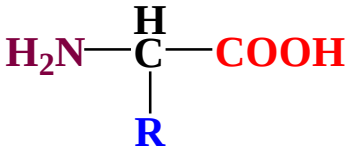
دراسة البروتينات و الإنزيمات

الأحمـــاض الآمنـية

1. تعريف

الأحماض الآمنية هي مركبات عضوية أليفاتية أو خطية، تحتوي على مجموعة كربوكسيلية و مجموعة آمينية، تكون المجموعة الآمينية في الموقع α بالنسبة للمجموعة الكربوكسيلية.

- صيغتها العامـــة :



2. تصنيف الأحماض الآمنية

تصنف الأحماض الآمنية وفقا للسلسلة الجانبية R ، وتسميتها تعتمد على الأحرف الثلاثة الأولى للإسم اللاتيني.

1.2. الأحماض الآمنية الخطية

1.1.2. الأحماض الآمنية ذات السلاسل الكربونية البسيطة : غليسين – لوسين – ألانين – إيزولوسين – فالين

2.1.2. الأحماض الآمنية الهيدروكسيلية : سيرين – ثريونين

3.1.2. الأحماض الآمنية الكبريتية : سيستيين – ميثيونين

4.1.2. الأحماض الآمنية الحامضية و الأميدية

- الأحماض الآمنية الحامضية : حمض الأسبارتيك – حمض الغلوتاميك
- الأحماض الآمنية الأميدية : أسبارجين – غلوتامين

5.1.2. الأحماض الآمنية القاعدية : ليزين – أرغنين

2.2. الأحماض الآمنية الحلقية

1.2.2. الأحماض الآمنية العطرية : فنيل ألانين – تيروزين – تريبتوفان

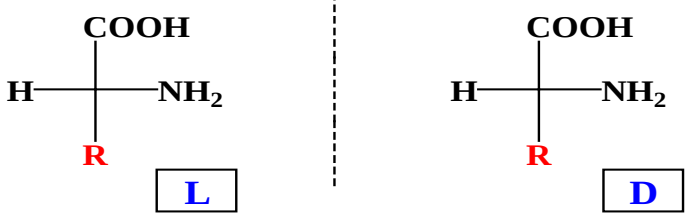
2.2.2. الأحماض الآمنية الغير عطرية : هستيدين – برولين

3. خواص الأحماض الآمنية

1.3. الخواص الفيزيائية

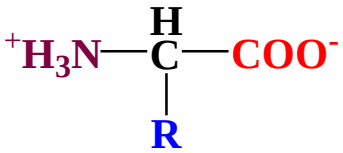
1.1.3. النشاط الضوئي : كل الأحماض الآمنية فعالة ضوئيا إلا الغليسين، ولها شكلين **D** و **L**

D : *Dextrogyre*
L : *Lévogyre*



2.1.3. الخاصية الأمفوتيرية : بتغير pH الوسط تتأين الأحماض الأمنية، ويكون ذلك في ثلاث حالات

أ)- في حالة $pH=pH_i$: تكون الأحماض الأمنية بصفة ثنائي قطب (متعادل كهربائيا) $pH_{isoelectrique}$



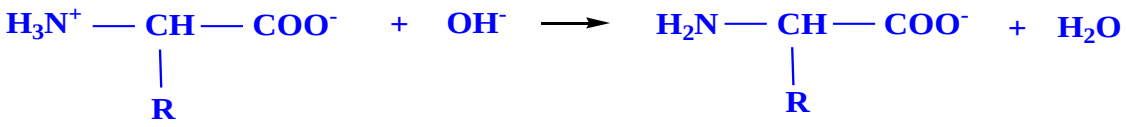
- في الحمض الآميني كل وظيفة كيميائية لها pKa المناسب

pKa_1 متعلق بالوظيفة **- COOH**
pKa_2 متعلق بالوظيفة **- NH_2**
pKa_R متعلق بـ **R** في حالة وجود **– COOH** أو **- NH_2** على الجذر **R**

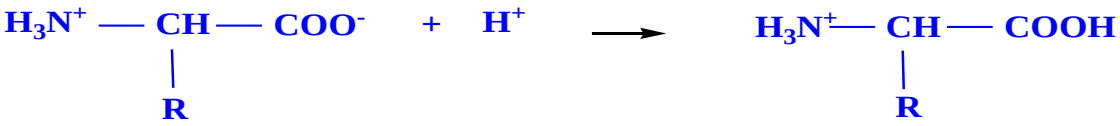
تعطى علاقة الـ pH_i على الشكل التالي:

R يحتوي على الوظيفة -COOH	R يحتوي على الوظيفة -NH_2	R لا يحتوي على -COOH و -NH_2
$pH_i = \frac{pK_{a1} + pK_{aR}}{2}$	$pH_i = \frac{pK_{a2} + pK_{aR}}{2}$	$pH_i = \frac{pK_{a1} + pK_{a2}}{2}$

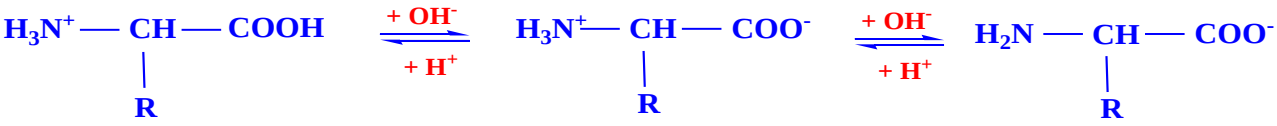
ب)- في حالة $pH_i < pH$ (وسط قاعدي): تحرر المجموعة الآمنية NH_3^+ بروتون H^+ فيصبح الحمض الآميني على شكل أنيون (*Anion*)



ج)- في حالة $pH_i > pH$ (وسط حامضي): تكتسب المجموعة الحمضية COO^- بروتون H^+ فيصبح الحمض الآميني على شكل كاتيون (*Cation*)

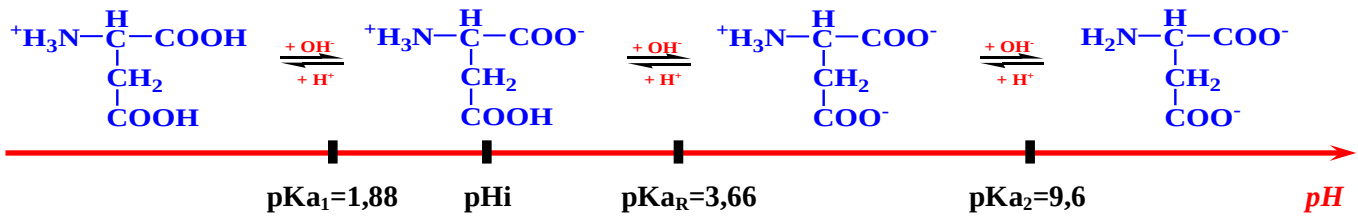


نستطيع تمثيل سلوك الأحماض الآمنية حسب تغير pH الوسط ، أي الخاصية الأمفوتيرية للأحماض الآمنية



pH < pHi كاتيون (X^+)	pH = pHi ثنائي قطب Zwiter- ($X^{\pm}$)	pH > pHi أنيون anion (X^-)

مثال توضيحي : كتابة صيغ حمض الأسبارتيك بتغير قيم pH الوسط

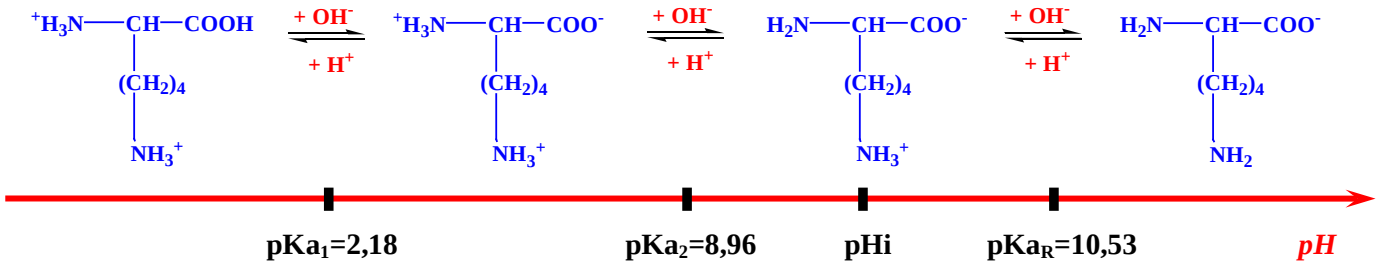


$$pH_i = \frac{pH_{a1} + pK_{aR}}{2} = \frac{1,88 + 3,66}{2} = 2,77 \Rightarrow \mathbf{pH_i = 2,77}$$

