

البروتينات Proteins

- المقدمة ● التركيب الكيميائي للبروتينات ● تقسيم البروتينات ● وظائف
- البروتينات ● احتياجات البروتينات ● مصادر البروتينات الغذائية
- الأحماض الأمينية ● تقسيم الأحماض الأمينية ● جودة البروتين
- اضطراب أيض البروتين

المقدمة (٦، ١) Introduction

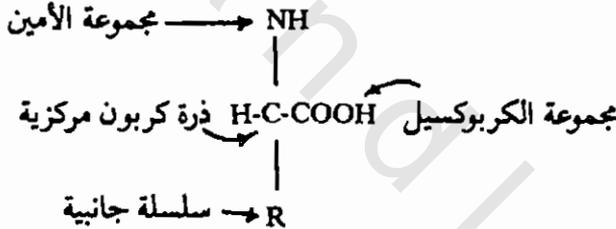
أطلق اسم بروتينات في عام ١٨٣٨م من قبل العالم مولدر Mulder على مكونات الأغذية التي تحتوي على النيتروجين. وتعد البروتينات من العناصر الغذائية المهمة جداً من الوجهة الغذائية، حيث إنها تدخل في بناء أنسجة الجسم المختلفة وصيانتها. وكذلك تدخل في تركيب الإنزيمات وبعض الهرمونات وجميع الخلايا الحية living cells في الجسم، وبدونها لا يمكن أن تحدث حياة على الكرة الأرضية. تشكل البروتينات حوالي ٢٠٪ من وزن جسم الإنسان البالغ ويوجد حوالي ٥٠٪ من هذه الكمية في العضلات و ٢٠٪ في العظام والغضاريف و ١٠٪ في الجلد. وتوزع الكمية الباقية في الأنسجة الأخرى وسوائل الجسم. تحتوي معظم البروتينات على حوالي ١٦٪ نيتروجين، بالإضافة إلى ٥٠٪ كربون و ٢٢٪ أكسجين و ٧٪ هيدروجين و ٥، ٠ - ٣٪ كبريت. كما تحتوي بعض البروتينات على الحديد والنحاس والفسفور والزنك. وتعد الصفراء bile والبول urine من مكونات الجسم الوحيدة الخالية من البروتين. ويمكن أن يكون البروتين مصدراً للطاقة إذا تناوله الإنسان بكميات زائدة عن احتياجاته، ولكن بعد أن يحصل الجسم على جميع احتياجاته اللازمة للنمو وإصلاح الأنسجة التالفة. كذلك تمد البروتينات الجسم بالطاقة إذا كانت كمية الدهون والكربوهيدرات في الوجبة غير كافية لتأمين احتياجات الجسم من الطاقة. هناك نوعان من البروتين يجب التفريق بينهما هما: (١) البروتين الخارجي exogenous protein ،

ويقصد به البروتين الذي يحصل عليه الجسم من مصادر غذائية خارج الجسم، (٢) البروتين الداخلي endogenous protein ويقصد به البروتين المشتق من أنسجة الجسم نتيجة لتهدم بروتينات الجسم الداخلية.

(٦، ٢) التركيب الكيميائي للبروتينات

Chemical Composition of Proteins

إن البروتينات عبارة عن مركب عضوي يتكون من ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين كما في حالة الدهون والكاربوهيدرات، بالإضافة إلى النيتروجين، كما أن بعض البروتينات تحتوي على الكبريت. تتألف البروتينات من سلاسل من الأحماض الأمينية amino acids متصلة مع بعضها البعض بواسطة الروابط الببتيدية peptide bonds لتكوين الببتيدات (البروتينات). يعتبر الحمض الأميني الوحدة الرئيسية في تركيب البروتين، وهو يحتوي على مجموعة أمين amino group ومجموعة كاربوكسيل carboxyl group متصلتان بذرة كربون مركزية وهذه تتصل بسلسلة جانبية (R) side chain وذرة هيدروجين، كما هو موضح أدناه.

