد على عدد مولات المذاب. وعندما تعتمد الطاقة على درجة الحرارة والضغط إضافة للمذاب يحدث الآتي:

$$dGA = V_A dP - S_A dT - \frac{RT}{n_A + n_B} dn_B \quad \dots(15-3)$$

حيث أن V_A هو حجم المذيب.

وأن dP هو التغير في الضغط.

وأن S_A هي العشوائية **Entropy** للمذيب.

وأن dT هو التغير في درجة الحرارة المطلقة. ومن الجدير ذكره أنه عندما يفصل المحلول عن المذيب النقي بعشاء نصف ناضج ينشأ عن ذلك ضغطاً ازموزياً في المحلول نتيجة زيادة الطاقة الحرة للمذيب النقي ودخول قسم من المذيب النقي إلى المحلول. إلا أنه في حالة حدوث التوازن وثبوت درجة الحرارة فإن العامل $-S_A dT$ سوف يحذف وتصبح المعادلة (١٥-٣) كالآتي:

$$0 = V_A dP - \frac{RT}{n_A + n_B} dn_B \quad \dots(16-3)$$

وتحور المعادلة (١٦-٣) إلى ما يأتي:

$$V_A dP = \frac{RT}{n_A + n_B} dn_B \quad \dots(17-3)$$

وعندما يؤخذ تكامل المعادلة (17-3) عند إضافة الضغط عندما تضاف مولات المذاب وفارضين أن مولات المذاب n_B قليلة مقارنة بمولات المذيب n_A . أي أن مولات المذيب n_A تبقى ثابتة كما أن $n_A + n_B$ تبقى كذلك هي الأخرى ثابتة كما يمكن افتراض بقاء حجم المذيب ثابتا ليحدث الآتي:

$$V_A \int_{P_{\text{Solvent}}}^{P_{\text{Solution}}} dP = \frac{RT}{n_A + n_B} \int_0^{n_B} dn_B \quad \dots(18-3)$$

وتحور المعادلة (18-3) إلى ما يأتي:

$$V_A (P_{\text{solution}} - P_{\text{Solvent}}) = \frac{n_B}{n_A + n_B} RT \quad \dots(19-3)$$

أو

$$V_A \pi = X_B RT \quad \dots(20-3)$$

حيث أن V_A هو حجم المذيب بالتر.

وأن π هو الضغط الازموزي للمحلول بالضغط الجوي.

وأن X_B هو عدد مولات المذاب.

وأن R هو معامل الغاز الثابت.

وأن T هي درجة الحرارة المطلقة.

وعندما تتدخل مولات المذاب في المعادلة (20-3) يحدث الآتي:

$$n_A V_A \pi = n_A X_B RT \quad \dots(21-3)$$

وأن هذه المعادلة (21-3) تشبه المعادلة الآتية:

$$n_A V_A \pi = n_A \left(\frac{n_B}{n_A + n_B} \right) RT \quad \dots(22-3)$$

وقد تشبه المعادلة (٢٢-٣) المعادلة الآتية:

$$n_A V_A \cong n_B RT \quad \dots(٢٣-٣)$$

وعندما يدخل العامل V ليمثل الحد $n_A V_A$ أي حجم الحاوي على المذاب n_B تصبح المعادلة (٢٣-٣) كالآتي:

$$\pi V = n_B RT \quad \dots(٢٤-٣)$$

ويمكن ترتيب المعادلة (٢٤-٣) إلى ما يأتي:

$$\pi = \frac{n}{V} RT \quad \dots(٢٥-٣)$$

لأن هذه المعادلة تصح في حالة كون المذاب مادة غير متأيئة. أما إذا كانت للمواد لذائبة متأيئة عندئذ تدخل نسبة للتخلل أو للتأين (α) وتصبح المعادلة (٢٥-٣) كالآتي:

$$\pi = \alpha \frac{n}{V} RT \quad \dots(٢٦-٣)$$

أي أن الضغط الأزموزي للمحلول يعتمد على عدد مولات المذاب ونسبة تأين المذاب وحجم المحلول ودرجة حرارة المحلول ضمن الحدود الفسيولوجية. أما نقل الماء عبر الخلايا فلا يعتمد على الضغط الأزموزي للعصير الخلوي فحسب بل على جهد الماء **Water Potential** بين جانبي الغشاء الخلوي.