- **تطبيق:** أكتب الصيغ الأيونية لليزين عندما يتغير pH الوسط ، ثم حدد قيمة الـ pHi إذا كان:

$pKa_R = 10,53$; $pKa_2 = 8,96$; $pKa_1 = 2,18$

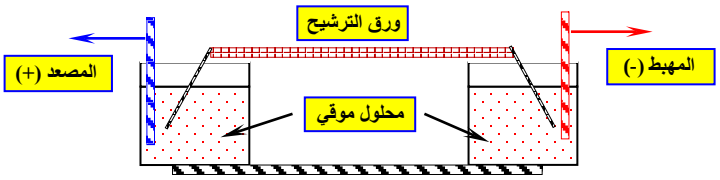
الحل:



$$pH_i = \frac{pK_{a2} + pK_{aR}}{2} = \frac{8,96 + 10,53}{2} = 9,75 \Rightarrow \mathbf{pH_i = 9,75}$$

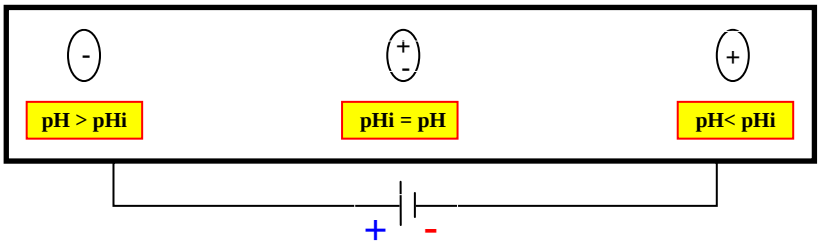
3.1.3. الهجرة الكهربائية: تفصل الأحماض الآمنية باستعمال جهاز الهجرة الكهربائية (*Electrophorèse*) على أساس نوع الشحنة لكل حمض آميني، لذلك فالأحماض المشحونة إيجابيا تهاجر نحو القطب السالب و المشحونة سلبيا تهاجر نحو القطب الموجب، أما المتعادلة كهربائيا تبقى في الوسط.

و تسمح هذه التقنية بفصل الأحماض الآمنية إلى ثلاث أصناف: أحماض آمنية حامضية، قاعدية، متعادلة



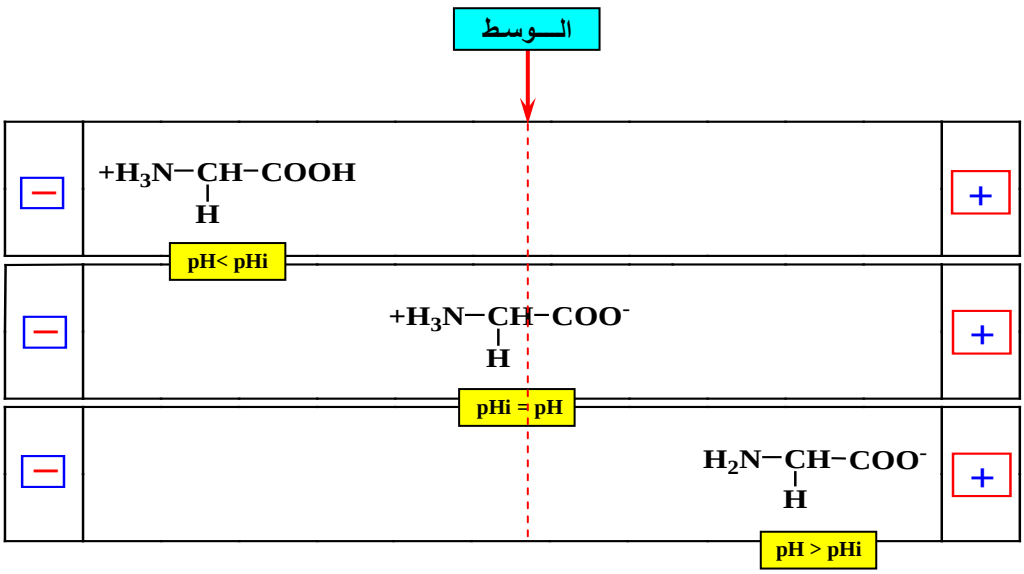
- إذا قمنا بوضع مزيج من الأحماض الآمنية على ورق الترشيح المتصل بمحلول موقي (pH ثابت) فإن الهجرة تكون حسب الشروط التالية:

- في حالة $pH > pH_i$: الحمض الآميني يكون على الشكل (X^-) ويهاجر نحو المصعد (+)
- في حالة $pH < pH_i$: الحمض الآميني يكون على الشكل (X^+) ويهاجر نحو المهبط (-)
- في حالة $pH = pH_i$: الحمض الآميني يكون على الشكل (X^-_+) ثنائي القطب (متعادل كهربائيا) و لا يهاجر و يبقى في الوسط



تطبيق: يوضع الغليسين في جهاز الهجرة الكهربائية ثم يغير pH بمرجع الـ pHi
– حدد سلوك هذا الحمض بمخطط توضيحي مع كتابة الصيغ الأيونية

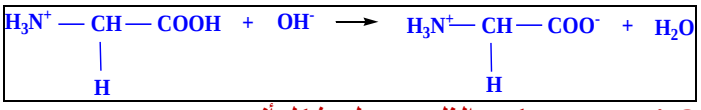
الحل:



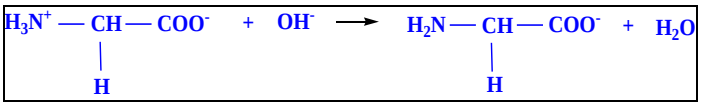
4.1.3. استعمال المعايرة من أجل تحديد الـ pHi: خلال هذه العملية نقوم بمعايرة محلول حمضي للغليسين بمحلول الصود على كل مجال الـ pH ، كما تحدد قيم الـ pH الموافقة لكميات الصود المسححة باستعمال جهاز الـ pH متر.

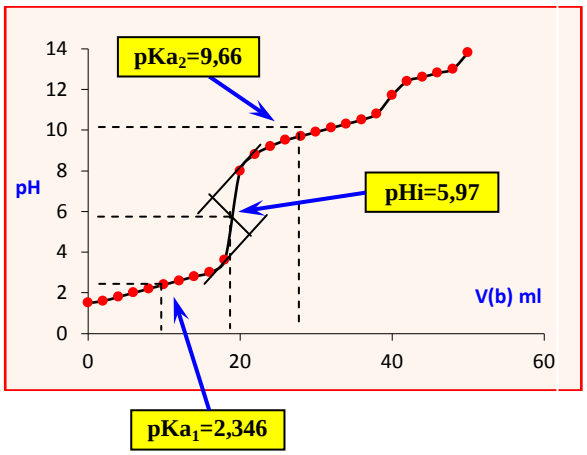
- تعطى نتائج المعايرة بمرحلتين:

1. pH<pHi: يكون الغليسين على شكل كاتيون



2. pH>pHi: يكون الغليسين على شكل أنيون





- من المنحنى نستطيع تحديد pKa_1 ، pKa_2 ، pHi

pKa_1=2,346 pKa_2=9,66 pHi=5,97

- تمثيل سلوك الغليسين خلال زمن المعايرة:

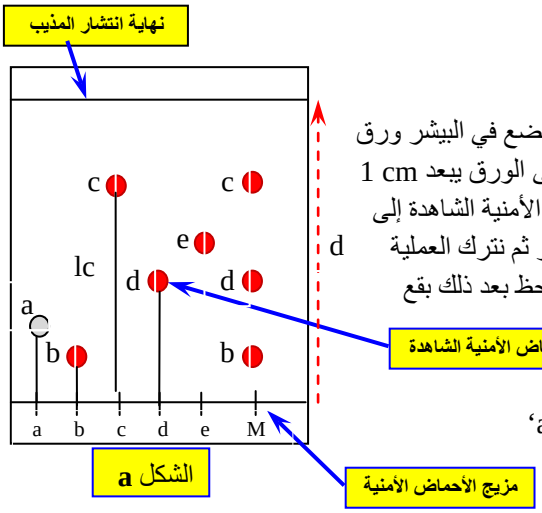
1. **pH<pKa_1 :** $H_3N^+ - CH_2 - COOH$
2. **pH=pKa_1 :** $H_3N^+ - CH_2 - COOH$ و $H_3N^+ - CH_2 - COO^-$
3. **pH= pHi :** $H_3N^+ - CH_2 - COO^-$
4. **pH=pKa_2 :** $H_3N^+ - CH_2 - COO^-$ و $H_2N - CH_2 - COO^-$
5. **pH>pKa_2 :** $H_2N - CH_2 - COO^-$

5.1.3. فصل مزيج من الأحماض الأمنية بطريقة الكروماتوغرافيا (La Chromatographie):

تعتبر الكروماتوغرافيا طريقة جيدة للكشف عن الأحماض الأمينية في مزيج ما وفقا لهجرة الأحماض الأمنية بالنسبة لطورين أحدهما ثابت (الورق) و الآخر متحرك (المذيب)، فيكون لكل حمض أميني معامل سريان خاص به نظرا للمسافة التي يقطعها خلال الهجرة.

