

الوحدة الثانية: العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين

مدخل الوحدة: يهدف المدخل إلى طرح وضعية حقيقية تعرف عليها التلميذ سابقا وهي فقر الدم المنجلي وهي في نفس الوقت مرض وراثي خطير يصيب الإنسان.

يعتبر هذا المرض مثالا جيدا يوضح العلاقة بين البنية والوظيفة ، حيث يؤدي تغير في أحد الأحماض الأمينية بسبب طفرة وراثية إلى تغير في البنية الفراغية للبروتين مما يعطل وظيفتها ويؤثر على شكل كرات الدم الحمراء وبالتالي خطر انسداد الأوعية الدموية.

توضح الوثائق المعروضة سلسلة بيبتيديّة في هيموجلوبين شخص سليم وشخص مصاب من حيث تتابع الأحماض الأمينية ، إلى جانب شكل كرات الدم الحمراء في الحالتين وتدفق هذه الكريات داخل الأوعية الدموية. كما توضح الصورة في أسفل الوثيقة تمثيل مبسط لبنية فراغية لبروتين الهيموغلوبين المرتبط والخالٍ من الأكسجين. إن اختيار هذه الوضعية الهدف منها دفع التلميذ للتساؤل حول العلاقة الموجودة بين بنية البروتين ووظيفته ، حيث سيكتشف التلميذ من خلال النشاطات المقدمة في الوحدة الثانية وفي كل وحدات المجال الأول أمثلة عن العلاقة بين بنية البروتين ووظيفته.

ملاحظة: تم إضافة نشاطين (الأول والثاني) في هذا الكتاب كتمهيد لدراسة البنية الفراغية للبروتينات باستعمال برامج كمبيوتر متخصصة نظرا لأن التلميذ لا يمكنه مقارنة بنيات فراغية تم الحصول عليها من خلال هذه البرامج دون علم مسبق بالبنية الفراغية للبروتين وكيفية تمثيلها باستعمال هذه البرامج

النشاط الأول: تمثيل البنية الفراغية للبروتين

يهدف هذه النشاط إلى توضيح القواعد المتبعة في تمثيل النماذج الجزيئية عموما وللبروتينات بصورة خاصة. إن معرفة هذه القواعد سوف يسهل على المتعلم الاستفادة من برامج الحاسوب والتعرف على مميزات البنية بصورة أسهل. يهدف السؤال المطروح إلى التوصل إلى مزايا استعمال نماذج مختلفة. يمكن أن يجد التلميذ الإجابة من خلال قراءة النص المرافق للصور والوثائق المعروضة.

يمكن ايجاد دليل الإستعمال وتطبيقات باستعمال البرنامج في شبكة الإنترنت في الموقع التالي:

www.ens-kouba.dz/arabic/rastop.htm

النشاط الثاني:

لم يتم الإشارة إلى هذا النشاط في المنهاج وقد رأينا أنه ضروري لكي يتمكن التلميذ من مقارنة البنيات الفراغية للبروتينات المقترحة في المنهاج في النشاط الموالي.

يهدف هذا النشاط إلى تعريف التلميذ بمستويات البنية الفراغية لبنية للبروتينات ومختلف الروابط التي تساهم في ثبات كل مستوى من مستويات هذه البنية الفراغية ، والممثلة في الأجزاء (1، 2، 3، 4).

السؤال 1: يهدف إلى دفع التلميذ للتوصل إلى أن الانتقال من البنية الأولية إلى الثانوية يمر عبر إتفاف السلسلة الببتيدية ذات البنية الأولية (لا يمكن استعمال كلمة تحلزن في كل الحالات لأن التحلزن يؤدي إلى ظهور شكل حلزوني وهو صحيح بالنسبة للبنية الثانوية الحلزونية α).

