فسيولوجى نبات

المحاضرة الأولى

التحولات الغذائية (الأيض) فى النبات

البناء الضوئى

إعداد

أ.د/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد الكلية

شاهد المحاضرات فيديو على الروابط التالية:

https://youtu.be/H6kz5BuHsvo

https://youtu.be/BRW6g4-pgFg

https://youtu.be/y3KLiusV2-A

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

العمليات الحيوية
المتعلقة بالأحماض الأمينية والبروتينات

البروتينات:

- هي مواد عضوية معقدة التركيب (مبلمرات أو بوليمرات **Polymers**)، يدخل في تركيبها عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين وبعضها يحتوى على عناصر أخرى مثل الكبريت والحديد
- تتشكل من وحدات من الأحماض الأمينية بتتابع معين وترتبط ببعضها البعض بروابط ببتيدية مكونة سلسلة طويلة من الجزيئات (بوليمر) ذات كتلة جزيئية كبيرة تتراوح بين أربعين ألف وأربعين مليون.
- يتكون كل منها من سلسلة واحدة أو عدة سلاسل ببتيدية.
- البروتين: هو بوليمر يتكون من عدد كبير من الوحدات البنائية تسمى مونوميرات وهى الأحماض الأمينية المتصلة معاً بروابط ببتيدية، ويوجد في الأنظمة الحية ألاف الأنواع من المركبات البروتينية التي تصنف إلى نوعين رئيسيين هما:

✓ **بروتينات وظيفية:** مثل الإنزيمات – بعض الهرمونات – البورفرينات – الفيرودكسين

✓ **بروتينات تركيبية:** مثل التى تدخل فى تركيب الجدر والأغشية الخلوية.

العمليات الحيوية
المتعلقة بالأحماض الأمينية والبروتينات

كيف يتكون البروتين؟

- بتكوين رابطة ببتيدية بين كل حمضين أمينيين ونزع جزئ ماء منهما، حيث تنزع ذرة هيدروجين **H** من مجموعة الأمين فى حمض أمينى ومجموعة هيدروكسيل **OH** من مجموعة الكربوكسيل **COOH** فى الحمض الأميني المجاور له بواسطة الإنزيمات الخاصة بالتفاعل النازع للماء لتكوين بوليمر أو سلسلة عديد الببتيد.
- ترتبط مجموعة سلاسل عديدات الببتيد معاً بروابط هيدروجينية، لتكون البروتين في شكله النهائي.

ماهى العوامل التي تؤدى إلى إختلاف البروتينات عن بعضها؟

١. إختلاف عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية.

٢. إختلاف عدد ونوع سلاسل عديدات الببتيد.

٣. إختلاف نوع الروابط الهيدروجينية الضعيفة بين سلاسل عديدات الببتيد والمسئولة عن إكساب البروتين شكله الفراغي الذى يناسب وظيفته.

العمليات الحيوية
المتعلقة بالأحماض الأمينية والبروتينات

- **الفرق بين البروتينات والببتيدات**

البروتينات	الببتيدات
تتكون من أعداد كبيرة من الأحماض الأمينية البروتينات عبارة عن مبلمرات طويلة من الأحماض الأمينية.	تتكون من أعداد قليلة من الأحماض الأمينية الببتيدات عبارة عن مبلمرات قصيرة من الأحماض الأمينية، أصغرها ٢ يرتبطان برابطة ببتيدية واحدة.

المجموعات النشطة فى البروتينات:

تعتبر البروتينات من أنشط المواد لأنها تحتوي على أكثر من مجموعة فعالة active group مثل:

- **مجموعة الأمين Amine (NH_2)**
- **مجموعة الهيدروكسيل Hydroxyl (OH)**
- **مجموعة الكربوكسيل Carboxyl (COOH)**
- **مجموعة الألدهيد Aldehyde (CHO)**
- **السلفاهيدريل Sulph-hydral or Sulfhydryl (SH)**
- **الكبريت Sulphur (S)**

الأحماض الأمينية

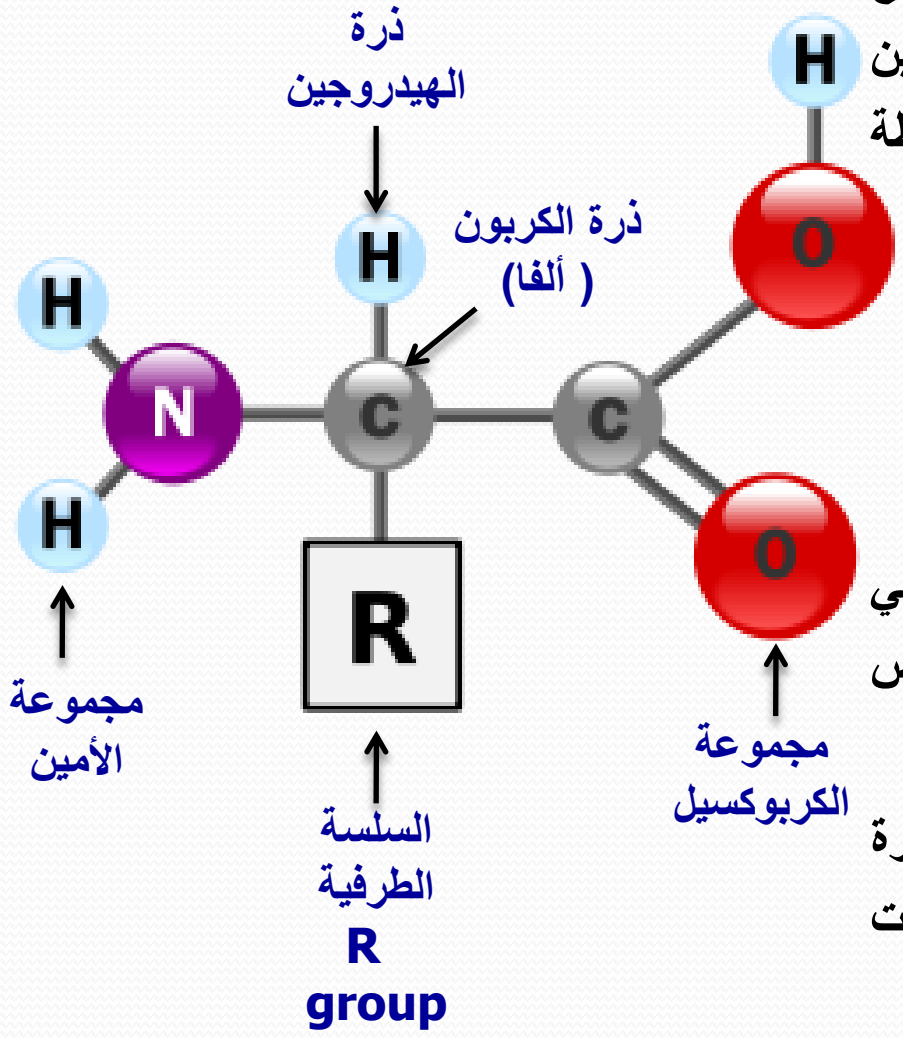
- الأحماض الأمينية هي الوحدات الصغيرة المتكررة المرتبطة مع بعضها البعض لتكون مركبات معقدة ذات أوزان جزيئية عالية هى البروتينات، أومركبات أبسط منها، مكونة من عدد أقل من الأحماض الأمينية هي الببتيدات.
- الأحماض الأمينية مركبات عضوية يحتوي الجزئ الواحد منها على مجموعتين وظيفيتين فعالتين هما:
  ١. مجموعة الأمين (NH_2) القاعدية التى تميز الأحماض الأمينية بالتفاعل مع الأحماض.
  ٢. مجموعة الكربوكسيل (COOH) الحمضية التى تميز الأحماض الأمينية بالتفاعل مع القواعد.

الأحماض الأمينية الموجودة في بروتين النبات:

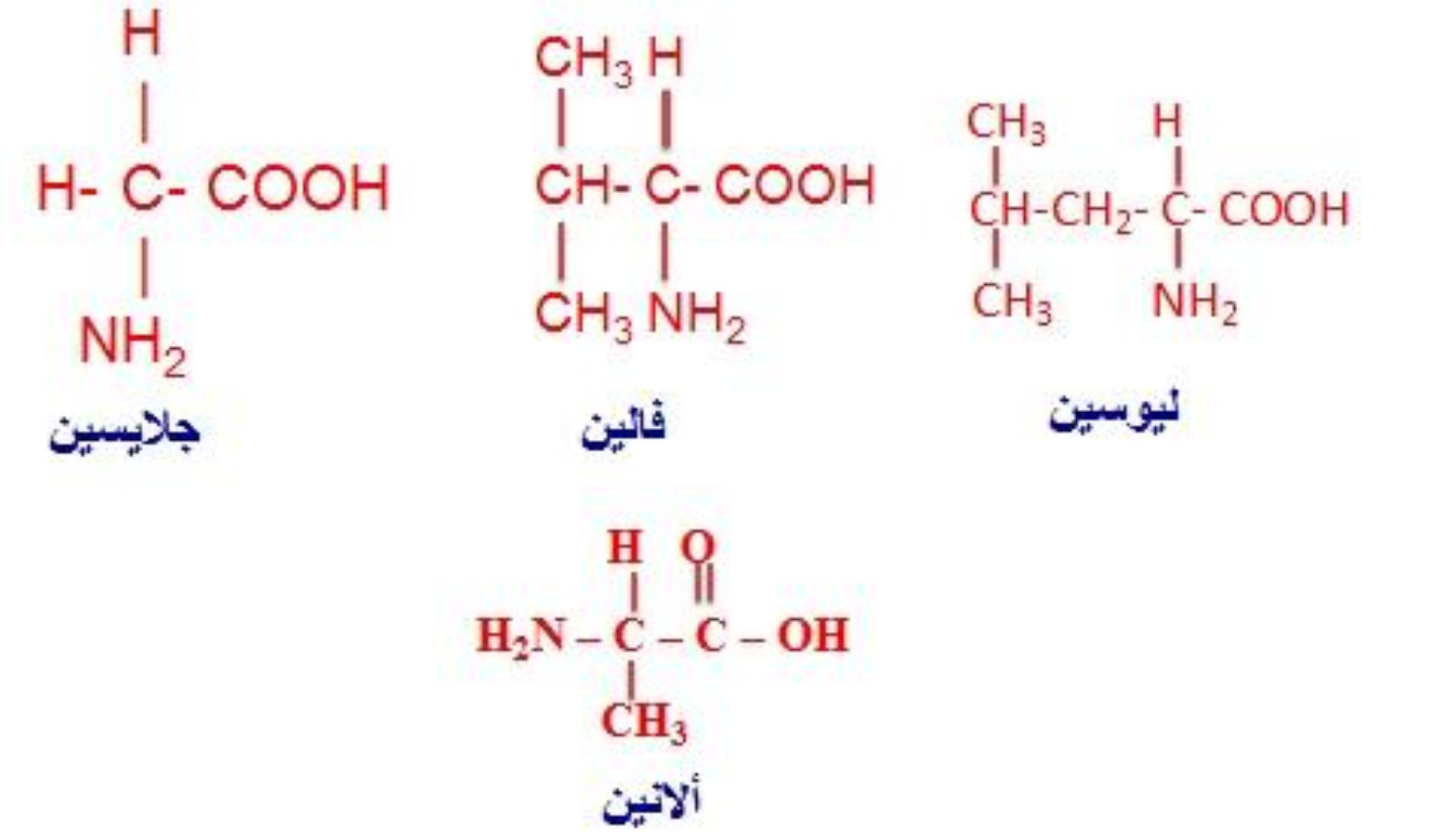
- أوضحت الدراسات المكثفة بواسطة العديد من الباحثين أن عدد الأحماض الأمينية التى تدخل في تركيب بروتينات النبات يبلغ ٢٠ حمضا أمينيا فقط وهي الجليسين ، والألانين ، الفالين ، ليوسين ، أيزوليوسين ، سيرين ، وثريونين ، فينايل آلانين ، تيروسين ، تربتوفان ، سيستين ، سستائين ، مثيونين ، برولين ، هيدروكسي برولين ، الأسبارتيك ، الجلوتاميك، هستدين ، أرجنين ، وليسين.
- يعتقد بوجود ٢٠٠ حامض أمينى لا تدخل في تركيب البروتينات وتكون بعض النباتات الراقية غنية بمثل هذه الأحماض الأمينية على الرغم من قلة إنتشارها.

الأحماض الأمينية

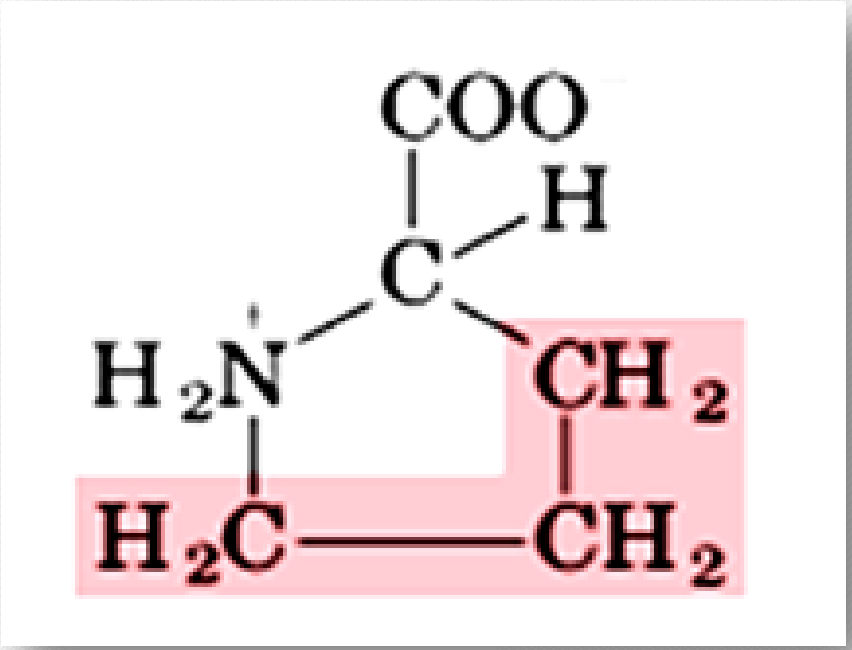
- **الحمض الأميني:** هو جزئ يتكون فى جميع الأحماض الأمينية البروتينية ما عدا الجليسين من ذرة كربون مركزية (غير متناظرة) محاطة بـ ٤ روابط تتصل بـ:
  - مجموعة كربوكسيل COOH
  - مجموعة أمين NH_2
  - ذرة هيدروجين H
  - مجموعة ألكيل R (تختلف مجموعة الألكيل في الـ ١٩ حمض أميني وتكون في الحمض الأميني جلايسين H بدلاً من R).
- وذرة الكربون المركزية هى ذرة غير متناظرة (كيرالية) لأنها مرتبطة بأربع مجموعات مختلفة ماعدا في حالة الجليسين.



والإختلافات الفردية بين الأحماض الأمينية البروتينية توجد في مجموعة (R) والتى قد تختلف كلِيَة من حمض أمينى لآخر مثال ذلك:



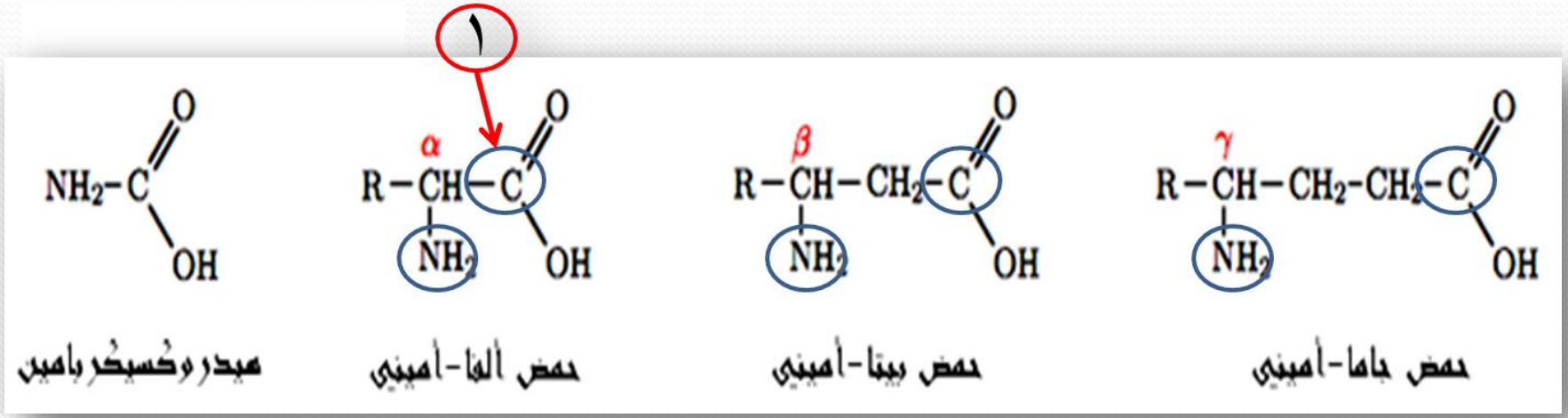
تركيب البرولين



كل حمض أميني له مجموعة **R** تميزه عن الأحماض الأمينية الأخرى، وهذه المجموعة تكون منفصلة عن مجموعة الأمين (المرتبطة بذرة الكربون الكيرالية) عدا في حالة الحمض الأميني برولين والمشتق منه هيدروكسي برولين فإن السلسلة الطرفية **R** ومجموعة الأمين تكونان جزءاً من حلقة واحدة مشتركة.

