المحاضرة السابعة, والثامنة

البروتينات

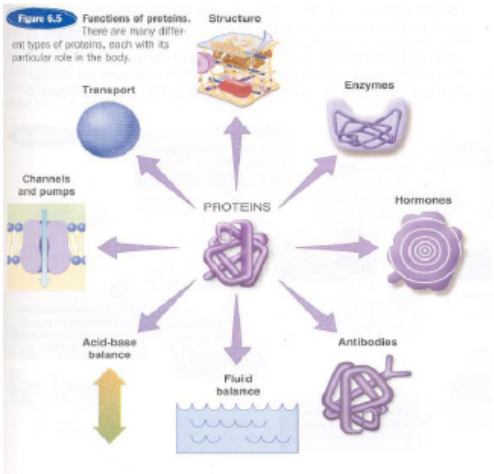
البروتينات

البروتينات: هي مركّبات مؤلّفة من ذرات C و H و O و N مرتبة في حموض أمينية (AA) وموصولة بسلسلة عديدة الببتيد، كما أن بعض الحموض الأمينية قد تحتوي الكبريت.

- تتصل الحموض الأمينية بمجموعة متنوعة ومختلفة من التسلسلات.
- ثمة الآلاف من البروتينات المختلفة.

أدوار البروتينات:

- تشكل البروتينات مواد بناء للنمو Growth والمحافظة على البنية العضلية والصيانة Maintenance.
- تدخل في بنية الأنزيمات والهرمونات.
- تلعب دوراً في تنظيم توازن السوائل Regulation of fluid balance ، و باختلاله تحدث الوذمة Edema .
- تلعب دوراً في تنظيم توازن الحمض والأساس،
- واختلاله يسبب حماضاً أو قلاء، حيث هناك دوارئ
- تحافظ على توازن ph الجسم منها دارئة البروتين.
- تلعب دوراً في المناعة Immunity ، في تشكيل الأضداد والمستضدات Antibodies، Antigens.
- تشكل مصدراً للطاقة (كل ١ غ يعطي ٤ كيلو كالوري من الطاقة).

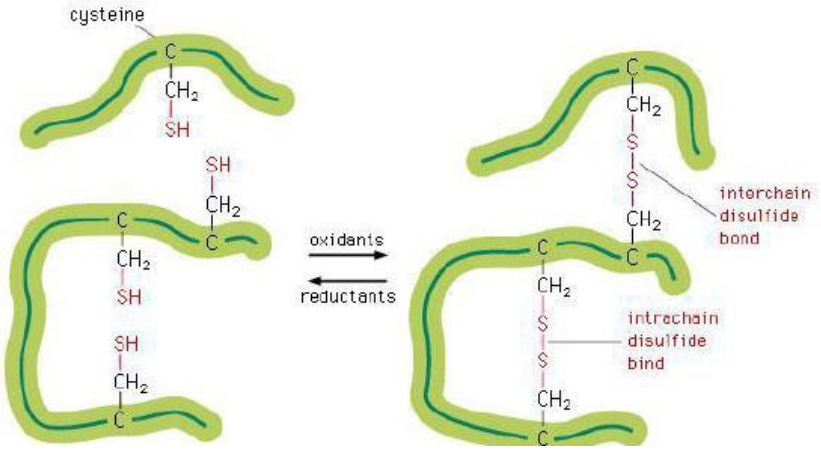


- لها وظائف ناقلة مثل الهيموغلوبين (ينقل الأوكسجين) وقد تدخل في تركيب قنوات النقل الشاردي ، أو دعامية مثل الكولاجين.

وظائف بروتينات الطعام:

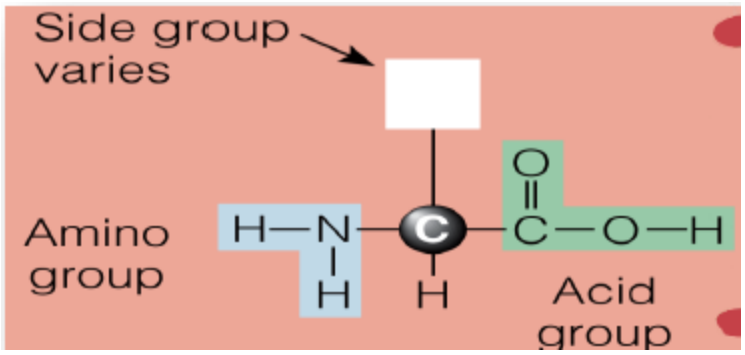
- **ربط الماء Water Binding** ، كالجيلاتين والمواد الصلبة الجافة غير الدسمة في الحليب (تشكل هلامات).
- **الاسمرار غير الإنزيمي Browning- non enzymatic** كما في **تفاعلات ميلارد الكيميائية** (السكاكر المرجعة مع الحموض الأمينية التي تنتج عن تفكك البروتينات).
- التحلية Sweetening ، كالأسبارتام aspartame (وهو ثنائي ببتيد).
- تشكيل بنية(قوام) المادة الغذائية Structure ، كالغلوتين (الدابوق) في الخبز حيث
- بوجود الخميرة في العجين تستقلب المواد الغذائية وتنتج غاز CO_2 الذي يُحتَجز في الشبكة البروتينية، مما يعطي الخبز شكله وانتفاخه، حسب نسبة الغلوتين في عجين الخبز فإنه يمكن تحديد جودة تخمّره وإمكانية رقّه.

- لاحظ تسلسل الأحماض الأمينية في غلوتين القمح، ولاحظ الجسور الكبريتية (الروابط ثنائية الكبريت) المتشكلة فيما بينها. هذه الجسور هي المسؤولة عن تشكيل الشبكة التي تحتجز غاز CO_2

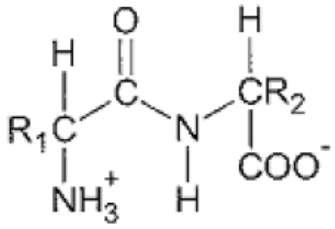


بنية الحمض الأميني

- يتألف الحمض الأميني من **وظيفة أمينية ووظيفة كربوكسيلية**، بالإضافة إلى مجموعة جانبية يختلف الحمض الأميني باختلافها.



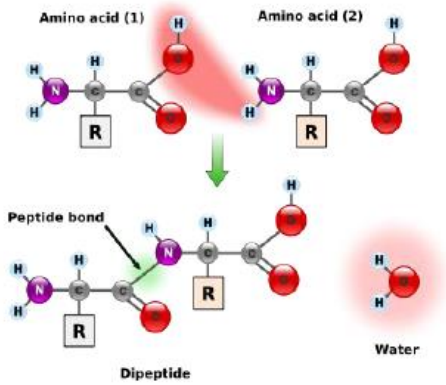
❋ **ويرتبط حمضان أمينيان معاً بالتكثف:**



- ✓ فإذا ارتبط حمضان أمينيان شكلا ببتيداً ثنائياً **Dipeptide**.
- ✓ وإذا ارتبطت ثلاثة حموض أمينية شكلت ببتيداً ثلاثية **Tripeptide**.
- ✓ وإذا ارتبطت أربعة إلى تسعة شكّلت قليل ببتيد **Oligopeptide**.
- ✓ وإذا ارتبط أكثر من عشرة حموض أمينية شكّلت عديد ببتيد **Polypeptide**.

ترتبط الحموض الأمينية مع بعضها **بروابط أميدية** (وتدعى أيضاً الروابط الببتيدية)، فإذا ارتبطت عشرة حموض أمينية أو أقل فإن الناتج يدعى **ببتيداً**، أما إذا كانت أكثر من عشرة فيُدعى **بروتيناً**:

كيف تتشكل الروابط الببتيدية؟



- تتحد الوظيفة الحمضية من الحمض الأميني الأول مع الوظيفة الأمينية من الحمض الأميني الثاني فتنتج جزيئة ماء ويتشكل الرابط الببتيدي وتتشكل سلسلة عديد الببتيد عبر تعاقب الحموض الأمينية.

