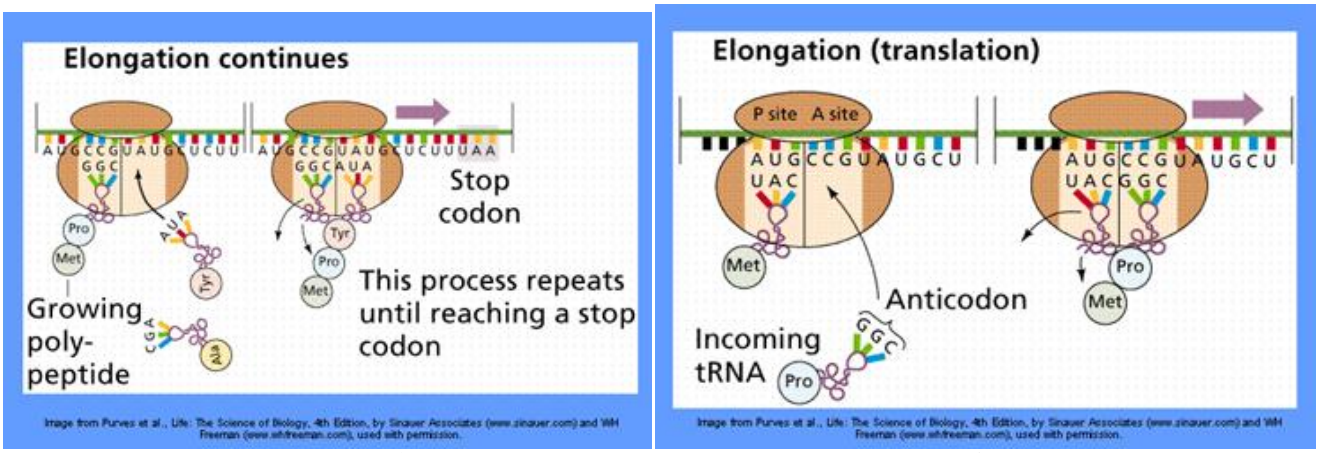


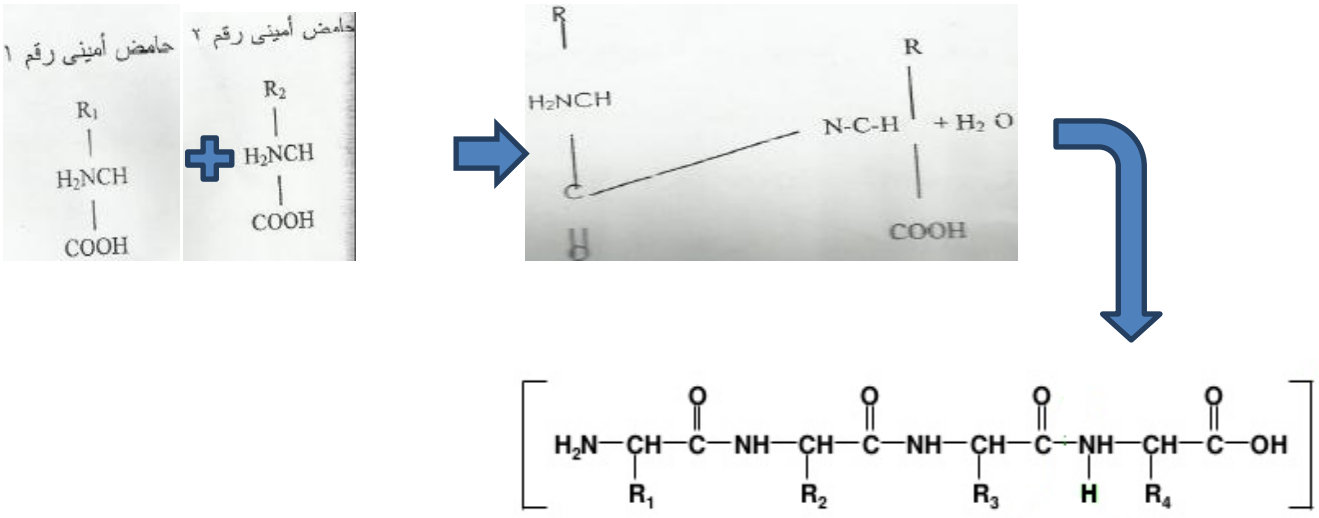
شكل 23: رسم تخطيطي يوضح خطوات بناء البروتين.