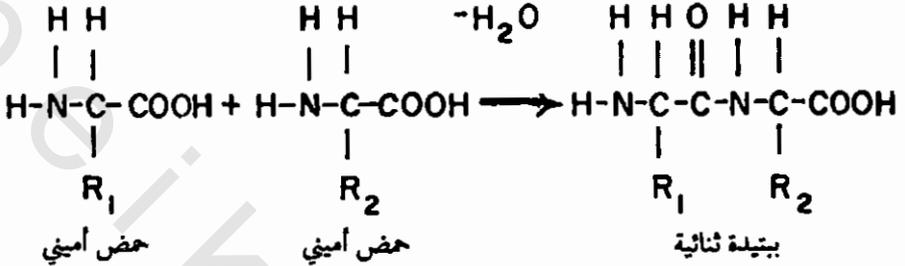


قد يحتوي البروتين على ٢٢ من الأحماض الأمينية المختلفة، وهذا الاختلاف يكون نتيجة لاختلاف السلسلة الجانبية (R) side chain المتصلة بذرة الكربون المركزية. كما أن السلسلة الجانبية قد تكون متصلة إما بسلسلة مستقيمة أو متفرعة أو حلقية أو عطرية aromatic أو heterocyclic أو مجموعة كبريت. والجدير بالذكر أن جميع الأحماض الأمينية التي تنتج من تحلل البروتينات تكون في الوضع ألفا alpha-amino acids.

هناك أربعة أنواع من الببتيدات (البروتينات) وهي :

١ - الببتيدة الثنائية Dipeptide

هي عبارة عن حمضين أميين متصلين ببعضهما البعض برابطة ببتيدية، حيث إن مجموعة الأمين في أحد الحمضين الأميين متصلة بمجموعة الكربوكسيل في الحمض الآخر مع إزاحة جزيء من الماء. والشكل (٦، ١) يوضح تركيب الببتيدة الثنائية.



شكل (٦، ١). تركيب الببتيدة الثنائية.

٢ - الببتيدة الثلاثية Tripeptide

تتكون من ثلاث وحدات من الأحماض الأمينية متصلة ببعضها البعض بروابط ببتيدية.

٣ - الببتيدة المتعددة Polypeptide

تتألف من أكثر من ١٠ وحدات من الأحماض الأمينية متصلة ببعضها البعض بروابط ببتيدية.

٤ - الببتيدة المتوسطة Oligopeptide

تتكون من ٤ - ١٠ وحدات من الأحماض الأمينية متصلة ببعضها البعض بروابط ببتيدية.

ومعظم البروتينات عبارة عن ببتيدات متعددة مكونة من ١٠٠ - ٣٠٠ وحدة من الأحماض الأمينية.

٦، ٣) تقسيم البروتينات Classification of Proteins

تقسم البروتينات إما تبعاً لخواصها الطبيعية والكيميائية أو تبعاً لصفاتها الغذائية.

أولاً: تقسيم البروتينات تبعاً لخواصها الطبيعية والكيميائية Physical and chemical properties

(١) البروتينات البسيطة Simple proteins

تتكون البروتينات البسيطة من الأحماض الأمينية فقط وعند تحليلها بالإنزيمات أو القواعد أو الأحماض ينتج عنها أحماض أمينية فقط ومن أمثلتها الآتي:

١ - الألبومينات Albumines : توجد في بلازما الدم blood plasma والبيض . وهي تذوب في الماء وتتخثر بالحرارة .

٢ - الجلوبيولينات Globulins : توجد في البيض ومصل الدم والعضلات (myosin) ، وهذه البروتينات تذوب في المحاليل الحمضية المركزة والقواعد القوية ، كذلك فإنها قليلة الذوبان في الماء .

٣ - الجلوتيلينات Glutellins : توجد في النباتات فقط (بروتين رئيسي في النباتات) وتذوب في محاليل القواعد والأحماض المخففة ، ولكنها لا تذوب في الماء أو المحاليل المخففة للأملاح أو المحاليل المتعادلة neutral solutions . وتتوافر هذه البروتينات في القمح (glutenin) وفي الأرز (oryzenin) .