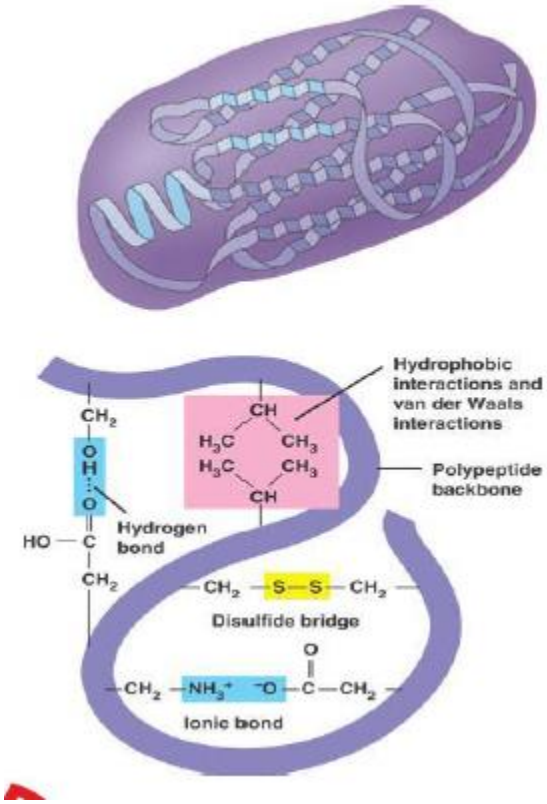
بنية البروتين

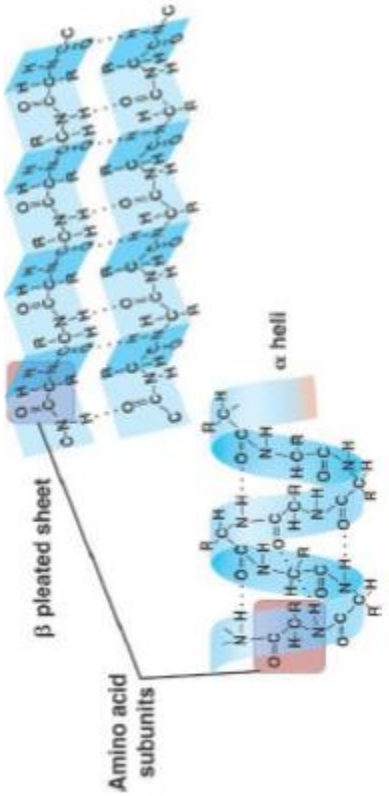
١) يبدو البروتين متألفاً من سلسلة من الأحماض الأمينية كما في الشكل تدعى بنية البروتين الموضحة في الشكل **البنية الأولية Primary structure** (تسلسل من الأحماض الأمينية فقط)، إذ أنها لا تشكل المظهر النهائي للبروتين، بل تخضع لعدد من عمليات التطوّي Folding لتحصل على شكلها النهائي.

الرابطة في البنية الأولية هي الرابطة الببتيدية، وهي رابطة قوية.

٢) حينما تخضع البنية الأولية للتطوي فإنها تعطي **احدى البنيتين الثانويتين Secondary structure**، الحلزون ألفا (α - helix) أو الصحائف بيتا (β - sheets)، والسبب في هذه البنى **هي روابط هيدروجينية أو روابط فاندرفالس**

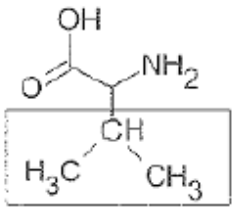
ويبين الشكل التالي الحلزون ألفا والصحائف بيتا،*يلي بتشبه مروحة الطفولة* وتمثل الخطوط المنقطعة الروابط الهيدروجينية:





٣) لا تبقى سلسلة البروتين في إحدى الشكلين السابقين أيضاً، بل تخضع للمزيد من التطوي لتعطي **البنية الثالثية Tertiary structure**، وتساهم في تشكيلها عدة راوبط:

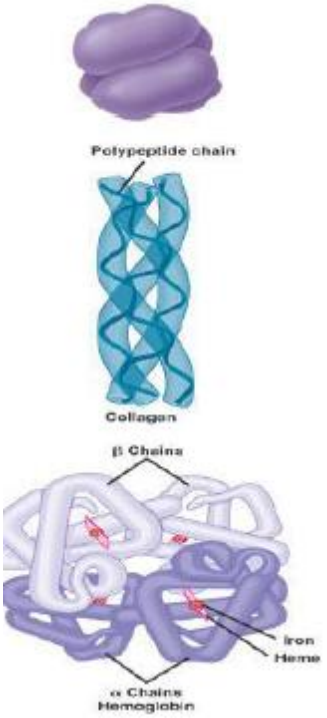
- **الرابطة الهيدروجينية ضمن السلسلة.**
- **الرابطة الشاردية Ionic bond:** فحينما يمتلك حمض أميني وظيفة أمينية إضافية مثل اللايزين فإنها تكون قابلة لأن تكسب شحنة إيجابية ($NH_2 \Leftarrow NH^+_3$)، وحينما يمتلك حمض أميني وظيفة كربوكسيلية إضافية مثل الحمض الأميني أسبارتيك أسيد فإنها تكون قابلة لأن تكسب شحنة سلبية ($COOH \Leftarrow COO^-$)، وحينما تلتقي هاتان الشحنتان ضمن سلسلة الحمض الأميني فإنهما تشكلان رابطة شاردية.
- **الجسور ثنائية الكبريت Disulfide bridge** (كما بين السيستئين والسيستئين S-S) التي تسهم كذلك في هذه البنية.
- **التداخلات الكارهة للماء Hydrophobic interactions**، فالفالين (كما في الشكل) يمتلك جزءاً غير قطبي كارهاً للماء، فإذا التقى مع فالين آخر فإن الجزأين الكارهين للماء يشكلان تداخلاً كارهاً للماء يسهم في إعطاء البنية الثالثية.

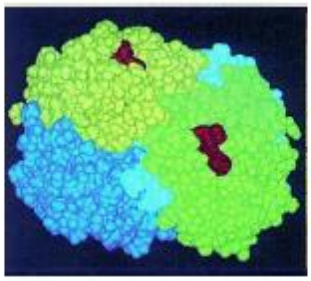


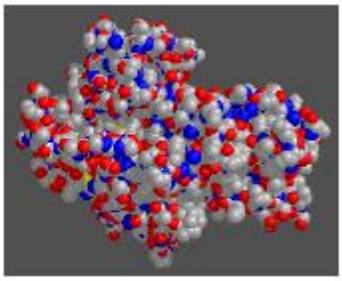
Valine (Val)

٤) لا يبقى البروتين أيضاً ببنيته الثالثية، فتتجمع عدة بنى مع بعضها (البنى الثالثية معاً أو البنى الثالثية مع الثانوية مع الأولية) لتشكل **بنية رابعية Quaternary structure**، والبنية الرابعية تكون بأخفض وضع من الطاقة كي تثبت بنية البروتين .

يبين الشكل الأيسر الذي يمثل الهيموغلوبين والذي يعتبر مثالا لبنية رابعية:

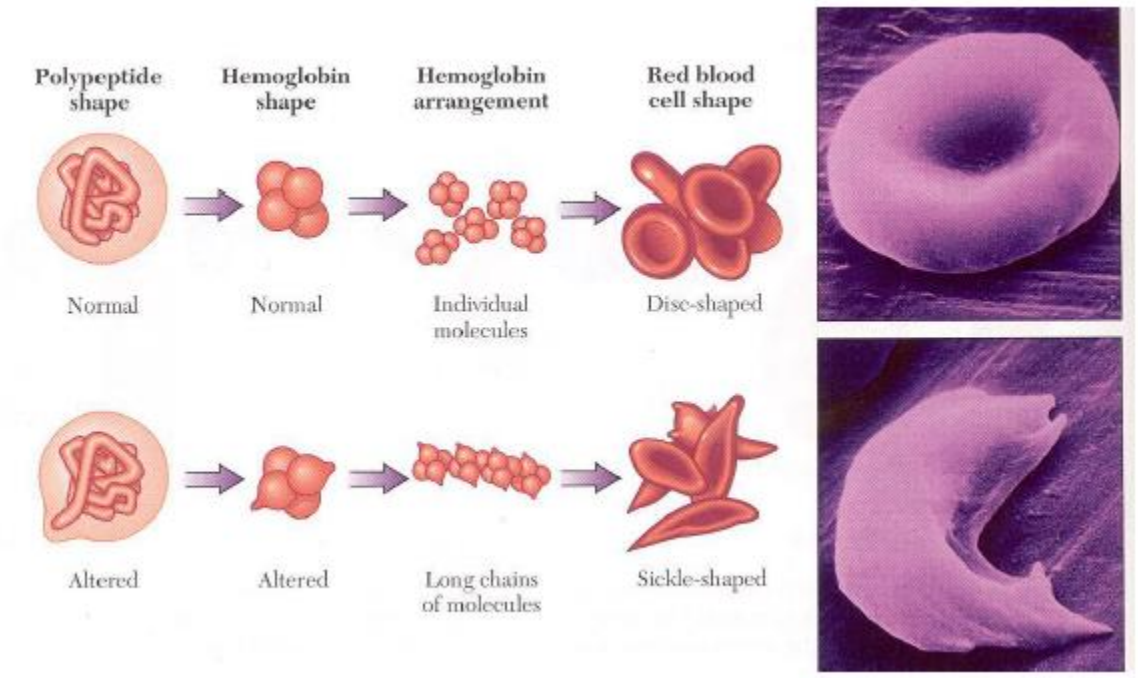



الهيموغلوبين


الهكسوكيناز

أقوى الروابط السابقة هي الرابطة الببتيدية وبالتالي فإن البنية الأولية هي البنية الأقوى

- ويجب أن نعلم أن تسلسل الحموض الأمينية لا يكون عشوائياً كيفما اتّفق، **بل مضبوطاً بدقة جينياً**، وإن أي اختلاف في أي حمض أميني يعطي بروتيناً طافراً.
- كمرض فقر الدم المنجلي حيث سبب تغيير حمض أميني واحد في بنية الهيموغلوبين تغييراً في شكل الجزيء البروتيني ووظيفته، فأصبح شكل كريات الدم الحمراء منفتلاً distorted.



تصنيف الحموض الأمينية

التصنيف حسب حاجة الجسم لها:

يمكن أن تصنّف الحموض الأمينية في بروتينات الغذاء إلى:

A. **أساسية Essential:** (لا يمكن الاستغناء عنها indispensable)، حيث لا يمكن اصطناعها الجسم ، لذا يجب الحصول عليه من الغذاء.