- البنية الكيميائية العامة للأحماض الأمينية
- أحماض ألفا- أمينية
- أحماض بيتا- أمينية
- أحماض جاما- أمينية

في الأحماض الأمينية تدخل ذرة كربون أو أكثر بين ذرة الكربون المرتبطة بالجذر الأميني وكربون جذر الكربوكسيل. ويحدد موقع الأمين في السلسلة الهيدروكربونية الفئة التي ينتمي إليها الحمض الأميني كما يلي:



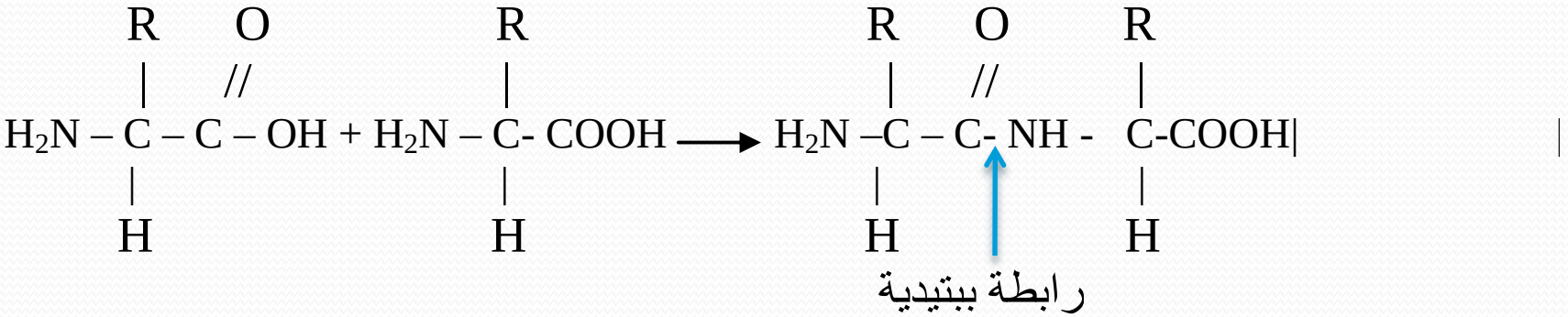
الأحماض ألفا- أمينية:

- حيث يتصل جذر الأمين بالكربون رقم ٢ بعد كربون جذر الكربوكسيل ويرمز لها بالرمز ألفا C_{α}.
- عندما تكون السلسلة الجانبية (R) ذرة هيدروجين نحصل على الحمض الأميني الجليسين Glycine، أبسط الأحماض الأمينية لدى الكائنات الحية.
- أما بقية الأحماض الألفا- أمينية فلها نفس البنية مع إختلاف في السلسلة الجانبية *R*، فعوضا عن ذرة الهيدروجين المرتبطة بالكربون ألفا في الجليسين، تتخذ أنواع مختلفة، على سبيل المثال:
- جذر الميثيل في حالة الألانين Alanine
- جذر مختلف الحلقة Heterocyclic كما في حالة التريبتوفان Tryptophan
- الدور الأساسي للأحماض الألفا-أمينية هو بناء مختلف البروتينات.
- تقسم الأحماض الألفا- أمينية العشرون الموجودة في البروتينات، والمشفرة في المعلومات الوراثية إلى مجاميع حسب عدد من الخصائص الفيزيائية، الكيميائية والأحيائية:

الروابط الببتيدية Peptide Bonds

البروتينات تتكون باتحاد الأحماض الأمينية ببعضها البعض فكيف يتم هذا؟

تتفاعل مجموعة الكربوكسيل من حمض أمينى مع مجموعة الأمين في حمض أمينى الآخر وتنشأ رابطة تعرف بالرابطة الببتيدية نتيجة نزع جزىء ماء (H من مجموعة الأمين ، OH من مجموعة الكربوكسيل).



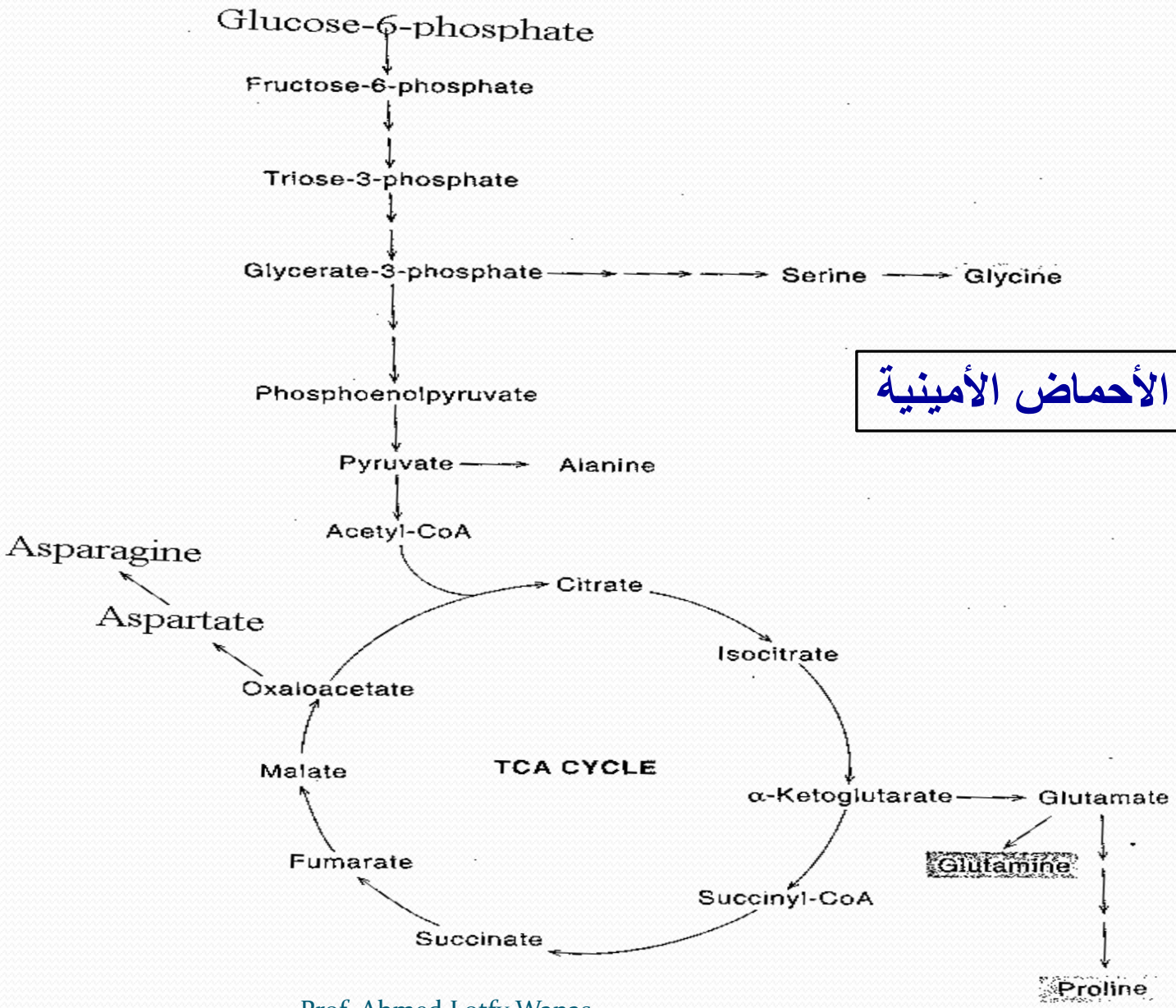
بناء وهدم الأحماض الأمينية

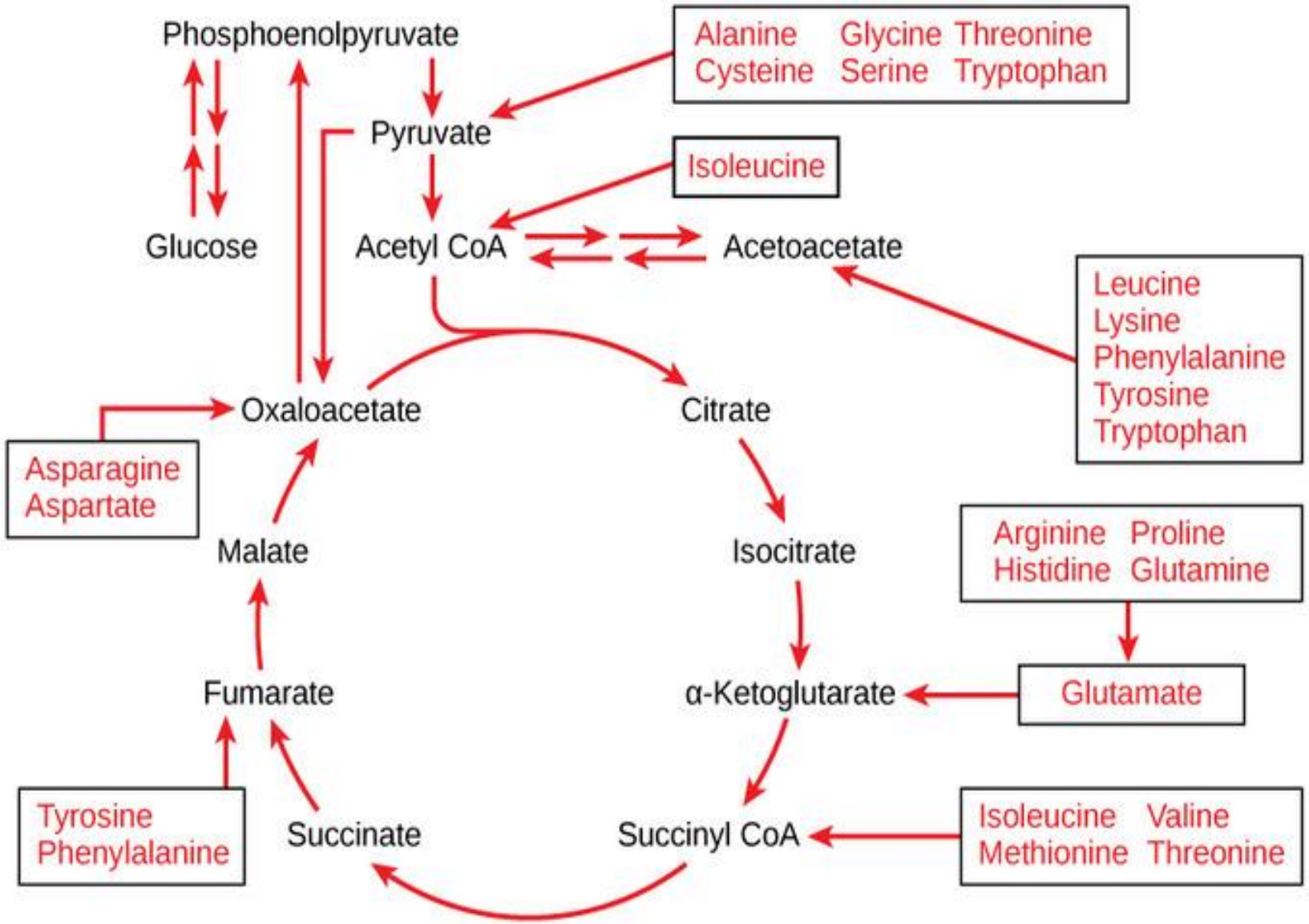
أولاَ: بناء الأحماض الأمينية

تستطيع النباتات الراقية أن تبني جميع الأحماض الأمينية من مواد غير عضوية. وتشتمل تفاعلات بناء الأحماض الأمينية على عدة خطوات.

- **الخطوة الأولى:** تكوين أحماض ألفا كيتونية مقابلة من حيث تركيبها للأحماض الأمينية مثل (ألفا كيتو جلوتاريك ، بيروفيك ، أكسالوخليك) وتنتج هذه الأحماض الكيتونية عن طريق مسار الإنحلال الجليكولي ودورة كربس.
- **الخطوة الثانية:** إنتاج الأمونيا التي لا تلبث أن تتفاعل مع ألفا كيتو جلوتاريك لتكوين حمض الجلوتاميك، وتنتج الأمونيا عن طريق إمتصاص جذور النباتات للأمونيا أو أيونات النترات من التربة بسهولة ثم تختزل النترات الممتصة إلى أمونيا بمساعدة بعض الإنزيمات في أنسجة النباتات قبل تكوين المجموعات الأمينية.

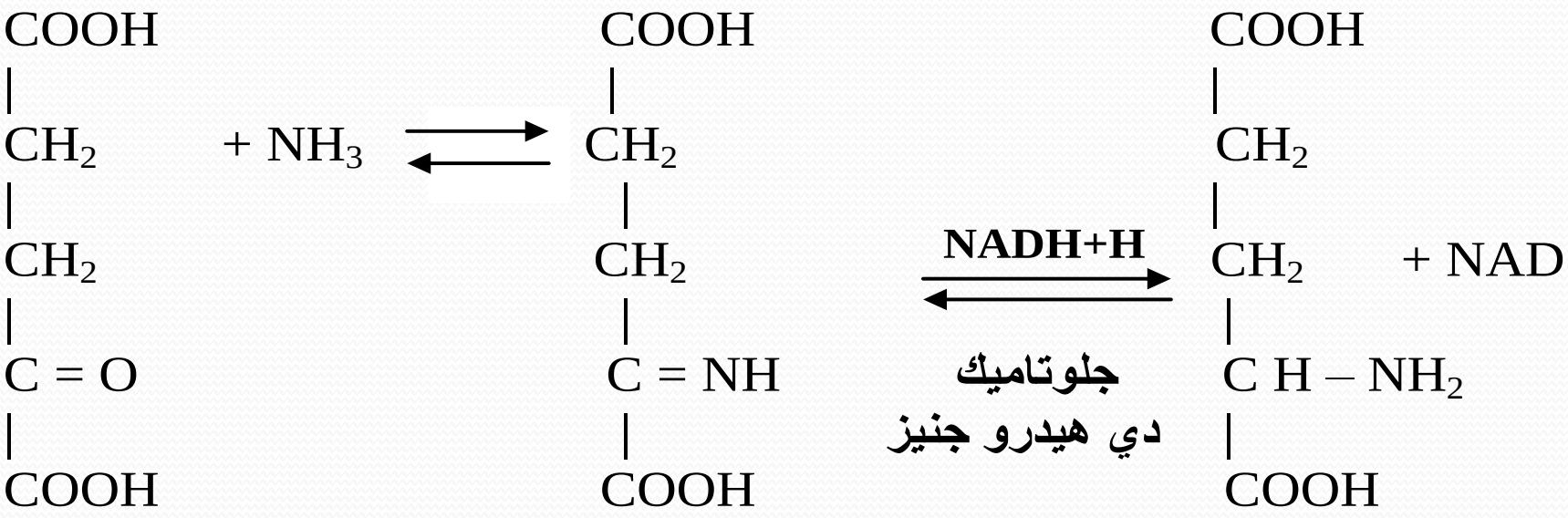
تكوين الأحماض الأمينية




Phosphoenolpyruvate
Alanine Glycine Threonine
Cysteine Serine Tryptophan
Pyruvate
Isoleucine
Glucose
Acetyl CoA
Acetoacetate
Leucine
Lysine
Phenylalanine
Tyrosine
Tryptophan
Oxaloacetate
Citrate
Asparagine
Aspartate
Malate
Isocitrate
Arginine Proline
Histidine Glutamine
Fumarate
α-Ketoglutarate
Glutamate
Tyrosine
Phenylalanine
Succinate
Succinyl CoA
Isoleucine Valine
Methionine Threonine

بناء الأحماض الأمينية

ويتم التفاعل بين الأمونيا والألفاكيتوجلوتاريك كالتالي:

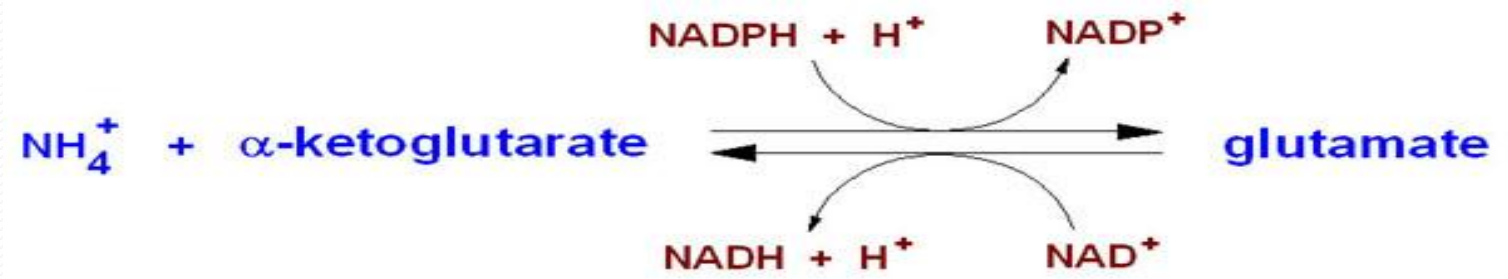


من المحتمل أن التفاعل الأول يحدث تلقائياً ، لكن التفاعل الثاني يحفز بواسطة إنزيم (جلوتاميك ديهيدروجنيز) ويحتاج إلى وجود نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكليوتيد المختزل

بناء الأحماض الأمينية

- **الخطوة الثالثة:** تنتقل المجموعة الأمينية من حمض الجلوتاميك إلى أحد الأحماض الكيتونية والتى تتحول بدورها إلى أحماض أمينية وتسمى هذه العملية نقل مجموعة الأمين ويحفزها إنزيمات تسمى بالإنزيمات الناقلة لمجموعة الأمين (Transaminases).
- وقد توصل الباحثون إلى أن تفاعلات النقل الأميني تتضمن إشتراك فوسفات البيرودكسال (Pyridoxalphosphate) كمرافق انزيمي. ويبدو أن فوسفات البيرودكسال ترتبط بإحكام مع الإنزيم وتكتسب مجموعة أمين من الحمض الأمينى ليتكون (فوسفات بيرودكسال أمين) فيتحول الحمض الأمينى إلى الحمض الكيتوني المقابل، ثم يمرر (فوسفات البيرودكسال أمين) مجموعة الأمين إلى حمض كيتوني آخر ليتكون حمض أمينى جديد وينفرد (فوسفات البيرودكسال) مرة أخرى.