بناء البروتين Protein Synthesis:

أن معظم الجينات تبدي تأثيرها من خلال انتاجها للبروتينات سواء كانت جينات منظمة Regulatory genes أو جينات فعالة Operator genes أو **جينات تركيبية** Structural genes وهذه الأخيرة تنتج **بروتينات تركيبية** وهي البروتينات التي تدخل في تركيب مكونات الخلية أو مكونات الأنسجة والأعضاء المختلفة للكائن الحي أو قد تكون هذه **البروتينات وظيفية** وهي التي تقوم بوظيفة معينه داخل الخلية مثل الانزيمات.

وتعتبر الانزيمات جزيئات كبيرة معقدة التركيب حيث يُظهر بعضها درجه عالية من التخصص الوظيفي مثل الانزيمات التي تُحفز لتفاعل كيميائي معين، وهذا يبين **لماذا يكون للجين عادة تأثير متخصص على الشكل المظهري للكائن؟** وتترتب البروتينات عموما اما من نوع واحد من السلاسل عديدة الببتايد Polypeptide chain وقد يختلف هذا العدد من بروتين لآخر أو قد يتكون البروتين من اكثر من نوع من السلاسل عديدة الببتايد كما في حالة هموكلوبين الدم في الانسان حيث يتركب من نوعين من السلاسل عديدة الببتايد هي الفا وبيتا (β , α) وان الجزيء الكامل من الهيموكلوبين يتركب من اربعة سلاسل عديدة الببتايد، اثنين منهم من نوع الفا (α) واثنين من النوع بيتا (β) حيث تحتوي السلسلة الفا على ١٦٤ حامض اميني بينما تحتوي السلسلة بيتا على ١٦٦ حامض اميني وبشكل عام **تتركب السلسلة عديدة الببتايد من** تتابع معين طويل من الاحماض الامينية والتي ترتبط بعضها ببعض عن طريق الرابطة الببتايدية Peptide bond بين مجموعة الكربوكسيل (COOH) في اول حامض أميني في السلسلة مع مجموعة الامين (NH_2) الموجودة في الحامض الاميني الثاني في السلسلة. ويستمر تكوين الرابطة الببتايدية بين مجموعه الكربوكسيل في الحامض الاميني الثاني مع مجموعة الامين في الحامض الاميني الثالث ثم رابطه ببتيدية اخرى بين مجموعة الكربوكسيل في الحامض الاميني الثالث مع مجموعه الامين في الحامض الاميني الرابع وهكذا على طول السلسلة عديدة الببتايد كما هو مبين في شكل ٢٤.

Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic 4th Stage Field Crops Sciences