٤ - البرولامينات Prolamine : توجد في النباتات فقط (بروتين رئيسي) مثل القمح (gliadin) والشعير (hordein) والأرز (zein) ، وتذوب في الكحول (٥٠٪ - ٩٠٪) ، ولا تذوب في الكحولات المطلقة أو الماء .

٥ - الاسكليروبروتينات Scleroproteins : توجد في الحيوانات فقط مثل الشعر (keratin) والقرون والحوافر والأنسجة الرابطة (collagen) والعضلات (myosin) وجلطة الدم (fibrin) blood clot وتتميز هذه البروتينات بأنها غير قابلة للذوبان في الماء والمذيبات الأخرى والأحماض والقواعد المختلفة .

٦ - البروتامينات Protamines : توجد عادة في الخلايا متحدة مع الأحماض النووية nucleic acids ، وتذوب في الماء ، وهي غنية بالحمض الأميني أرجينين arginine . (٧٠ - ٨٠٪) .

٧ - الهستونات Histones : توجد في الحيوانات فقط، وتتميز بأنها تذوب في الماء والأحماض والقواعد المخففة، وتحتوي على نسبة مرتفعة من الأحماض الأمينية القاعدية (arginine و lysin) . ومثالها هستونات البكرياس في العجول وهستونات الغدة الصغرية thumbs gland .

(ب) البروتينات المرتبطة Congugated proteins

هي عبارة عن بروتينات بسيطة ومرتبطة بمواد أخرى غير بروتينية ومثالها :

١ - البروتينات النووية Nucleoproteins : تتكون من ارتباط البروتينات مع الأحماض النووية (DNA و RNA) ، وتوجد في نواة الخلية cell nucleus .

٢ - البروتينات السكرية Glycoproteins : تتكون من ارتباط البروتينات مع السكريات كالمانوز والجلوكوز والفركتوز والجالاتوز وغيرها، ومنها الميوسين mucin .

٣ - البروتينات الدهنية Lipoproteins : تتكون من ارتباط البروتينات مع الدهون، ومثالها الكوليسترول cholesterol والليسيثين lecithin . وهي توجد في الدم، حيث تعتبر الحوامل الرئيسية للدهن في الدم، بالإضافة إلى وجودها في نواة الخلية cell nucleus وصفار البيض والحليب .

٤ - البروتينات الملونة Chromoproteins : تتكون من ارتباط البروتينات مع الصبغات، ومثالها الفلافوبروتين flavoprotein والفيريتين ferritin والهيموجلوبين hemoglobin والسيتوكروم cytochrom والكلوروفيل chlorophyll .

٥ - البروتينات الفوسفورية Phosphoproteins : تتكون من ارتباط البروتينات مع الفوسفور، ومنها الكازين casein في الحليب وفيتلين صفار البيض ovovitellin .

٦ - البروتينات المعدنية Metallproteins : تتكون من ارتباط البروتينات مع

المعادن كالحديد والنحاس والمغنسيوم، ومن الأمثلة على ذلك الإنزيمات المحتوية على المعادن، وكذلك الترانس فيرين transferrin والفيريتين ferritin .

(ج) البروتينات المشتقة Derived proteins

هي بروتينات ناتجة من تحلل البروتينات البسيطة والمرتبطة، ومثلها البروتيويزات proteoses والبيتونات peptones والبيتيدات peptides (الثنائية والمتعددة) التي تنتج من تحلل البروتينات .