السؤال 2: البنية الثالثة هي إتفاف السلسلة الببتيدية ذات البنية الأولية والثانوية. تتميز بنقص في الطول وزيادة في السمك بسبب الإتفاف. تأخذ البنية الثالثة عادة الشكل الكروي. وتتميز عن الثانوية في نوع الروابط المساهمة في استقرارها. يمكن إيجاد المعلومات الضرورية في النص المرافق للأشكال والوثائق المقدمة داخل هذا النشاط في الكتاب.

البنية الرابعة : يهدف هذا الجزء من النشاط إلى توضيح هذا المستوى من البنية وتصحيح الخطأ الذي كان متداولاً في المنهاج القديم حول عدد السلاسل الببتيدية التي تتواجد في البنية الرابعة ، حيث يتم ذلك عن طريق تقديم مثالين وعدم الإقتصار على مثال واحد هو الهيموغلوبين.

يجب التنبيه على أنه لا علاقة بين 4 تحت وحدات والبنية الرابعة كما يجب تفادي استعمال مصطلح البنية الرابعة لأنها تؤدي إلى تكون فكرة أن البنية الرابعة تعني دائماً أربعة سلاسل ببتيدية (تحت وحدات). يهدف السؤال في هذه الفقرة إلى لفت انتباه التلميذ إلى أن هذا المستوى من البنية الفراغية هو أكثر المستويات تعقيداً مهما كان عدد السلاسل الببتيدية وهو مستوى أعلى من المستوى الثالثي لأنه يتكون من سلاسل ببتيدية لكل منها بنية ثالثة.

يجب تفادي استعمال كلمة إتفاف عند الانتقال من البنية الثالثة إلى البنية الرابعة لأن الانتقال ينتج عن تجمع السلاسل الببتيدية ذات البنيات الثالثة وليس عن الزيادة في إتفافها.

كما يجب الانتباه إلى أن البنية الرابعة لا توجد عند جميع أنواع البروتينات أي أن هناك بروتينات تتوقف فيها درجة التعقيد عند البنية الثالثة وتكون في هذه الحالة البنية الوظيفية هي البنية الثالثة . أما البروتينات ذات البنية الرابعة فإنها لا تؤدي وظيفتها إلا إذا كانت السلاسل الببتيدية متجمعة في بنية رابعة.

لذلك فإن السؤال في الصفحة 45 يؤكد على الحد الأدنى لعدد تحت الوحدات في البنية الرابعة وهو 2 والحد الأقصى لعدد تحت الوحدات غير محدد.

النشاط 3 : العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين

يهدف هذا النشاط إلى محاولة فهم العلاقة بين بنية البروتين ووظيفته وذلك بداية بفهم البنية ثم محاولة ربطها بالوظيفة.

النشاط الجزئي 1 :

يهدف إلى تقديم نماذج حول البنية الفراغية لبروتينات معروفة تؤدي وظائف مختلفة في الجسم ويحاول التلميذ من خلال مقارنة البنية الفراغية التوصل إلى أنها مختلفة.

السؤال 1 : يهدف إلى إجراء مقارنة واستخراج أوجه الاختلاف والتشابه عناصر المقارنة:

درجة التعقيد: بسيطة (الإنسولين) معقدة (مثل الهيموغلوبين) متوسطة التعقيد (الليزوزيم والميوجلوبين)
عدد السلاسل: واحدة (ميوجلوبين و ليزوزيم) ، سلسلتان (الإنسولين) ، 4 سلاسل (الهيموغلوبين)
أنواع البنيات الثانوية : α (باللون الأحمر) أو وريقات β (باللون الأصفر ومناطق الإنعطاف) (أبيض - أزرق)

عدد البنيات الثانوية : 3 فقط في الإنسولين ، حوالي 8-10 في الليزوزيم والميوجلوبين ، أكثر من 10 في الميوجلوبين (حوالي 32) لا يمكن الوصول إلى تحديد العدد إلا إذا تم استخدام برنامج Rastop .