شكل 24. **تتركب السلسلة عديدة الببتايد**

وبذلك سوف تحتوي السلسلة عديدة الببتايد على **مجموعة امينية** واحدة في الطرف الذي **بدأ** من عنده تكوين السلسلة ومجموعة **كربوسيل** حره واحدة في الطرف الاخر من السلسلة وهو الطرف الذي **ينتهي** عنده تكوين السلسلة عديدة الببتايد.وتسمى بالسلسلة عديدة الببتايد لاحتوائها على العديد من الاحماض الامينية التي تدخل في بنائها وعموما هناك عشرون حامض اميني مختلفة تدخل اساسا في تركيب كل البروتينات الطبيعية ولكن تختلف البروتينات عن بعضها في **عدد** الاحماض الامينية **ونوعها وترتيبها** في السلسلة عديدة الببتايد.وتختلف عدد الاحماض الامينية في السلسلة عديدة الببتايد باختلاف البروتينات حيث يتراوح مابين **٥١** حامض اميني كما في بروتين **الانسولين** إلى اكثر من **١٠٠٠** حامض اميني كما في بروتين **الفيبروين** Fibroin وهو بروتين **الحرير الطبيعي**. وعموما فان ترتيب الاحماض الامينية في سلسلة عديدة الببتايد يعرف **بالتركيب الأولي (primary structure) للبروتين** وهذا الترتيب الذي يحدده ويمليه تتابع النكليوتايدات الاربعة (C, G, T, A) في جين ما، ويمثل هذا التتابع النيوكليوتيدي الشفرة الوراثية لكل حامض اميني، ويتحكم الجين في التركيب الاولي للبروتين (تتابع الاحماض الامينية في البروتين) عبر ميكانيكية خاصة، وتتمثل هذه الميكانيكية **بالتعبير الجيني (Gene expression)** والتي هي عبارة عن عمليتين رئيسيتين هما:-

اولاً، عملية استنساخ الجين (gene transcription) وهي العملية التي يتم بواسطتها انتقال المعلومات الوراثية (التتابع النيوكلوتيدي في الجين) الموجودة في جين ما إلى السايتوبلازم عن طريق وسيط يعرف بالحامض النووي الرسول (mRNA).

وثانياً، عملية الترجمة إلى بروتين(Translation) وتعرف عملية الترجمة بانها عبارة عن تحويل المعلومات الوراثية من جزيئة mRNA إلى بروتين، حيث يتم تغيير لغة التعبير من الترتيب النيوكلوتيدي في جزيء mRNA إلى ترتيب الاحماض الامينية في البروتين كما سبق الاشارة اليهما.

وبشكل عام تشمل عملية بناء البروتين خطوتين هما:-

أولاً: ارتباط الحامض الاميني بالحامض النووي الناقل tRNA المناسب.
ثانياً:تجميع الاحماض الامينية المنشطة والمرتبطة بالاحماض النووية الناقلة إلى الرايبوسوم.

Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic/4th Stage Field Crops Sciences

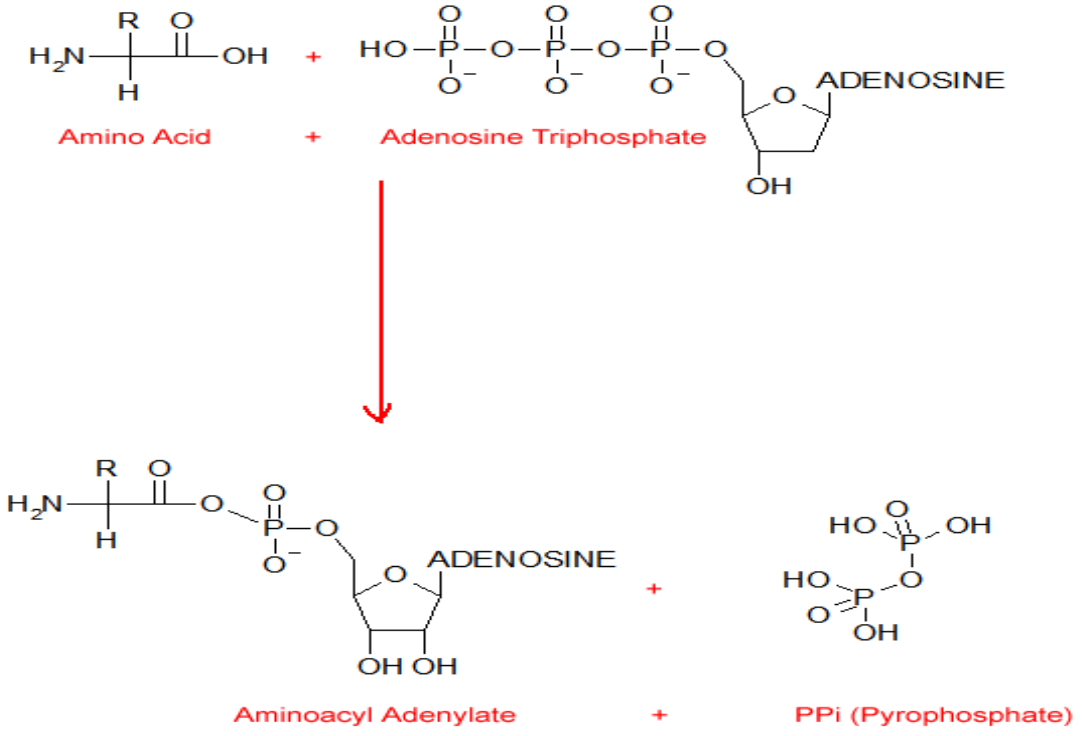
أولاً: ارتباط الحامض الاميني بالحامض النووي الناقل tRNA المناسب، وتتم هذه الخطوة على مرحلتين هما:-