وكما ذكر مسبقاً أن جهد الماء يتعلق بالضغط الأزموزي والضغط الانتفاخي (معادلة ٢-١٣) كالآتي:

$$\psi = P - \pi$$

ولأن الماء دائماً ينتقل من الجهة ذات الجهد المائي العالي إلى الجهة ذات الجهد المائي الواطيء حتى يحدث التوازن.

٢- الديليسة Dialysis

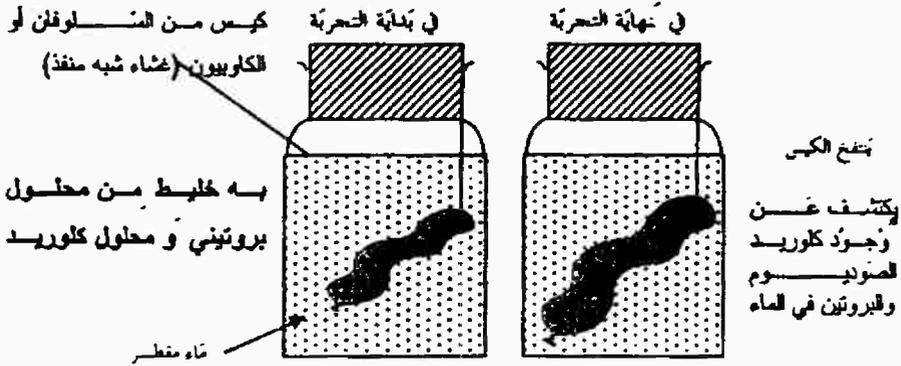
عندما تتعدد الذائبات يحدث التوازن بين مختلف المكونات عندما يسمح الغشاء شبيه



المنفذ لنفوذ بعض الذائبات.

وعملية للديليسة **Dialysis** هي إحدى العمليات التي تزال بواسطتها بعض الأيونات الصغيرة من المحلول الحاوي على البروتينات والأملاح أو يدرس فيها التوازن بين مختلف الذائبات (شكل رقم ٣-١) حيث تجرى بوضع المحلول البروتيني في كيس غشائي (مثل السيلوفان) في الماء المقطرون الغشاء يسمح بمرور بعض الأيونات الصغيرة إلى الماء المقطر الجاري كما يمكن إجراء للديليسة بحدوث للتوازن بين الأيونات في محلول البروتين والأيونات خارج الكيس الغشائي.

وفي الديليسة **Dialysis** فإن محصلة نقل بعض أنواع الأيونات التي تستطيع اختراق الغشاء تستمر حتى يحدث للتوازن. وفي هذه الحالة تتوازن الطاقة الحرة لمكونات الجانبين.



شكل رقم (٣-١): عملية الديليسة **Dialysis** تجري لازالة الأيونات الصغيرة من محلول البروتين أو لدراسة التوازن بين المحلول البروتيني والمحلل للنظم.

أي أن:

$$G_B \text{ left} = G_B \text{ right}$$

....(٢٧-٣)

حيث أن **B** تمثل الأيونات على جانبي الغشاء.

وأن **G** هي الطاقة الحرة.

وإذا افترضنا أن درجة الحرارة والضغط ثابتين ومتشابهين خلال النظام فإن الطاقة الحرة ستعادل ما يأتي:

$$G^{\circ}_B \text{ left} + RT \ln a_B \text{ left} = G^{\circ}_B \text{ right} + RT \ln a_B \text{ right} \quad (28-2)$$

حيث أن a تمثل فعالية الأيونات.