B. **غير أساسية Non – essential:** (يمكن الاستغناء عنها dispensable) إذ يمكن أن تُصطنع في الجسم.

C. **أساسية شرطية Conditionally essential:** (لا يمكن الاستغناء عنها)، أي إنها غير أساسية لكنها تصبح كذلك في شروط محددة،

❖ يعتبر الفينيل ألانين حمض أميني أساسي لا يمكن للجسم اصطناعه ويجب الحصول عليه من الغذاء، وهو يتحول بإنزيم الفينيل ألانين هيدروكسيلاز إلى تيروزين، لذا يعتبر التيروزين غير أساسي لأن للجسم القدرة على اصطناعه، ولكن في حالة مرض بيلة الفينيل كيتون phenylketonuria (PKU) الذي يتميز بعوز الإنزيم السابق فإن الجسم يغدو غير قادر على تصنيع التيروزين فى هذه الحالة يتراكم الفينيل ألانين بالجسم و يعمل أنزيم الترانس أميناز على تحويله إلى الفينيل بيروفات الذي يطرح عبر البول مسبباً PKU(بيلة الفينيل كيتون)،

وبالتالي فإن التيروزين يعتبر في هذه الحالة أساسي شرطي لاستعصاء تصنيعه داخل الجسم.

فكرة يجب أن نعلم بها!!!

- يتحول التيروزين في الجسم إلى التيروكسين والدوبامين والميلانين وبالتالي فإن عوزه يسبب نقص التصبّغ (بسبب نقص الميلانين)، وقصور النمو (بسبب نقص التيروكسين) مترافقة مع تراكم الفينيل ألانين الذي يعطي رائحة الفينيل كيتون في البول، وإذا استمر هذا التراكم فإنه ينتهي بالتخلّف العقلي.
- الحمية الخالية من الفينيل ألانين هي العلاج المناسب لهذا المرض، وهي حمية صعبة جداً ولايوجد تقريباً غذاء إلا ويحوي فينيل ألانين لذلك في حالة الحمية لا يجب أن يزيد معدل الفينيل ألانين عن ٦ملغ/دل، فيجب دائماً معايرة الفينيل ألانين بالدم، لكن ظهر مؤخراً دواء يعطى ليحل محل الإنزيم المعوز يدعى السابروبتيرين (كوفان تجارياً Kuvan) يقوم بتحويل الفينيل ألانين إلى تيروزين.

❖ **الميتيونين** وهو حمض أميني أساسي ضروري لاصطناع السيستئين (غير أساسي لإمكانية تصنيعه بالجسم) ، بعض الأغذية تفتقر للميتيونين مثل البقوليات ⇦ فإذا كان غذاؤنا معتمد على البقوليات فقط ⇦ حيث نقص الميتيونين يؤدي لنقص السيستئين ⇦ فأصبح السيستئين **أساسي شرطي**.

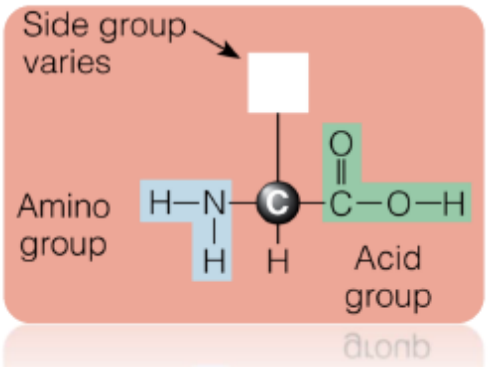
❖ **الهيستيدين** أساسي شرطي لأنه أساسي عند الأطفال فقط إذ يمكن للبالغين تصنيعه.

إذاً الحمض الأميني الأساسي الشرطي: سيستئين، تيروزين، هيستدين.

يبين هذا الجدول تصنيف الحموض الأمينية حسب احتياج الجسم لها:

حموض أمينية أساسية Essential AA	حموض أمينية غير أساسيةNonessential AA
Histidine (اساسي شرطي)	Alanine
Isoleucine	Arginine
Leucine	Asparagine
Lysine	Aspartic Acid
Methionine	Cysteine (اساسي شرطي)
Phenylalanine	Glutamic acid
Threonine	Glutamine
Tryptophan	Glycine
Valine	Proline
	Serine
	Tyrosine (اساسي شرطي)

تصنيف الحموض الأمينية حسب المجموعة الوظيفية الجانبية side group :



١ ـ ذات السلاسل الجانبية الأليفاتية **غير القطبية** :

- الألانين. - الغليسين.
- اللوسين. -الإيزولويسين
- الميتيونين. - الفالين.

٢ ـ ذات السلاسل الجانبية الأليفاتية **القطبية غير المشحونة (المحبّة للماء):**

- الأسبارجين. - السيستئين*.
- الغلوتامين. - البرولين.
- السيرين. - التريونين.

٣ ـ ذات السلاسل الجانبية **المشحونة إيجاباً**:**

- الأسبارجين. - الهيستيدين.
- الليزين.

٤ ـ ذات السلاسل الجانبية **المشحونة سلباً**:**

- حمض الأسبارتيك. - حمض الغلوتاميك.

٥ ـ ذات السلاسل الجانبية **العطرية:**

- الفينيل ألانين. - التربتوفان.
- التيروزين.

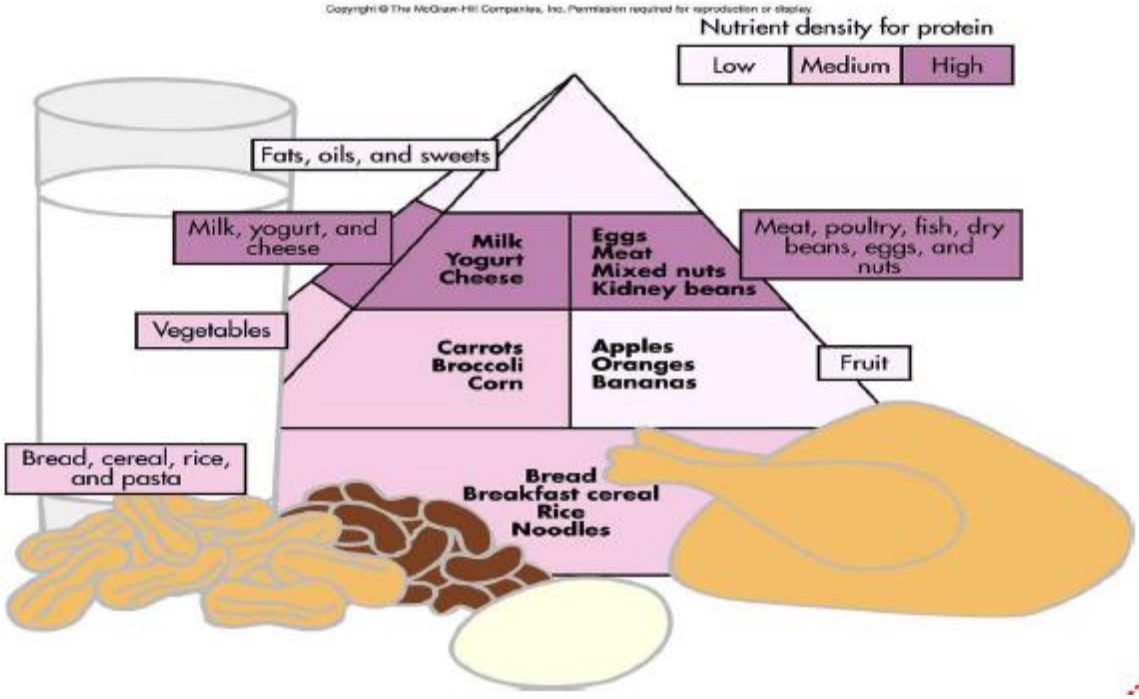
* السيستئين يحوي مجموعة SH القطبية غير المشحونة.

** تأتي الشحنة الإيجابية من NH_3^+ والسلبية من COO^-.

مصادر البروتين في الغذاء:

تكون مصادر البروتين:

❶ نباتية (حبوب، بقول،بعض المكسرات) أو ❷حيوانية (حليب، بيض، جبن، لحم).



وسنركز على بروتينات البيض والحليب، و يبيّن الجدول الآتي بروتينات البيض ونسبها المئوية:

Ovalbumine	54	Ovomucine	1.5
Conalbumine	13	Flavoproteine	0.8
Ovomucoide	11	Ovoglycoproteine	0.5
Lysozyme	4	Ovomacroglobuline	0.5
Ovoglobuline G3	4	Ovoinhibiteur	0.1
Ovoglobuline G2	4	Avidine	0.5

قد تكون لبعض الحموض الأمينة أهمية خاصة أكثر من قيمتها الغذائية نذكر منها:

بروتينات بياض البيض:

إن صفار البيض مهيأ ليصبح جنيناً، وتكون وظيفة بياض البيض تغذيته وحمايته من الجراثيم التي تدخل عبر مسامات القشرة (فارماكولجية وغذائية) ، والغاية من التركيز على بروتينات البيض هو أن **لأربعة منها دوراً حيوياً:**

- **بروتين الكونالبومين Conalbumine:** (والذي يدعى الأوفوترانسفرين Ovotransferrin[1])

له القدرة على ربط شوارد الحديد، وبالتالي يحرم الجراثيم من الاستفادة منها، ولهذا فإن له تأثيراً مضاداً للميكروبات ومضادة أكسدة (فمن الممكن أن يكون الحديد معزز لتفاعلات الأكسدة)

- **بروتين الليزوزيم Lysozyme:** بروتين قادر على حل الرابط N – أسيتيل موراميك N-acetylmuramic الموجود في غلاف الخلايا الجرثومية مما يؤدي إلى تحلّلها فقتلها، وبالتالي فإن له فاعلية مضادة للجراثيم أيضاً، ومن الجدير بالذكر أن هذا البروتين موجود في حليب الأم بأضعاف تواجده في الحليب البقري(الذي يصنع من الحليب المجفف) مما يكسبه خواص طبيعية مضادة للجراثيم تعطي مناعة للرضيع.