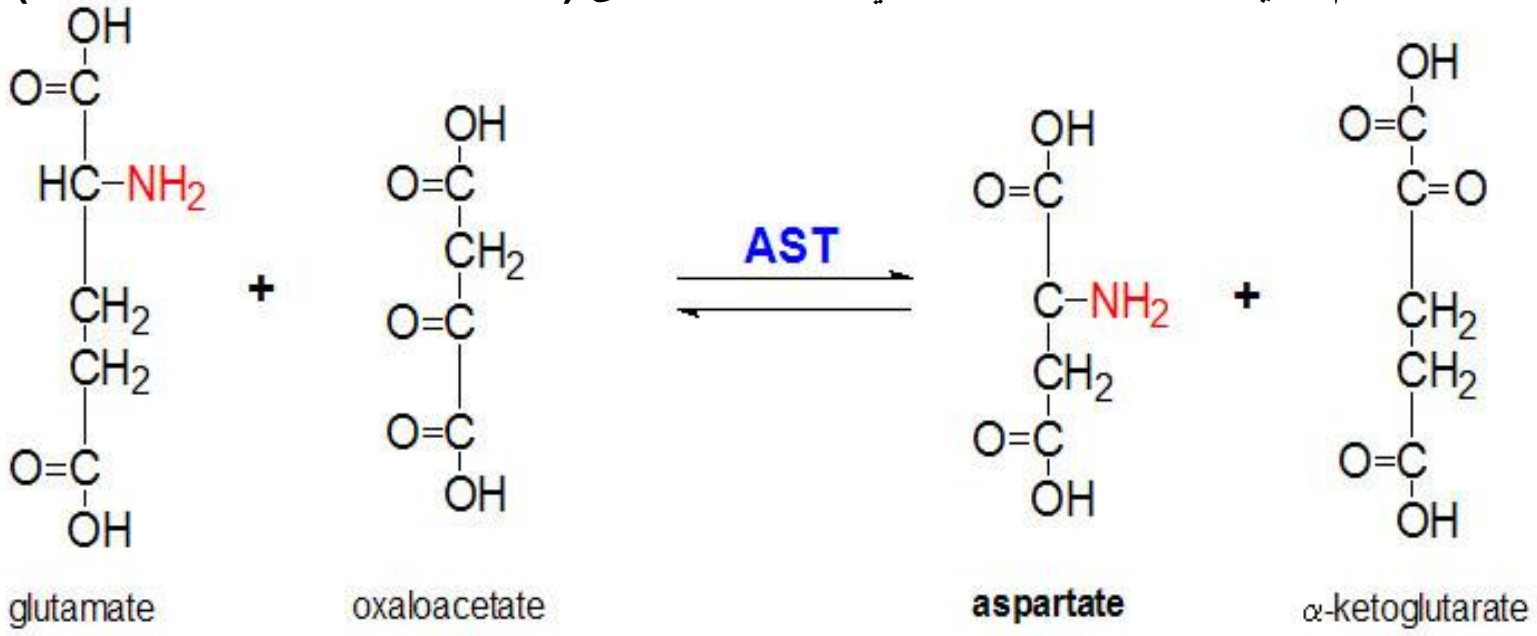
بناء الأحماض الأمينية



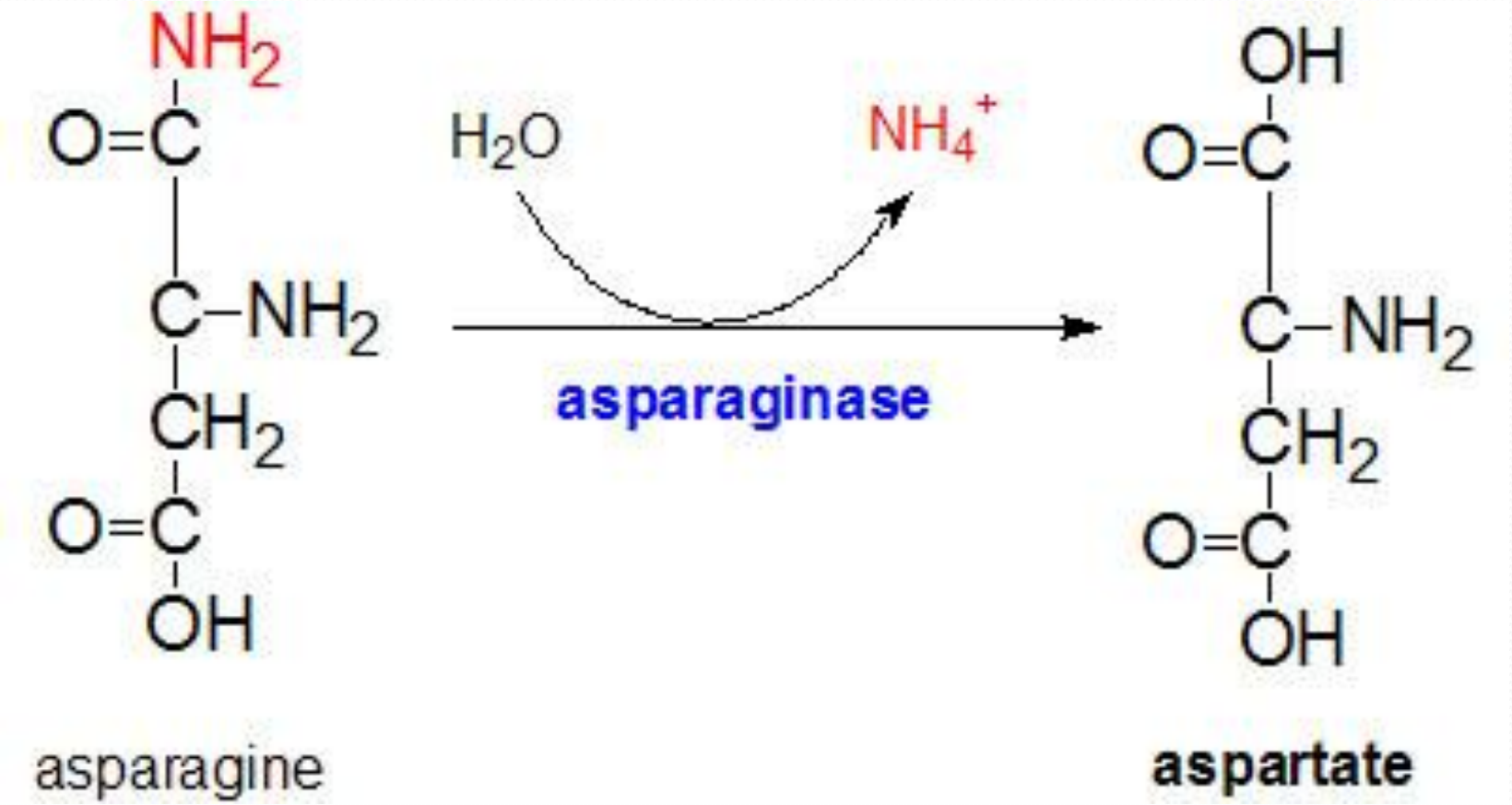
❖ أمثلة على تكوين بعض الأحماض الأمينية

١) تكوين حمض الأسبارتيك Aspartic acid

يحدث تفاعل نقل مجموعة الأمين بين الحمض الأميني جلوتاميك والحمض الكيتونى أكسالوخليك ليتكون حمض الأسبارتيك والإنزيم الذي ينقل مجموعة الامين في هذه الحالة يسمى (جلوتاميك – اسبرتيك ترانس أمينيز).



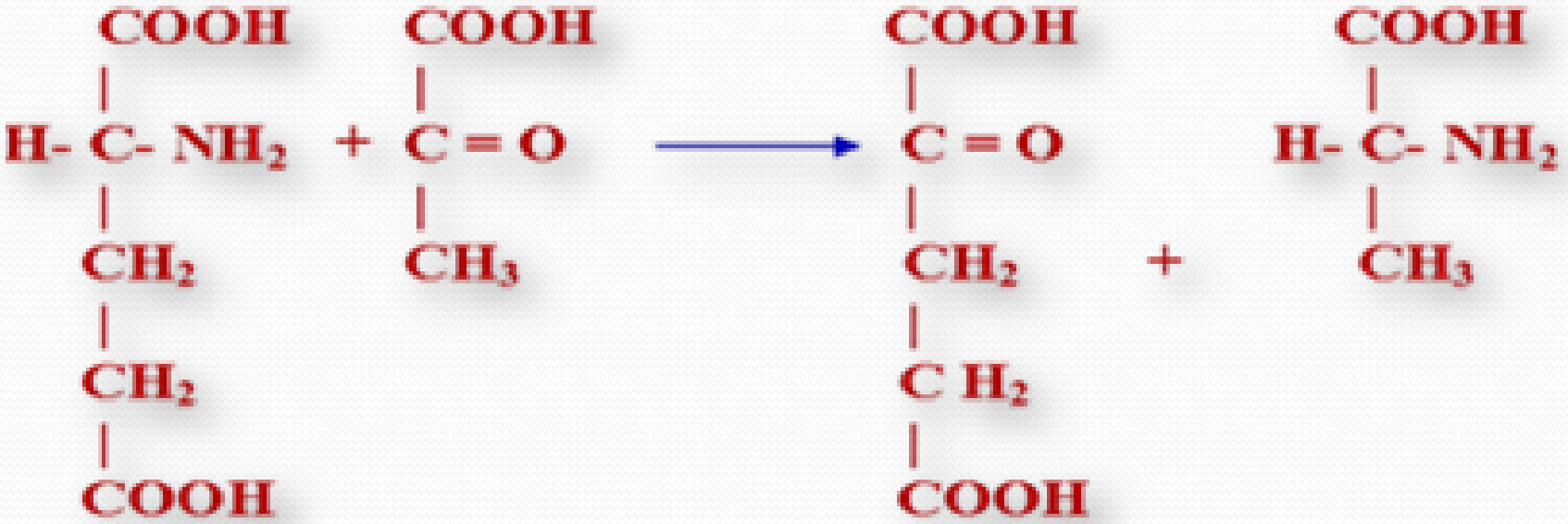
بناء الأحماض الأمينية



أمثلة على تكوين بعض الأحماض الأمينية

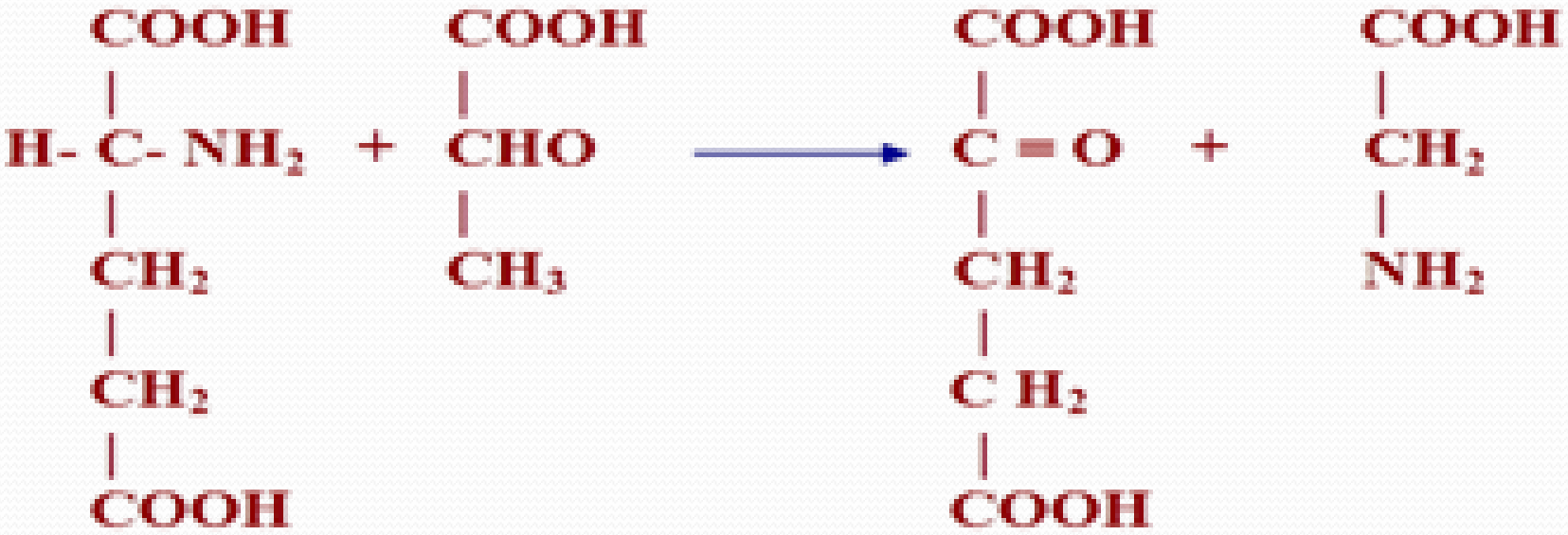
٢) تكوين حامض الألانين Alanine

في هذا التفاعل يحدث نقل مجموعة الأمين بين الحمض الأميني جلوتاميك والحمض الكيتونى البيروفيك والإنزيم الذي ينقل مجموعة الأمين في هذه الحالة يسمى (جلوتاميك – بيروفيك ترانس أمينيز) .



جلوتاميك حامض بيروفيك الفا - كيتوجلوتاريك الآلانين

٣) تكوين حامض الجليسين Glycine

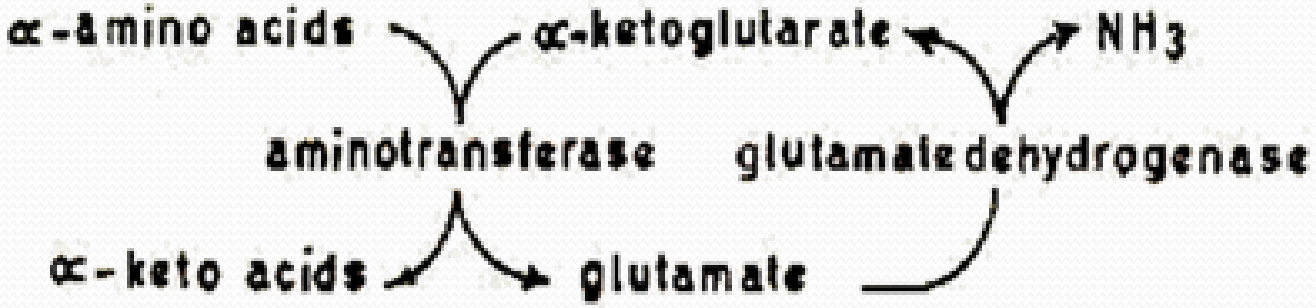


جلوتاميك جليوكسالات الفا - كيتوجلوتاريك جليسين

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

الخطوة الرئيسية الأولى في هدم الحمض الأمينى هو تجريده من مجموعته الأمينية التى تنطلق في صورة أمونيا وأكسدة هيكله الكربونى في الوقت نفسه إلى حمض ألفا- كيتى ثم تدخل هذه الأحماض المسارات الأيضية العامة فبعض هذه المركبات مثل البيروفيك وكيتوجلوتاريك وأكسالوخليك تتأكسد أكسدة كاملة عن طريق دورة كربس مسفرة عن إنتاج طاقة، وبعض المركبات الكيتية الأخرى تتحول الى مركبات اخرى يمكن ان تدخل الأيض الكربوهيدراتى أو الدهنى.