علاقة معامل السريان: $R_f = \frac{\ell}{d}$

- R_f : معامل السريان
- ℓ : المسافة التي قطعها الحمض الآميني
- d : المسافة التى يقطعها المذيب



الشكل a

o **طريقة العمل:**

نأخذ بيشر و نضع فيه كمية من مذيب يعمل على تحليل مزيج الأحماض الأمنية، نضع في البيشر ورق الفصل الكروماتوغرافي شكله مستطيل. نرسم خط مستقيم أفقي بقلم الرصاص على الورق يبعد 1 cm على الحافة و الذي يكون أقل مستوى من المذيب. نضع بقع من محاليل الأحماض الأمنية الشاهدة إلى جانب نقطة مزيج الأحماض الأمنية على الخط المستقيم يوضع الورق داخل البيشر ثم نترك العملية لمدة نصف ساعة، يرش الورق الكروماتوغرافي بمركب النهيدريد ثم يجفف نلاحظ بعد ذلك بقع ملونة بالأزرق البنفسجي تبعد مسافات مختلفة عن الخط الأفقي.

- كاشف النهيدريد يشكل تفاعلات لونية مع الأحماض الأمنية.

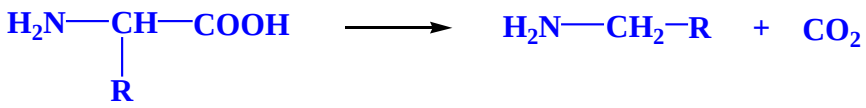
نقوم بتحليل نتائج تجربة فصل مزيج من الأحماض الأمنية الموضحة في الشكل 'a' نلاحظ أن المزيج يتكون من الأحماض b و d و c .

2.3. الخواص الكيميائية:

1.2.3. فعالية الوظيفة الكربوكسيلية:

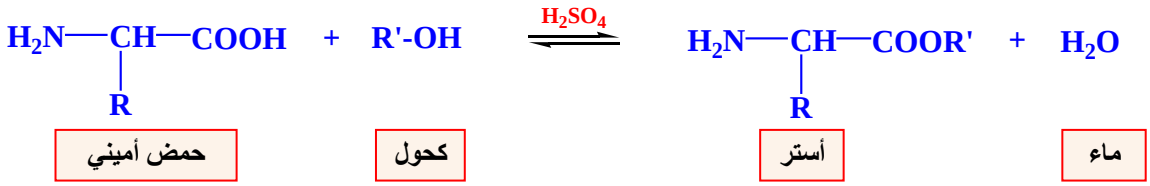
الأحماض الأمنية لها نفس الخواص الكيميائية للأحماض الكربوكسيلية

- نزع وظيفة الكربوكسيل: يعمل إنزيم الديكاربوكسيلاز على نزع الوظيفة الكربوكسيلية



حمض أميني — أمين

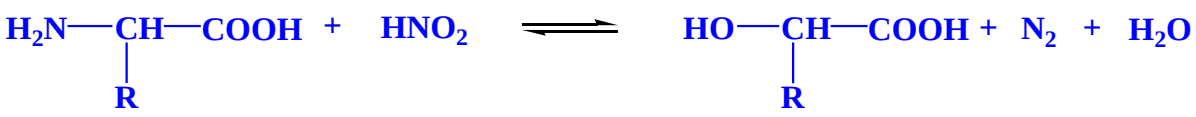
- تفاعل الأسترة: يتفاعل الحمض الأمني مع الكحول ليشكل أستر



حمض أميني — كحول — أستر — ماء

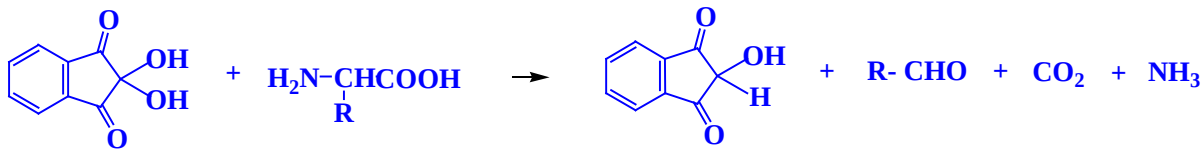
2.2.3. فعالية الوظيفة الأمنية:

- **نزع الوظيفة الأمنية:** يتفاعل حمض النتروز HNO_2 مع الحمض الاميني فتنزع الوظيفة الأمنية و ينتج غاز النيتروجين N_2



- **التفاعل مع النـنهيدرين:**

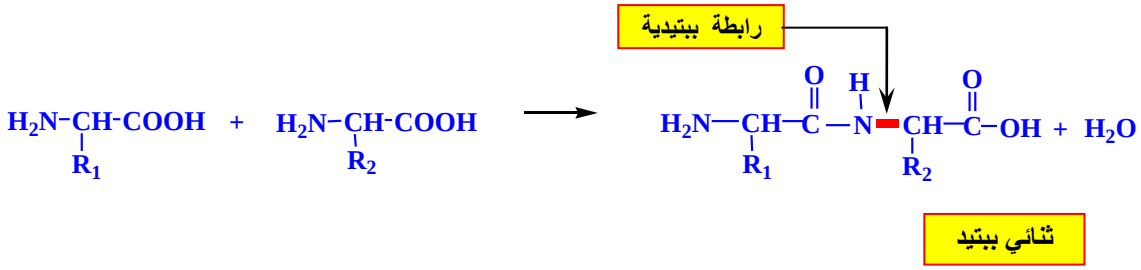
يتفاعل النـنهيدرين مع الأحماض الأمنية فتنزع مجموعة الأمين ليتشكل نـنهيدرين مرجع و ألدهيد و النشادر و غاز الفحم



نـنهيدرين — نـنهيدرين مرجع

3.2.3. الخواص المشتركة بين الوظيفة الكربوكسيلية و الوظيفة الأمنية:

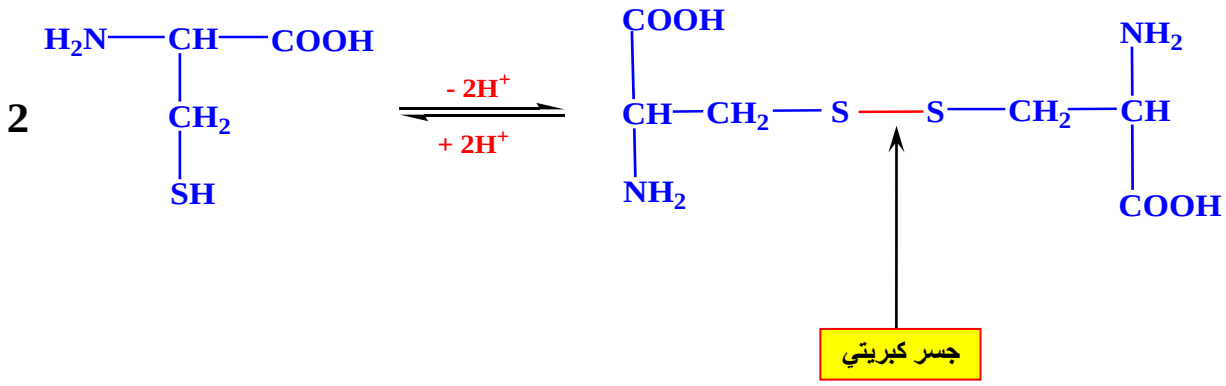
ينتج عن تفاعل الوظيفة الكربوكسيلية و الوظيفة الأمنية لحمضين أمنيين ثنائي ببتيد و جزيء ماء



4.2.3. فعالية السلسلة الجانبية R:

اختلاف السلسلة الجانبية للأحماض الأمنية يسمح بحدوث تفاعلات متعددة مثل الألكلة – الأسيلة – السلفنة – الفسفرة – تشكيل الأميدات و الإيثرات و الأملاح...