- **بروتين الأفيدين Avidine:** يمتلك القدرة على الارتباط بالبيوتين (الفيتامين B7) الضروري لحياة الجراثيم فيحرمها من الاستفادة منه ، وبالتالي فإن له فاعلية مضادة للميكروبات أيضاً.
- **بروتين الأوفوموكوئيد Ovomucoide:** (والذي يدعى أيضاً مخاطين البيض)وهو مثبط للتربسين Trypsin inhibitor، ومضاد سرطان anticancer

- لكن إذا كان للكونالبومين القدرة على الارتباط بالحديد وللأفيدين القدرة على الارتباط بالبيوتين (B7)، فهل يخسر البشر هذين العنصرين عند تناول البيض؟؟

الجواب: كلا، فهذان البروتينان يتخربان بالحرارة التي تستخدم لسلق البيض أو قليه، أما عند تناول البيض نيئاً فإنهما قد يكونان ما يزالان موجودين وقد تحدث خسارة للحديد أو البيوتين جراء ذلك :/ يضاً يخاف من البيض النيء من تلوثه بالسالمونيلا لذلك البيض المسلوق هو الأفضل.

- عندما نتناول هذه البروتينات ألا ترتبط بالحديد و البيوتين بالجسم وبالتالي تحرمنا منهم؟

الجواب: عند طبخ البيض تتخرب هذه البروتينات وبالتالي لا تعمل داخل الجسم.

بروتينات الحليب:

- بروتين (إنزيم) اللاكتوبيروكسيداز Lactoperocidase (LP) (بروتين سكري) وهو إنزيم يحتوي ذرة حديد له دور مضاد جرثومي يسهم في حفظ الحليب النيء *الغير المغلي*(إذ إن الحليب غني بالماء وذو pH معتدلة فيكون عرضة بشكل كبير للنمو الجرثومي)، ويكون الحفظ عن طريق ما يدعى «جملة اللاكتوبيروكسيداز»، وهي جملة تحتاج شاردة التيوسيانات والماء الأوكسجيني بوجود اللاكتوبيروكسيداز لتعطي هيبو التيوسيانات(وهي التي لها دور مضاد للجراثيم) والماء:

$$SCN + H_2O_2 \xrightarrow{\text{Lactoperoxidase}} OSCN + H_2O$$

واللاكتوبيروكسيداز يتخرب بالحرارة لذلك يستخدم كمشعر للتعقيم (يعني إذا لسا موجود فالحليب مو مغلي)

تجري الآن اختبارات لإمكانية استخدامه مع جملة التيوسيانات في تصنيع المراهم المضادة للجراثيم.

❖ بروتين اللاكتوفيرين Lactoferrin وهو بروتين سكّري (غليكوبروتين) له دور في ربط شوارد الحديد، وهو موجود في حليب الأم بكميات كبيرة وبالتالي يسهم في إمداد الرضيع بكميات وافرة من الحديد، ولذلك فإن التغذية الأمومية في بداية حياة الرضيع كافية لإمداده بالمقدار الذي يحتاجه منه *_*.

يحتوي حليب الأم 2 – 4 ملغ/مل من اللاكتوفيرين بينما يكون تركيزه في حليب البقر bovine milk حوالي 0.1 – 0.3 ملغ/مل لذلك نجد أن كلاهما فقير بالحديد ولكن امتصاصيه الحديد من حليب الأم عالية جداً.

تصنيف البروتينات

يمكن تقسيم البروتينات إلى مجموعتين:

I) البروتينات المتجانسة Homoproteins:

والتي تحتوي في بنيتها على حموض أمينية فقط، وتضم:

☜ البروتينات البسيطة Simple proteins: تسفر عند الحلمهة عن حموض أمينية فقط (أي عند التحليل هذه البروتينات لا نجد إلا العناصر C,H,O,N,S) لذلك عند غلي الحليب نخسر هذا الأنزيم ولكن بالمقابل نتخلص من الجراثيم الموجودة ، وتتضمن الأصناف الآتية:

- الألبومينات Albumins.
- الغلوبولينات Globulins.
- الكولاجينات Collagens.
- الفبرينات Fibrins.

٢) البروتينات المتغايرة Heteroproteins:

والتي تحتوي أجزاء إضافية غير بروتينية أو زمراً ضميمة prosthetic group وتضم:

☜ **البروتينات المقترنة Conjugated proteins:** وهي التي تحتوي جزءاً من حموض أمينية مقترناً مع مواد غير بروتينية مثل البيدات أو الحموض النووية أو الكربوهيدرات، بعض البروتينات المقترنة الأساسية هي ما يلي:

- ✓ الفوسفوبروتينات Phosphoproteins (مثل الكازئين في الحليب) بروتين+فوسفات.
- ✓ الليبوبروتينات Lipoproteins (مثل HDL، VLDL، LDL) بروتين+جزيء ليبيدي.
- ✓ النوكليوبروتينات Nucleoproteins بروتينات نووية.
- ✓ الغليكوبروتينات Glycoproteins بروتينات سكرية.
- ✓ الكروموبروتينات Chromoproteins (البروتينات الصباغيّة كالهيموغلوبين أحمر اللون يحوي ذرة حديد في بنيته).

تمسّخ البروتينات Denaturation of Proteins :

تتمسخ البروتينات بفعل:

- **عوامل فيزيائية:**
  - التسخين Heating.
  - التبريد Cooling.
  - المعالجة الآلية Mechanical treatment.
  - الضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic pressure.
  - الإشعاع Radiation.
- **عوامل كيميائية:**
  - الحموض Acids.
  - القلويات Bases.
  - المعادن Metals.
  - المحلاّت العضوية Organic solvents.

يعني التمسّخ :تفكك البنية الرابعية أو الثالثية أو الثانوية[٢] للبروتين بسب تفكك الروابط الهيدروجينية وروابط فاندرفالس، لكن البنية الأولية تبقى على حالها، لأن الرابطة الببتيدية رابطة قوية، فيتحول البروتين من وظيفي إلى غير وظيفي بسبب تبديل البنية ثلاثية الأبعاد الخاصة به(أي الذي يتغير هو شكل البروتين لكن بنيته تبقى حموض أمينية) فإذاً بالتمسخ تتغير الخواص فقط.

هل تمسخ البروتينات أمر مرغوب أم مكروه؟؟

- لا يكون التمسخ أمراً غير مرغوب دائماً، فإذا كان البروتين الغذائي متمسخاً فإن الإنزيم الهاضم له سيعمل عليه بشكل أفضل وأسهل، ولذلك يكون هضم البيض المسلوق أسهل من هضم البيض النيئ (بينما يكون حفظ البيض النيئ أسهل من حفظ البيض المسلوق لأن البروتينات الحيوية التي سبق ذكرها ما تزال فعّالة [كالكونالبومين والأفيدين]، بينما تكون قد فقدت فاعليتها بحرارة السلق). بالتالي نجد أن التمسّخ أمر إيجابي فيما يخص عملية هضم البروتينات.
- لكن بالمقابل فإن تمسّخ البروتين يعني فقد وظائفه المنوطة به، فمثلاً لا يمكن الاستفادة من خواصّ البيض المخفوق لصنع الكيك إلا إذا كان نيئاً، إذ يتعذر استخدام البيض المسلوق في إعداده.

- **كمثال آخر:**

نعلم أن معظم مركبات الجهاز المناعي هي بروتينات، وبالتالي فإن تمسخها يعني فقدان الوظيفة المناعية وهو أمر غير مرغوب إطلاقاً.

- **وعلى النقيض من ذلك، وكمثال آخر:** تقوم ربّات المنازل بسلق الأنغنار (الأرضي شوكي) أو الفول قبل حفظه، حيث إن السلق يخرّب الإنزيمات المسؤولة عن إحداث الاسمرار الإنزيمي له (يعني مشان ما يسودو)، وبالتالي فإن فقد وظيفة البروتين أصبح أمراً مرغوباً في هذه الحالة المسؤول عن الاسمرار أنزيمات الولي فينول أوكسيدز.

مما سبق نستنتج أن^^!

تمسّخ البروتين قد يكون مرغوباً وغير مرغوب، بحسب الغاية من ذلك.