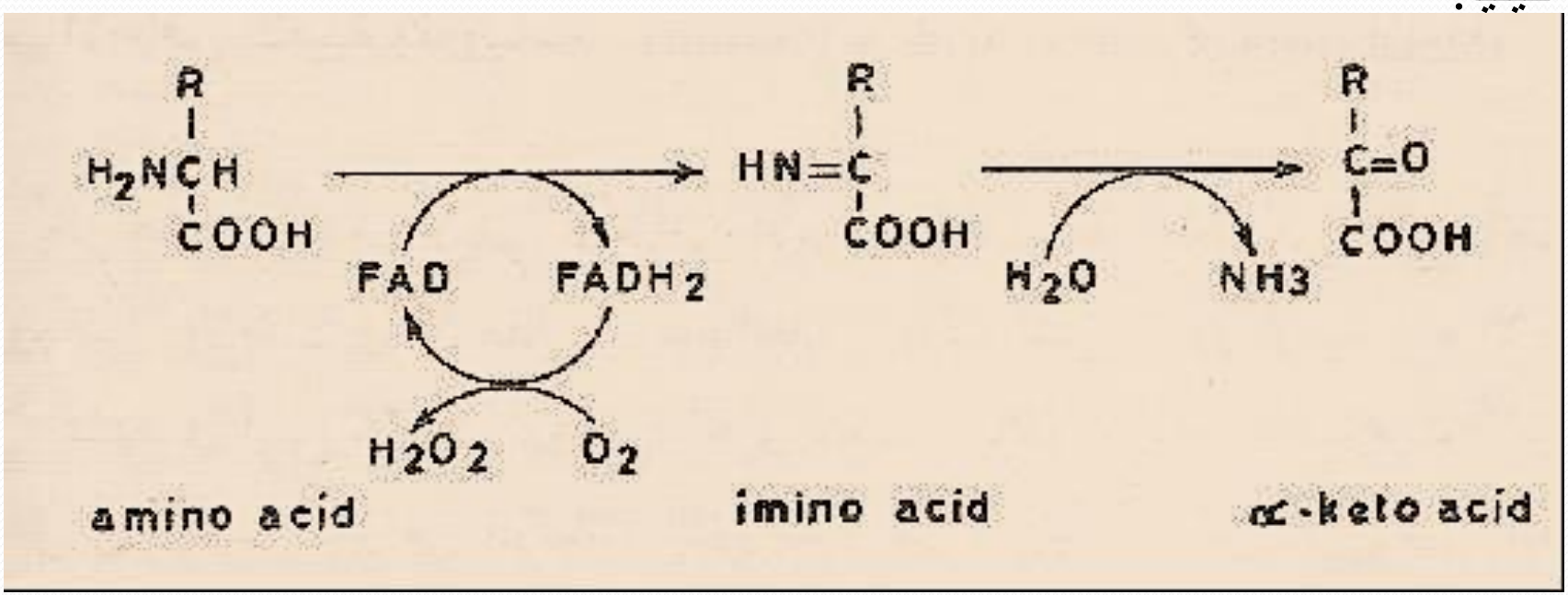
ويمكن ايضاح العملية الشاملة لتجريد أحماض أمينية متنوعة من مجموعاتها الأمينية بتعاون إنزيمات النقل الإنزيمي وجلوتاميك ديهيدروجنيز معاً على النحو التالي:



ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

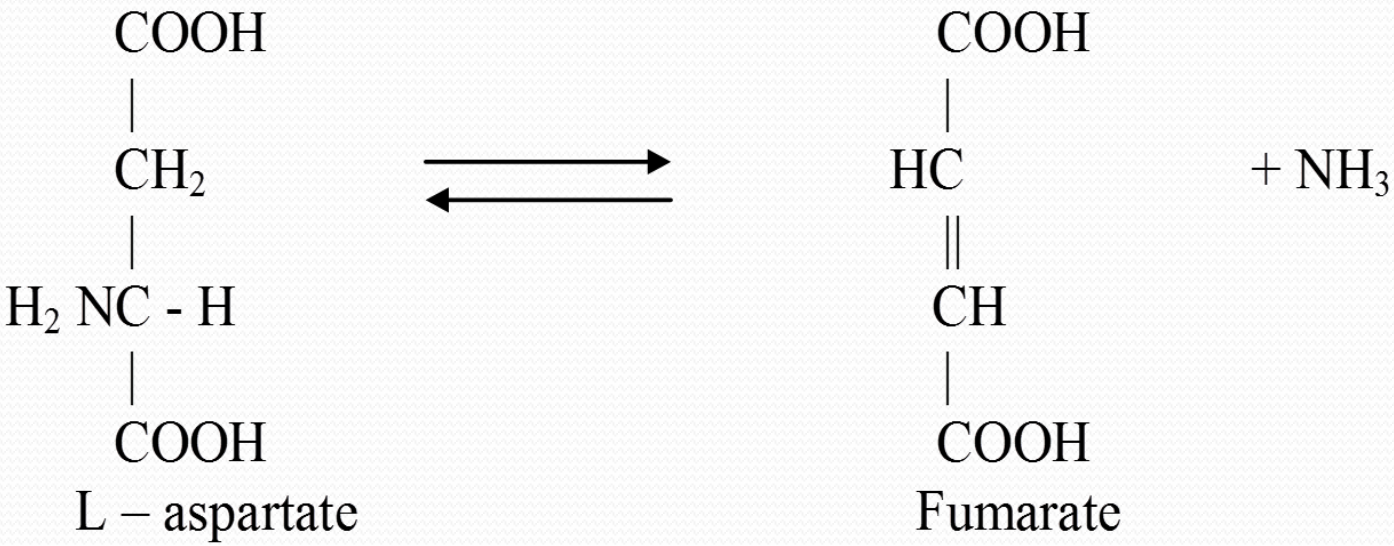
وتختلف آلية تجريد الحمض الأميني من مجموعته الأمينية في المتعضيات المختلفة.

ففي المتعضيات الدنيا تتحقق هذه الخطوة بإنزيمات (أكسيديزات الأحماض الأمينية) وتحفز هذه الإنزيمات أكسدة الحمض الأميني عن طريق نزع الهيدروجين من المجموعة الأمينية ومن كربون ألفا وتحويله الى حمض إيميني **(imino acid)** لا يلبث أن يتفاعل تلقائياً مع الماء مطلقاً أمونيا ومكوناً حمضاً كيتياً.



ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

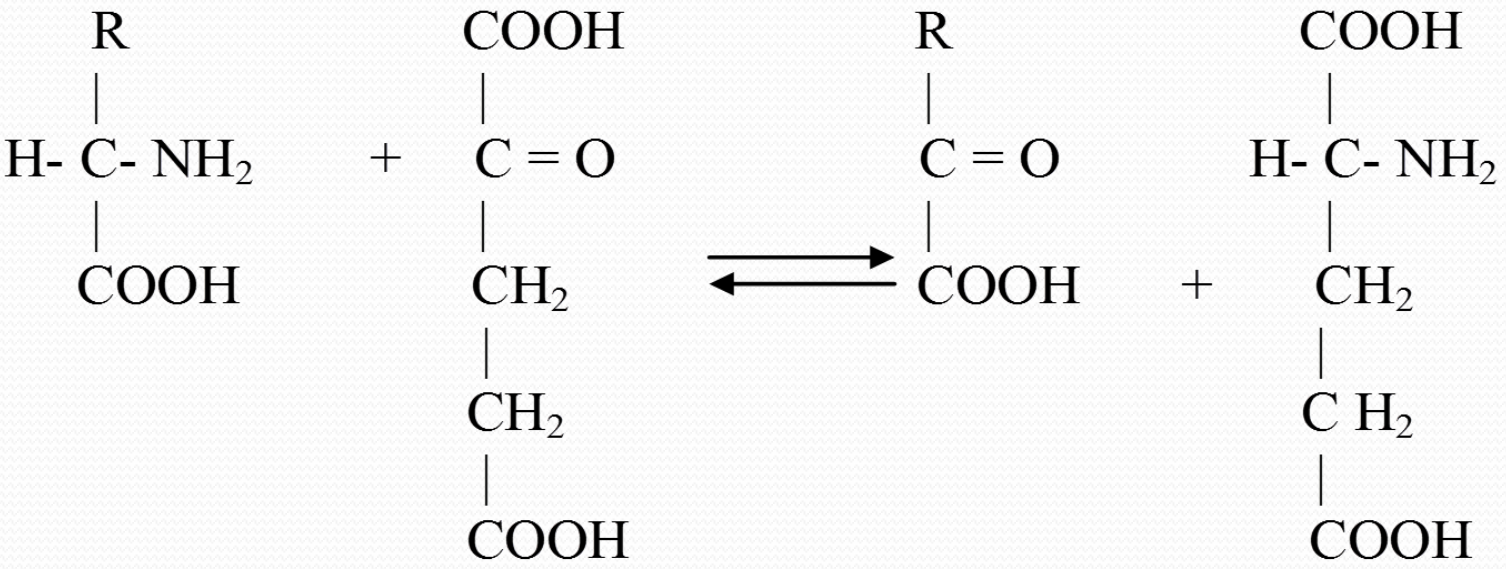
من جهة أخرى: يوجد في بعض المتعضيات الدقيقة والنباتات ، إنزيمات تحفز تجريد الأحماض الأمينية من مجموعاتها مثل إنزيم (Aspartate ammonia Lyase) الذي يحفز فصل الأمونيا من جزيء أسبارتك



والجدير بالذكر أن هذا التفاعل قابل للإنعكاس بسهولة

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

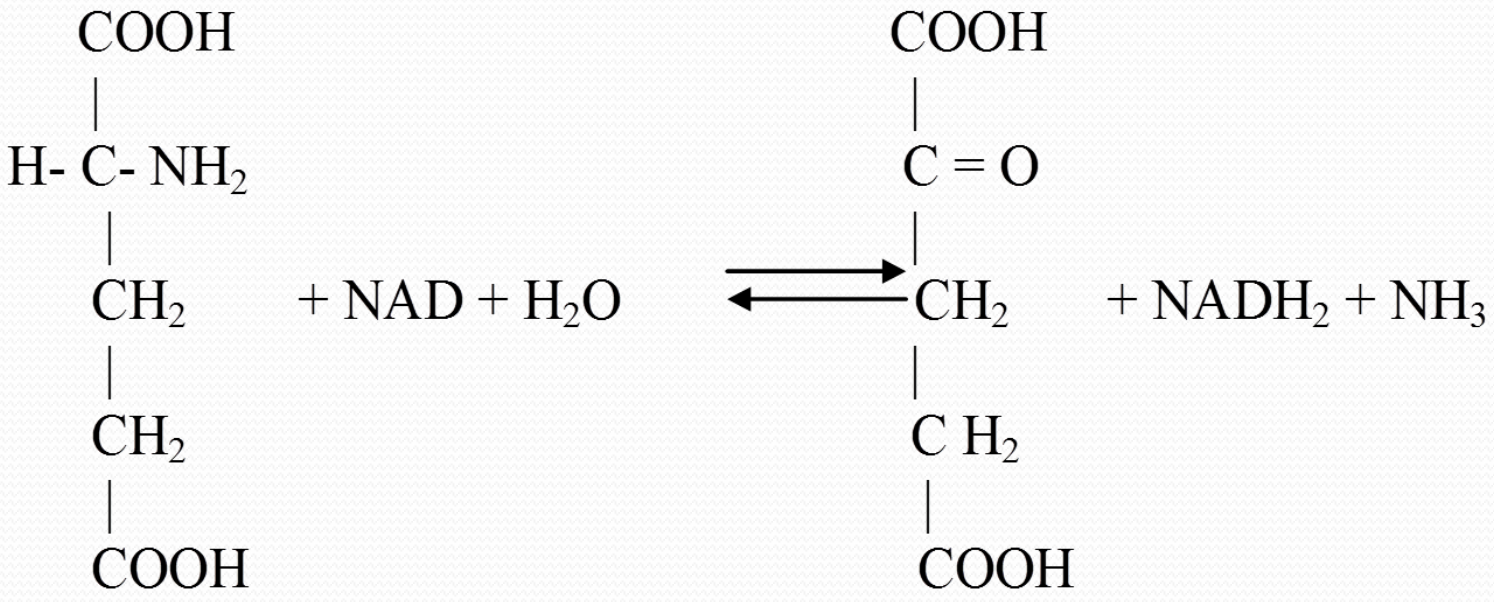
أما الإنزيم الذي يقوم بدور أساسي في تجريد الأحماض الأمينية من مجموعاتها الأمينية في الأنسجة الحيوانية والنباتية فهو (جلوتاميك ديهيدروجينيز) (glutamic dehydrogenase) بالتعاون مع إنزيمات أخرى تسمى (ناقلات أمينية). ففي هذه التفاعلات تنتقل مجموعة الأمين عن طريق المرافق الإنزيمي (فوسفات بيرودكسال)، نحو حمض ألفا كيتو جلوتاريك مكونة حمض الجلوتاميك



حمض أميني الفا - كيتوجلوتاريك جلوتاميك

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

وفي وجود إنزيم (جلوتاميك ديهيدروجنيز) تنطلق الأمونيا من حمض جلوتاميك ويتكون ألفا كيتو جلوتاريك، ليدخل من جديد في مثال التفاعل السابق.

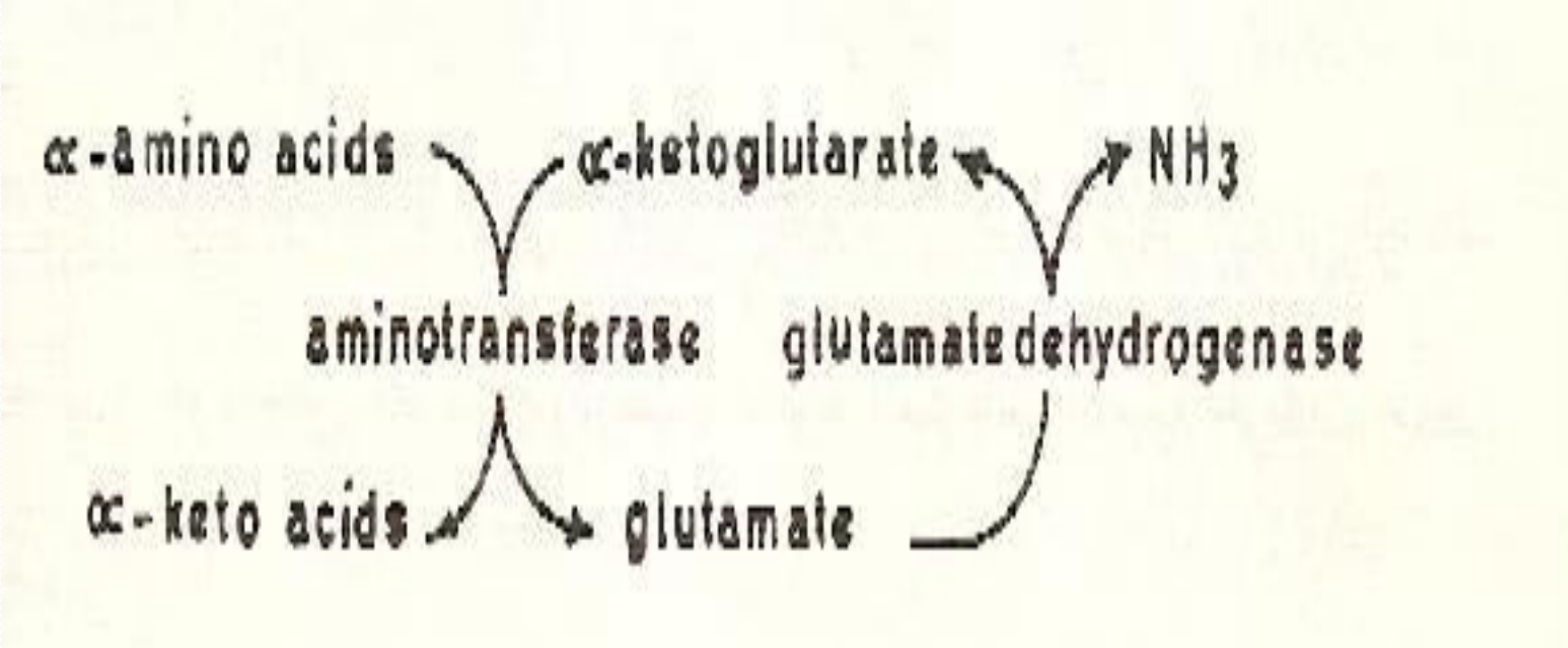


جلوتاميك

الفا - كيتوجلوتاريك

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

ويمكن ايضاح العملية الشاملة لتجريد أحماض أمينية متنوعة من مجموعاتها الأمينية بتعاون إنزيمات نقل مجموعة الأمين وجلوتاميك ديهيدروجنيز معاً على النحو التالي:.



تكوين البروتينات

- يتحكم فى صفات أى كائن حى عوامل معينة هى الجينات، والجين هو تتابع معين للنيوكلوتيدات فى جزىء **DNA** وهو يعبر عن بناء جزىء **mRNA** ومن ثم بناء بروتين معين، فكل صفة تعبر عن وجود بروتين معين وبناء عليه فإن ألية تعبير **DNA** عن الصفات تكمن فى ألية بناء البروتين التى تتمثل فى عمليتى النسخ والترجمة، لذا فإننا نحتاج إلي دراسة كيفية تأثير **DNA** على الخلايا لإظهار الصفات الوراثية ويحدث ذلك كما يلي :

١. تقوم إنزيمات معينة بالخلية بنسخ الجينات العاملة فى جزئ **DNA**.