- تفاعل أكسدة الجزيء SH– لحمض سيستيين لتشكيل جسر كبريتي:



****

البـــروتيـــنات

مقدمـــة

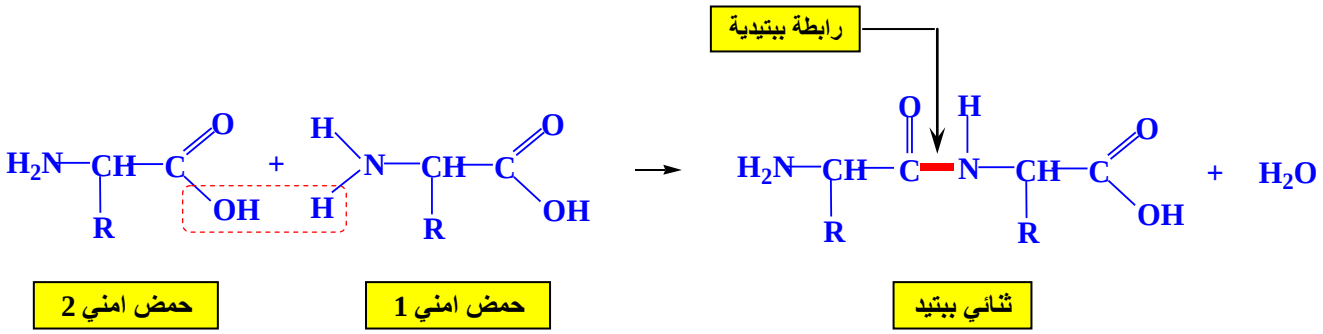
يؤدي اتحاد الأحماض الأمنية فيما بينها بالوضع التسلسلي إلى تشكيل سلاسل و التي يمكن أن تكون ببتيدات أو بروتينات، تكون الوحدات البنائية للببتيدات أو البروتينات متصلة فيما بينها بروابط ببتيدية.

1. الببتيدات

1.1. تعريف الببتيدات

باتحاد حمضين أمنيين ينتج ببتيد و ماء، لذلك يتم ارتباط بين الوظيفة الأمنية للحمض الأمني الأول و الوظيفة الحمضية للحمض الأمني الثاني (لاحظ المعادلة)، نسمي الرابطة الحاصلة بين الحمضين الأمنيين بالرابطة " الببتيدية " و نسمي هذا المركب الناتج بثنائي الببتيد.

- معادلة تشكيل ثنائي الببتيد:

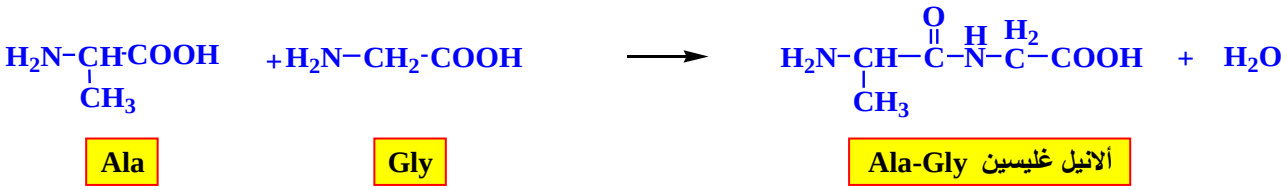


- إذا كان الببتيد يتركب من عدد أقل من 10 أحماض أمنية فانه يسمى " ***Oligopeptides*** "
- إذا كان الببتيد يتركب من عدد أكبر من أو يساوي 10 أحماض أمنية فانه يسمى " ***Polypeptides*** "
- إذا كان الببتيد يتركب من عدد أكبر من أو يساوي 100 أحماض أمنية فانه يسمى " ***Protéine*** "

2.1. تسمية الببتيدات

تسمى الببتيدات وفقا لترتيب و أسماء الأحماض الأمنية المكونة لها، لذلك نأخذ أسماء الأحماض الأمنية بالترتيب ابتداء من يسار الببتيد ونضيف لها المقطع "يل" في مكان المقطع "ين" إلا الحمض الأمني الجانبي على يمين الببتيد فهو يكمل التسمية دون تغيير.

مثـال



ملاحظـة: يجب أن نفرق بين الببتيدات التي تحتوي على نفس الأحماض الأمنية و تختلف في الترتيب البنيوي مثلا Ala-Gly ≠ Gly - Ala

تطبيق: لتكن الببتيدات التالية (Gly-Val-Ala) ، (Ala-Val-Ala-Gly) ، (Ala-Ser-Ala-Leu) -/- أكتب صيغ هذه الببتيدات مع تسميتها.

3.1. التحلل المائي للببتيدات

التحليل المائي للببتيدات بالتسخين في وسط حمضي عبارة عن تفكيك للرابطة الببتيدية فتنتج أحماض أمنية

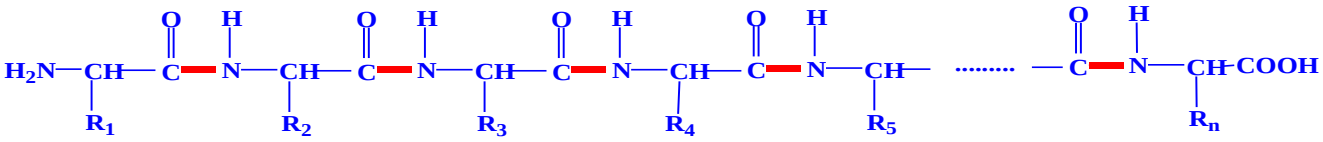
2. البروتينات

1.2. تعريف البروتينات

تتواجد البروتينات في أجسام جميع الكائنات الحية إذ تساهم في بناء جسم الكائن الحي أو تشكيل أجسام حيوية لها دور كبير في نشاط الجسم الحي كالمناعة – الهضم – التنفس... و لها أهمية كبيرة في الصناعة الفلاحية و الغذائية وكذلك ميدان الطب (الهندسة الوراثية...)، بنية هذه الجزيئات العضوية كبيرة ومعقدة التركيب، تضم أكثر من 100 حمض أمني مرتبط بروابط ببتيدية. البروتينات كثيرة التنوع، وهذا راجع إلى الاختلاف التسلسلي للأحماض الأمنية من حيث العدد و النوع.

2.2. التركيب البنائي الأولي للبروتينات

أول تركيب بنائي للبروتينات يكون باتحاد الأحماض الأمنية لتشكل سلاسل من الوحدات مرتبطة فيما بينها بروابط ببتيدية.



3.2. خواص للبروتينات

بعض خواص البروتينات و الببتيدات هي نفسها للأحماض الأمنية (الهجرة الكهربائية – الفصل الكروماتوغرافي – الخاصية الامفوتيرية). في وجود الاماهة و الوسط الحامضي تتفكك البروتينات إلى ببتيدات ثم إلى أحماض أمنية

1.3.2. الذوبان

دراسة ذوبان البروتينات له أهمية كبيرة في فصل البروتينات و استخلاصها، و يعتمد ذوبان البروتينات على عدة عوامل منها

- نوع السلاسل الجانبية للأحماض الأمنية المركبة لها
- شكل البروتين (كروي أو ليفي)
- عوامل أخرى مثل القوة الأيونية للمحلول (تأثير الالكتروليتات) – درجة الـ pH – درجة الحرارة – نوع المذيب المستعمل

2.3.2. العوامل المؤثرة على بنية البروتين

تتأثر البروتينات بالعوامل الآتية : درجة حموضة الوسط - درجة الحرارة – الأشعة فوق البنفسجية...