١- تنشيط الاحماض الامينية Amino Acids Activation :

وفي هذه المرحلة يتم تنشيط كل حامض اميني من الاحماض الامينية العشرين قبل ارتباطها بالاحماض النووية الناقلة tRNA، حيث يقوم انزيم **Amino Acyl-tRNA synthetase** بتحفيز ارتباط كل حامض اميني بمركب **الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)** لتكوين مركب Amino acyl Adenylate(aa–AMP) كما في المعادلة التالية:

$$\text{Amino Acid} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Amino Acyl-tRNA synthetase}} \text{aa–AMP} + \text{PPi}$$

أن المركب الناتج من ارتباط الحامض الاميني بمركب الادنوسين احادي الفوسفات (AMP) يعرف باسم **الحامض الاميني المنشط** حيث يحتوي على مستوى من الطاقة تمكنه من الارتباط بالحامض النووي الناقل tRNA كما في شكل ٢٥.



شكل 25 تنشيط الاحماض الامينية

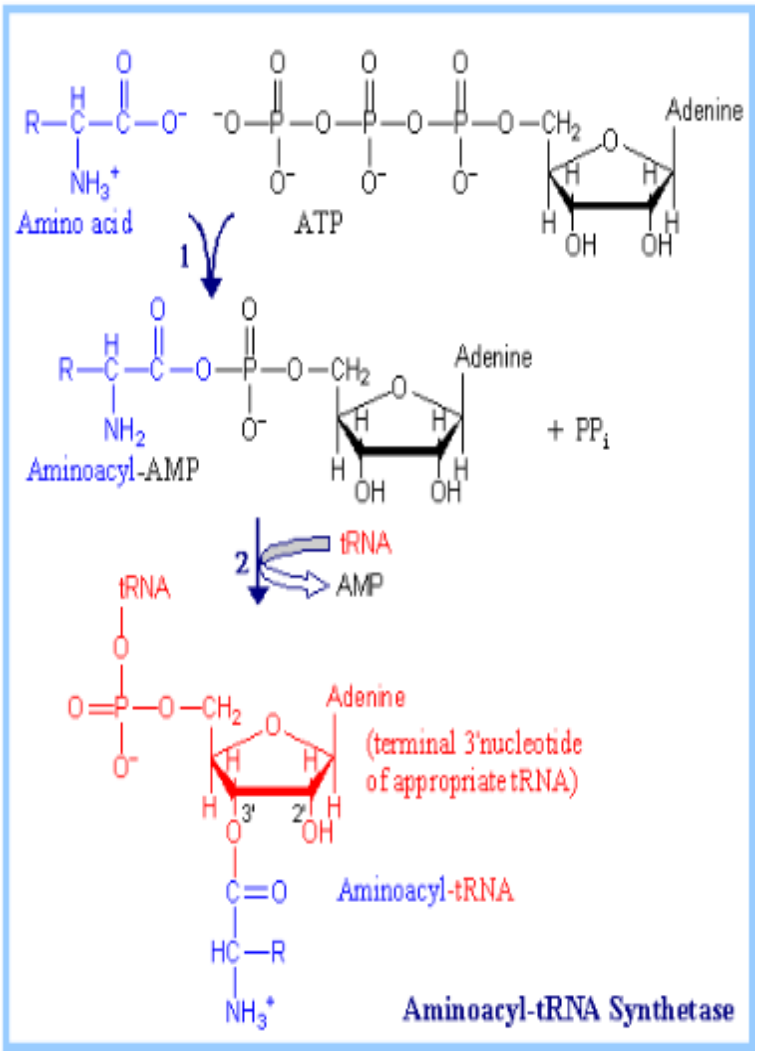
ومما يجدر الاشارة اليه ان **الخلية الحية تحتوي على الاقل على عشرين نوع من هذه الانزيمات** حيث يتعرف كل نوع منها على الحامض الاميني المعين وكذلك على الحامض النووي الناقل الذي