ثانياً : تقسيم البروتينات تبعاً لصفاتهما الغذائية Nutritional properties

١ - البروتينات الكاملة Complete proteins

هي بروتينات تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية، وبكميات كافية لتأمين احتياجات الجسم اللازمة للنمو وصيانة الأنسجة التالفة . ومن أمثلتها جميع البروتينات الحيوانية (فيها عدا الجيلاتين gelatin) مثل بروتين البيض والحليب واللحم والسّمك والدواجن . كما تسمى البروتينات الكاملة أحياناً بالبروتينات المرتفعة القيمة الحيوية high biological value proteins أو البروتينات المرتفعة الجودة high quality pro- teins . وهذه المجموعة من البروتينات قادرة على بناء أنسجة جديدة (النمو) وإصلاح الأنسجة التالفة بمفردها، أي عندما يعتمد عليها الإنسان كمصدر وحيد للبروتين، بعكس البروتينات النباتية . وتتألف البروتينات الكاملة من حوالي ٣٣٪ أحماض أمينية أساسية و ٦٦٪ أحماض أمينية غير أساسية .

٢ - البروتينات غير الكاملة Incomplete proteins

هي بروتينات ينقصها حمض أميني أساسي أو أكثر وتكون كمية الأحماض بها غير كافية لتأمين احتياجات الجسم، ومثلها البروتينات النباتية (القمح والأرز والبقوليات والبدور وغيرها) فيما عدا المكسرات وفول الصويا . وتتميز هذه البروتينات بقيمة حيوية منخفضة (أي بروتينات منخفضة الجودة) بالإضافة إلى أنها غير قادرة على إحداث النمو في الجسم عندما يعتمد عليها الإنسان كمصدر وحيد للبروتين . وتحتوي على حوالي

٢٥٪ أحماض أمينية أساسية .

٣ - البروتينات الكاملة جزئياً Partially complete proteins

هي البروتينات التي تحتوي على كميات محدودة لواحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية، ولهذا فإنها قادرة على صيانة أنسجة الجسم واستمرار الحياة ولكنها غير قادرة على إحداث النمو. ومثالها جليادين القمح wheat gliadin .

(٤، ٦) وظائف البروتينات Proteins Functions

يمكن حصر وظائف البروتينات بالنسبة لجسم الإنسان في الآتي:

١ - النمو والصيانة Growth and maintenance

تتمثل أهم وظائف البروتينات في بناء أنسجة جديدة في الجسم، وفي إصلاح الأنسجة التالفة منه، ومن الأمثلة على ذلك ما يلي:

١) نمو الشعر والأظافر والجلد، وهذا يحتاج إلى الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت.

ب) تكوين العضلات وأعضاء الجسم organs والغدد الصماء endocrine glands .

ج) تشكل المكونات الرئيسية لنخاع العظام والأسنان bones & teeth matrix وخلايا الدم ومصل الدم serum .

د) تصنيع البروتينات التركيبية (البنائية) structural proteins في الجسم مثل الكولاجين collagen الذي يربط الخلايا مع بعضها البعض، وكذلك الميوسين myosin المسؤول عن انقباضات العضلات.

هـ) إصلاح أنسجة الجسم التالفة وترميمها مثل تعويض الأنسجة المبطنة للأمعاء والتي تتجدد كل ٤ - ٦ أيام.

ولكي يستطيع الجسم أن ينمو، فإنه لا بد من تناول وجبات غذائية تحتوي على بروتينات ذات جودة مرتفعة good quality proteins ، بالإضافة إلى أن كمية الأحماض الأمينية يجب أن تكون أكثر من الكمية اللازمة للإصلاح والترميم maintenance لاستخدامها للنمو.

٢ - الطاقة Energy

تعد البروتينات مصدراً ثانوياً يمد الجسم بالطاقة على حساب بناء وإصلاح الأنسجة التالفة في الجسم عندما تكون السعرات الناتجة من الدهون والكربوهيدرات غير كافية، حيث إن كل جرام واحد من البروتين يمد الجسم بحوالي ٤ سعرات kcal . وكما ذكرنا سابقاً فإن استخدام الجسم للبروتينات كمصدر للطاقة يكون مكلفاً وغالي الثمن مقارنة بالكربوهيدرات والدهون، بالإضافة إلى أنها مرهقة للكليتين، وتكلف الجسم قدرًا من الطاقة لطرح نواتج أيض البروتين خارج الجسم .