4.2. الكشف عن البروتينات

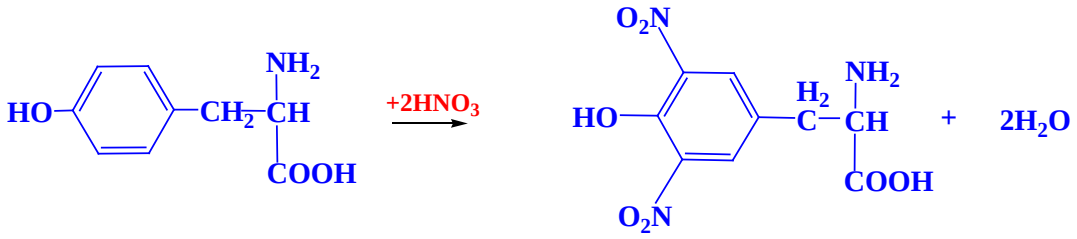
تشكل البروتينات تفاعلات لونية مع بعض الكواشف، لذلك معيرتها تكون سهلة و بالتالي تصبح سهلة الكشف، هناك تفاعلين أساسيين في الكشف عن البروتينات

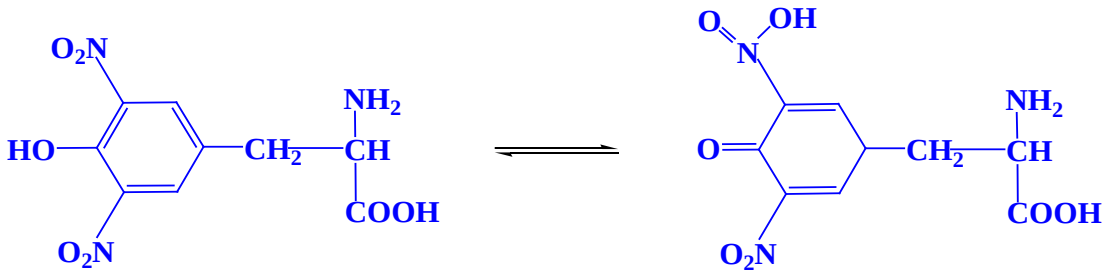
- **تفاعل بيوري :** نحقق هذا التفاعل بإضافة محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$ إلى محلول بروتيني في وسط قاعدي مركز، خلال هذا التفاعل يتشكل معقد بين شوارد (أيونات) النحاس و الروابط الببتيدية للبروتين. يظهر المعقد بعد التفاعل بلون بنفسجي ارجواني (بنفسجي يميل إلى الأحمر) حيث كلما زادت الروابط الببتيدية كلما اشتد لون المعقد.

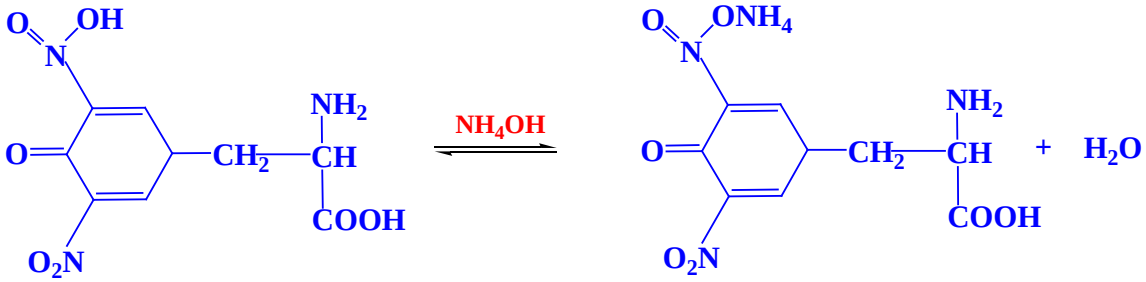
- **تفاعل كزانثوبروتييك:** نحقق هذا التفاعل بإضافة حمض الأزوت المركز HNO_3 إلى محلول بروتيني تحتوي بروتيناته على أحماض أمنية عطرية، بعد التسخين يتشكل مركب أزوتي عطري أصفر اللون بسبب دخول زمرة النترو NO_2^- إلى الحلقة العطرية.

بعد إضافة أساس ماءات الأمونيوم NH_4OH إلى المزيج التفاعلي السابق ينقلب اللون من أصفر إلى برتقالي. يستعمل هذا التفاعل في الكشف عن الأحماض الأمنية العطرية.

- معادلات تفاعل كزانثوبروتييك







****

Les enzymes الإنزيـــمات

▪ مقدمـــة

تعتبر الإنزيمات عنصر هام في حدوث أو تحفيز التفاعلات الكيميائية داخل العضوية، و لها دور كبير في عضوية الجسم (انقسام و تضاعف الخلايا – إنتاج و حفظ الطاقة – بناء البروتينات و الأغشية...)، و تتركب أساسا من البروتينات التي تنتجها الخلية على مختلف الأشكال مركبة أو بسيطة. فهي تحافظ على بنيتها بعد التفاعل بالرغم من أنها تدخل في التفاعل لكن بنسب قليلة. حاليا أصبحت الإنزيمات تشكل أهمية كبيرة في الصناعة الفلاحية الغذائية ، صناعة الأدوية ، تشخيص الأمراض – وراثية الجسم...

- تكون آلية عمل الإنزيم على الشكل الآتي:

$$E + S \longrightarrow ES \longrightarrow E + P$$

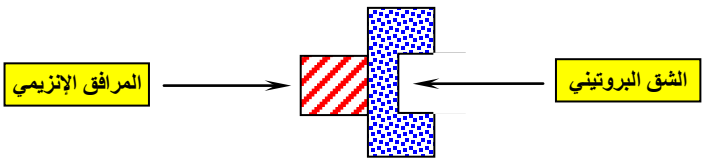
E: الإنزيم - S: المادة المتفاعلة - ES: المعقد - P: المادة الناتجة

1. تركيب الإنزيمات

1.1. الإنزيمات البسيطة: تقتصر على أحماض أمنية مرتبطة فيما بينها.

2.1. الإنزيمات المركبة: يتألف الإنزيم المركب عموما من العامل المرافق و البروتين الذي يشمل الموقع الفعال (الشق البروتيني) كما هو موضح في **الشكل (1)**

يمكن أن يكون العامل المرافق كاتيون معدني (Fe^{+2} – Zn^{+2} ...) أو مركب عضوي يدعى بالمرافق إنزيمي



الشكـل (1)

1.1.1. المرافقات الإنزيمية (Les Coenzymes):

لهذه الأجزاء من الإنزيمات دور في نقل المجموعات الفعالة و ترتيبها في الجزيء – نقل الالكترونات و البروتونات و الذرات الكيميائية.

بعض المرافقات الإنزيمية الشائعة:

- المرافقات الإنزيمية التي تدخل في تركيب إنزيمات النقل (ترانسفيراز): **HS-CoA - ATP**
- المرافقات الإنزيمية التي تدخل في تركيب إنزيمات الأكسدة و الإرجاع: **FAD - $NADP^+$ - NAD^+**

- **ATP:** أدينوزين ثلاثي فوسفات
- **HS-CoA:** مرافق إنزيمي A
- **NAD^+:** نيكوتيناميد أدنين ثنائي نيوكليوتيد
- **$NADP^+$:** نيكوتيناميد أدنين ثنائي نيوكليوتيد فوسفات
- **FAD:** فلافين أدنين ثنائي نيوكليوتيد

2. تصنيف الإنزيمات

يتعلق تصنيف و تسمية الإنزيمات حسب نوع التفاعل أو الآلية و نوع المادة المتحولة

1.2. إنزيمات الأكسدة و الإرجاع (Oxydoréductases)

تحفز هذه الإنزيمات تفاعلات الأكسدة و الإرجاع و تشمل الأصناف التالية

1.1.2. إنزيمات مؤكسدة (*Oxydases*)

تستخدم هذه الإنزيمات الأكسجين لأكسدة المركبات مثل أكسدة الجلوكوز إلى حمض الغلوكونيك في وجود إنزيم غلوكوز أكسيداز (*Glucose Oxydase*)

$$C_6H_{12}O_6 \xrightleftharpoons{\text{غلوكوز أكسيداز}} C_6H_{12}O_7$$

2.1.2. الإنزيمات النازعة للهيدروجين (*Déshydrogénase*)

$$A_{red} + B_{ox} \rightleftharpoons A_{ox} + B_{red}$$

أ- الإنزيمات النازعة للهيدروجين التي توظف المرافق الإنزيمي NAD^+

مثـال : أكسدة الإيثانول إلى إيثانال

$$\underset{\text{إيثانول}}{CH_3\text{-}CH_2OH} + NAD^+ \xrightleftharpoons{\text{إيثانول ديهيدروجيناز}} \underset{\text{إيثانال}}{CH_3\text{-}CHO} + NADH, H^+$$