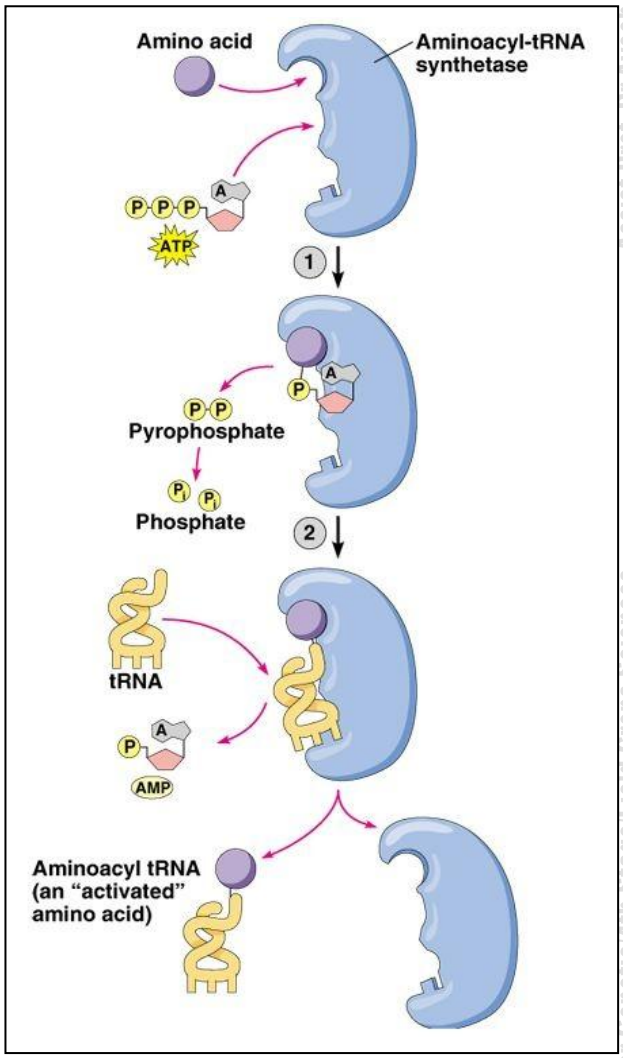
Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic 4th Stage Field Crops Sciences

ينقل نفس الحامض الاميني المعين وبذلك فان كل نوع من هذه الانزيمات يحتوي على موقعين احدهما للتعرف على **الحامض الاميني** والآخر للتعرف على **الحامض النووي الناقل(tRNA)** (شكل ٢٦).