يمكن إيجاد تطبيقات حول استعمال Rastop لدراسة بنية هذه البروتينات الأربعة في الموقع

www.ens-kouba.dz/arabic/rastop.htm

وذلك في الجزء الخاص بالأنشطة في الصفحة الرئيسية في العمود الأفقي



الخلاصة من مقارنة البنية الفراغية: من خلال المقارنة يصل التلميذ إلى أنها مختلفة ويتساءل عن سبب الاختلاف في البنية.

اعتمادا على المعارف السابقة في السنة الثانية وفي الوحدة السابقة يحاول اقتراح فرضية لتفسير الاختلاف في البنية الفراغية.

السؤال 2: بما أن الاختلاف الأساسي بين البروتينات هو الاختلاف في نوع وعدد وتتابع الأحماض الأمينية فالفرضية الوحيدة التي تبرز هي فرضية الاختلاف في الأحماض الأمينية. لذلك يتم في النشاط الجزئي الموالي دراسة أنواع وخصائص الأحماض الأمينية لمحاولة تفسير الاختلاف في البنية الفراغية.

النشاط الجزئي 2 :

يهدف إلى التعرف على الصيغ الكيميائية للأحماض الأمينية انطلاقاً أولاً من الصيغة العامة ثم الصيغ المفصلة لـ 20 حمض أميني.

السؤال 1: يهدف إلى دفع التلميذ لتقديم تعريف علمي دقيق لحمض أميني انطلاقاً من الصيغة العامة للأحماض الأمينية (الأحماض الأمينية هي مركبات عضوية تحتوي على مجموعة كربوكسيلية $(-COOH)$ ومجموعة أمينية $(-NH_2)$ متصلتين بذرة كربون α التي تتصل بدورها بجذر R (سلسلة جانبية) يختلف تركيبه من حمض أميني لآخر.

الأسئلة : (2 و 3 و 4 و 5) تهدف إلى دفع التلميذ إلى استغلال الوثيقة 3 والبحث عن أحماض أمينية ذات مواصفات محددة لغرض التعرف أكثر على أنواع الأحماض الأمينية المختلفة.

السؤال 6 : يهدف إلى الإشارة إلى إحدى أهم طرق تصنيف الأحماض الأمينية حسب نوع الجذر (وجود المجموعات الحامضية $COOH$ أو المجموعات القاعدية NH_2 في الجذر) الحمض الأميني Ala لا يحتوي على أي من هذه المجموعات في الجذر لذلك يكون متعادلاً.

تصنيف الأحماض الأمينية المطلوب في السؤال 7 يقسمها إلى حامضية (Asp و Glu) و قاعدية (Lys و Arg و His) ومتعادلة وهي 15 حمضاً أمينياً المتبقية.

النشاط الجزئي 3:

يهدف هذا النشاط إلى الوصول إلى بناء المعرفة الخاصة بإحدى أهم مميزات الأحماض الأمينية وهي الشحنة وما ينتج عنها من سلوك الأحماض الأمينية في المجال الكهربائي باستخدام جهاز الهجرة الكهربائية الذي تم وصف مبدأ تشغيله في أسفل الصفحة 48 .

السؤال 1: يهدف إلى دفع التلميذ لتفسير سلوك الحمض الأميني في المجال الكهربائي والوصول إلى أن شحنة الحمض الأميني تتغير بتغير درجة pH الوسط. وأن هجرة الحمض الأميني في هذا المجال تعتمد على نوع الشحنة التي يكتسبها.

السؤال 2 : يحاول التلميذ فيه تمثيل الصيغة الكيميائية لتحديد مكان وجود الشحنة (على مجموعة COO^- عند الوسط القاعدي وعلى مجموعة NH_3^+ في الوسط الحامضي)

السؤال 3: يحاول التلميذ في هذا السؤال استخراج قاعدة تنطبق على جميع الأحماض الأمينية وهي قاعدة تسمح بتحديد نوع الشحنة من خلال مقارنة قيمة pH_i للحمض الأميني مع قيمة pH الوسط.