هل تمسخ البروتينات عملية عكوسة ؟؟

- وقد يكون تمسّخ البروتين **عكوساً أو غير عكوس**، فإذا تمسّخ البروتين وتحوّل إلى بنيته المفرودة، ثم زال العامل الذي أدى إلى التمسخ فإن البروتين يمكن أن يعود إلى ما كان عليه (أي قابل للعكس) ومثال عليه عند تسخين الحليب ومن ثم تبريده **أما** في حالة تحول الحليب إلى جبن يتخرب الأنزيم الذي يحول الفينيل ألانين إلى ميتونين فيرسب الكازئين(غير عكوس).
- لكن أحياناً عند فرد البروتين فإنه قد تنكشف وظائف SH مطمورة(من حمض سيستئين)، فإذا التقت وظيفتان لم تكونا في البنية الأَلية على اتصال وأصبحتا بعد الفرد على اتصال فإنهما ستشكلان جسراً ثنائي الكبريت فيكتسب البروتين شكلاً جديداً ويكون التمسّخ غير عكوس عندئذ

فتشكّل جسور ثنائية الكبريت يجعل التمسخ غير عكوس.

متى يكون الهضم أسهل اذا كان البروتين ببنيته الكاملة أم المتمسخة؟؟

أكيد المتمسخ، يعني وقت يجي الأنزيم ويلاقي البروتين مفرود أسهل وأسرع للهضم من انو يلاقي متل ماهو وصعب الهضم

لهيك هضم البيض المسلوق أسهل من النيء ^_^

الآثار المحملة للتمسّخ على البروتين

١ ـ يقلل التمسخ **ذوبانية** البروتين Decreased solubility .

٢ ـ يبدل التمسخ **قياس البروتين** وشكله Alteration of size and Shape .

٣ ـ يكسب التمسخ البروتين تفاعلية أكبر greater reactivity (فتفاعلات البنية المفرودة تكون أسهل).

٤ ـ يقلل التمسخ **فاعلية البروتين الحيوية** Decreased biological activity (كالإنزيمات والبروتينات المناعية).

٥ ـ يزيد التمسخ الحساسية للكهارل Increased sensitivity to electrolytes بسبب فرد البنية.

الحاجة من البروتينات

يحتاج البالغون **0.8 غ** لكل كغ من وزن الجسم في اليوم، فإذا كان بالغ يزن 70 كغ فهو يحتاج 56 غراماً من البروتين يومياً (ضربنا 70×0.8).

بفرض تجاوزت القيمة ٠.٨ غ في الجسم وين رح يروحو؟؟

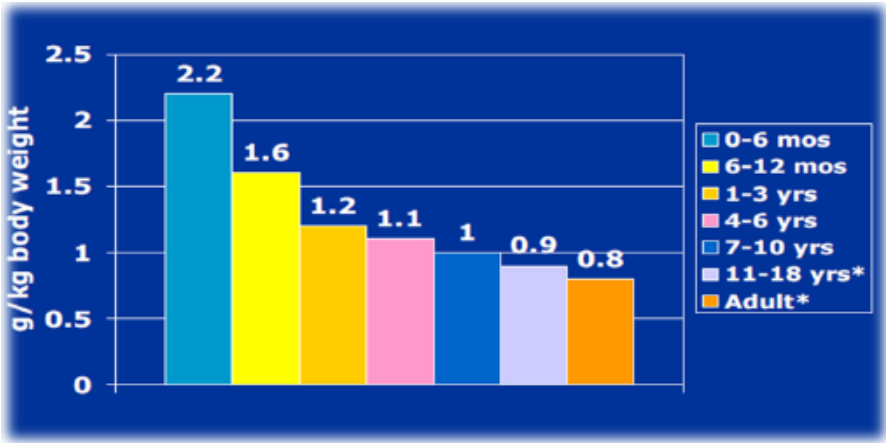
بيتخزنو عشكل دسم اذا لم يترافق مع تمارين رياضية (عند الترافق مع التمارين تتحول لعضلات)

في حال أعطينا الوزن بالباوند في الامتحان وللتحويل من الباوند ←كغ نقسم على 2.2

مثال: شخص وزنه 154باوند نقسم على 2.2 =70

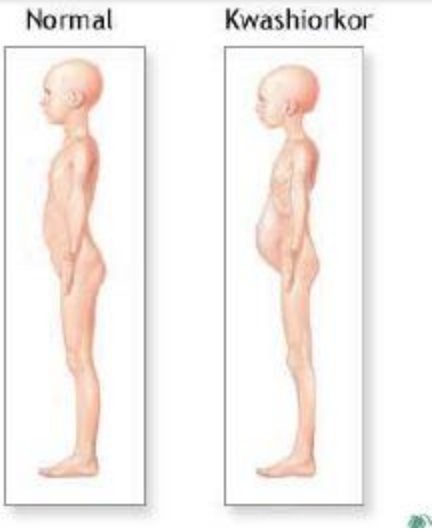
70×0.8=56g

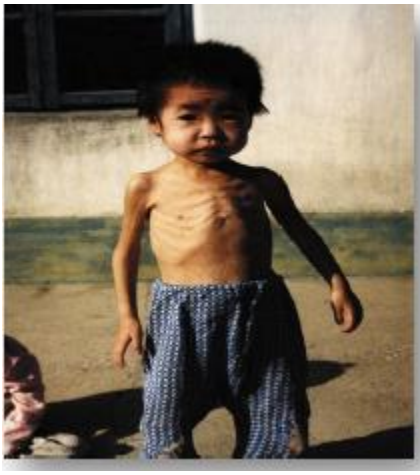
تزداد الحاجة عند الرياضيين Athletes والحوامل، وتزداد أيضاً عند الأطفال لأنهم في طور النمو، فتصبح الحاجة لدى الأطفال 2.2 غ/كغ/يوم.



عوز البروتين

حينما يقتصر الغذاء على مصادر الطاقة فقط كالسكريات والدسم دون احتوائه على البروتين فإن ذلك يؤدي إلى الإصابة **بداء كواشيوركور Kwashiorkor** (احتباس سوائل وحبن) لأن من وظائف البروتين توازن السوائل فإذا اختل البروتين يختل التوازن ويؤدي للحبن الذي ينتج عن التناول غير الكافي للبروتين، **وتتجلّى أعراضه** بالتعب والوذمة (احتباس السوائل) وهُزال العضلات ونقص الكتلة العضلية muscle wasting مع تضخّم الكبد liver enlargement، بالإضافة إلى نقص تصبّغ الجلد.





❋ أما إذا كانت التغذية سيئة بشكل عام لا تحوي مصادر طاقيّة أخرى (لا سكّريات ولا دسماً ولا بروتيناً) فإننا نكون أمام مرض **يدعى سوء التغذية بالبروتين والطاقة Protein – energy malnutrition (PEM)**، أو ما يعرف بداء السغَل Marasmus (نراه بالمجاعات).

معايرة البروتينات في الغذاء

❖ طالما أن البروتينات تتكون من أحماض أمينية، وطالما أن الحمض الأميني يحوي وظيفة أمينية فإن بالإمكان معايرة البروتينات عن طريق معايرة محتوى النيتروجين فيها.

تتضمن طرق معايرة البروتينات ما يلي:

١ ـ طريقة كليدال Kieldahl's method:

✕ تعتمد هذه الطريقة على **تحرير نيتروجين البروتين**، و تحويله إلى أمونيا NH_3 بعملية هضم بحمض الكبريت الكثيف والتسخين وإضافة كبريتات البوتاسيوم K2SO4لرفع درجة الغليان(ترفع الحرارة من 337إلى373) مع وسيط[٣] سيلينيوم أو نحاس بشكل أقراص فوارة لتسهيل عملية الهضم، وفي نفس الوقت يتأكسد الكربون والهيدروجين إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء.

١. وحدة الهضم Digestion

- ✓ نزن المادة الغذائية وتوضع في أنبوب مصنوع من البيركس(أنبوب أو مطرة كيلدال) يتحمل الحرارة ثم نضيف H2SO4 الكثيف +K2SO4+ الوسيط، ثم يوضع في وحدة (وعاء) الهضم (علبة معدنية تضم مكاناً لست أنابيب)، وتوضع الوحدة تحت داخون hood(مخلية للهواء) يسحب الأبخرة المتشكلة لئلا تزعج رائحتها العامل(تنتج أبخرة خطيرة)، في بداية عملية الهضم يكون المحلول أسود عكر وتنتهي عندما يتحول إلى رائق وتستغرق العملية حوالي ساعتين على الأقل.
- ✓ بوجود حمض الكبريت Sulfuric acid H_2SO_4 فإن الأمونيا تلتقط هيدروجيناً ويتحرر النتروجين بشكل كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ -كأنها عملية أكسدة-،بعد الهضم نأخذ الأنبوب ونضعه في جهاز كيلدال.

٢. وحدة التقطير Distillation

- بعد ذلك يضاف هيدروكسيد الصوديوم المركّز Concentrated NaOH إلى محلول كبريتات الأمونيوم وحمض الكبريت، مما يرفع الـ pH محولاً الأمونيوم إلى أمونيا NH_3.
- عند تسخين العينة الحاوية على الأمونيا و هيدروكسيد الصوديوم وكبريتات الصوديوم تنطلق الأمونيا (النشادر) NH_3 بشكل غاز.
- يمكننا تكثيف غاز الأمونيا وإدخاله في فيول يحتوي كمية معلومة ومقاسة تجريبيا من حمض البور Boric acid ومشعراً لقياس الـ pH. تدعى هذه المرحلة **مرحلة التقطير**، وتجري في وحدة التقطير، المشعر المستخدم هو **أحمر الميتيل** (أحمر في الوسط الحمضي و أصفر في القلوي)، فما يحدث أن حمض البور يتحول بوجود النشادر إلى بورات الأمونيوم، ذات الصفة القلوية، فيتحول لون المشعر من أحمر إلى أصفر .