٢ـ نقل الحامض الاميني المنشط إلى الحامض النووي الناقل:

وفي هذه الخطوة يقوم نفس الانزيم بالتعرف على الحامض النووي الناقل وينتقل الحامض الاميني المنشط اليه حيث يرتبط الحامض الاميني به عند الطرف الذي يحتوي على نيوكليتيدة الادنين الطرفية ويتحرر الادنوسين احادي الفوسفات كما شكل ٢٧.





شكل ٢٧ : ارتباط الحامض الاميني بمركب الادنوسين احادي الفوسفات (AMP) وكذلك الارتباط بالحامض النووي الناقل tRNA .

ويكون اتصال الحامض الاميني بمجموعة الهايدروكسيل(3-OH) في سكر الرايبوز الموجود في نيوكلوتيدة الادنين الطرفية في جزئين tRNA عن طريق رابطة من نوع اسيل **Acyl bond** مع مجموعة الكربوكسيل الموجودة في الحامض الاميني كما في المعادلة التالية:

$$aa\text{–}AMP + tRNA \xrightarrow{\text{Amino Acyl–tRNA synthetase}} aa\text{–}tRNA + AMP$$

Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic 4th Stage Field Crops Sciences

ثانياً: تجميع الاحماض الامينية المنشطة والمرتبطة بالاحماض النووية الناقلة في الرايبوسوم:

يبدأ تكوين **الروابط الببتايدية** بين الأحماض الامينية ويحتوي الرايبوسوم في كل الكائنات سواء بكتريا او كائنات راقية على موقعين احدهما يعرف باسم **Amino acyl site (A)** والآخر يعرف باسم **Peptidyl site (P)**.

وتبدا عملية ترجمة الرسالة الوراثية المتمثلة بالحامض النووي المرسال mRNA بارتباط الرايبوسوم بخيط mRNA عند **شفرة بداية الترجمة AUG** وهي الشفرة الخاصة بالحامض الاميني **مثيونين** (في البكتريا يكون فورمايل مثيونين) ويمكن تلخيص خطوات السلسلة عديدة الببتايد إلى ثلاث مراحل على النحو التالي:

a) **بدأ تكوين السلسلة Initiation**: تبدأ هذه الخطوة بارتباط الرايبوسوم بخيط mRNA عند شفرة بداية الترجمة حيث يتم دخول أول حامض نووي ناقل الذي يحمل الحامض الاميني **مثيونين** إلى الموقع (P) من الرايبوسوم.

b) **إطالة السلسلة Elongation**: وتتم إطالة السلسلة عديدة الببتايد في الطول على النحو التالي:

١. يدخل ثاني حامض نووي ناقل وما يحمله من حامض اميني في الموقع (A) من الرايبوسوم وبذلك يكون كلا الموقعين من الرايبوسوم محتلين بنوعين من الأحماض النووية الناقلة وما يحمله كل منها من حامض اميني، ثم يقوم انزيم **Peptidyl transferase** بتكوين الرابطة الببتايدية بين مجموعة الكربوكسيل في الحامض الاميني الأول مع مجموعة الامين في الحامض الاميني الثاني.

٢. بعد تكوين الرابطة الببتايدية بين الحامض الاميني الأول والثاني يتحرر الحامض النووي الناقل الاول ويترك الرايبوسوم ويصبح الحامض النووي الناقل الثاني محملا باثنين من الاحماض الامينية.

٣. يتحرك الرايبوسوم على طول خيط mRNA حركة مقدارها شفرة ثلاثية واحدة وبذلك ينتقل الحامض النووي الناقل الثاني من الموقع A إلى الموقع P من الرايبوسوم وبذلك يصبح الموقع A خالي.