٢. تتم ترجمة هذه النسخ بتخليق بروتين يعبر عن الجين.

٣. يقوم هذا البروتين بإظهار الصفة الوراثية حسب نوعه كما يلي:

- إذا كان بروتين تركيبى فإنه يكسب الخلية صفات معينة كالصلابة أو المرونة.
- إذا كان بروتين تنظيمى أو وظيفى "إنزيم أو هرمون أو جسم مضاد" فإنه يحفز تفاعل معين يكسب الخلية قدرة معينة.

تكوين البروتينات

❖ كيف يتكون البروتين؟

أ- تكوين رابطة ببتيدية بين كل حمضين أمينيين ونزع جزئ ماء، حيث تنزع ذرة هيدروجين **H** من مجموعة الأمين في حمض أميني ومجموعة هيدروكسيل **OH** من مجموعة الكربوكسيل **COOH** في الحمض الأميني المجاور بواسطة الإنزيمات الخاصة بالتفاعل النازع للماء لتكوين بوليمر عديد الببتيد (سلسلة عديد الببتيد).

ب- ترتبط مجموعة سلاسل عديدات الببتيد معاً بروابط هيدروجينية، لتكون البروتين في شكله النهائي.

- هناك ٢٠ نوع من الأحماض الأمينية فقط هى التى تشارك فى بناء جميع أنواع البروتينات، فماهي العوامل التي تؤدي إلى إختلاف البروتينات عن بعضها؟

✓ إختلاف عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية.

✓ إختلاف عدد ونوع سلاسل عديدات الببتيد.

- إختلاف نوع الروابط الهيدروجينية الضعيفة بين سلاسل عديدات الببتيد والمسئولة عن إكساب البروتين شكله الفراغي

الروابط الببتيدية Peptide Bonds

البروتينات تتكون باتحاد الأحماض الأمينية ببعضها البعض فكيف يتم هذا؟

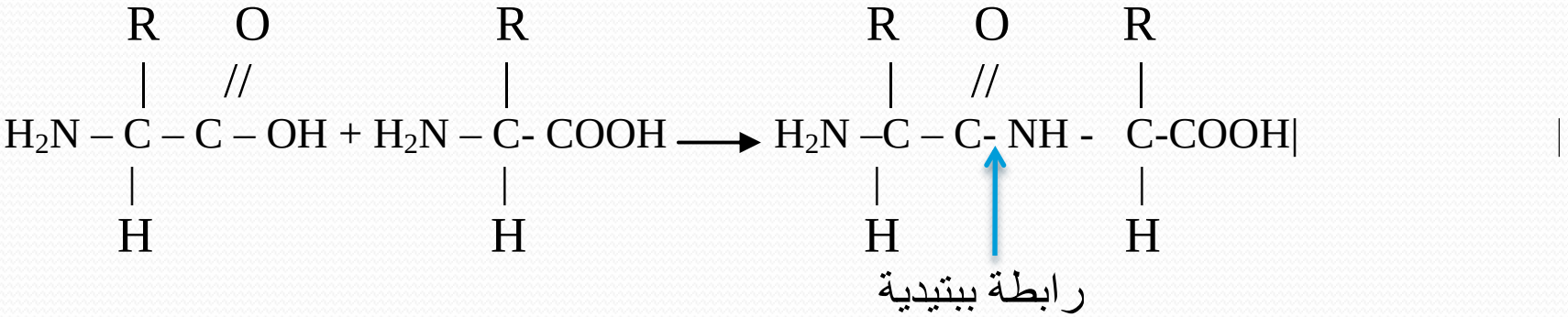
تتفاعل مجموعة الكربوكسيل من حمض أمينى مع مجموعة الأمين فى حمض أمينى الآخر وتنشأ رابطة تعرف بالرابطة الببتيدية نتيجة نزع جزىء ماء (**H** من مجموعة الأمين ، **OH** من مجموعة الكربوكسيل).

والرابطة بينها تسمى الرابطة الببتدية وتتم بإقصاء جزىء ماء

٣–١٠ حمض أمينى = ببتيد قليل

١٠–١٠٠ حمض أمينى = عديد الببتيد

أكثر من ١٠٠ حمض أمينى = بروتين



المركبات المشاركة في عملية تخليق البروتين

١. الحمض النووي الدي أوكسي الريبوزي (DNA): مخزن عليه مواصفات البروتينات التى يمكن للخلية أن تكونها والتى تكسب الخلية صفاتها الوراثية.

٢. RNA الرسول (mRNA):ينقل المعلومات الوراثية من DNA الموجود فى الكروموسومات إلى سطح الريبوسوم.

٣. RNA الناقل (tRNA): يحتوى على القواعد الثلاث المسماة بالشفرة المقابلة أو المتممة Anticodon

٤. انزيم أمينو أسيل tRNA: ينظم عملية إتحاد الحامض الأمينى بـ tRNA.

٥. الريبوسومات: تنظم عملية بناء سلاسل عديدات الببتيد.

٦. عامل الإبتداء: عبارة عن بروتين يعمل على تجميع معقد الإبتداء الذى يتضمن mRNA والريبوسوم و tRNA.

٧. عامل الإستطالة: هو بروتين سيتوبلازمى يعمل على ربط أحماض RNA الناقلة (tRNAs) بالريبوسومات النشطة.

٨. عامل الإنتهاء: يقوم بتحرير سلسلة عديد الببتيدات من RNA الناقل و RNAا لرسول من الريبوسوم.

٩. ATPيزود الطاقة أثناء عملية نقل الحامض الأمينى بواسطة tRNA.

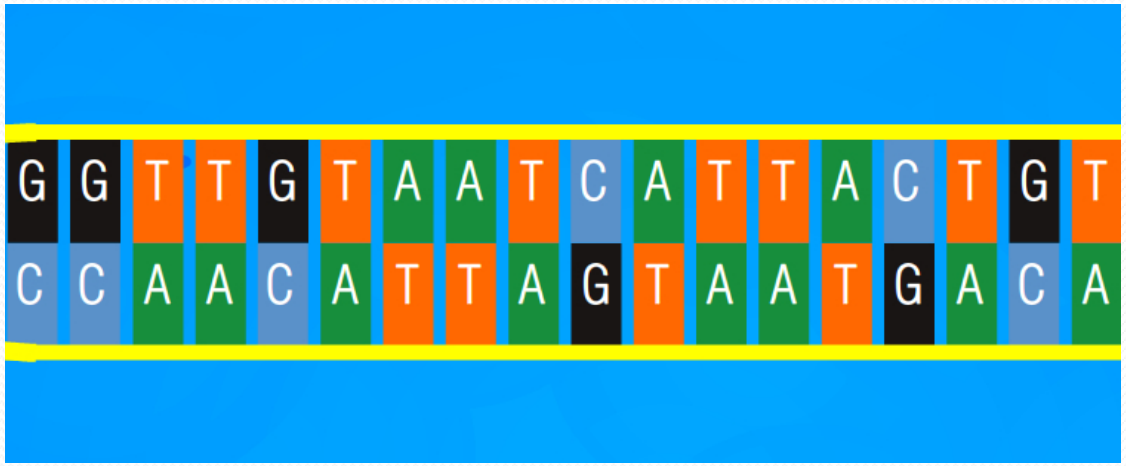
١٠. GTP يزود الطاقة أثناء بداية التفاعل (تكوين معقد الإبتداء) وأثناء الإستطالة.

١١. الأحماض الأمينية البروتينية العشرين المعروفة.

أهم الفروق بين نوعى الأحماض النووية (الدى أوكسي ريبوزى ، الريبوزى)

الحمض النووى الدى أوكسى الريبوزي DNA	الحمض النووى الريبوزى RNA
• يتميز بثبات تركيبه في الخلية.	• يتعرض للهدم والبناء باستمرار.
• هو مادة الوراثة في معظم الكائنات الحية.	• هو مادة الوراثة في بعض الفيروسات مثل الإنفلونزا ، شلل الاطفال ، الإيدز.
• وحدة بناءه النيوكلوتيدة (تتكون من قاعدة نيتروجينية + سكر خماسى مفسفر).	• وحدة بناءه الريبونيوكلوتيدة (تتكون من قاعدة نيتروجينية + سكر خماسى مفسفر).
• السكر الخماسى هو دى أوكسى ريبوز أى منزوع منه أكسجين من ذرة الكربون رقم ٢	• السكر الخماسى هو سكر الريبوز غير منزوع الأكسجين.
• ترتبط ذرة الكربون رقم ١ فى السكر الخماسى بقواعد نيتروجينية قد تكون بيورينية (أدنين A أو جوانين G) أو بريميدينية (ثايمين T أو سيتوسين C).	• ترتبط ذرة الكربون رقم ١ بقواعد نيتروجينية قد تكون بيورينية (أينين A أو جوانين G) أو بريميدينية (سيتوسين C أو يوراسيل U).
• يوجد في النواة وفى الميتوكوندريا والبلاستيدات.	• يوجد في النواة والسيتوبلازم.
• على شكل شريط مزدوج أو سلسلتين مجدولتين.	• على شكل شريط مفرد غالباً فيما عدا إزدواج بعض المواقع علي جزئ tRNA.
• وظيفته الأساسية أنه مخزن للمعلومات الوراثية "مادة وراثة".	• وظيفته الأساسية أنه يساهم في تخليق البروتين، وقد يكون مادة وراثة في بعض الكائنات.
• إذا وجد فى الخلية يلزم وجود RNA معه.	• إذا كان مادة الوراثة في خلية كائن لا يوجد معه DNA.
• نوع واحد .	• ٣ أنواع هي rRNA ، tRNA ، mRNA.

تحتوي الجينات الموجودة في الـ DNA على المعلومات المتعلقة ببناء البروتينات، هذه المعلومات مشفرة بما يشبه اللغة والمسماة الشفرة الوراثية، يمكن النظر إلى الـ DNA على أنه كتاب تعليمات لإنتاج البروتينات.



❖ كيف تحدد المعلومات فى الـ DNA نوع البروتين الناتج؟ الشفرة الوراثية؟

يتميز DNA بتركيبه الذى يشبه السلم، وتتركب درجات السلم من القواعد النيتروجينية A ، T، C ، G. وتسلسل القواعد هو "اللغة" التي تكتب بها الجينات، والقواعد الأربعة هى "أحرف" هذه اللغة، وتسلسل كل ثلاث قواعد على طول إحدى جديلتي الـ DNA يُشكل كلمة "شفرة أو كودون" تحدد حامض أمينى واحد فى البروتين. تسلسل الثلاثيات فى الجين الموجود فى الـ DNA يحدد تسلسل الأحماض الأمينية في البروتين كله وبالتالى يحدد نوعه.

كيف تحدد المعلومات في الـ DNA نوع البروتين الناتج؟ الشفرة الوراثية؟

النسخ		الترجمة	
– هو عملية بناء جزئ mRNA باستخدام DNA كقالب، أو هو نسخ أكواد أو شفرات من DNA وتحويلها إلى مركب mRNA – يتم في النواة.		– هي عملية بناء سلسلة عديد الببتيدات باستخدام mRNA كقالب. – تتم في السيتوبلازم .	
في أوليات النواة	في حقيقيات النواة	في أوليات النواة	في حقيقيات النواة
يوجد إنزيم RNA بوليميريز واحد ينسخ كل أنواع RNA.	لكل نوع من RNA إنزيم ناسخ خاص به.	الترجمة تبدأ أثناء النسخ حيث ترتبط الريبوسومات ببداية mRNA وتبدأ في ترجمته إلى بروتين بينما الطرف الآخر للجزيء mRNA ما زال في مرحلة البناء على قالب DNA.	الترجمة لا تبدأ إلا بعد إنتهاء النسخ ومعالجة mRNA {حيث تقوم الإنزيمات بإزالة الأجزاء التي لا تمثل شفرة والتي تم نسخها من DNA قبل خروج mRNA عبر ثقوب الغشاء النووي إلى السيتوبلازم، ومعنى ذلك أنه ليس من الضروري أن تتم ترجمة كل الشفرات التي توجد على mRNA حيث تزال أجزاء منه قبل خروجه إلى السيتوبلازم لأنها لا تمثل شفرة).

الأحماض النووية الريبوزية

أولاً: RNA الرسول mRNA

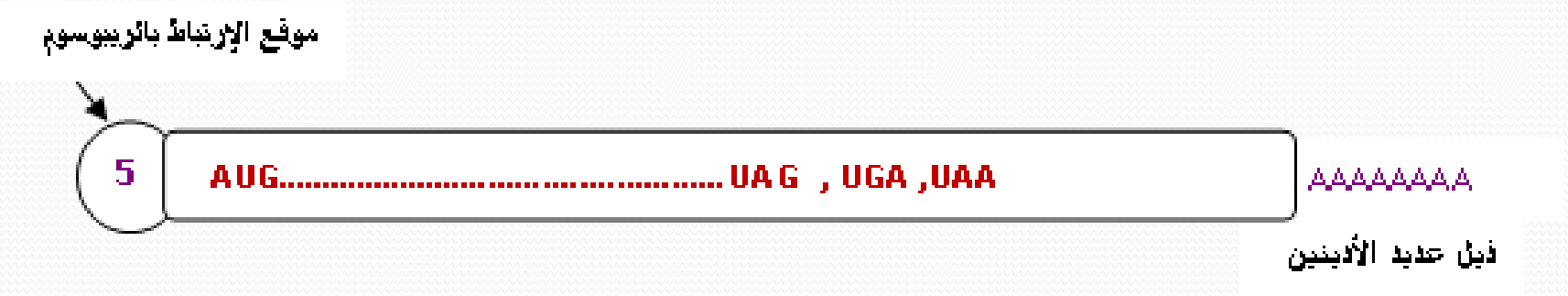
- هو الجزئ المسئول عن نقل شفرة بناء البروتين.

١. الطرف ٥\: بداية mRNA وهو موقع بداية الإرتباط بالريبوسوم.

٢. كودون البدء: هو التتابع AUG الذى يوجد في بداية أى mRNA وهو الذي يستدعى الحمض الأمينى الميثيونين وهو أول حمض أمينى في بداية أى سلسلة عديد الببتيد.

٣. كودون الوقف: هو أحد التتابعات التالية (UGA أو UAG أو UAA) ويوجد في نهاية كل جزىء mRNA تتابع واحد فقط من الثلاثة السابقة. ويعرف كودون الوقف بأنه كودون ينهي عملية بناء سلسلة عديد الببتيد حيث لا يستدعي حمض أمينى ولكن يستدعي بروتين كامل يسمي عامل الإطلاق وهو "الجزىء المسئول عن فك الإرتباط بين الريبوسوم و mRNA و tRNA الحامل لآخر حمض أمينى وسلسلة عديد الببتيد المتكونة" عند انتهاء ترجمة الشفرة الوراثية الخاصة بالجين.

٤. ذيل عديد الأدنين (الأدينوزين): هو حوالي ٢٠٠ قاعدة نيتروجينية أدينين متتالية مسئول عن حماية mRNA من التحلل بفعل إنزيمات السيتوبلازم.



- بناء mRNA تعرف بعملية النسخ (Transcription) : وفى هذه العلمية يتم تكوين جزئ الـ mRNA باستخدام DNA كقالب (template)

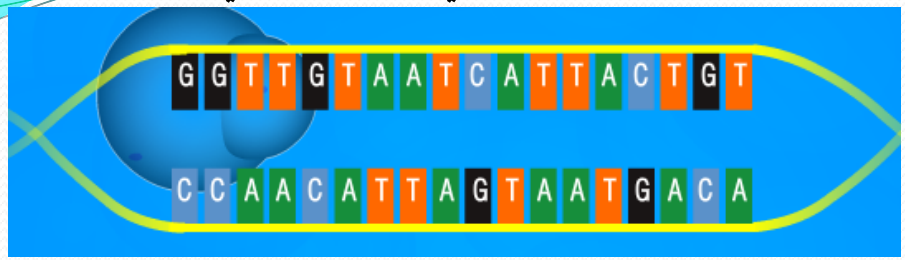
١. يقوم إنزيم اللولب بفصل شريطي DNA عن بعضهما عن منطقة الجين المراد نسخه.
٢. يقوم إنزيم بلمرة RNA بنسخ أكواد أو شفرات الجين من بداية شريط القالب ٣\ التى يوجد قبلها المحفز أي أنه يتحرك على قالب DNA من ٣\ إلى ٥\.
٣. دور المحفز: من الناحية النظرية طالما أن هناك شريطين من الـ DNA فإنه يمكن للإنزيمات أن تنسخ أى شريط منهما، لكن الواقع أن شريط واحد فقط من الشريطين هو الذى يحمل شفرة الجين والشريط الآخر كما ذكرنا هو الضامن للحفاظ على ثبات الصفات الوراثية؛ ويقوم المحفز بتوجيه الإنزيمات إلى الشريط الذي يحمل الشفرة الوراثية لنسخه.
٤. تبنى الإنزيمات جزىء mRNA بدايته من الطرف ٥\ وفي إتجاه النهاية ٣\.
٥. تقوم إنزيمات الربط بربط الريبونيوكلوتيدات معاً لتكوين mRNA.
٦. تجرى عملية معالجة لل mRNA لمعالجة العيوب الموجودة به وإزالة الأجزاء التى لا تمثل شفرات.
٧. يخرج mRNA إلى السيتوبلازم عبر ثقوب الغشاء النووى لتتم ترجمته.