$pH_i > pH$ شحنة الحمض الأميني تكون موجبة (+)

$pH_i < pH$ شحنة الحمض الأميني تكون سالبة (-)

$pH_i = pH$ محصلة شحنة الحمض الأميني معدومة (0)

الشحنة معدومة لا تعني عدم وجود شحنة وإنما تساوي الشحنات الموجبة والسالبة مما يعطي محصلة شحنة معدومة (0).

السؤال 4 : يهدف إلى بناء معرفة هامة تخص سلوك الأحماض الأمينية (سلوك الأحماض أو سلوك القواعد). تسلك الأحماض الأمينية سلوك القواعد في الوسط الحامضي وسلوك الأحماض في الوسط القاعدي لذلك فهي أحماض وقواعد أي أنها مركبات أمفوتيرية (حمضية).

النشاط الجزئي 4:

يهدف هذا الجزء من النشاط إلى بناء معرف تتعلق بكيفية تكون الرابطة الببتيدية التي تسمح للأحماض الأمينية بتشكيل السلاسل الببتيدية. الوصول إلى بناء هذه المعرفة يكون عبر مقارنة الصيغة الكيميائية للسلسلة الببتيدية (أحماض أمينية مرتبطة) مع أحماض أمينية غير مرتبطة.

استغلال الوثائق:

يستنتج التلميذ من خلال الإجابة عن السؤال 1 : أن الرابطة الببتيدية تتشكل من اتحاد مجموعة كربوكسيل لحمض أميني مع مجموعة أمين لحمض أميني آخر مع خروج جزيئة ماء (H_2O).

السؤال 2: يؤكد السؤال الأول عن طريق تسمية المجموعتين المشاركتين في تشطل الرابط الببتيدية.

في السؤال 3: يقوم التلميذ بتمثيل الصيغ الكيميائية قبل وبعد ارتباط الحمض الأميني الرابع.

في السؤال 4 : يستنتج التلميذ عدد وظائف الكربوكسيل والأمين الحرة بغض النظر عن وجودها في الجذور. هذا العدد لا يتأثر بطول السلسلة الببتيدية أي بعدد الأحماض الأمينية إذا تم إهمال الجذور الحامضية والقاعدية.

النشاط الجزئي الخامس:

بعد التعرف على البنية الفراغية للبروتين وخصائص الأحماض الأمينية يصل التلميذ من خلال هذا النشاط الجزئي إلى ربط العلاقة بين تتابع الأحماض الأمينية ، البنية الفراغية للبروتين ، ووظيفة البروتين التي هي في هذه الحالة نشاط إنزيم ريبونوكلياز وذلك من خلال تجربة مشهورة أجراها العالم أنفنسن Anfinsen .

هذه التجربة أثبتت بصورة واضحة أن لتتابع الأحماض الأمينية ولبنية البروتين دور أساسي في تحديد الوظيفة وأن تغيير التتابع يؤثر على البنية الفراغية يؤدي بالتالي إلى تأثير الوظيفة

كما يهدف النشاط من خلال التجربة إلى توضيح دور الروابط الكيميائية في المحافظة على البنية الفراغية للبروتين. المبدأ المتبع في التجربة يعتمد على استعمال مواد تكسر إحدى الروابط الأساسية المحافظة على ثبات البنية الفراغية الثالثة للبروتين ويتم اختبار نشاط الإنزيم لتحديد مدى تأثير الوظيفة.

السؤال 1: يهدف إلى بناء معرفة تتعلق بدور الأحماض الأمينية في تكوين روابط تساهم في المحافظة على بنية البروتين.

تمثل الأرقام مواقع لأحماض الأمينية من نوع Cys التي لها أهمية خاصة في ثبات البنية الفراغية في العديد من البروتينات حيث يتحد جزيئتين من Cys لتكوين جسر ثنائي الكبريت (Pond disulfure).

السؤال 2: يهدف السؤال إلى دفع التلميذ إلى إيجاد العلاقة بين تتابع الأحماض الأمينية والبنية الفراغية للبروتين من جهة ثم بين البنية الفراغية للبروتين ووظيفته من جهة أخرى.