وفي حالة الظروف القياسية للطاقة الحرة للأيونات B فإن المعادلة (28-2) تصبح في حالة التوازن الآتي:

$$a_B \text{ left} = a_B \text{ right} \quad \dots(29-2)$$

ولكن الفعالية a تعادل الآتي:

$$a = \gamma c \quad \dots(30-2)$$

حيث أن γ هو معامل الفعالية.

وأن C هو التركيز.

وعند الاستعاضة في المعادلة (30-2) تصبح المعادلة (29-2) كالآتي:

$$\gamma_B \text{ left} C_B \text{ left} = \gamma_B \text{ right} C_B \text{ right} \quad \dots(31-2)$$

وفي الحالات المبسطة فإن معامل الفعالية γ للذائبات على جانبي الغشاء سيكون متساوي. أي أن:

$$C_B \text{ left} = C_B \text{ right} \quad \dots(32-2)$$

أي أنه في حالة التوازن فإن تركيز الذائبات B سيتعادل على جانبي الغشاء.

وفي الديليسة **Dialysis** ظهر أن أحد المحاليل على جانبي معين من الغشاء قد يحتوي على بعض المواد التي لا يستطيع اختراق الغشاء ولهذا فإن الذائبات التي تستطيع اختراق الغشاء سوف تتأثر بهذه المواد غير المارة من جهة معينة من الغشاء دون الجهة الأخرى.

وهذا ما يحدث في دراسات الديليسة **Dialysis** للجزيئات العملاقة **Macromolecules** كالبروتينات التي تعرقل توازن التركيز بعدة طرق منها:

١- أن فرضية تعادل معامل الفعالية (٧) للذائبات B في جانبي الغشاء قد لا تكون صحيحة لهذا يجب العمل بالمعادلة (٢-١٣) أو المعادلة (٣-٢٨) وليس بالمعادلة (٣-٢٩).

٢- أن الجزيئات العملاقة غير المارة بالغشاء قد ترتبط بالذائبات B لدرجة أن تركيز الذائبات الحرة B يختلف عن مجموع تركيز الذائبات B. ولنفرض أن الجهة اليمنى تحتوي على الأيونات غير العملاقة المارة التي ترتبط بالذائبات المارة B لهذا يكون تركيز الأيونات الكلية C_B في الجهة اليسرى يعادل:

$$C_B \text{ Total} = C_B \text{ Free} \quad \dots(٣٣-٣)$$

ولكن تركيز الأيونات في الجهة اليسرى سيعادل:

$$C_B \text{ Total} = C_B \text{ Free} + C_B \text{ Bound} \quad \dots(٣٤-٣)$$

أما تركيز الأيونات غير المرتبطة (الحرة) العائدة إلى B في جهتي الغشاء سوف يعادل الآتي:

$$C_B \text{ left total} = C_B \text{ right total} - C_B \text{ right bound} \quad \dots(٣٥-٣)$$

ومما يذكر أن قياس تركيز الأيونات الكلية في الجهة اليمنى واليسوى ($C_B \text{ right total}$ و $C_B \text{ left total}$) سيعطي نسبة الأيونات المرتبطة من (B) وستفيد هذه في دراسة البروتينات المرتبطة.

٣- النقل الفيزيائي باتزان دونان **Donnan Equilibrium**. لقد درست حالة الجزيئات العملاقة في جهة معينة من الغشاء ومرور الأيونات الصغيرة للذائبات أو المذيب خلال الغشاء. وفي خلايا فان محصلة النقل للأيونات الصغيرة قد تتأثر بالجزيئات العملاقة الحاملة للشحنات. وهذه الشحنات في الجزيئات العملاقة (البروتينات والأحماض النووية) قد تأتي من ارتباط المغنيسيوم (Mg^{+2}) أو الفوسفات $H_2PO_4^{-1}$ لهذه الجزيئات العملاقة.