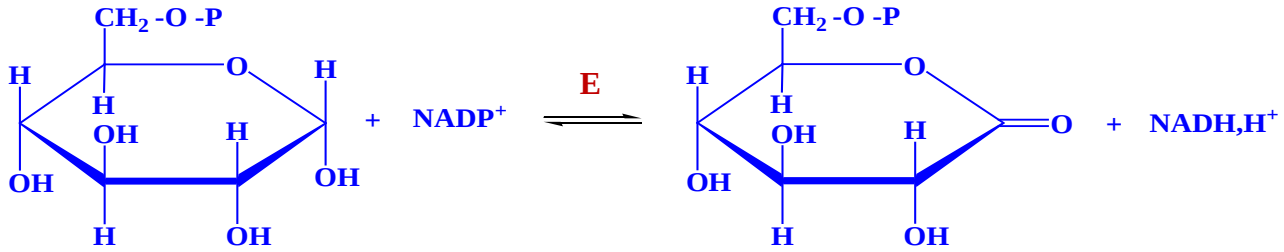
$$CH_3\text{-}CHOHCOOH + NAD^+ \xrightleftharpoons{\text{لاكتيك ديهيدروجيناز}} CH_3\text{-}COCOOH + NADH, H^+$$

حمض اللاكتيك — حمض البيروفيك

ب)- الإنزيمات النازعة للهيدروجين التي توظف المرافق الإنزيمي $NADP^+$

مثـال : أكسدة الغلوكوز 6 فوسفات إلى غلوكونولاكتون 6 فوسفات

E: غلوكوز 6 فوسفات ديهيدروجيناز



غلوكوز 6 فوسفات — غلوكونولاكتون 6 فوسفات

ج)- الإنزيمات النازعة للهيدروجين التي توظف المرافق الإنزيمي FAD

مثـال : أكسدة حمض السكسنيك إلى حمض الفيوماريك

$$HOOC\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}COOH + FAD \xrightleftharpoons{\text{السكسنيك ديهيدروجيناز}} HOOC\text{-}CH{=}CH\text{-}COOH + FADH_2$$

حمض السكسنيك — حمض الفيوماريك

2.2. إنزيمات النقل (*Transférases*)

يعمل هذا الصنف من الإنزيمات على تحويل جذور أو مجموعات من الذرات من مركباتها الأصلية إلى مركبات أخرى، وتكون آليتها على الشكل الآتي

$$A\text{-}C + B \longrightarrow A + B\text{-}C$$

- **من بين هذه الإنزيمات:**

1.2.2. إنزيمات الفوسفوترانسفيراز (*Phosphotransférase*)

يعمل هذا الإنزيم على نقل الفوسفات P باستخدام جزيء الـ ATP المانح للفوسفات

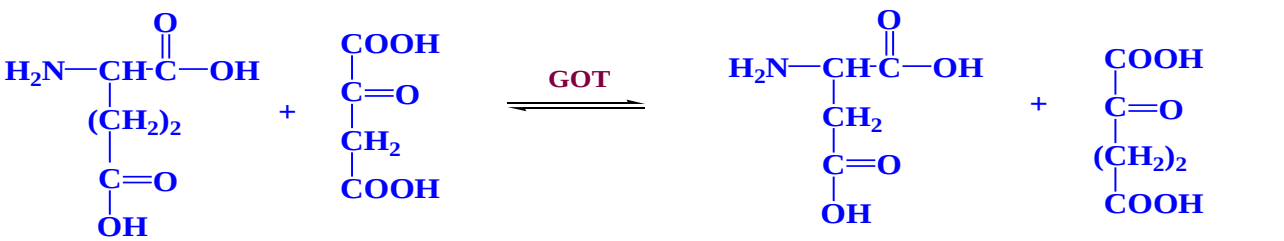
مثـال: تشكيل المركب D غلوكوز 6 فوسفات انطلاقا من الـ D غلوكوز
الهكسوكيناز أو D غلوكوز 6 فوسفوترانسفيراز

D غلوكوز — D غلوكوز 6 فوسفات

2.2.2. إنزيمات الأمينوترانسفيراز (*Aminotransférase*)

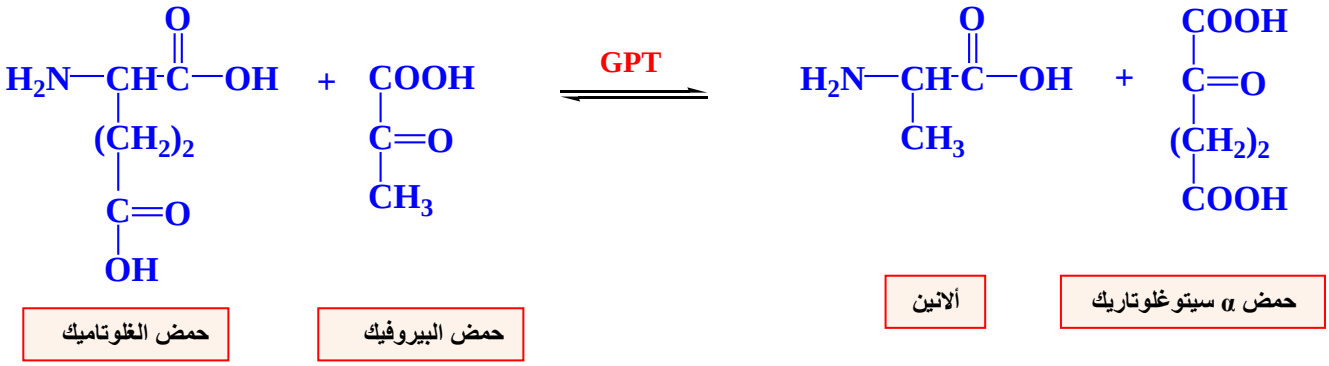
يعمل هذا الإنزيم على نقل مجموعة الأمين $-NH_2$ من الأحماض الأمنية إلى الأحماض السيتونية وإنتاج أحماض أمنية أخرى.

مثـال: الحصول على حمض الأسبارتيك انطلاقا من حمض الغلوتاميك بتحفيز الإنزيم غلوتاميك أكسالوأستيك ترانسأميناز **GOT**

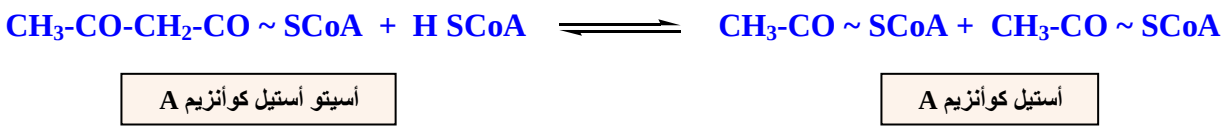


حمض الغلوتاميك — حمض أكسالوأستيك — حمض الأسبارتيك — حمض α سيتوغلوتاريك

مثـال: الحصول على الألانين انطلاقا من حمض الغلوتاميك بتحفيز الإنزيم غلوتاميك بيروفات ترانسأميناز **GPT**



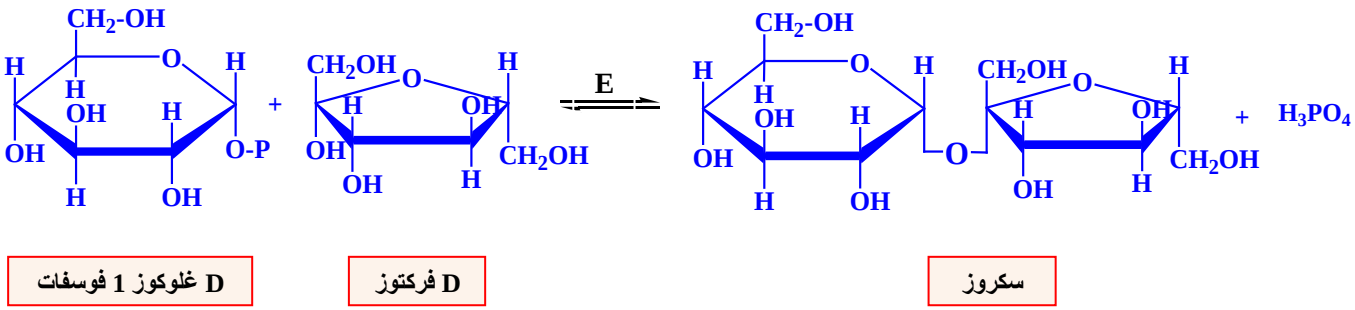
3.2.2. إنزيمات الأسيل ترانسفيراز (Acyle transférase)