٣. وحدة المعايرة Titration

في مرحلة المعايرة: تتم معايرة بورات الأمونيوم حتى نقطة نهاية المعايرة باستخدام حمض كلور الماء، ويجب أن نكون على علم بنظامية normality حمض كلور الماء المستخدم ⟵ حيث يزيح حمض كلور الماء HCl(حمض قوي)حمض البور(حمض ضعيف) من ملحه (بورات الأمونيوم)فيتحرر حمض البور ويرجع الوسط حمضياً، فيعود اللون أحمر لمشعر أحمر الميتيل وهي نقطة نهاية المعايرة.

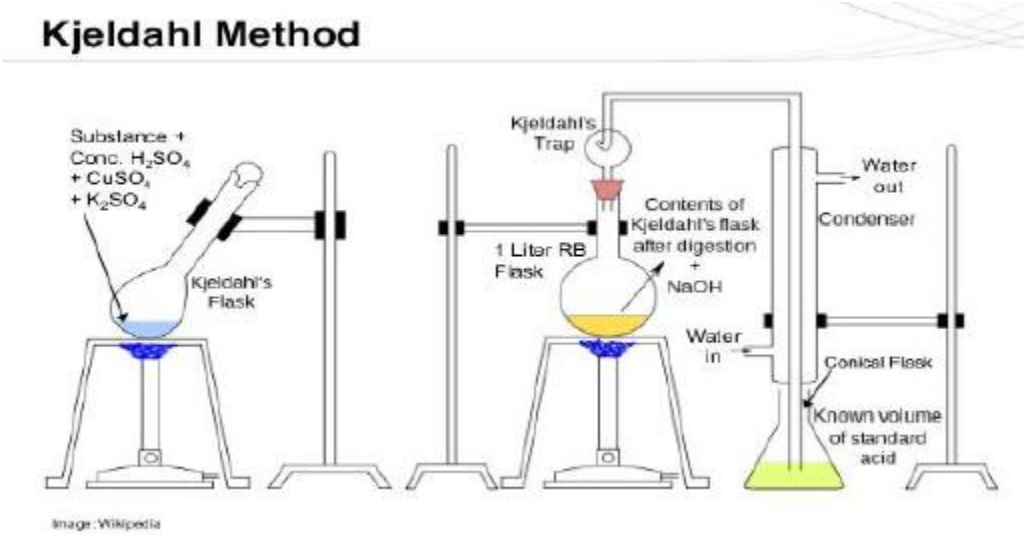
- فإذاً تتضمن طريقة كليدال:

أ ـ الهضم بالحمض Digestion with acid والتحفيز Catalysis: نحصل منه على كبريتات الأمونيوم.

ب ـ التقطير بالبخار والقلوي Distillation with steam and alkalil: تتشكل البورات.

جـ المعايرة بالحمض والمشعرات Titration with acid and indicators:

بورات+HCL←حمض بور من جديد.



تفاعلات طريقة كيلدال:

$$\text{Protein} + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)SO_4 \quad \text{(Digestion)}$$

$$NH^+_4 + NaOH \rightarrow \text{steam \& heat} \rightarrow NH_3 \uparrow + H_2O \quad \text{(Distillation)}$$

$$NH_3(1) + H_3BO_3 \rightarrow NH_4^+ + H_2BO_3^- \quad \text{(trapped)}$$

$$H_2BO^-_3 + HCl \rightarrow H_3BO_3 \quad \text{(Titration)}$$

إن عدد مولات HCl المستخدمة = عدد مولات البورات = عدد مولات NH_3 المتشكلة = عدد ذرّات النيتروجين في العينة، وبالتالي فإن كل مول من HCl يعبّر عن ذرة نيتروجين واحدة:

كل 1 مول 1 HCl نظامي يعادل 1 مول من ذرات النيتروجين = 14 غ

كل 1 ليتر 1HCl نظامي يعادل 14 غ من النيتروجين

كل 1 مل 1HCl نظامي يعادل 0.014 غ من النيتروجين

كل 1 مل 0.1HCl نظامي يعادل 0.0014 غ من النيتروجين (0.1 N هو التركيز المستخدم بالمعايرة)

المصروف(y مل) من 0.1 HCl نظامي يعادل x غ من النيتروجين

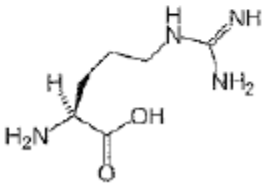
$$x = y \times 0.0014\ g$$

$$x = y \times 0.0014\ g$$

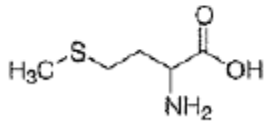
وهو مقدار النيتروجين في العينة، ثم نقسّم على وزن العينة **لنحصل على كمية الآزوت في 1غ**، ثم نضرب بـ 100 **للحصول على كمية النيتروجين في 100 غ** من العينة:

$$\frac{y \times 0.0014}{\text{وزن العينة}} \times 100 \quad (*)$$

إن كل 100 غ من البروتين تحتوي 16٪ من النيتروجين، وبالتالي فإن نتيجة العلاقة (*) تُضرب بـ 100 وتُقسم على 16، وبما أن $\frac{100}{16} = 6.25$ **فيمكن الضرب مباشرة بـ 6.25، حيث يُعد هذا الرقم عامل تصحيح**، وهو عامل تصحيح عام حتى نحول النتيجة من آزوت إلى بروتين، لكن لكل بروتين عامل تصحيح خاصاً به بحسب مقدار النيتروجين فيه (فالأرجينين يحتوي 4 ذرات نيتروجين، أما الميتيونين فيحتوي ذرة واحدة فقط).



الأرجينين



الميتيونين

محاسن طريقة كيلدال:

- قابلة للتطبيق في معظم عينات الطعام، فجميع مخابر التغذية والتموين والصحة تستخدمها.

- بسيطة.
- غير مكلفة.
- مقبولة كطريقة رسمية.
- يمكن أن تقيس ميليغرامات البروتين.

مساوئ طريقة كيلدال:

- تقيس إجمالي النيتروجين لا البروتين (ويمكن للنيتروجين ألا يكون قادماً من البروتين، التيامين والكلوروفيل مثلاً يحتويان على نيتروجين).
- مستهلكة للوقت، إذ تحتاج ساعتين على الأقل.
- دقّتها ضعيفة إذا ما قورنت بطرق أخرى.
- طريقة أكالة Corrosive (خطيرة) حيث يجب استخدام المخلية لخروج غازات سامة أحياناً.

٢ ـ طريقة نسلر Nessler method:

♣ تعتمد أيضا على معايرة النتروجين في العينة ولكن بدلاً من المعايرة بالحمض، فإن الأمونيا أو النيتروجين يمكن أن يحددا كمّياً باستخدام كاشف نسلر (رابع يود الزئبق والبوتاس) في وسط قلوي، وينتج معقد ذو لون برتقالي عند إضافته، ويمكن أن يقاس التركيز عند طول موجة λ = 380 nm بالسبيكتروفوتوميتر:

$$NH_4OH + 2HgI_2 + 2KI + 3KOH \rightarrow NH_4Hg_2I + 7KI + 4H_2O$$

♣ حيث كاسف نسلر هو NH_4HgI_2 يود ثنائي زئبق الأمونيوم.

♣ لا تستخدم كثيراً وهي أيضاً تعتمد على النتروجين

٣ ـ طريقة القطب النوعي Specific electrode method:

♣ لمعايرة شوارد الهيدروجين نستخدم قطب هيدروجين وهو غشاء نصف نفوذ داخله توجد شوارد الهيدروجين، ولمعايرة شوارد الفلور نستخدم قطب فلور، **ولمعايرة شوارد الأمونيوم** نستخدم قطب أمونيوم ذا غشاء شفّاف نفوذ يحوي في داخله محلولاً معلوم التركيز من شوارد الأمونيوم، وعند وضعه ضمن محلول للأمونيوم يحدث عبور لهذه الشوارد فينشأ اختلاف في فرق الكمون يمكن قياسه يتناسب مع تركيز النتروجين في العينة ، **وهذا ما يدعى طريقة القطب النوعي.**

٤ ـ تفاعل بيرتلو Berthelot reaction:

تعتمد هذه الطريقة على تفاعل الأمونيا مع هيبوكلوريت الفينول لإعطاء معقّد الإندوفينول ذي اللون الأزرق، الذي يقاس عند طول موجة تساوي λ = 630 nm، أو تمكن معايرته حجمياً.

$$NH_3 + 3OCl^- + OH^- + 2C_6H_5OH \rightarrow 3Cl^- + \text{indophenol blue}$$

ملاحظات:

- طريقتا نسلر وبيرتلو طريقتان لونيتان.
- إن الطرق الأربعة السابقة تعتمد على معايرة النيتروجين، وجميعها تحتاج في البداية إلى عملية هضم للحصول على الأمونيوم. ونضرب النتيجة (التركيز)دائماً بعامل التصحيح.
- أكثر الطرائق استخداما هي طريقة كلدال.