وجود أحماض أمينية من نوع محدد في أماكن محددة يؤدي إلى تكوين روابط كيميائية تحدد البنية الفراغية للبروتين وتعمل على ثباتها. لذلك فإن تكسير هذه الروابط يفقد البنية الفراغية وتفقد معها الوظيفة.

كما أن البنية الفراغية الطبيعية للبروتين وليس أي بنية فراغية أخرى هي التي تسمح للبروتين بأداء وظيفته. مفهوم إعاقة الإنطواء الطبيعية للبروتين عن طريق مركب اليوريا يؤكد هذا.

السؤال 3 : يتم التأكد من خلال هذه التجربة أن للأحماض الأمينية دور أساسي في تحديد البنية الفراغية وبالتالي وظيفة البروتين. أي أن فرضية تدخل الأحماض الأمينية صحيحة.

يجب التأكيد على مفهوم العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين وتخصصه لأنه يعتمد عليه مفاهيم أخرى كثيرة في الوحدات الثلاثة المقبلة في الإنزيمات والمناعة وفي الاتصال العصبي.

يمكنك إيجاد دليل مفصل لاستعمال برنامج راستوب Rastop وتطبيقات باستعمال العديد من البروتينات الهامة في الموقع التالي:

تم إنشاء الموقع خصيصا لغرض استفادة أساتذة التعليم الثانوي

www.ens-kouba.dz/arabic/rastop.htm

التمارين

تمرين 1:

يهدف التمرين إلى توظيف المعارف المكتسبة حول خصائص الأحماض الأمينية. حيث تم إدراج أحماض أمينية قاعدية وحامضية لتوضيح الاختلاف بينها وبين الأحماض الأمينية المتعادلة.

1- تحليل نتائج التجربة يسمح للتلميذ باستنتاج ثلاثة قيم مختلفة لـ pH_i لثلاثة أحماض أمينية من خلال تحديد

pH الذي لا يتحرك عنده الحمض الأميني في المجال الكهربائي. يمكن كذلك التوصل إلى تطبيقات للقاعدة

التي تم التوصل إليها حول تحديد نوع شحنة الحمض الأميني عند مقارنة قيمتي pH و pH_i .

2- مقارنة القيم تؤدي إلى الاستنتاج أن الأحماض الأمينية الحامضية لها pH_i منخفض (أقل بكثير من 7 وتقع

عادة في قيم بين 3 و 5) أما الأحماض الأمينية القاعدية فيكون pH_i لها مرتفع (أعلى من 7)

3- يهدف السؤال إلى بناء معرفة أساسية تخص العلاقة بين مسافة الهجرة وقوة الشحنة، حيث كلما كانت

الشحنة أقوى كلما كانت الهجرة أسرع نحو القطب المعاكس. قوة الشحنة لها علاقة بالفرق بين قيمتي pH و

pH_i لكل حمض أميني. كلما ابتعدنا عن نقطة pH_i كلما زادت الشحنة. قيمة pH_i للحمض الأميني

Lys أكبر من pH_i لحمض Ala وهي أبعد عن pH الوسط (3.2) وبالتالي تكون هجرة Lys أسرع

نحو القطب السالب.

4- بالاستعانة بالوثيقة 3 الصفحة 47 يتم تمثيل الصيغة مع وضع شحنة سالبة على مجموعة COO^- وشحنة

موجبة على NH_3^+ الأصلية في كلا الحالتين.

التمرين 2 :

يهدف التمرين إلى تدريب التلميذ على استعمال برنامج Rastop عن طريق محاولة الإجابة على بعض الأسئلة

البسيطة. يمكن الدخول إلى الموقع لتحميل Télécharger جزيئة البروتين ثم فتحها عن طريق برنامج Rastop.

لا يحتوي الموقع على الإجابة على الأسئلة الخاصة بهذا البروتين لكن الأمثلة الأخرى والأنشطة تم فيها تحديد نفس

المعلومات على بروتينات أخرى.