علل: تتم ترجمة mRNA فى أوليات النواة أثناء النسخ.

لأن الـ mRNA فى أوليات النواة يوجد فى السيتوبلازم ولا يحاط أثناء النسخ بغشاء نووى لذلك يترجم كل ما ينسخ أولاً بأول حتى لا تحلله إنزيمات السيتوبلازم.

عملية النسخ

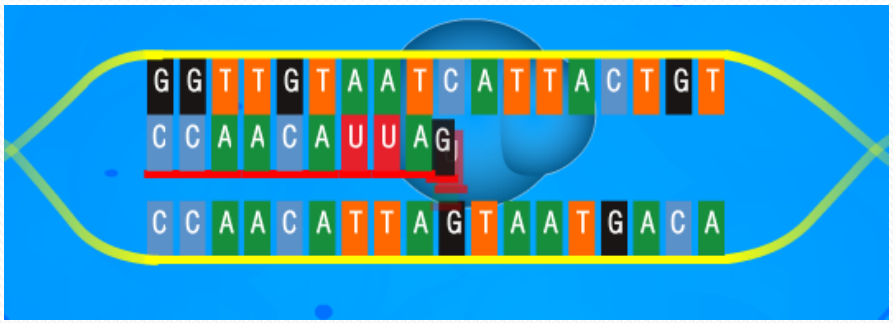
عملية النسخ التي تحدث في النواة هي عملية بناء لجزيء **mRNA** حسب تسلسل القواعد في احدى جديلتي الـ **DNA**.



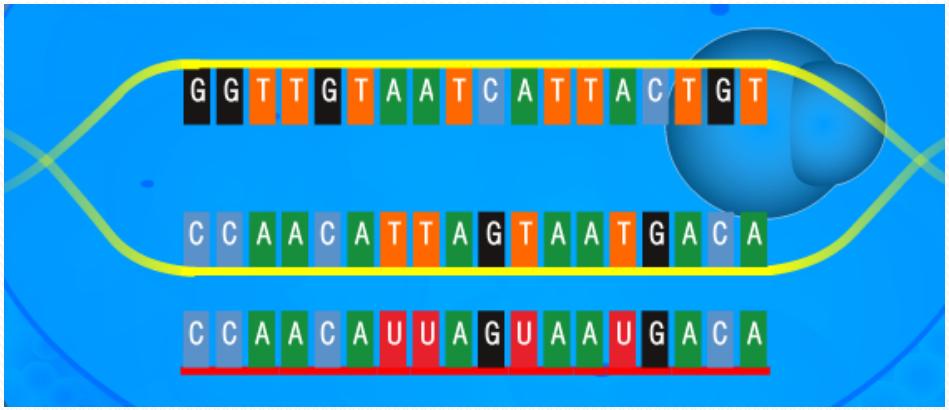
مراحل النسخ:

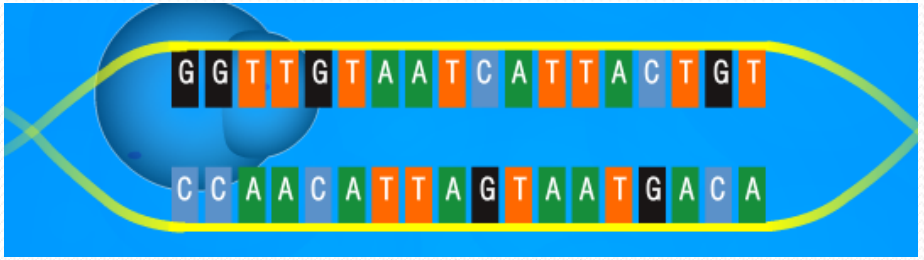
تنفصل جديلتا الـ**DNA** عن بعضهما البعض في منطقة الجين.

يُبنى جزيء **mRNA** بمساعدة انزيمات خاصة على احدى جديلتي الـ **DNA**. يبني الانزيم الجزيء بواسطة اضافة نوكليوتيدات ذات قواعد مكملة للقواعد الموجودة في جديلة الـ **DNA**: ترتبط مقابل القاعدة **A** قاعدة **U** وبالعكس. وترتبط مقابل القاعدة **C** القاعدة **G** وبالعكس. هكذا يتكون جزيء **RNA**على جديلة الـ **DNA**. فتنسخ المعلومات الوراثية عن ترتيب القواعد في الـ **DNA** الى جزيء الـ **RNA**.

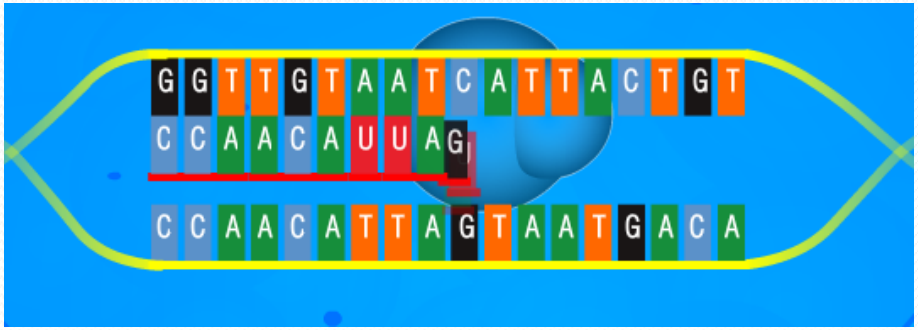


في نهاية عملية النسخ ينفصل جزيء الـ **RNA** الذي تكوّن عن الـ **DNA**. ويمر بعملية معالجة ثم يُنقل الى السيتوبلازم ويرتبط بالريبوزوم. وفيه تبدأ المرحلة الثانية من عملية انتاج البروتين، والتي تسمى ترجمة (ترتبط جديلتا الـ **DNA** من جديد).



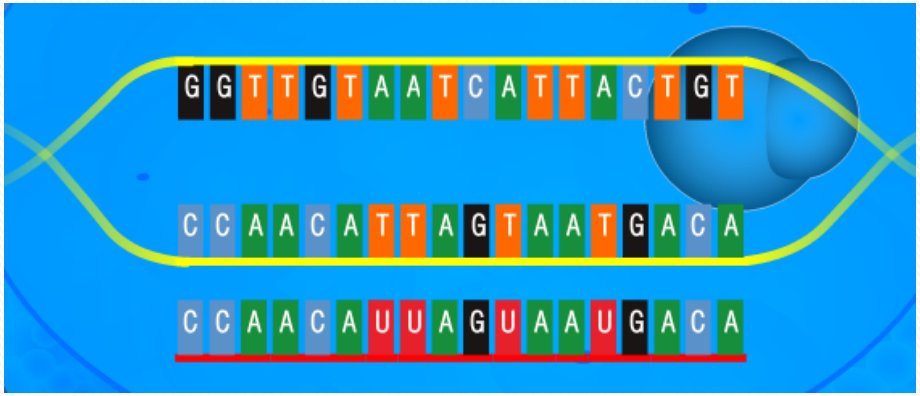


1. تنفصل جديلتنا الـ DNA

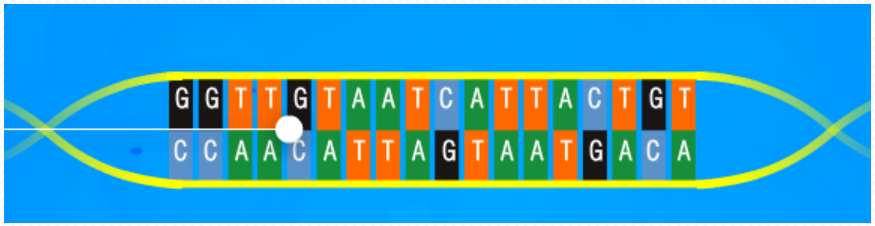


2. يبني جزيء RNA كجديلة مكملة لإحدى جديلتي DNA

3. الانتهاء من بناء الـ RNA



4. ينفصل الـ RNA عن الـ DNA



5. تتصل جديلتا الـ DNA من جديد

ثانيا: الحمض النووى rRNA

- هو الحمض النووي الذي يدخل في تركيب الريبوسوم.
- وظيفته: غير معروف بالتحديد الدور الذي يلعبه في عملية بناء البروتين حيث يحدث إرتباط طبيعته مجهولة بين rRNA و mRNA أثناء عملية تخليق البروتين، ولكنه يدخل ضمن مكونات الريبوسوم.
- نسخه:

١. ينسخ من الجينات الحاملة لشفرة تخليق rRNAوالموجودة على DNAفى النواة.
٢. يوجد ٤ أنواع من جينات rRNAويوجد من كل جين ٦٠٠ نسخة تقريباً مكررة على DNA، حتى تتمكن الخلية من إنتاج عدد كبير من جزيئات rRNAلتستخدمها في بناء الريبوسومات الذى يحدث بمعدل عدة آلاف من الريبوسومات/ ساعة فى الخلية الواحدة.
٣. وينسخ بنفس طريقة mRNA:

١) إنزيمات اللولب تعمل على فك إرتباط شريطي DNAعند منطقة الجين الخاص بـ rRNAبداية من المحفز الخاص بالجين.
٢) يعمل إنزيم RNA بوليميريز في أوليات النواة ، rRNA بوليميريز في حقيقيات النواة على بناء شريط مفرد هو أحد أنواع rRNA باستخدام أحد شريطي DNAكقالب.
٣) تعمل إنزيمات الربط على ربط الريبونيوكلوتيدات معاً لتكوين جزئ rRNA.

❖ الريبوسومات:

❖ جزيئات "عضيات" دقيقة فى الخلية لها دور هام فى بناء البروتين.

- التركيب المورفولوجي والوظيفي للريبوسوم: يتكون من جزئين هما: تحت الوحدة الكبرى ، تحت الوحدة الصغرى.

١) تحت وحدة الريبوسوم الصغري:هي بادئة تكوين البروتين.

٢) تحت وحدة الريبوسوم الكبري: يوجد عليها موقعان لهما أهمية كبيرة في بناء البروتين هما:

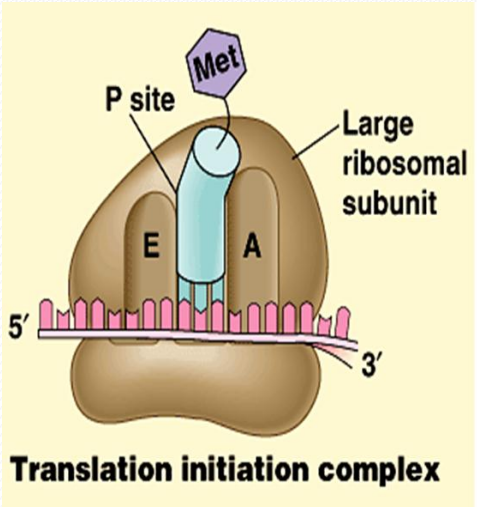
١.الأمينو أسيل **A**.

٢.الببتيديل **P**.

- التركيب الكيميائي: يدخل في تركيب الريبوسوم نوعين من البوليمرات هما:

١) **rRNA**: و يوجد منه ٤ أنواع.

٢) البروتين: و يوجد منه ٧٠ نوع.



Translation initiation complex

- **بناء الريبوسوم:**

١. تقوم الريبوسومات الموجودة أصلاً في الخلية ببناء ٧٠ نوع من البروتينات في السيتوبلازم.

٢. تقوم إنزيمات بلمرة **rRNA** ببناء ٤ أنواع من **rRNA** في النواة.

٣. تدخل البروتينات إلى النواة لتلتقى مع جزيئات **rRNA** في النوية، لتقوم النوية ببناء وحدات الريبوسوم (تحت الوحدة الكبرى ، تحت الوحدة الصغرى).

٤. تخرج وحدات الريبوسوم من النواة إلى السيتوبلازم منفردة.

٥. لا تلتقى تحت الوحدة الصغرى والكبرى إلا أثناء بناء البروتين فقط.

❖ **النوية**: هي جزئ صغير داخل نواة خلايا حقيقيات النواة تختفى أثناء إنقسام الخلية وتظهر عقب الإنقسام.

- **وظيفتها:** تربط جزيئات **rRNA** (٤ أنواع)، وجزيئات البروتين (٧٠ نوع) معاً لتكون وحدات الريبوسوم "تحت الوحدة الكبرى والصغرى".

ثالثاً: الحمض النووى الريبوزى الناقل tRNA:

هو الجزئ المسئول عن نقل الاحماض الأمينية من السيتوبلازم السائل إلى الريبوسوم، حسب شفرة الأحماض الأمينية الموجودة على mRNAثم يضع هذه الأحماض فى مكانها الصحيح فى سلسلة عديد الببتيد.

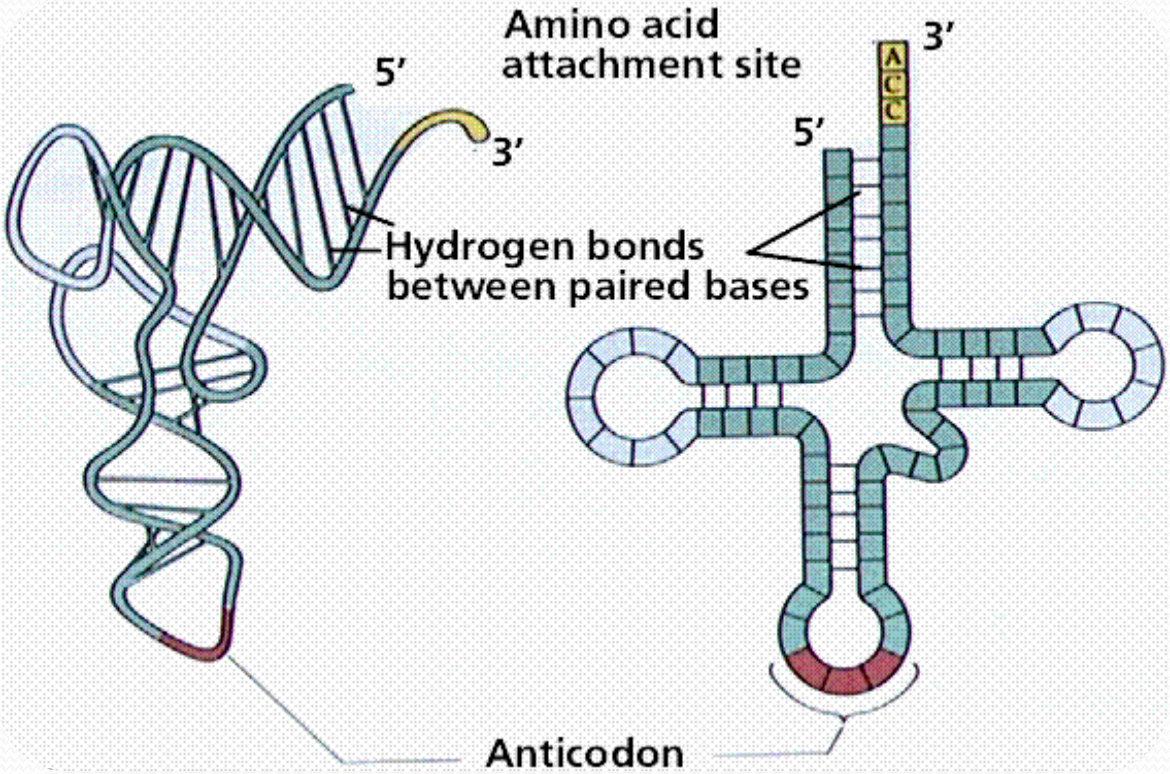
- وظيفته: نقل الأحماض الأمينية.
- نسخه:

١. ينسخ من جينات tRNA الموجودة على DNA في النواة.
٢. يوجد منه ٦١ نوع من tRNA لها ٦١ جين على DNA.
٣. كل جين يوجد منه، من ٧ – ٨ نسخ مكررة على DNA.
٤. فى أوليات النواة ينسخه إنزيم RNA بوليميريز بينما فى حقيقيات النواة ينسخه إنزيم tRNA بوليميريز.
٥. تتم باقي خطوات النسخ العادية كما يلى:
   ١) الفصل: بإنزيم اللولب.
   ٢) النسخ: بإنزيم البلمرة الذى يختلف فى أوليات النواة عن حقيقيات النواة.
   ٣) الربط : بإنزيم الربط.

- **تركيبه:**

١. لكل جزيئات **tRNA** نفس الشكل العام، حيث تلتف أجزاء من الجزىء لتكون حلقات تستطيع الإحتفاظ بشكلها العام، ويحدث ذلك عن طريق ازدواج القواعد فى مناطق مختلفة من الجزيء.