٣ - اتزان السوائل Fluid balance

يُنظم توازن السوائل داخل الجسم وخارج خلاياه جزئياً بواسطة البروتينات وذلك لأنها كبيرة الحجم، مما لا يمكنها من المرور من خلال أغشية الخلايا. وبشكل عام توجد سوائل الجسم داخل الخلايا وخارجها وفي الأوعية الدموية (الشرايين والأوردة) blood vessels ، ويتم التحكم في توازنها عن طريق ثلاثة أنواع من الضغوط هي :

(أ) الضغط الأزموزي Osmotic pressure

ينتج من وجود الإلكتروليتات التي تنظم اتزان السوائل خارج الخلايا وداخلها .

(ب) الضغط التورمي Oncotic pressure

ينتج من وجود البروتينات في الدم، والتي تعمل على سحب السوائل من داخل الخلايا إلى الأوعية الدموية .

(جـ) الضغط الهيدروستاتي Hydrostatic pressure

ينتج من ضخ الدم في الأوعية الدموية، وهو يلعب دوراً مهماً في اتزان السوائل في الجسم . وفي حالة نقص البروتين في الجسم فإن ذلك يؤدي إلى خفض بروتين بلازما الدم (الألبومين)، وبذلك لا يمكن سحب الماء إلى الأوعية الدموية blood vessels مما يؤدي إلى تراكمه داخل الخلايا وتصيح الأنسجة اسفنجية ومتورمة، وهذا ما يعرف باسم الإديما edema .

٤ - المحافظة على الرقم الهيدروجيني pH Maintenance

تعد البروتينات مهمة جداً للمحافظة على الرقم الهيدروجيني (pH) في الجسم في وضع متعادل ($pH = 7.2$) ، مما يمكنه من أداء وظائفه البيولوجية . وتحتوي البروتينات على مجموعة حمض (COOH) ومجموعة قاعده (NH_2) ، وهذا يمكنها من أن تعمل كأحماض أو قواعد داخل الجسم حسب الحاجة ، وذلك للمحافظة على رقم الـ pH ثابت . ففي حالة احتواء سوائل الجسم على كمية كبيرة من القاعدة alkali فإن البروتينات تعمل كحمض ، بينما في حالة احتواء سوائل الجسم على كمية كبيرة من الحمض acid فإن البروتينات تعمل كقاعدة .

٥ - تكوين المركبات الرئيسية Essential compounds formation

يحتاج جسم الإنسان إلى البروتينات لتصنيع بعض الهرمونات hormones والإنزيمات enzymes والأجسام المضادة antibodies وغيرها من المركبات . ويمكن تقسيم بروتينات الجسم تبعاً لوظائفها كالتالي :

(أ) البروتينات الإنزيمية

تحفز هذه البروتينات على حدوث التفاعلات الكيميائية في وجود قرائن الإنزيمات

. coenzymes

(ب) البروتينات الهرمونية

تفرز هذه البروتينات مواد تتحكم في عمليات الأيض مثل الثيروكسين thyroxin

والأنسولين insuline والأدرينالين adrenaline .

(ج) البروتينات الصناعية

تساعد الأجسام المضادة antibodies الجسم على مقاومة الالتهابات والأمراض ،

والتي تكثر في حالة تناول وجبات غذائية منخفضة في نسبة البروتين .

(د) بروتينات قابلة للانقباض

تنظم هذه البروتينات انقباض العضلات ، ومثالها الميوسين myocin والاكيتين

. actin

(هـ) بروتينات الدم

تنظم نقل العناصر الغذائية من خلال جدار الأمعاء إلى الدم ومنه إلى أنسجة الجسم المختلفة، ومثالها الهيموجلوبين (نقل O_2 و CO_2) والليبوبروتين lipoprotein (نقل الدهون) والترانسفيرين transferrin (نقل الحديد) والبروتين المرتبط بالريتول retinol-binding protein (نقل فيتامين أ).