٤. يدخل الحامض النووي الناقل الثالث وما يحمله من حامض اميني إلى الموقع A من الرايبوسوم وتتكون رابطة ببتيدية بين الحامض الاميني الثالث والحامض الاميني الثاني وبذلك يتحرر الحامض النووي الناقل الثاني ويترك الموقع P من الرايبوسوم بينما يصبح الموقع A محتل بالحامض النووي الناقل الثالث والذي يحمل الحامض الاميني الثاث.

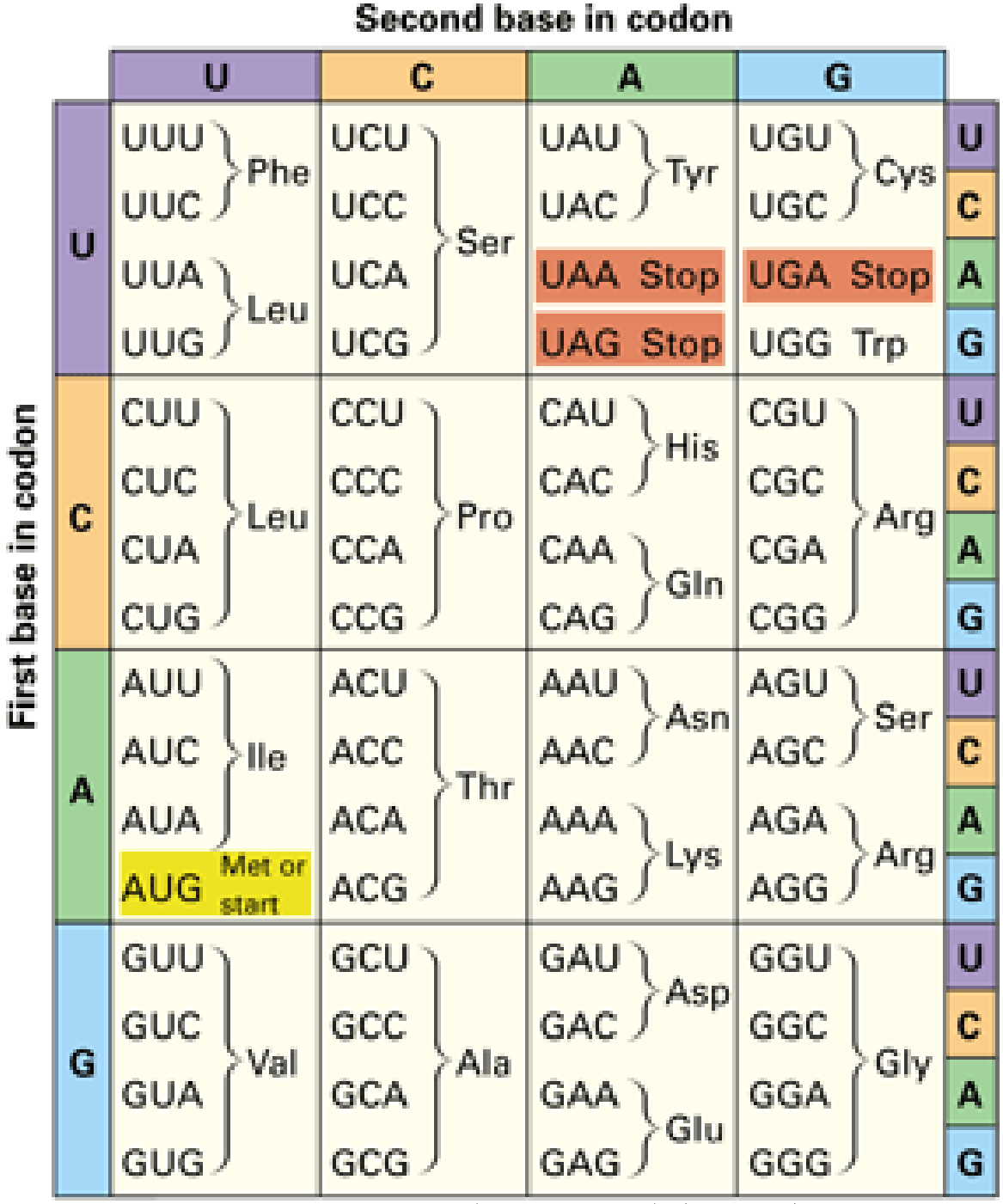
٥. تتكرر هذه الخطوة كلما تحرك الرايبوسوم حركه مقدارها شفرة واحدة ليتم وضع حامض اميني اخر على طول خيط الـmRNA حتى يتم التعبير عن كل الشفرات الوراثية الموجودة في الرسالة الوراثية mRNA وتكون حركة الرايبوسوم في الاتجاه '5 إلى '3.