~ : رابطة طاقوية داخل الخلية

4.2.2. إنزيمات الغليكوسيل ترانسفيراز (Glucocyletransférase)

تعمل هذه الإنزيمات على تحفيز تركيب السكريات



E: إنزيم غلوكوز 1 فوسفات فركتوز ترانسفيراز

3.2. إنزيمات التحلل المائي الهيدرولاز (Hydrolases)

تعمل هذه الإنزيمات على تحفيز تفاعلات إماهة المركبات العضوية

$$C\text{-}X + H_2O \rightleftharpoons C\text{-}OH + X\text{-}H$$

أهم هذه الإنزيمات:

1.3.2. إنزيمات محللة للبيبدات (Lipase)

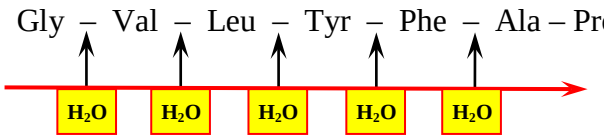
مثـال التحلل المائي لثلاثي الغليسيريد

$$\begin{array}{l} CH_2\text{-}O\text{-}CO\text{-}R \\ | \\ CH\text{-}O\text{-}CO\text{-}R \\ | \\ CH_2\text{-}O\text{-}CO\text{-}R \end{array} + 3H_2O \xrightleftharpoons{\text{ليباز}} \begin{array}{l} CH_2\text{-}OH \\ | \\ CH\text{-}OH \\ | \\ CH_2\text{-}OH \end{array} + 3\ R\text{-}COOH$$

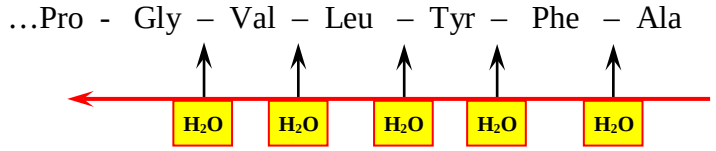
ثلاثي الغليسيريد — غليسيرول — أحماض دهنية

2.3.2. إنزيمات محللة للببتيدات و البروتينات

1.2.3.2. الأمينوببتيداز: يعمل هذا الإنزيم على تحفيز تفاعل التحليل المائي للروابط الببتيدية في السلسلة البروتينية ابتداءا من جهة مجموعة الأمين الجانبية $-NH_2$ و تنتج أحماض أمنية فردية



2.2.3.2. الكربوكسي ببتيداز: يعمل هذا الإنزيم على تحفيز تفاعل التحليل المائي للروابط الببتيدية في السلسلة البروتينية ابتداءا من جهة مجموعة الكربوكسيل الجانبية $-COOH$ و تنتج أحماض أمنية فردية.



3.2.3.2. التريبسين: يعمل هذا الإنزيم على تحفيز التحليل المائي للروابط الببتيدية التي تأتي بعد الأحماض الأمنية القاعدية (الليزين و الارغنين).

Leu - **Lys** - Ala - Val - **Arg** - Pro - Phe - Tyr

(H_2O عند Lys و H_2O عند Arg)

1. Leu - **Lys**
2. Ala - Val - **Arg**
3. Pro - Phe - Tyr

1. ثنائي ببتيد: لوسيل ليزين
2. ثنائي ببتيد: ألانيل فاليل أرغنين
3. ثلاثي ببتيد: بروليل فنيل ألانيل تيروزين

4.2.3.2. الكيموتريبسين: يعمل هذا الإنزيم على تحفيز التحليل المائي للروابط الببتيدية التي تأتي بعد الأحماض الأمنية العطرية (Tyr – Phe – Trp).

Val - **Phe** - Ala - Leu - Arg - **Trp** - Leu - Val - **Tyr** - Pro

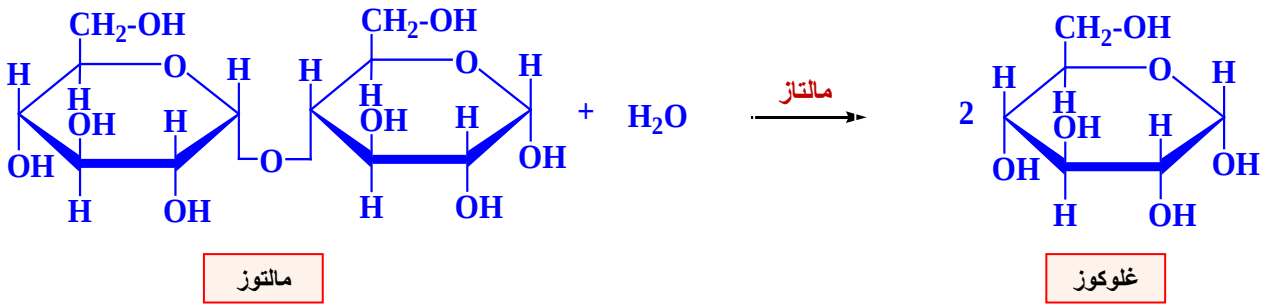
(H_2O عند Phe و H_2O عند Trp و H_2O عند Tyr)

1. Val - **Phe**
2. Ala - Leu - Arg - **Trp**
3. Leu - Val - **Tyr**
4. Pro

3.3.2. إنزيمات محللة للسكريات

تعمل هذه الإنزيمات على تحفيز التحليل المائي للروابط الغليكوسيدية في السكريات المركبة و المتعددة منها:

- **المالتاز:** التحلل المائي للمالتوز

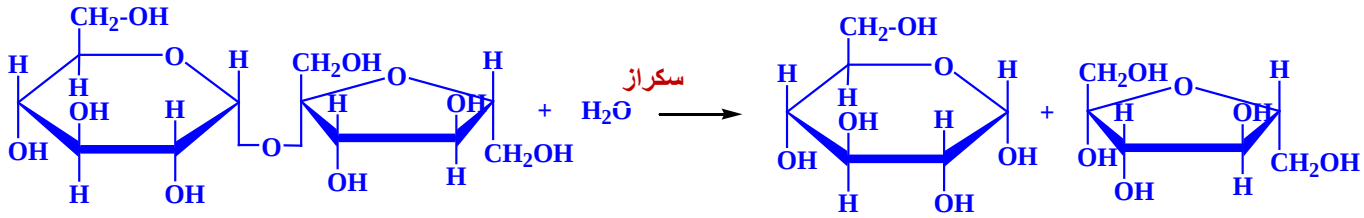


▪ **الأميلاز:** التحلل المائي للنشاء

نشاء + ماء ⟶ مالتوز + غلوكوز

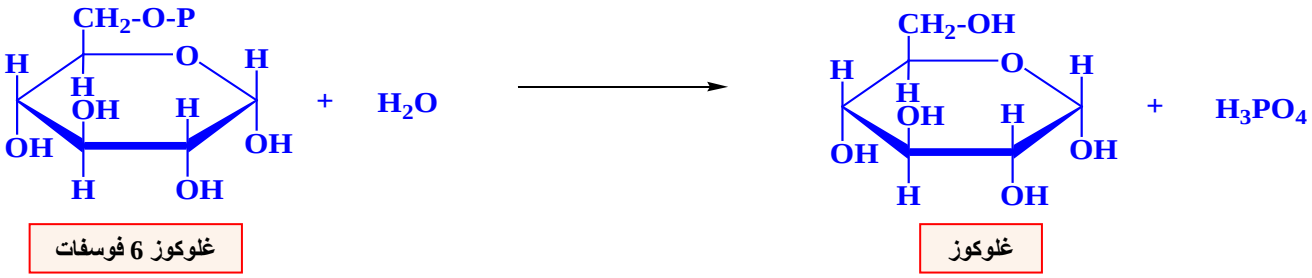
يعتبر النشاء بوليمير مكون من 5 ~ 30% مالتوز و من 70 ~ 95% أميلوبكتين، فاماهته تعطي سلاسل قصيرة تدعى دكسترينات تتحول إلى غلوكوز و مالتوز في وجود إنزيم الأميلاز.