(٦, ٥) احتياجات البروتينات Proteins Requirements

تتوقف كمية البروتين التي يحتاجها الإنسان في وجبته على عدة عوامل، منها العمر والحجم والجنس والحالة الصحية، بالإضافة إلى العديد من العوامل الأخرى. ويشكل عام تتحدد احتياجات الفرد الكلية من البروتين بناء على:

(أ) كمية البروتينات اللازمة لتعويض البروتينات التي فقدت في البول والبراز والجلد ونمو الأظافر والشعر.

(ب) كمية البروتينات اللازمة لنمو أنسجة الجسم وصيانتها.

أصدرت هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي (١٩٨٩م) Food and Nutrition Board of the National Research Council ما يسمى بالمقررات الغذائية المقترحة (RDA) Recommended Dietary Allowances للعناصر الغذائية المختلفة. حيث أوصت لجنة الـ RDA بأن مقررات البروتين المقترحة (البروتين المرتفع الجودة، PER تساوي ٧٠ أو أكثر) للشخص البالغ السليم هي ٨, ٠ جرام يومياً لكل كيلوجرام من وزن الجسم. فعلى سبيل المثال فإن الرجل الذي يزن ٧٠ كيلوجراماً يحتاج في اليوم إلى ٥٦ جراماً بروتين (٠, ٨٨٧٠) مرتفع القيمة الحيوية، وتؤمن هذه الكمية من البروتين احتياجات الجسم اللازمة للنمو وإصلاح الأنسجة التالفة، بالإضافة إلى أنها تعوض عن البروتين المفقود في البول والعرق والبراز. وتزداد مقررات البروتين المقترحة (RDA) للأطفال والحوامل والمرضعات عما ذكر أعلاه، وذلك لتأمين احتياجات النمو وتكوين الأجنة وإفراز الحليب وصيانة أنسجة الجسم التالفة. فمثلاً يوصى بأن تكون كمية البروتين اليومية في غذاء الرضع infants خلال الستة شهور الأولى من العمر حوالي ٢, ٢ جرام لكل كيلوجرام من وزن الجسم، وتقل هذه الكمية إلى حوالي ١, ٦ جرام خلال الستة شهور التالية (RDA, 1989). أما بالنسبة للمرأة

الحامل فإنه يوصى بكمية إضافية مقدارها ١,٣ جرام يومياً زيادة عن المقررات الغذائية المقترحة RDA خلال الثلاثة شهور الأولى و ٦,١ جرام يومياً خلال الثلاثة شهور التالية و ١٠,٧ جرام يومياً خلال الثلاثة شهور الأخيرة (RDA, 1989). أما بالنسبة للمرضع فيوصى بزيادة كمية البروتين المتناولة يومياً بمقدار ١٤,٧ جرام و ١١,٨ جرام خلال الستة شهور الأولى والستة شهور التالية على التوالي. كما يوصى بأن يكون ثلث إلى نصف البروتين في الوجبة الغذائية من مصادر حيوانية (RDA, 1989) وتزداد هذه الكمية إلى ثلثين في حالة الحمل والرضاعة وذلك لضمان حصول الجسم على جميع الأحماض الأمينية اللازمة للنمو خلال هذه الفترة. ويبين الجدول (٦,١) المقررات الغذائية المقترحة من البروتين المرجعي reference protein وبروتين الوجبة الغذائية.

جدول (٦,١). المقررات الغذائية الموصى بها من البروتين المرجعي reference protein وبروتين الوجبة الغذائية الأمريكية.