ولنفرض أن بعض الأيونات السالبة كالبروتينات قد تثبت في الخلية وعند انتشار أعداد متكافئة من أيونات سالبة وموجبة إلى داخل الخلية عبر غشائها يكون توزيع الأيونات على جانبي الغشاء غير متساوي (شكل رقم ٣-٢).

لذلك تمر أيونات موجبة إضافية لمعادلة الأيونات السالبة المثبتة في الخلية مما يؤدي إلى كون تركيز الأيونات الموجبة داخل الخلية أكثر من خارجها أي حدوث تجمع

الانتفاخي 7 ضغط جوي. أما الخلية ب فكان ضغطها الأزموزي 11 ضغط جوي وضغطهما الانتفاخي 3 ضغط جوي. أي الخليتين تكتسب الماء من الأخرى ولماذا ؟

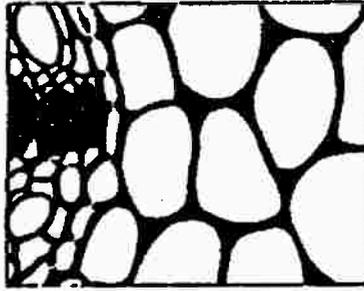
(٢-١٨) خليتان نباتيان أ، ب متمستان وهما في حالة انقباض. قيمة π لكل منهما 10 ضغط جوي، لنفرض أن الخلية ب قد وضعت فقط بتماس مع لتر من الماء المقطر المذاب فيه 68.4 غم سكروز احسب قيمة ψ ، DPD، P للخليتين بعد حصول التوازن بينهما وبين المحلول في درجة حرارة 20 م°.

(٢-١٩) خليتان نباتيان متجاورتان، الأولى قيمة P و π لها هي (- 5 atm) و (5 atm) على التوالي. بينما الخلية للثانية كانت غير منتفخة وقيمة π لها (10 atm). بين حركة اتجاه الماء واحسب قيم P، ψ ، DPD للخليتين بعد للتوازن.

(٢-٢٠) لنفرض أن شعيرة جذرية لنبات ذات ضغط انتفاخي بمقدار 8.2 ضغط جوي وعصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93 م° وكانت موجودة في محلول التربة ذي التركيز (0.1M) ودرجة الحرارة 27 م°. فهل للشعيرة الجذرية تمتص الماء أو تفقده ولماذا ؟

(٢-٢١) لنفرض أن شعيرة جذرية ذات ضغط انتفاخي بمقدار 5 ضغط جوي وعصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.93 م° وكانت موجودة في تربة جهدها المائي يعادل (- 6 atm). هل يمكن لهذه الشعيرة الجذرية أن تمتص الماء أو تفقده ولماذا ؟

(٢-٢٢) خليتان نباتيتان أ، ب موضوعتان في محلولين أ، ب على التوالي وهذان المحلولان موصولان بغشاء نصف ناضج. الخلية أ ذات الضغط الانتفاخي للمعادل 10.6 ضغط جوي وعصيرها الخلوي يسبب انخفاضاً في درجة الانجماد بمقدار 0.465 م° وموضوعة في المحلول أ المذاب فيه 11.7 غم ملح



شكل رقم (٣-٤): توضيح للفراغ الحر (الاسود اللون). عن: Salisbury and Ross 1969.

$$F_s = \frac{A}{C} \quad \dots (3-36)$$

حيث ان F_s هو الفراغ الحر بوحدة سم^٣/غم.

وان A هو تركيز الأيونات أو الذائبات المنتشرة.

بوحدة Micromole/ gram أو mole/ gram.

وان C هو تركيز المحلول الخارجي المحيط بالخلايا بعد التوازن بوحدة Micromole/

cm³ أو mole/ liter. وإذا اردنا التعبير عن حجم الفراغ (بالنسبة المئوية) نسبة إلى

مجموع جسم النسيج فيطلق عليه بمصطلح الفراغ الحر الظاهري Apparent Free

Space (أو $A. F_s$) الذي يساوي:

$$A. F_s = \frac{(100) (F_s)}{V_t} \quad \dots (3-37)$$

حيث ان $A. F_s$ هو الفراغ الحر الظاهري بالنسبة المئوية.