c) **انهاء ترجمة الرسالة Termination**:- تنتهي عملية تخليق السلسلة عديدة الببتايد عند وصول الرايبوسوم إلى احدى **شفرات انهاء الترجمة** الثلاث **(UAA UGA,UAG,)** حيث لا يتم وضع اي حامض اميني وتحرر السلسلة عديدة الببتايد من على سطح الرايبوسوم **بمساعدة بعض العوامل البروتينية** الموجودة بالخلية والتي تعرف باسم **عوامل التحرر**،بعد ذلك يترك الرايبوسوم خيط

Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic 4th Stage Field Crops Sciences

mRNA ويذهب إلى السايتوبلازم للارتباط مرة أخرى بنفس الرسالة الوراثية mRNA أو الارتباط برسالة أخرى.

بالإضافة إلى **شفرة بداية الترجمةAUG**و **شفرات إنهاء الترجمة** الثلاث (**UGA, UAA, UAG**)فانه يوجد عدة شفرات تشترك لحامض اميني معين كما هو مبين في شكل ٢٨ .



شكل ٢٨:جدول الكودونات وما يقابلها من الاحماض الامينية

تضاعف (تكرار) DNA (DNA replication):-

Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic 4th Stage Field Crops Sciences

ان الخلية التي تكون في حالة انقسام تمر وبشكل نشط بسلسلة من المراحل تعرف هذه المراحل مجتمعةً باسم **دورة الخلية The cell cycle** وهي عبارة عن الأطوار المتتابعة من النمو والانقسام التي تحدث للخلية في الفترة الزمنية الواقعة بين انقسامين متتاليين وتختلف مدة هذة الفترة من خلية إلى أخرى. تستمر دورة الخلية لمدة أقلها ١٢ ساعة، ولا تنتقل الخلية من طور إلى آخر حتى تجهز المركبات الكيميائية التي تحتاجها للانقسام من أحماض أمينية وليبيدات وسكريات ولذلك يعتمد وقت

References

1. Kary B. Mullis. 1990. The Unusual Origin of the Polymerase Chain Reaction. 262(4): 56-65.
2. Kenshi Hayashi, Kary B. Mullis, François Ferré, Richard A. Gibbs. 1994. The Polymerase Chain Reaction Birkhäuser Basel. P, 464.
3. Zahra M Alkhafaji and Hassan M Abu-Almaali. 2013. PCRing and Primer Design. University of Baghdad, Baghdad. P, 304.
4. Mahmood M. Refaat and Saad B. Aloutabi. 2008. Introduction to Biotechnology. The General Egyptian Association of International Books and Documents, Cairo. P, 312
5. Elsahookie, M.M., and Ayoob O. Alfalahi. 2008. Polyploidy and its relationship with plant breeding and adaptation. The Iraqi J. Agric. Sci. 39(6):49-71.
6. Elsahookie, M.M., and Ayoob O. Alfalahi. 2008. TILLING: Modern technique combines traditional mutagenesis and functional genomics. The Iraqi J. Agric. Sci. 40(1):1-25.

Assist.Prof. Dr.Ayoob Obaid Alfalahi
Molecular Genetic/4th Stage Field Crops Sciences