الفئة	العمر (بالسنة)	الوزن (كجم)	المقررات المشتقة من البروتين المرجعي		المقررات الموصى بها (RDA)	
			(جرام/كجم)	(جم/يوم)	(جم/كجم)	(جم/يوم)
الذكور	٠,٥-١	٦	٢,٢	٢,٢	١٣	٢,٢
	١-٠,٥	٩	١,٥٦	١,٦	١٤	١,٦
	٣-١	١٣	١,١٤	١,٢	١٦	١,٢
	٦-٤	٢٠	١,٠٣	١,١	٢٤	١,١
	١٠-٧	٢٨	١,٠٠	١,٠	٢٨	١,٠
	١٤-١١	٤٥	٠,٩٨	١,٠	٤٥	١,٠
	١٨-١٥	٦٦	٠,٨٦	٠,٩	٥٩	٠,٩
الإناث	٢٤-١٩	٧٢	٠,٧٥	٠,٨	٥٨	٠,٨
	٥٠-٢٥	٧٩	٠,٧٥	٠,٨	٦٣	٠,٨
	٥١+	٧٧	٠,٧٥	٠,٨	٦٣	٠,٨
	١٤-١١	٤٦	٠,٩٤	١,٠	٤٦	١,٠
	١٨-١٥	٥٥	٠,٨١	٠,٨	٤٤	٠,٨
	٢٤-١٩	٥٨	٠,٧٥	٠,٨	٤٦	٠,٨
	٥٠-٢٥	٦٣	٠,٧٥	٠,٨	٥١	٠,٨
٥١+	٦٥	٠,٧٥	٠,٨	٥٥	٠,٨	
الحامل	الثلاثة شهور الأولى			١,٣+	١٠+	
	الثلاثة شهور الثانية			٦,١+	١٠+	
المرضع	الثلاثة شهور الأخيرة			١٠,٧+	١٠+	
	الستة شهور الأولى			١٤,٧+	١٥+	
	الستة شهور التالية			١١,٨+	١٢+	

كذلك أصدرت منظمتا الأغذية والزراعة والصحة العالمية (FAO/WHO) معاييرها الخاصة بالنسبة لاحتياجات البروتين وغيره من العناصر الغذائية الأخرى. ونظراً لأن احتياج الفرد للبروتين يعتمد على جودة البروتين (القيمة الحيوية للبروتين)، لهذا فإن الـ FAO/WHO حددت الاحتياجات من البروتين استناداً على بروتين البيض والحليب، كما أصدرت توصيات بالنسبة للبروتينات المنخفضة الجودة. ولقد أوصت الـ FAO/WHO بأن تكون مقررات البروتين اليومية هي ٥٢,٥ جرام لكل كيلوجرام من وزن الجسم للرجل البالغ. وتعادل الاحتياجات حسب القيمة الحيوية للبروتين، أي كلما قلت القيمة الحيوية للبروتين، زادت الكمية اللازم تناولها.

(٦,٦) مصادر البروتينات الغذائية Dietary Sources of Proteins

تتوافر البروتينات بنسب متفاوتة في مجموعة واسعة من الأغذية الحيوانية والنباتية. إلا أن البروتينات الحيوانية تتميز بأنها تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية (عالية القيمة الحيوية)، في حين أن البروتينات النباتية ينقصها واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية (منخفضة القيمة الحيوية). لهذا تقسم مصادر البروتينات الغذائية بشكل رئيسي إلى قسمين هما:

١ - مصادر حيوانية

وتشمل اللحوم الحمراء والدواجن والأسماك والبيض والكبد والأجبان والحليب.

٢ - مصادر نباتية

وتشمل المكسرات (فول سوداني وكاشيو)، والبقوليات (فاصوليا وبازلاء جافة وعدس)، والحبوب (الأرز والقمح والمكرونه). أما الخضروات والفواكه فهي مصادر فقيرة في محتواها من البروتين. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الخبز يحتوي على نسبة متوسطة من البروتين، إلا أن تناول كميات كبيرة منه يومياً يؤمن للجسم كميات معتدلة (لا بأس بها) من البروتين.