وأن F_s هو الفراغ الحر.

وان V_t هو الحجم الكلي للنسيج بوحدة cm³ أو liter.

وعند التعويض من المعادلة (٣-٣٦) تصبح المعادلة

$$A. F_s = \frac{(100) (A)}{(V_t) (C)} \quad \dots (3-38)$$

ويذكر ان أكثرية الدراسات تشير إلى أن حجم الفراغ الحر الظاهري يقارب 7-10% من

حجم النسيج.

مثال (١-٣)

وضع 10 سم^٣ من نسيج البطاطا في 100 سم^٣ من محلول الكبريتات ذات التركيز (0.2014 M) وبعد حدوث التوازن وجد ان تركيز محلول الكبريتات الخارجى يعادل (0.2000 M). احسب الفراغ الحر الظاهري (A. Fs).

الحل

ما يحتويه النسيج من الكبريتات يعادل الآتى:

$$0.2014 - 0.2000 = 0.0014 \text{mole} / 10 \text{cm}^3 \text{ نسيج}$$

$$0.0014 - 10 = 0.00014 \text{mole} / 1 \text{cm}^3 \text{ نسيج}$$

$$= 0.00014 \text{mole} / \text{gram} \text{ نسيج}$$

أما وزن الكبريتات فيحسب من القانون الآتى:

$$\text{Weight} = \text{Molecular Weight} \times \text{Moles} \quad \dots (٣٩-٣)$$

(gram)

$$\text{Weight} = 96 \times 0.00014 = 0.0134 \text{ gram}$$

نفرض ان الكبريتات المنتشرة إلى الفراغ الحر هي متوازنة مع المحلول الخارجى أي أن:

$$0.00014 \text{mole} / \text{gram} = A$$

$$\frac{0.2}{1000} = 0.0002 \text{ mole} / \text{cm}^3 = 0.2 \text{ mole} / \text{liter} = c$$

$$0.01 \text{ liter} = 10 \text{ cm}^3 = V_t$$

وبتطبيق المعادلة (٣٨-٣) ينتج الآتى:

$$A.Fs = \frac{(100) (0.00014)}{(0.01) (0.2)}$$

$$A.Fs = \frac{0.014}{0.002} = 7.0 \%$$

مثال (٢-٣)

وضع نسيج نباتي في محلول تركيزه الخارجى بعد التوازن Micromole/ ml

0.025 وكان الفراغ الحر يعادل 10 سم^٣ / غم نسيج نباتي.

احسب تركيز الأيونات المنتشرة وتركيز المحلول قبل التوازن.

الحل

$$F_s \cdot \frac{A}{C}$$

بتطبيق المعادلة (٣-٣٦) يحدث الآتي:

$$10 = \frac{A}{0.025}$$

$$A = 0.025 \times 10$$

$$A = 0.25 \text{ micromole/ gram} = 0.250 \text{ micromole/ cm}^3$$

تركيز المحلول قبل التوازن = $0.025 + 0.250$

$$\text{micromole/ ml } 0.275 =$$

مثال (٣-٣)

وضع 10 سم^3 من نسيج البطاطا في 100 سم^3 من محلول الكبريتات ذات التركيز

$(0.25M)$ وبعد حدوث التوازن حسب الفراغ الحر الظاهري بمقدار 10% . احسب تركيز

الكبريتات ووزن الكبريتات في النسيج بعد التوازن.