٢. يتكون من شريط مفرد، وازدوج الشريط فى بعض المواقع ليكون دوائر تكسبه شكل فراغي مميز، وذلك لحمايته من التحلل بفعل إنزيمات السيتوبلازم. أى أن جميع جزيئات **tRNA** تتشابه فى الشكل الخارجى و لكن، ما الفرق بين أنواع **tRNA** الـ (٦١)؟



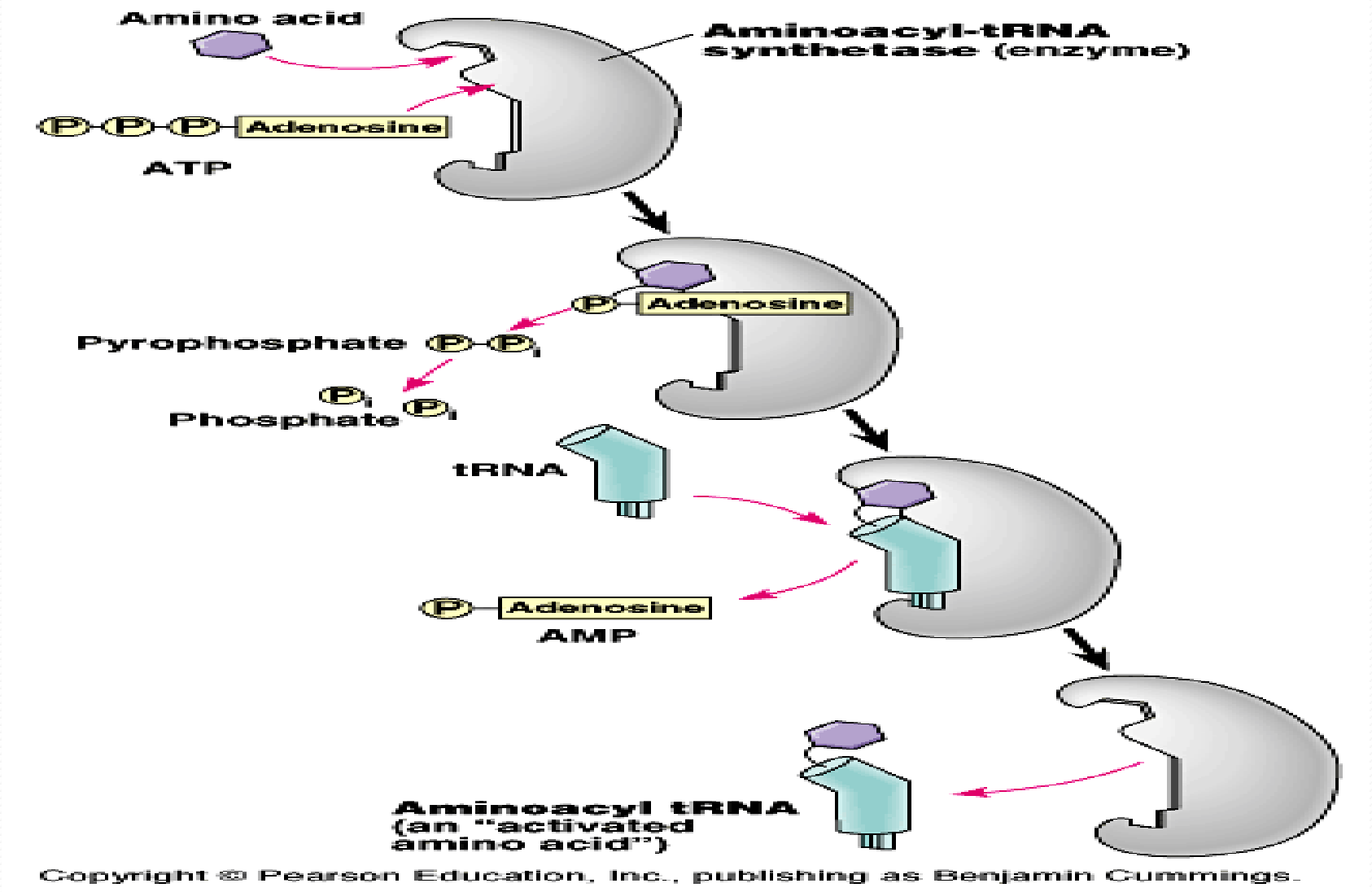
١. يوجد عليه موقعان لهما أهمية كبيرة في بناء البروتين وهما:

– موقع الإرتباط بالحمض الأميني: وهو الطرف ٣/ الذى يمثل نهاية الشريط عند التتابع **{CCA}**، هو الموقع الذى يرتبط عنده الحمض الأمينى المناسب لشفرة **mRNA** مع جزئ **tRNA**.

– مضاد الكودون **Anticodon**: هو موقع من ٣ ريبونيوكلوتيدات قواعدها النيتروجينية تتكامل مع القواعد النيتروجينية التي تمثل شفرة الحمض الأميني على **mRNA**.

- ✓ يوجد كودون يسمى كودون البدء (هو أول كودون فى أى جزيء **mRNA** وهو **AUG**) والذى يستدعي الحمض الأمينى المثيونين، وهو أول حمض أمينى فى أى سلسلة عديدة الببتيد.
- ✓ توجد ٣ كودونات لا تستدعى أى أحماض أمينية، وهي كودونات الوقف وهي **UAA**أو **UGA** أو **UAG**، ولكنها تستدعى ما يسمى بعامل الإطلاق وهو مادة بروتينية توقف عملية بناء البروتين.
- ✓ عدد الكودونات الفعلية التي تستدعى الـ ٢٠ حمض أمينى هى ٦١ كودون بخصم كودونات الوقف من ٦٤ كودون المعروفة.
- ✓ لكل **tRNA** شفرة على موقع مضاد الكودون تتكامل مع شفرة الحمض الأمينى المحمول عليه والموجودة على **mRNA** ، إذن يوجد لدينا ٦١ نوع من **tRNA**.
- ✓ الشفرة الوراثية عامة؛ بمعنى أن أى كودون يستدعى نفس الحمض الأمينى المناسب فى أى نوع من خلايا الكائنات الحية. والشفرة الوراثية نشأت مع بداية الخليقة ولم يطرأ عليها أي تغيرات تذكر.

A transfer RNA molecule complete with its specific amino acid is referred to as a **charged tRNA**



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

الشفرة الوراثية

هي ترتيب النيوكلوتيدات على **DNA** والتي يتم نسخها فى صورة تتابع مقابل (معكوس) فى جزيء **mRNA** الذى يذهب إلى الريبوسوم حيث يترجم إلى تتابع من الأحماض الأمينية فى سلسلة عديد الببتيد الذى يكون بروتين معين يظهر صفة وراثية معينة. ولكن، ما سوف ندرسه هو صورة الشفرة الوراثية التي يتم تسجيلها على جزيء **mRNA** المنسوخ من **DNA**.

- خصائص الشفرة الوراثية:

١) مكونة من ٤ حروف هى **(A – U – G – C)**، وتمثل أنواع القواعد النيتروجينية التى تعبر عن أنواع الريبونيوكلوتيدات التى تدخل في تركيب **RNA**.

٢) تتكون الشفرة من كلمات تسمى الكودونات.

٣) كل كودون يعبر عن حمض أمينى (من ضمن الـ ٢٠ نوع التى تدخل فى بناء البروتينات).

٤) كل كودون مكون من ٣ حروف أى أن الشفرة الوراثية ثلاثية، وقد توافرت الأدلة على أن الشفرة الوراثية ثلاثية (عام ١٩٦٠)، وتوصل العلماء إلى الشفرة الخاصة بكل حمض أميني أى الكودونات (عام ١٩٦٥).

- **الشفرة الوراثية ثلاثية و ليست ثنائية أو أحادية.....علل؟**

✓ **لا يمكن أن تكون أحادية؛ حيث يصبح لدينا ٤ كودونات فقط لا تكفي لاستدعاء الأحماض الأمينية (٢٠ نوع).**

✓ **ولا يمكن أن تكون ثنائية حيث سيصبح لدينا ($٤^{٢}$) كودون أي ١٦ كودون وهي لا تكفي لاستدعاء ٢٠ حمض أميني.**

✓ **لذلك الشفرة ثلاثية ليصبح لدينا ($٤^{٣}$) كودون أى ٦٤ كودون تكفى لاستدعاء الـ ٢٠ حمض أميني خاصة إذا علمنا أن لكل حمض أكثر من إسم أو كودون يتم إستدعائه به، وهو أصغر حجم نظرى لكل شفرة.**

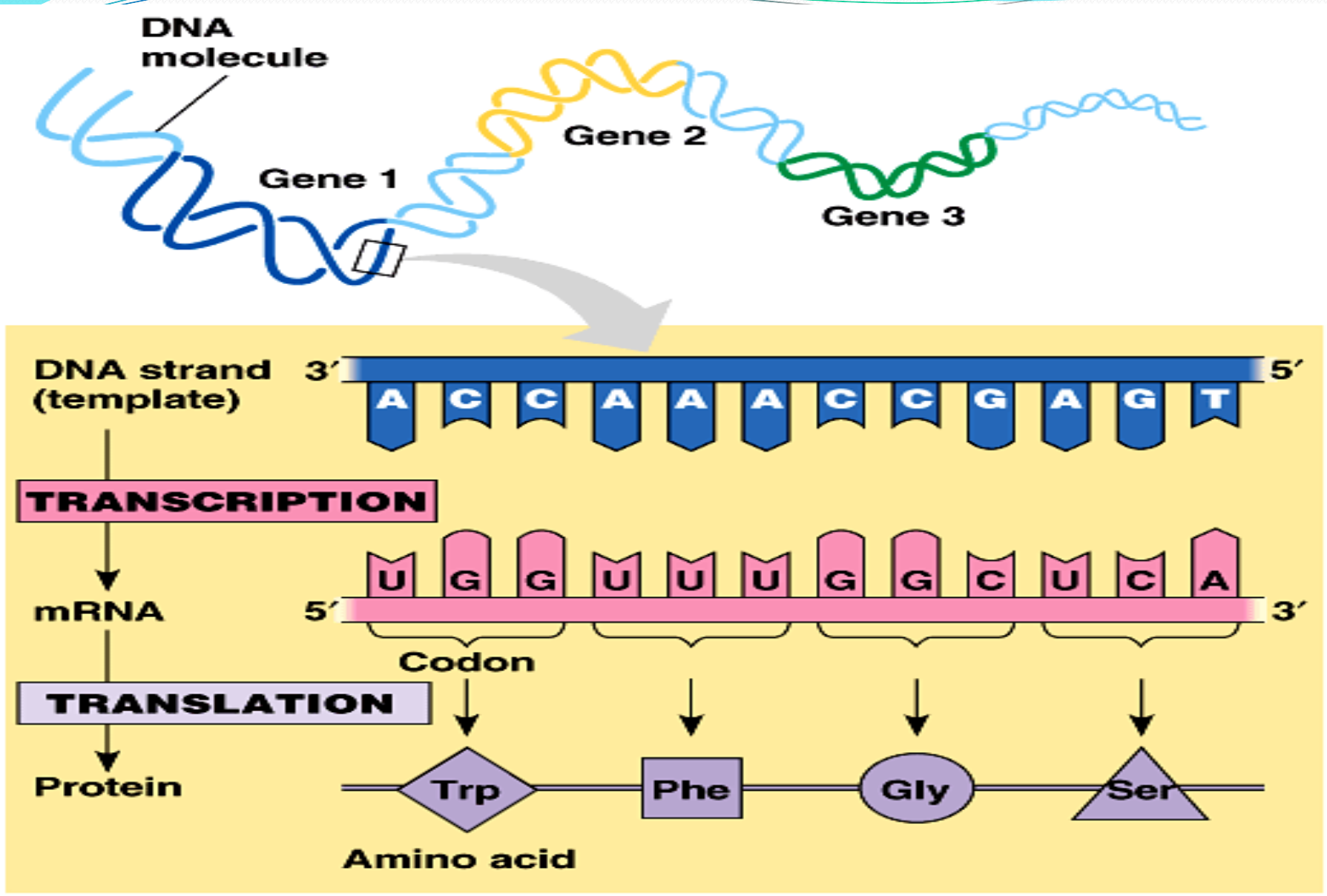
والجدول التالى يوضح الـ ٦٤ كودون والأحماض الأمينية التى تقوم باستدعائها باستثناء كودون الوقف (ويلاحظ أن لكل حمض أمينى أكثر من كودون يقوم باستدعائه بإستثناء المثيونين فله كودون واحد).

Second letter

First letter	U		C		A		G		
U	UUU UUC	Phenyl-alanine	UCU UCC UCA UCG	Serine	UAU UAC	Tyrosine	UGU UGC	Cysteine	U C
	UUA UUG	Leucine			UAA UAG	Stop codon Stop codon	UGA UGG	Stop codon Tryptophan	A G
C	CUU CUC CUA CUG	Leucine	CCU CCC CCA CCG	Proline	CAU CAC	Histidine	CGU CGC CGA CGG	Arginine	U C A G
					CAA CAG	Glutamine			
A	AUU AUC AUA	Isoleucine	ACU ACC ACA ACG	Threonine	AAU AAC	Asparagine	AGU AGC	Serine	U C
	AUG	Methionine; initiation codon			AAA AAG	Lysine	AGA AGG	Arginine	A G
G	GUU GUC GUA GUG	Valine	GCU GCC GCA GCG	Alanine	GAU GAC	Aspartic acid	GGU GGC GGA GGG	Glycine	U C A G
					GAA GAG	Glutamic acid			

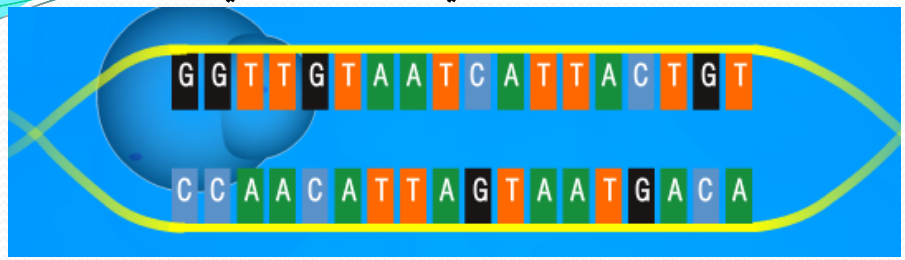
- الشفرة الوراثية عامة، أى أنها متماثلة تماماً في كل الكائنات الحية (جراثيم، نباتات، حيوانات، بنى البشر) وتترجم كل شفرة عند كل الكائنات الحية لنفس الحامض الأميني بالضبط!

تخليق البروتين



عملية النسخ

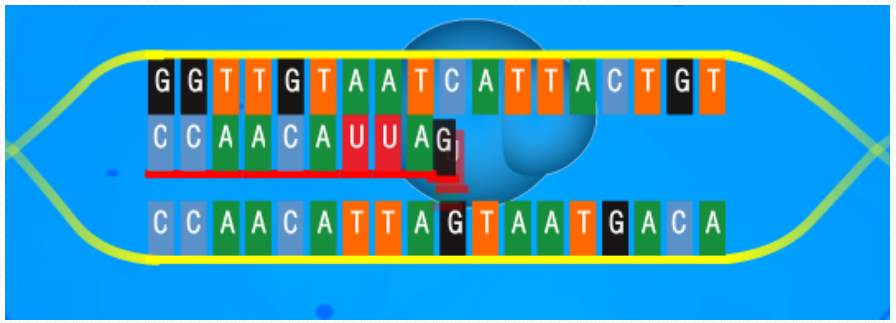
عملية النسخ التى تحدث فى النواة هي عملية بناء لجزيء **mRNA** حسب تسلسل القواعد في احدى جديلتي الـ **DNA**.

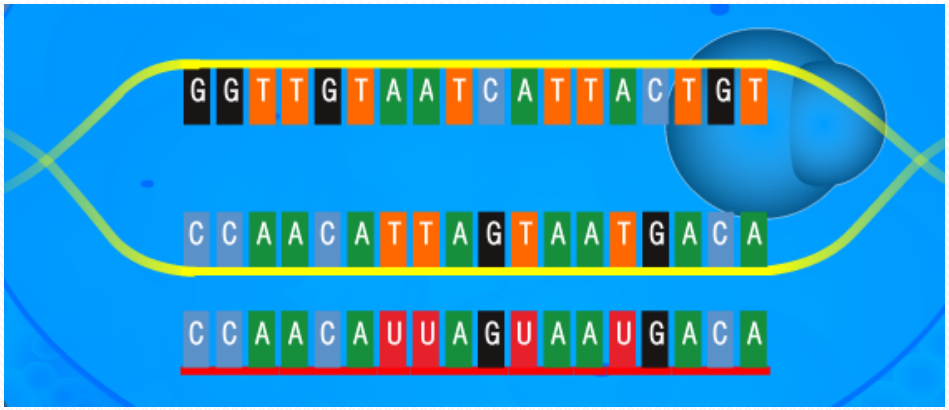


مراحل النسخ:

تنفصل جديلتا ال–**DNA** عن بعضهما البعض في منطقة الجين.

يُبنى جزيء **mRNA** بمساعدة انزيمات خاصة على احدى جديلتي الـ **DNA**. يبني الانزيم الجزيء بواسطة اضافة نوكليوتيدات ذات قواعد مكملة للقواعد الموجودة في جديلة الـ **DNA**: ترتبط مقابل القاعدة **A** قاعدة **U** وبالعكس. وترتبط مقابل القاعدة **C** القاعدة **G** وبالعكس. هكذا يتكون جزيء **RNA**على جديلة الـ **DNA**. فتنسخ المعلومات الوراثية عن ترتيب القواعد في الـ **DNA** الى جزيء الـ **RNA**.