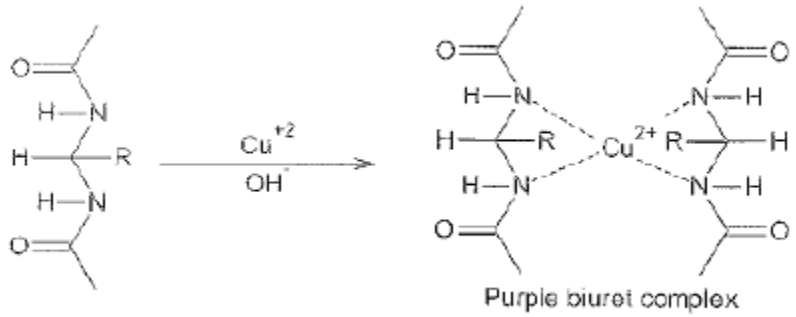
تقتصر الطرق السابقة على **معايرة النيتروجين**، لكن ثمّة طرقاً لمعايرة البروتين بحد ذاته (فلا حاجة هنا لتحرير النيتروجين)، وهي:

٥ ـ طريقة بيوريت Biuret method (أو طريقة البولة المضاعفة): سؤال امتحان!!

يقوم مبدأ طريقة بيوريت على أن شوارد النحاس Cu^{++} (من كبريتات النحاس) يشكل في محلول قلوي (طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم + قلوي) مقعد مع الروابط الببتيدية يعطي لوناً بنفسجياً ورديا Pinkish – purple

لا حاجة هنا لعامل تصحيح.

يوضح الشكل تفاعل بيوريت:



٦ ـ طريقة لوري Lowry method:

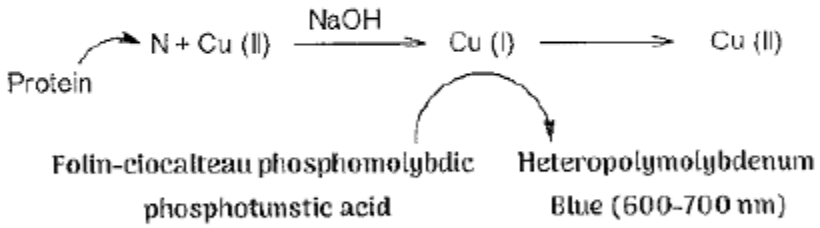
طريقة لوري: هي طريقة لونية colorimetric تعتمد على تشكيل لون أزرق.

- إن بعض الحموض الأمينية الفينولية كالتيروزين و/أو التربتوفان في بروتين ما ترجع كاشف حمض الفوسفوموليبديك مع حمض الفوسفوتنغستيك (ويدعى كاشف الفولين[٤] – سيوكالتو Folin Ciocalteu reagent).
- تم ربط هذه الطريقة مع طريقة بيوريت، فإذا تم وضع كبريتات النحاس مع طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم في محلول قلوي (كاشف بيوريت) فإن ذلك يؤدي إلى تحوّل النحاس Cu(II) إلى نحاسي، وتقوم عندئذ شوارد النحاسي Cu(I) بإرجاع كاشف الفولين إلى معقّد ملوّن بلون أزرق، تُحدّد قيم الامتصاص Absorbance على مقياس الطيف الضوئي spectrophotometer عند طول موجة λ = 750 nm.

إن ربط طريقة لوري مع طريقة بيوريت أعطى حساسية أكبر، فيمكن بهذه الطريقة تحديد بروتينات العينة حتى 0.2 مكغ.

تستخدم هذه طريقة لمعايرة البروتين في المخابر الحيوية، فهي أكثر الطرائق حساسية.

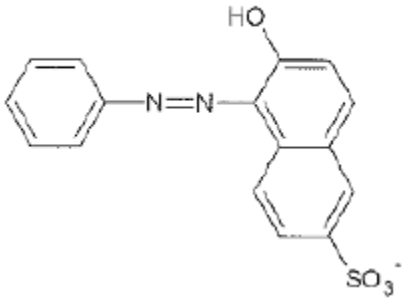
فإذاً، يقوم مبدأ الطريقة على تفاعل نيتروجين الببتيدات مع شوارد النحاس الثنائي تحت ظروف قلوية.



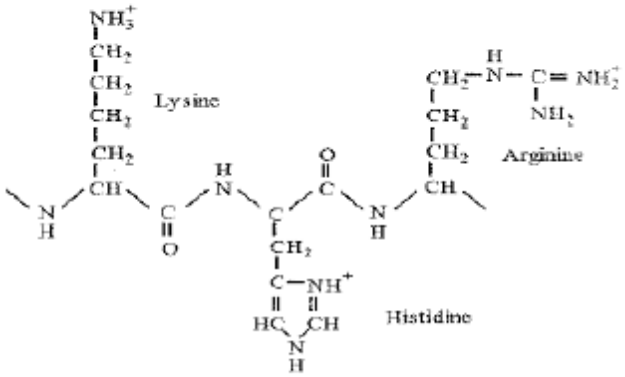
توضيح للتفاعل: يتحول النحاس إلى نحاسي ويؤثر على الفولين أو نقول أن البروتين تفاعل مع النحاسي وشكل معقد يتفاعل مع الفولين ويرجعه ويعطي اللون الأزرق.

٧ ـ طريقة ضم الصباغ Dye binding method:

يقوم مبدأ هذه الطريقة على أنّه وفي pH منخفضة (بوقاء يعطي pH=2)، فإن المجموعات الأساسية (الأمينية) للبروتين تكتسب شحنة موجبة لترتبط بشكل كمي بالصباغ المشحون بشحنة سالبة، وهو صباغ الأسيد أورانج 12 (Acid Orange 12) ذو اللون البرتقالي، وعند الارتباط فإن الصباغ يفقد لونه، وبالتالي كلما كان اللون أقل شدة كان تركيز البروتين أكبر.



إن الهيستيدين والأرجينين والليزين هي الحموض الأمينية التي تكتسب **شحنة موجبة** في pH منخفضة:



يمكن استعمال أزرق الكوماسي اللماع Coomassie brilliant Blue بدلاً من الأسيد أورانج 12، وتدعى الطريقة حينئذ معايرة براد فورد Bradford assay. يرتبط أزرق الكوماسي إلى حموض أمينية محددة وإلى البنى الثالثية في البروتينات، وعندها يتحول اللون من بني محمر إلى أزرق.

نهاية المحاضرة السابعة

جودة البروتين:

❖ لا تمتلك جميع البروتينات نفس الجودة، ويتم تحديد جودة بروتين ما بحسب الحموضة الأمينية الموجودة فيه، فكلما احتوى البروتين حموضاً أمينية أساسية أكثر كان أكثر جودة.

ندعو الحموض الأمينية الناقصة من غذاء ما بالحموض الأمينية المحدودة Limited amino acids

كما نعلم يوجد نوعين من البروتينات :

- **البروتينات الحيوانية:** ذات جودة عالية فهي **لا** تفتقر إلى أي حمض أميني.
- **البروتينات النباتية:** ذات جودة منخفضة أو بروتينات غير كاملة، أي إنها تحتوي حموضاً أمينية محدودة، ونذكر الحبوب والبقول كمثال توضيحي:

⇐**فلقد وُجد أن البقوليات Legumes** تحتوي الحمضين الأمينيين الليزين والإيزولوسين، ولكنها تفتقر إلى الميتيونين(أساس تصنيع السستئين) والتربتوفان (سؤال امتحان وطني)، فإذا ما اقتصر الغذاء على البقوليات فقط فلا بد أن يحدث عوز في التربتوفان و الميتيونين(وبالتالي عوز في السستئين).

⇐**أما الحبوب Grainsفهي** تحتوي الميتيونين والتربتوفان ولكنها تفتقر إلى الليزين والإيزولوسين، فإذا ما اقتصر الغذاء على الحبوب فقط فلا بد أن يحدث عوز في الليزين والإيزولوسين.

لذلك ينصح النباتيون بتناول البقول والحبوب -العدس مع الأرز مثلاً أو الذرة مع الحمص- لتحقيق التكامل في الغذاء وضمان الحصول على كافة الحموض الأمينية الأساسية (التي لا يمكن للجسم تصنيعها)، وهو ما يدعى بالمعاوضة.

❖ حينما يتناول الإنسان بروتيناً ما فإنه يتفكك في جهاز الهضم إلى حموضه الأمينية التي تمتص إلى الدوران ثم تسلك بالجسم طرق مختلفة:

١) يستخدمها الجسم لتصنيع بروتينات جديدة.

٢) في تصنيع مركبات نيتروجينية غير بروتينية كالبيورينات و البيريميدينات.

٣) في إنتاج الطاقة(عبر أكسدة البروتين) وهي أسوأ مصادر الطاقة، إذ لا يستخدمها الجسم إلا بعد استنفاذ السكريات والدسم.