الحل

نفرض أن تركيز المحلول الخارجي بعد التوازن هو $x \text{ mole/ liter}$ وهذا يعادل:

$$x \div 1000 = \frac{x}{1000} \text{ mole/cm}^3$$

فيكون تركيز الكبريتات في النسيج يعادل:

$$0.25 - x \text{ mole/10cm}^3 = \frac{0.25 - x}{10} \text{ mole/cm}^3$$

وبتطبيق المعادلة (٣-٣٨) ينتج الآتي:

$$10 = \frac{(100) \left(\frac{0.25 - x}{10} \right)}{\frac{(10)(x)}{1000}}$$

$$(10)(x)(0.01) = (100)(0.25 - x) \left(\frac{1}{10} \right)$$

$$\frac{1}{10} x = (100)(0.25 - x) \left(\frac{1}{10} \right)$$

$$x = 25 - 100x$$

$$101x = 25$$

$$x = \frac{25}{101} = 0.247 \text{ M}$$

∴ كمية الكبريتات في النسيج (تركيزها) يعادل:

$$0.250 - 0.247 = 0.003 \text{ mole/ } 10 \text{ cm}^3 \text{ tissue}$$

$$0.003 - 10 = 0.0003 \text{ mole/ } 1 \text{ cm}^3 = 0.0003 \text{ mole/ } 1 \text{ g F.}$$

W.

أما وزن الكبريتات فيعادل الآتي:

$$\text{Weight} = 96 \times 0.0003 = 0.0288 \text{ gram}$$

النقل البايولوجي أو النشاط **Active Transport**

ان دراسة النقل الفيزيائي للذائبات بصورة خاصة أظهرت عدم كفاية هذه العملية بسبب عدم حصول التوازن في تركيز المكونات بين داخل الخلية وخارجها وان الأيونات قد تتجمع في الخلية بتركيز عالية جدا مقارنة بتركيزها خارج الخلية.

ان تجمع الأيونات يحدث في داخل الخلية أو ما يسمى بالفراغ الداخلي **Inner**

Space الذي يشمل السايوبلازم والفجوة (شكل رقم ٣-٥).

لقد وجد ان حركة الأيونات تعتمد على فرق الشحنات الكهربائية (منحدر الطاقة

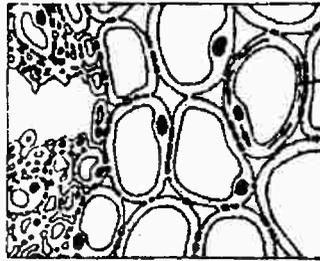
الكهربائية) وكذلك فرق تركيز الذائبات بين داخل وخارج الخلية (منحدر الطاقة الكيماوية).

وللدلالة ما إذا كانت الأيونات تنتقل بصورة حرة (أو فيزيائية) **Physical or Passive**

.Transport

أو حركة نشطة **Active Transport** فقد استعمل الفسيولوجيون معادلتني **Nernst**

الأيونيين:



شكل رقم (٣-٥): توضيح الفراغ الداخلي للخلية ويشمل السايوبلازم والفجوة. عن: **Salisbury and Ross**

1969

$$E_i - E_o = \Delta E = \frac{2.3 RT}{ZF} \log \frac{(\text{cation}^+_o)}{(\text{cation}^+_i)} \quad \dots(٤٠-٣)$$

أو

$$E_i - E_o = \Delta E = \frac{2.3 RT}{ZF} \log \frac{(\text{cation}^-_i)}{(\text{cation}^-_o)} \quad \dots(٤١-٣)$$

حيث أن E_i هي الشحنة الكهربائية (الطاقة الكهربائية) للوسط الداخلي أو السائتوبلازم بوحدة millivolt.

وأن E_o هي الشحنة للكهربائية (الطاقة للكهربائية) للوسط الخارجي أو المحلول المغذي بوحدة millivolt.

وأن ΔE هو فرق الطاقة الكهربائية على جانبي الغشاء الخلوي بوحدة millivolt. وأن 2.3 هي كمية ثابتة.

وأن R هو معامل الغاز الثابت الذي يساوي 1.987 cal/ mole. Degree.

وأن T هي درجة الحرارة المطلقة.