في نهاية عملية النسخ ينفصل جزيء الـ **RNA** الذي تكوّن عن الـ **DNA**. ويمر بعملية معالجة ثم يُنقل الى السيتوبلازم ويرتبط بالريبوزوم. وفيه تبدأ المرحلة الثانية من عملية انتاج البروتين، والتي تسمى ترجمة (ترتبط جديلتا الـ **DNA** من جديد).

عملية الترجمة Translation:

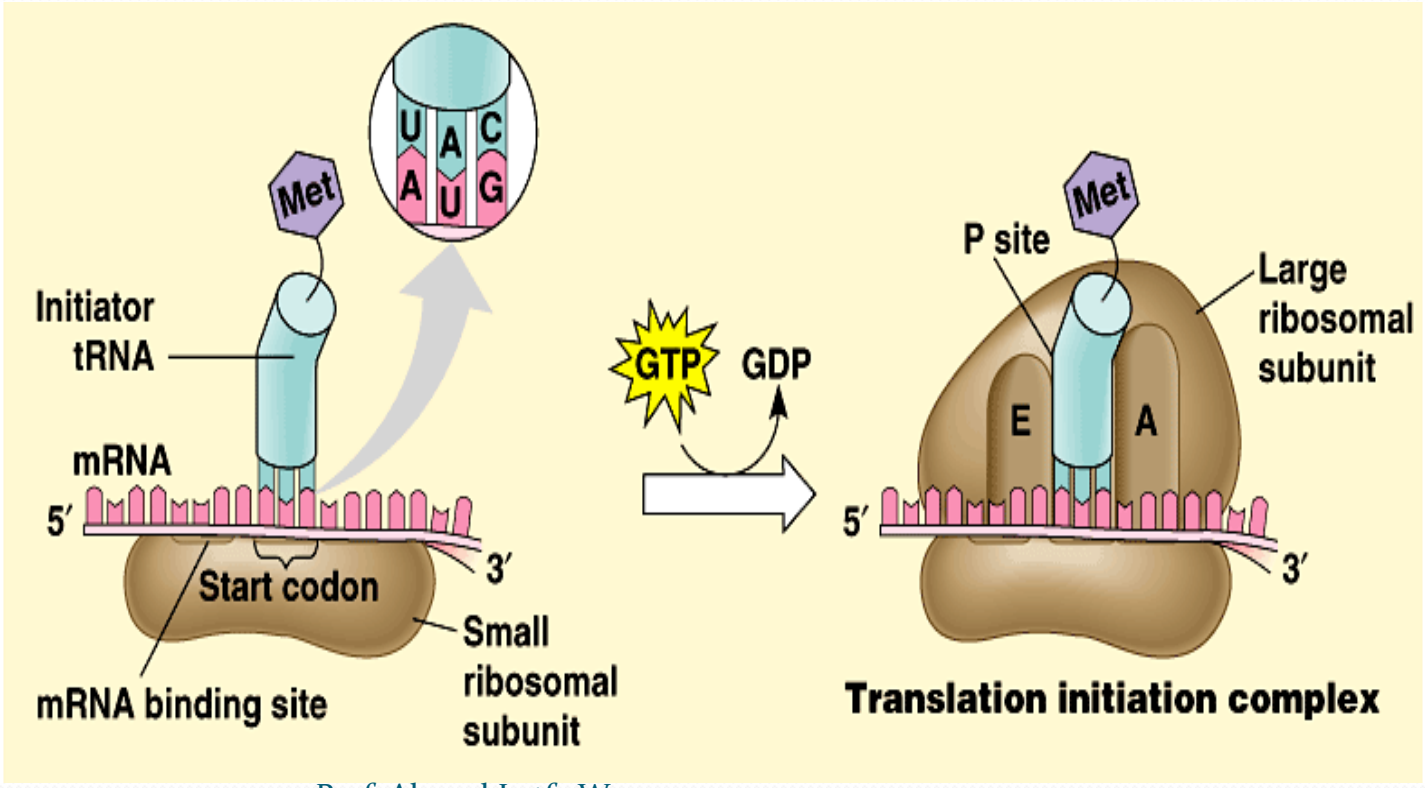
يتم خلالها ترجمة الكودونات الموجودة فى **mRNA** إلى أحماض أمينية ترتبط معا لتكون البروتين وتنقسم إلى ٣ مراحل هى:

المرحلة الأولى: بدء بناء البروتين

❖ تكوين معقد بدء بناء البروتين ويتكون كالأتى:

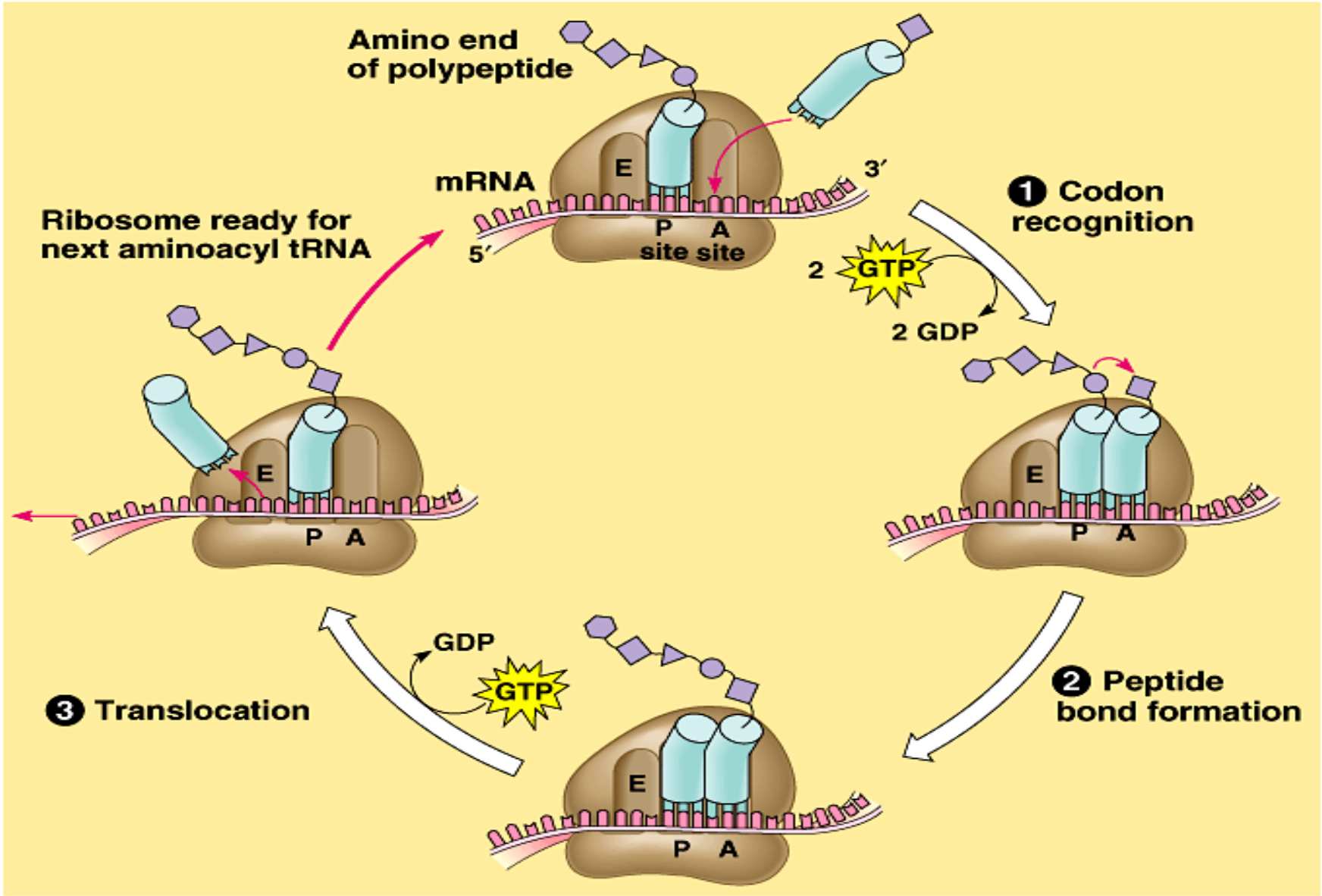
ترتبط تحت وحدة الريبوسوم الصغرى مع جزئ **mRNA** عند الطرف ٥/ وتكون القواعد النيتروجينية لـ **mRNA** متجهه لأعلى وهو الوضع الصحيح للترجمة، ويرتبط معهم جزئ **tRNA** الحامل للحمض الأمينى مثيونين، وهذا الإرتباط يلزمه طاقة يحصل عليها من **GTP (Goanosine Triphosphate)**.

دخول تحت وحدة الريبوسوم الكبرى: بحيث يصبح **tRNA** الحامل للمثيونين على الموقع **(P** البتيديل).



المرحلة الثانية:إستطالة سلسلة عديد الببتيد

- يقرأ الريبوسوم الكودون التالى ويطلب **tRNA** الذى يحمل الحمض الأمينى المناسب.
- يرتبط **tRNA** الحامل للحمض الأمينى الثانى بـ **mRNA**عند موقع الأمينو أسيل **(A)** فى الريبوسوم، وهذا الإرتباط يلزمه طاقة يحصل عليها من **GTP**.
- تتكون رابطة ببتيدية بنزع جزئ الماء من الحمضين الأمينين المتجاورين بواسطة إنزيمات توجد علي موقع **(A)** تسمى الأمينو أسيليز.
- يتحرك الريبوسوم على **mRNA** فى الإتجاه من ٥/ إلى ٣/ ، ليقرأ الكودون الثالث فينتقل **tRNA** الحامل للحمض الأمينى الثاني إلى الموقع **(P)** وينتقل **tRNA**الحامل للحمض الامينى الأول إلى الموقع **(E)**ويصبح **(A)**فارغاً.
- يطرد **tRNA** الذى كان يحمل المثيونين؛ لأن الميثونين أصبح مرتبطاً بالحمض الأميني الثاني، ويتم ذلك بواسطة إنزيم يسمى **Transfocase** وظيفته فك إرتباط **tRNA** الحر عن **mRNA**.
- تستمر عملية الإستطالة بنفس الطريقة حتى يصل الريبوسوم إلى كودون الوقف.

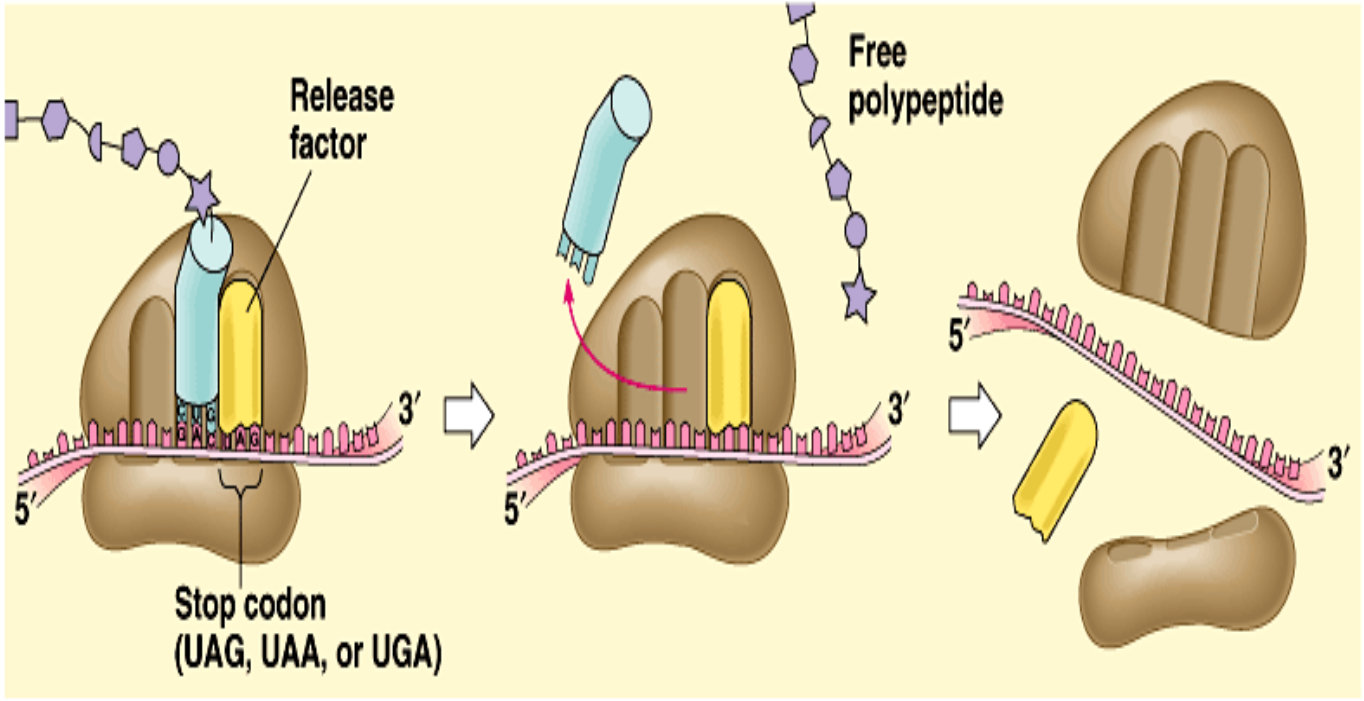

Amino end
of polypeptide
mRNA
5′
3′
E
P site
A site
Ribosome ready for
next aminoacyl tRNA
1 Codon
recognition
2 GTP
2 GDP
2 Peptide
bond formation
GTP
GDP
3 Translocation

المرحلة الثالثة: إنهاء عملية بناء البروتين

عندما يصل الريبوسوم إلى أحد كودونات الوقف **(UAA أو UGA أو UAG)**فإنه لا يستدعى **tRNA** وإنما يستدعى بدلا منه بروتين معين يسمى عامل الإطلاق أو التحرير **release factors**.

عامل الإطلاق:_هو بروتين يوجد فى السيتوبلازم يستدعى عند ظهور أحد كودونات الوقف **(UAA أو UGA أو UAG)** ويؤدى إلى:

- توقف بناء البروتين.
- فك الإرتباط بين مكونات بناء البروتين (تحت وحدتى الريبوسوم ، **mRNA** ، **tRNA** ، سلسلة عديد الببتيد).



تكوين البروتينات

وأن أنواع البروتينات التى تكونها الخلايا الحية تعتمد على كمية الـ DNA الموجودة في الخلايا وعلى ترتيب القواعد العضوية المكونة للأحماض النووية إن بحوث تكوين البروتينات هي متسعة جداً ومتشعبة بسبب اهميتها وتعقيداتها وأما مراحل تكوين البروتينات وعلاقتها بالأحماض النووية تشمل التالي:.

١- تنشيط الأحماض الأمينية

تنشط الأحماض الأمينية أولاً بفعل مركبات الطاقة ATP وبمساعدة الإنزيمات (amino acyl – tRNA Synthetase) المخصصة لكل حامض أميني وكذلك يتطلب التنشيط أيونات المغنسيوم والمنجنيز

$$\text{Amino acid} + \text{ATP} \longrightarrow \text{amino acid} - \text{AMP} - \text{enz}^{*}.+ \text{P-P}$$

٢- اشتراك الـ t-RNA مع المعقد السابق amino acid – AMP. enz.

بمساعدة نفس الإنزيمات والتفاعل يحدث كالاتي:

Amino acid–AMP–enz.+t-RNA ⟶ RNA amino acid + AMP

والرابطة التى تربط الحامض الأميني مع t- RMA هي بين مجموعة الكربوكسيل للحامض الأميني ومجموعة الهيدروركسيل للسكر (Ribose) الموجود في الـ RNA

٣- نقل الناتج (t- RNA amino acid) الى الريبوسومات الملتصقة على RNA لغرض تكوين الرابطة الببتيدية وفي هذه المرحلة تنقل المعلومات الوراثية (Trans lation) من الـ nucleotide code الى الـ amino acid code

٤- عمل الإنزيمات التى تسبب إرتباط الأحماض الأمينية مع بعضها البعض وتكوين الاواصر المسماة ببتيد بين مجموعة الكربوكسيل للحامض الأميني الأول ومجموعة الأمين للحامض الأميني الآخر.

٥- إنفصال جزئيات الـ t-RNA تدريجياً عندما تتكون الروابط الببتيدية وبذلك تتكون سلسلة مطولة من الأحماض الأمينية المرتبطة مع بعضها والتى تسمى بالتركيب الأولي للبروتين.

إن طول سلسلة البروتين تعتمد على طول الـ (m- RNA) والتى بدورها نشأت من جينات منفصلة.

هدم البروتينات

- لقد رأى الباحثون بأن البروتينات تهدم وتصلح في الكائن ألحي ويمكن أن يحدث هدم البروتينات بتفاعلات تعاكس تفاعلات بنائها بيد أنه لوحظ أن بناء جزئيات البروتين الضخمة يحدث بتفاعلات حيوية معينة تختلف عن تفاعلات الهدم كما يحتمل أن يحدث الهدم بتفاعلات تحليلية تؤدي إلى تفكك الروابط الببتيدية بمساعدة إنزيمات المسماة (protase) التى تعمل على البروتينات الأصلية وكذلك إنزيمات (peptidase) التى تحلل روابط الببتيد .