❄ إذا سلك الجسم طريق تصنيع بروتينات جديدة ولم يكن لديه مخزون كافٍ من الحموض الأمينية اللازمة فإن اصطناع البروتينات يتوقف، فإذا افترضنا أن بروتيناً يحتوي الحموض الأمينية C و A و R (رموز عشوائيا لتوضيح المثال) بالترتيب CAR. فإذا ما كان الحمض الأميني C محدوداً فإنه لن تتبقى منه كمية كافية لاستكمال اصطناع سلسلة البروتين ولن يستطيع الجسم وضع حمض أميني بدل آخر ⟸ توقف عملية التصنيع:

$$\begin{matrix} CCCCC \\ AAAAAAAA \\ RRRRRR \end{matrix} \Rightarrow CAR, CAR, CAR, CAR, CAR, R, A, A, A$$

والحل هو التعويض بغذاء آخر يحتوي بروتينات أخرى (بروتينات تكميلية Complementary proteins) تكون فيها كمية الحمض C أكثر لضمان استمرارية التصنيع وهذا هو مبدأ **المعاوضة:**

$$\begin{matrix} CC & CCCC \\ AAAA + & AA \\ RRR & RRR \end{matrix} \Rightarrow CAR, CAR, CAR, CAR, CAR, CAR$$

طرق تحديد جودة البروتين METHODS FOR EVALUATING PROTEIN QUALITY

القيمة الحيوية BV	قابلية الهضم TD	الحرز الكيميائي CS
صافي استخدام البروتين NPU	نسبة كفاءة البروتين PER	حرز الحموض الأمينية AAS

قابلية هضم البروتين True Protein digestibility (TD)

من أبسط الطرق لتحديد جودة البروتين ، فكلّما كانت قابلية هضم البروتين أكبر كان أكثر جودة.

العوامل المؤثرة على قابلية البروتين للهضم :

- هيئة البروتين Protein conformation: تتواجد الحموض الأمينية بشكلين فراغيين ميمن D وميسر L وفي الغذاء تكون من الشكل الميسر غالبا.
- حجم جزيئة البروتين ومساحة سطحها Size and surface of the protein particle.
- عمليات المعالجة: فسلق البيض يسهل هضم البروتين نتيجة لتمسخه، وسحق الحبوب يجعل سطح التماس أوسع ويسهّل عملية الهضم.
- العوامل المضادة للتغذية Ant nutritional factors، فمثلاً: تحتوي بعض أنواع البقوليات مثبطات للتربسين Trypsin inhibitor: التي تثبط التربسين والكيموتربسين (أنزيمات هاضمة للبروتينات) فيتوقف هضم البروتين ⇦ تقل قابلة الهضم ⇦ تنخفض جودة البروتين، ويتم التخلص من مثبطات التربسين بطبخ البقول.

ونذكر من المحاضرة السابقة بروتين الأفيدين الذي يرتبط بالبوتين(فيتامين B7) ويمنع الاستفادة منه ⇦ نصنف الأفيدين كمضاد تغذية.

❖ البروتين المرتبط إلى المعادن أو الليبيدات أو الحموض النووية(نيكلوبروتين) أو السيللوز أو عديدات السكريد الأخرى(غليكوبروتين) يمكن أن محدود قابلية الهضم جزئياً، كما أن تناول بعض الألياف مع البروتينات يمكن أن يشكّل معقدات معها، فالتانينات في الشاي يمكن أن تشكل أيضاً معقدات مع البروتين فتحدّ من هضمها وامتصاصها.

- تحسب قابلية الهضم الحقيقية True Digestibility (TD) وفق العلاقة الآتية:

$$\text{true digestibility} = \frac{N_{absorbed}}{N_{intake}} \times 100$$

حيث:

- $N_{absorbed}$ تشير إلى البروتين الممتص من الأمعاء .
- N_{intake} تشير إلى البروتين المتناول.

حيث **البروتين الممتص** = كمية البروتين المتناول in take - كمية البروتين المطروحة في البراز eliminated ، وبالتالي:

$$\text{true digestibility} = \frac{N_{intake} - N_{eliminated}}{N_{intake}} \times 100$$

القيمة الحيوية Biological value (BV)

- لكن تبين أن الكلام السابق غير دقيق تماماً، إذ إن امتصاص الأمعاء لا يعبّر عن استهلاك البروتين، فقد تمتص الأمعاء بشراهة مقداراً كبيراً من البروتين لكن لا يشترط أن يستخدمها الجسم كلها، فتطرح ما لم تستهلكه على شكل نيتروجين في البول، لذلك تم الاتفاق على مصطلح البروتين **المحتبس retained**، أي ما استفاد منه الجسم، وهو يساوي المتناول مطروحاً منه مجموع المطروح في البراز (الذي لم يمتص) مع المطروح في البول (الذي امتص لكن لم تكن ثمة حاجة إليه):

المحتبس = المتناول – (المطروح في البراز + المطروح في البول)

❖ و باستخدام المحتبس من البروتين أمكن حساب القيمة الحيوية BV التي يعطيها هذا البروتين للجسم وهي تساوي المحتبس مقسوماً على الممتص:

$$BV = \frac{N_{retained}}{N_{absorbed}} \times 100$$

صافي استخدام البروتين Net protein utilization (NPU)

طريقة حساب تستند على المشاركة بين القيمة الحيوية وقابلية هضم بروتين الطعام، ويساوي TD مضروباً بـ BV أي المحتبس مقسوماً على المتناول:

$$NPU = TD \times BV \times 100 = \frac{N_{absorbed}}{N_{intake}} \times \frac{N_{retained}}{N_{absorbed}} \times 100 = \frac{N_{retained}}{N_{intake}} \times 100$$

- لو فرضنا تناولنا 100g بروتين عندها كمية امتصاص أكبر تعني هضم أكبر وكل ما امتص سوف يطرح بالبراز
- وكلما كانت القيم TB أو BV أو NPU أعلى كانت جودة البروتين أعلى.

نسبة كفاءة البروتين Protein efficiency ratio (PER)

- بما أن أكثر استخدام البروتين في الجسم هو بهدف البناء فلذلك تمّت الاستعانة بحيوانات التجربة لتحديد جودة البروتين بدقة وكانت خطة العمل كالآتي:
- قُسّمت 10فئران إلى مجموعتين الأولى مجموعة شاهدة وتسمى **مجموعة الحمية diet group** أعطيت غذاء **لا يحتوي على بروتين اطلاقاً**، و أعطيت الثانية **مجموعة الاختبار test group** غذاء يحوي **البروتين المراد فحصه** لمدة شهر و بانتهاء فترة الاختبار يفترض أن ينخفض وزن المجموعة التي لم تعط البروتين، وأن يزداد وزن التي أعطيت إيّاه بحسب جودة البروتين.

- ونقول أن نسبة كفاءة البروتين في النمو تعتمد على الوزن المكتسب في الفئران النامية مقسوماً على متناولها من بروتين طعام معيّن خلال فترة الاختبار، ويُحسب بتقسيم مجموع **القيمة المطلقة** للوزن المكتسب من قبل مجموعة الاختبار التي أعطيت البروتين والوزن المفقود من قبل مجموعة الحمية الأساسية (المجموعة الشاهدة التي لم تعط البروتين) على المتناول من البروتين:

$$PER = \frac{\text{wt gain test group} + \text{wt loss of basal diet group}}{\text{protein intake}}$$

فإذا اكتسبت مجموعة الاختبار 5 غرامات من الوزن، وفقدت المجموعة الشاهدة 10 غرامات من الوزن، فإن بسط العلاقة السابقة يساوي 15=|-10|+5.

كلما كانت PER أعلى (ازداد وزن المجموعة الأولى ونقص وزن الأخرى) كان البروتين أجود

الحَرَز الكيميائي Chemical score

طريقة أخرى تستخدم لتقييم جودة البروتين ، ويساوي النسبة المئوية لكمية الحموض الأمينية المحدودة في البروتين المختبر test protein مقسومة على كمية الحموض الأمينية المحدودة في البروتين المعياري reference protein (وغالباً ما يكون البروتين المعياري هو الكازئين أو بروتين البيض لأنه من أجود أنواع البروتينات)

مثلاً: البقول ينقصها الميتونين (يوجد بكمية محدودة) فنحسب كم غرام موجود منه في وزن معين من العينة المأخوذة وليكن x وننسبه إلى كمية هذا الحمض في بروتين البيض الموجود في وزن x من البيض .

$$\text{Chemical score} = \frac{\text{of limited amino acid in test protein}}{\text{g of limited amino acid in referance protein}} \times 100$$

مثال أخر حسابي: بروتين قمح ينقصه الليزين ويحتوي البيض من الليزين 72g/kg أما القمح فيحوي 27g/kg فتكون

$$\text{Chemical score} = \frac{27}{72} \times 100 = 0.375 \times 100 = 37.5$$

حرز الحموض الأمينية (AAS)

- أو قابلية هضم البروتين المصححة بحَرَز الحموض الأمينية
- Protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) وهي طريقة جديدة ومن المحتمل أنها أكثر دقة لتقييم جودة بروتينات الطعام.
- وتستند على محتوى بروتين الطعام من الحموض الأمينية وقابلية هضمها الحقيقية وقدرتها على الإمداد بالحموض الأمينية التي لا غنى عنها بكميات كافية لاستيفاء احتياجات الجسم من الحموض الأمينية.
- إن AAS يساوي نسبة الحموض الأمينية في البروتين المختبر على حاجة الجسم السليم اليومية من هذه الحموض الأمينية :

$$AAS = \frac{\%\ \text{amino acid in test protein}}{\%\ \text{correspondy amino acid requirment}}$$

- فلحساب AAS للميتيونين في فول الصويا مثلاً، فإننا نحسب النسبة المئوية للميتيونين في فول الصويا وننسبه إلى الحاجة اليومية للجسم من الميتيونين

نهاية المحاضرة الثامنة