الإجابة المختصرة عن الأسئلة التي يمكن التوصل إليها باستعمال برنامج Rastop

عد أ أ 307

الحمض الأميني الأول هو الألانين Ala والأخير هو أسبارجين Asn.

138 و 161

8 تراكيب حلزونية

8 وريقات β

استنتاج وظيفة الإنزيم يكون من خلال البحث عن المعلومات في الشبكة أو من خلال التعرف على الركيزة أو حتى

من اسم الإنزيم الذي ينتمي إلى إنزيمات الببتيداز أي التي تفك الروابط الببتيدية وهو يفك الرابطة الببتيدية للحمض

الأميني الأخير في السلسلة الببتيدية أي الموجود في النهاية الكربوكسيلية.

من خلال التعرف على الركيزة يتبين أنها ثنائي ببتيد مكون من حمض ألانين Ala مرتبط بحمض ليزين Lys.

التمرين 3:

يهدف التمرين كذلك إلى تطبيق حول استعمال برنامج Rastop لدراسة ومقارنة نوعين من البروتينات المعروفة والتي تقوم بأدوار هامة في جسم الإنسان والعديد من الحيوانات الثديية. يحاول التمرين طرح وضعية حقيقية إدماجية أمام التلميذ ليحاول الإجابة عنها من خلال دراسة البنية الفراغية والبحث عن المعلومات المكمل.

لإنجاز الرسومات يحتاج التلميذ إلى برنامج Rastop بالإضافة إلى ملفين يتم تحميلهما من الموقع المشار إليه الملف الأول لبروتين الميوغلوبين والملف الثاني لبروتين الهيموغلوبين.

في الصورة الأولى يغير التلميذ النموذج إلى الشريط السميك caricature ثم يلون بالأخضر من خلال Palette de couleurs .

يقوم بعد ذلك باختيار الهيم من أيقونة ABC وكتابة hem ثم يغير النموذج إلى الكرة ويلون بالأحمر من palette de couleurs .

بالنسبة لبروتين الهيموغلوبين نقوم كذلك بتغيير النموذج إلى caricature ثم نلون حسب السلسلة من خلال الأوامر في الجهة العلوية من البرنامج atome/colorer par/chaine

يقوم بعد ذلك باختيار الهيم من أيقونة ABC وكتابة hem ثم يغير النموذج إلى الكرة ويلون بالأحمر من palette de couleurs .

المعلومات المطلوب التوصل إليها:

عدد أ أ 141 + 141 + 146 + 146

السلاسل α

VAL LEU SER PRO ALA ASP LYS THR ASN VAL
VAL LEU SER PRO ALA ASP LYS THR ASN VAL

السلاسل β

VAL HIS LEU THR PRO GLU GLU LYS SER ALA
VAL HIS LEU THR PRO GLU GLU LYS SER ALA

الميوغلوبين

VAL LEU SER GLU GLY GLU TRP GLN LEU VAL

تشابه في حمض أميني واحد فقط بين α و β هو Val1

تشابه في 4 أحماض أمينية بين السلاسل α والميوغلوبين

البنىات الحلزونية فقط

الهيم

نوع الذرات يتم تحديدهما من خلال الألوان وذلك بعد التلوين بـ CPK

الكربون وهو الغالب (لون رمادي)

الآزوت 4 ذرات (لون أزرق)

الحديد 1 (لون أصفر)

الأكسجين 4 (لون أحمر)

الهيدروجين (لون أبيض) وهو لا يظهر في هذه البنية

وظيفة الهيموغلوبين هي نقل الأكسجين

وظيفة الميوغلوبين هي تخزين الأكسجين

يتميز الحوت بقدرته الكبيرة على تخزين الأكسجين لذلك يعتبر مصدر غني بالميوغلوبين الذي يتواجد كذلك في العضلات ويخزن الأكسجين لوقت الحاجة عند القيام بالمجهود العضلي المكثف. يحتاج الحوت إلى الأكسجين المخزن لكي يتنفس عند الغوص نحو الأعماق ويعود إلى السطح عند استهلاك الأكسجين المخزن ليأخذ جرعة جديدة وهكذا.