▪ **السكراز (الأنفرتاز):** التحلل المائي للسكروز



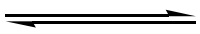
4.3.2. إنزيمات محللة للأسترات الفوسفاتية (الفوسفتاز)

تعمل هذه الإنزيمات على تحفيز التحليل المائي للروابط الأسترية الفوسفاتية



4.2. الإنزيمات النازعة (Lyases)

تعمل هذه الإنزيمات على نزع الوظائف الكيميائية من المادة المتفاعلة



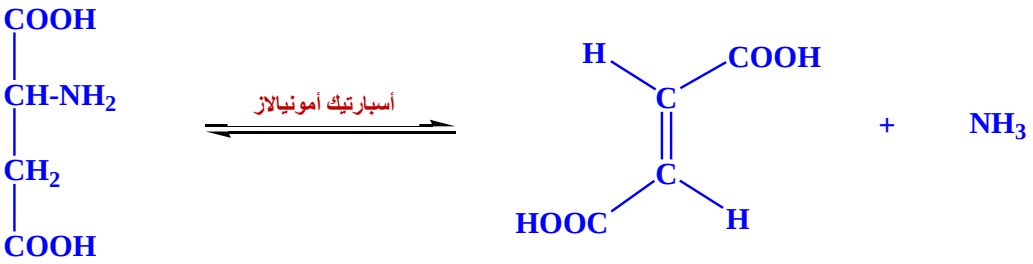
A-B ⟷ A + B

أهم هذه الإنزيمات:

1.4.2. إنزيمات نازعة لوظيفة الكربوكسيل (الديكاربوكسيلاز)

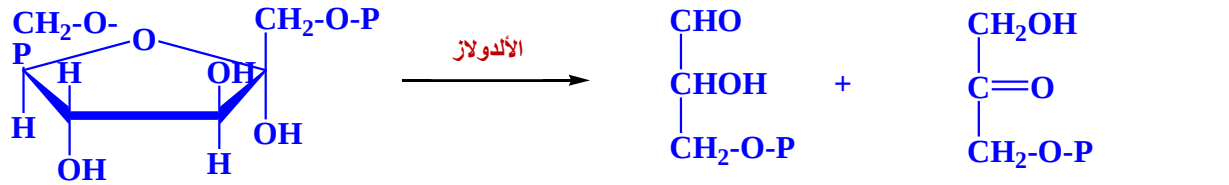
حمض الأوكسالو أستيك — حمض البيروفيك

2.4.2. إنزيمات نازعة لوظيفة الأمين (الأمونيالاز)



حمض الأسبارتيك — حمض الفيوماريك

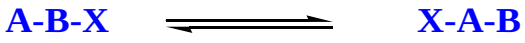
3.4.2. إنزيمات نازعة لوظيفة الألدهيد (الألدولاز)



فركتوز 6.1 ثنائى فوسفات — 3 فوسفو غليسيرالدهيد — فوسفو ثنائى هيدروكسى أسيتون

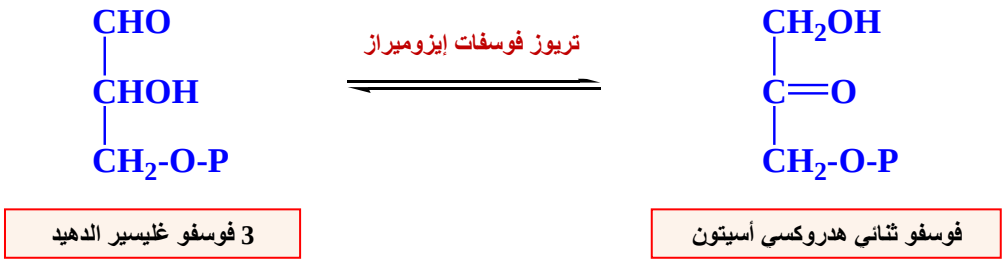
5.2. إنزيمات التماكب (Isomérases)

تعمل هذه الإنزيمات على تغيير التماكب في الجزيء وبالتالي التحول إلى مركب آخر، من بين هذه الإنزيمات:



1.5.2. الميوتاز: يعمل هذا الإنزيم على تحويل الفوسفات P داخل الجزيء

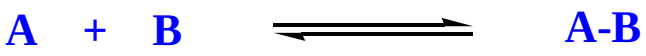
2.5.2. ألدوز سيتوز إيزوميراز: يعمل هذا الإنزيم على تحويل سكر الألدوز إلى سكر المالتوز



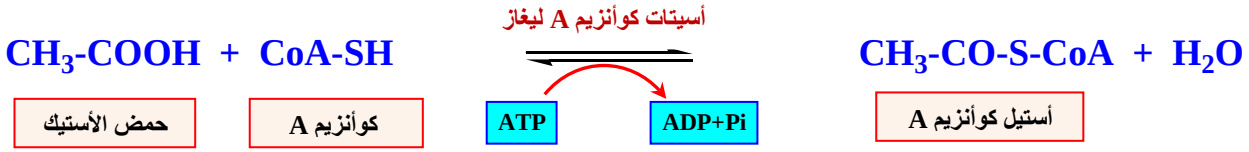
3.5.2. ماليك (cis-trans) إيزوميراز:

5.2. إنزيمات الربط (Ligases)

تعمل هذه الإنزيمات على تحفيز تفاعلات تشكيل الروابط كربونية كربونية، كربونية أكسوجينية، كربونية آزوتية، كربونية كبريتية في المركبات الناتجة

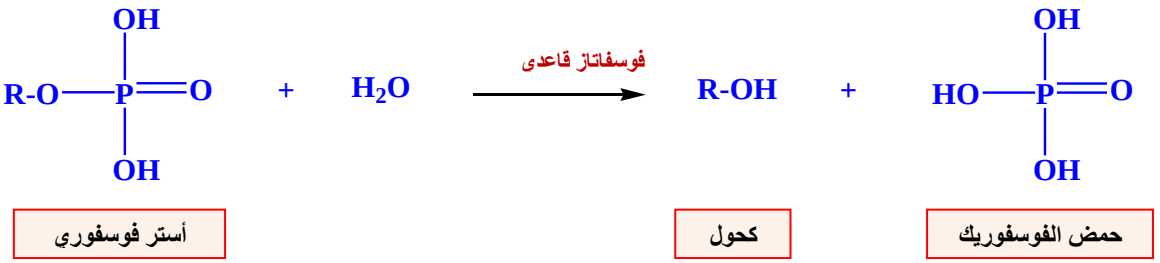


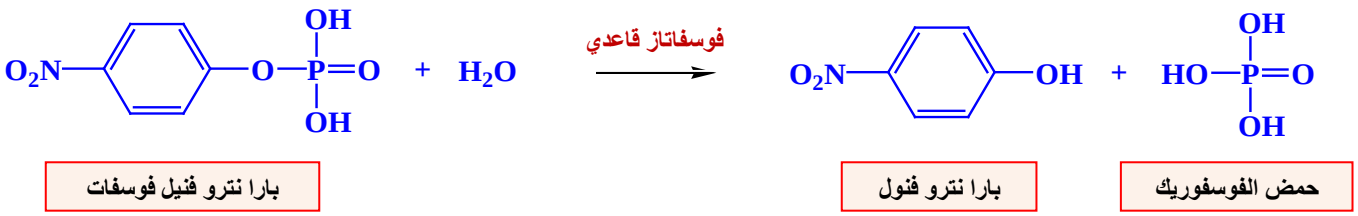
مثـال:



3. تقدير النشاط الإنزيمي

يتركز تقدير النشاط الإنزيمي أساسا على تحديد: المادة المتفاعلة (S)، الشروط اللازمة للتفاعل (pH المثالي و درجة الحرارة المثالية)، لذلك تقدير كمية المادة المتفاعلة (S) التي تختفي أو المادة الناتجة (P) التي تظهر ، ومن أجل هذه الدراسة نقوم بتقدير نشاط إنزيم الفوسفتاز القاعدي الذي يحفز تفاعل التحليل المائي لأستر فسفوري (مركب بارا نترو فنيل فوسفات) وفقا للتفاعل التالي:





تستعمل طريقة القياس اللوني (*Spectrophotomètre*) من أجل تحديد تركيز البارا نترو فنول (المادة الناتجة) لأن التركيز الكمي يزداد طردا مع التركيز اللوني.