وأن Z هو تكافؤ الأيون.

وأن F هو ثابت فراداي الذي يساوي 2300 cal/ mole.

وأن cation^+_o هو تركيز الأيونات الموجبة في خارج الخلية بوحدة m mole/ liter.

وأن cation^+_i هو تركيز الأيونات الموجبة في داخل الخلية بوحدة m mole/ liter.

وأن anion^-_i هو تركيز الأيونات السالبة في داخل الخلية بوحدة m mole/ liter.

وأن anion^-_o هو تركيز الأيونات السالبة في خارج الخلية بوحدة m mole/ liter.

لقد نكر مسبقاً أن النقل النشط يمتاز بتجمع الأيونات في داخل الخلية بتركيز يفوق

تركيز الأيونات في خارج الخلية بعشرات المرات أو المئات.

ولاجل حفظ هذا التركيز العالي من الأيونات في داخل الخلية فلا بد للخلية أن

تصرف طاقة حيوية وأن كمية الطاقة التي تصرفها الخلية يمكن تخمينها من المعادلات

الآتية:

$$\Delta G = 2.3 RT \log \frac{C_2}{C_1} \quad \dots(٤٢-٣)$$

حيث أن ΔG فرق الطاقة الحرة على جانبي الغشاء الخلوي بوحدة **cal/ mole**.
وأن **2.3** هي كمية ثابتة.

وأن **R** هو معامل الغاز الثابت الذي يساوي **1.987 cal/ mole. Degree**.
وأن **T** هي درجة الحرارة المطلقة.

وأن **C₂** هو تركيز الأيونات في داخل الخلية **m mole/ liter**.

وأن **C₁** هو تركيز الأيونات في خارج الخلية **m mole/ liter**.

مثال (٤-٣)

ما هي نسبة أيونات البوتاسيوم (**K⁺**) بين داخل خلايا جذور البزاليا وخارجها علما بأن فرق الطاقة الكهربائية (ΔE) يعادل **-110 millivolt** في درجة حرارة **25°**.

الحل

تستخدم المعادلة (٤٠-٣) وهي:

$$\Delta E = \frac{2.3 RT}{ZF} \log \frac{(\text{cation}^+{}_o)}{(\text{cation}^+{}_i)}$$

$$\frac{-110}{1000} = \frac{(2.3)(1.987)(298)}{(1)(23000)} \log \frac{(K^+{}_o)}{(K^+{}_i)}$$

ونحور المعادلة إلى ما يأتي:

$$+ \frac{110}{1000} \frac{(2.3)(1.987)(298)}{(1)(23000)} \log \frac{(K^+{}_i)}{(K^+{}_o)}$$

$$\log \frac{(K^+{}_i)}{(K^+{}_o)} = \frac{(0.11)(1)(23000)}{(2.3)(1.987)(298)}$$

$$\log \frac{(K^+_i)}{(K^+_o)} = 1.86$$

$$\frac{(K^+_i)}{(K^+_o)} = \text{Antilog } 1.86$$

$$\frac{(K^+_i)}{(K^+_o)} = 78 = \frac{78}{1}$$

مثال (٥-٣)

ان فرق الطاقة الكهربائية بين الجذر والوسط الغذائي هو -100 mV وكان تركيز الكلور في الوسط الغذائي هو 1.50 uEq Cl/ ml احسب تركيز الكلور في الجذر وبين نوعه الامتصاص.