تمرين 4 :

من صفحة في الوحدة الأولى من المجال الثاني الصفحة 203

يهدف التمرين إلى توظيف المعارف الخاصة بشحنة الأحماض الأمينية في تحديد شحنة الببتيدات البسيطة.

يهدف السؤال 1 إلى تدريب التلميذ على كتابة الصيغ المفصلة للأحماض الأمينية.

أما السؤال 2 فيهدف إلى تحديد pH الذي تم عنده الفصل وذلك بتحديد شحنة الببتيد ثم تحديد اتجاهه في المجال الكهربائي. حسب القاعدة التي تم التوصل إليها فإن الأحماض المينية تكون شحنتها موجبة عند الوسط الحامضي $pH=1$ ومنه تتجه نحو القطب السالب (الشكل أ).

السؤال 3 يهدف إلى التعرف على البقع من خلال توظيف المعارف حول pH_i للأحماض الأمينية .

البقعة الوسطية تعود لحمض Ala لأن pH_i لحمض $Ala=6$.

الحمض الأميني الثاني حمضي هو Glu ويتميز بـ pH_i أصغر بكثير من 7 لذلك يكون سالب الشحنة لأن

$pH_i < pH$ وبالتالي يتجه نحو القطب الموجب بينما يتجه حمض Arg نحو القطب السالب لأنه يكون موجب

الشحنة وذلك لأن pH_i للأحماض الأمينية القاعدي تكون أعلى بكثير من 7 .

((تمرين 5 موجود مباشرة بعد انتهاء التمرين 4 وليس له عنوان وهو في الوحدة الأولى من المجال الثاني في

الصفحة 203))

يهدف التمرين كذلك لتحديد شحنة الببتيدات الناتجة من إمالة ببتيدي آخر أطول باستعمال إنزيمات متخصصة.

الببتيد الأصلي يتكون من His-Lys-Pro-Arg-Gly-Glu

عند الإمالة بواسطة إنزيم ترسين ينتج 3 ببتيديات ثنائية هي :

His-Lys و Pro-Arg و Gly-Glu .

شحنة البيبتيدات عند $pH = 1$ تعتمد على عدد الأحماض الأمينية القاعدية التي يمكنها اكتساب شحنتين موجبتين واحدة في الطرف والأخرى في الجذر.

البيبتيد الثنائي الأول تكون شحنته $= +3$ لأنه يضم حمضين أميين قاعديين.

البيبتيد الثنائي الثاني تكون شحنته $= +2$ لأن يضم حمضين أميين قاعديين

أما البيبتيد الثنائي الثالث فتكون شحنته $= +1$ لأنه ليس له أحماض أمينية قاعدية ليس له شحنات موجبة في الجذر ما هذا الشحنة الطرفية في مجموعة NH_3^+ .

يمكن اختيار عدة قيم من pH لكن $pH = 1$ يسمح بفصلها لأنها تتجه بسرعات مختلفة نحو القطب السالب وأسرعها هو البيبتيد الأول متبوع ببيبتيد الثاني ثم الثالث نظرا لاختلاف قوة الشحنة.

يمكن كذلك استعمال pH يعادل pH_i للبيبتيد الثاني الذي يبقى في الوسط بينما يتجه البيبتيدان الآخران نحو القطب السالب أو الموجب .

تصويب الأخطاء

الصفحة	الخطأ	التصحيح
25	الوزن الجزيئي لـ $ARNr$ S5 3.6×10^6 الوزن الجزيئي لـ $ARNt$: 2.5×10^6	3.6×10^4 2.5×10^4
36	نقص بيانات منحنى التمرين 2	المنحنى كاملا، ومصحح بالدليل
55	السؤال 3 من التمرين 3	هو عبارة عن تمرين 4
	التمرين 5	لسبب تقني وضع خطأ ضمن تمارين الوحدة الأولى من المجال 2 صفحة 203