الحل

باستعمال معادلة Nersnt وهي:

$$\Delta E = \frac{RT}{ZF} \cdot \ln \frac{a_i}{a_o}$$

والتي تختصر إلى ما يأتي:

$$\Delta E = \frac{-26}{Z} \cdot \ln \frac{a_i}{a_o}$$

$$-100 = \frac{-26}{1} \ln \frac{a_i}{a_o}$$

يكون

$$-100 = -26 \times 2.3 \log \frac{a_i}{a_o}$$

$$\log \frac{a_i}{a_o} = \frac{100}{26 \times 2.3} = 1.42$$

$$\frac{a_i}{a_o} = \text{antilog } 1.42 = 64$$

$$\frac{a_i}{50} = \text{antilog } 1.24 = 64$$

$$a_i = 50 \times 46 = 2300 \text{ uEq Cl/ g}$$

$$\text{uEq Cl/ ml}$$

الاسئلة

(١-٣) وضع 20سم^٣ من نسيج البطاطا في 150سم^٣ من محلول النترات ذات التركيز (0.205M) وبعد حدوث التوازن وجد أن تركيز محلول النترات الخارجي يعادل (0.200M). احسب الفراغ الحر الظاهري ؟

(٢-٣) وجد أن الفراغ الحر الظاهري لاحدى الأنسجة النباتية هو 8% وكان للنسيج موضوعاً في 100سم^٣ من محلول للكبريتات. فإذا كان تركيز المحلول الأصلي هو (0.22M). احسب الكبريتات الممتصة من قبل النسيج النباتي.

(٣-٣) ظهر أن الفراغ الحر الظاهري لاحدى الأنسجة النباتية هو 10% وكان النسيج موضوعاً في 150سم^٣ من محلول الفوسفات. فإذا كان تركيز الفوسفات الممتصة بالانتشار يعادل 0.005 mole. احسب تركيز الفوسفات الاصيلي في المحلول.

(٤-٣) ماهي نوعية حركة نقل أيونات البوتاسيوم إلى خلايا جنور الشعير علماً بأن فرق الطاقة للكهربائية (ΔE) يعادل (-179 millivolt) في درجة حرارة 20°م.

(٥-٣) ماهي نوعية حركة نقل أيونات الكلور إلى خلايا جنور الجزر علماً بأن فرق الطاقة الكهربائية (ΔE) يعادل (+ 99 millivolt) في درجة حرارة 25°م.

(٦-٣) ماهي نوعية حركة نقل أيونات الصوديوم إلى خلايا جنور الشعير علماً بأن فرق الطاقة الكهربائية يعادل (-30 millivolt) في درجة حرارة 25°م.

(٧-٣) وجد أن نسبة أيونات البوتاسيوم بين داخل خلايا جنور الجزر وخارجها. هي (10) في درجة حرارة 25°م. احسب فرق الطاقة الكهربائية بين داخل الخلايا وخارجها.

(٨-٣) وجد أن نسبة أيونات الكلور بين داخل خلايا البطاطا وخارجها هي (1) في درجة حرارة 25°م. احسب فرق الطاقة الكهربائية بين داخل الخلايا وخارجها وماهي نوعية النقل عبر الخلايا.

(٩-٣) احسب كمية الطاقة المصروفة من قبل الخلية عند امتصاصها لأيونات البوتاسيوم

إذا كانت نسبة تركيز الأيونات بين داخل خلايا جذور الشعير وخارجها هي (10000) في درجة حرارة 20م°.

(١٠-٣) إذا كانت كمية الطاقة المصروفة من قبل الخلية عند امتصاصها لأيونات الليوثاسيوم هي (6000 cal/ mole) من قبل الخلية. وضح نوعية الامتصاص.

(١١-٣) A^{-4} و B^{+4} أيونات علي جانبي الغشاء الخلوي قبل ائزان دونان. C^{+3} أيونات مثبتة داخل الخلية بمقدار 50 mmole. بين حالة ائزان دونان مفترضان وجود الأيون D خارج الخلية بمقدار 150 m mole من ناحية الشحنة والكمية وما نوعية الامتصاص ولماذا؟

(١٢-٣) إن تركيز الأيونات في المحلول الخارجي يعادل 1000 m mole والطاقة اللازمة لامتصاص الأيونات قيست بمقدار 5356.1 Cal/ mole في درجة حرارة 20م°. ماهو نوعية الامتصاص ولماذا؟