وتجدر الإشارة إلى أن العلماء قد تمكنوا حديثاً من إيجاد مصادر بروتين جديدة (غير تقليدية) مثل بروتينات الخلية الواحدة (SCP) single cell proteins (تنتج من نمو

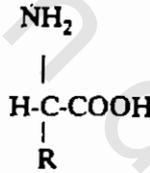
البكتريا والخمائر والطحالب والفطريات على مخلفات الصناعات البترولية)، وبروتينات النباتات المحسنة وراثياً genetic manipulated plant proteins (مثالها سلالات جديدة من القمح والشعير والذرة 2 opaque ، والتي تتميز بمحتواها المرتفع من الليسين والترتوفان مقارنة بالأصناف العادية) وبروتينات البذور الزيتية (مثالها بذور المكسرات والخردل وعباد الشمس والقطن ويقتصر استعمالها للحيوانات بعد استخلاص الزيت منها)، ومركبات بروتين الأسماك (ومثالها دقيق السمك الغني بالبروتين الذي أنتجته السويد واليابان)، وبروتين شرش الحليب (السائل المتبقي من صناعة الجبن)، وبروتينات أوراق الأشجار وبعض الأعشاب البحرية والطحالب. يوضح الجدول (٦، ٢) محتوى بعض الأغذية من البروتين.

جدول (٦، ٢) . محتوى بعض الأغذية من البروتين.

كمية البروتين (جرام)	مقدار وحدة التقديم الواحدة (الوحدة Serving)	نسبة البروتين (جرام/١٠٠ جرام)	الأغذية
٢٦	٣ أوقية (٩٠ جراماً)	٢٩	لحم البقر - صافي
٢٥	٣ أوقية (٩٠ جراماً)	٢٨	لحم الغنم - صافي
٢٨	٣ أوقية (٩٠ جراماً)	٣١	لحم الدجاج - صافي
٢١,٥	٣ أوقية (٩٠ جراماً)	٢٤	لحم سمك الحروق broiled
٢٥,٥	٣ أوقية (٩٠ جراماً)	٢٨,٥	تونة مطهية
٦	١ حبة متوسطة (٥٠ جراماً)	١٢	بيض
٧	نصف كوب (٩٠ جراماً)	٧,٨	فاصوليا جافة مطهية
٤	نصف كوب (٨٠ جراماً)	٥	بازلاء خضراء
٧,٥	٢ ملعقة مائدة (٣٠ جراماً)	٢٥	زبدة الفول السوداني
٨	نصف كوب (١٠٠ جرام)	٨	بازلاء جافة مطبوخة
٨	نصف كوب (١٠٠ جرام)	٨	عدس مطهي
٢,١	١ شريحة أوريغ رغيف (٢٥ جراماً)	٨,٥	خبز أسمر
٢,٣	١ شريحة أوريغ رغيف (٢٥ جراماً)	٩,٢	خبز أبيض
٣	نصف كوب قمح (٣٠ جراماً)	١٠	سيريل الإفطار - جاف
٤	نصف كوب (١٠٥ جرامات)	٣,٨	أرز
٢	نصف كوب (١٢٠ جراماً)	١,٧	سيريل الإفطار مطهي - قمح
٢	نصف كوب (٧٠ جراماً)	٢,٩	مكرونة وسباقي مطهية
٩	١ كوب (٢٤٥ مل)	٣,٧	حليب كامل الدسم
٦	ربع كوب (١٨ جراماً)	٣٣,٣	حليب بودرة خال من الدسم
٤	١ أوقية (٣٠ جراماً)	١٤	جبنه كوتاج cottage
٧	١ أوقية (٣٠ جراماً)	٢٣,٥	جبنه شدر cheddar
٤	١ أوقية (٣٠ جراماً)	١٣,٨	جبنه دمياطي

(٦،٧) الأحماض الأمينية Amino Acids

تشكل الأحماض الأمينية الوحدات البنائية الأساسية في بروتينات الجسم (٥٠ - ١٥٠٠٠٠ حمض أميني)، ويقدر عددها بحوالي ٢٢ حمضاً أمينياً، بالإضافة إلى وجود أحماض أمينية أخرى مثل أورنيثين ornithine وستروليلين citrulline اللذين يدخلان في دورة اليوريا ولا يوجدان في تركيب البروتين. وتختلف البروتينات عن بعضها البعض من حيث النوعية والقيمة الغذائية وذلك باختلاف أنواع الأحماض الأمينية وكمياتها التي تحتويها هذه البروتينات. والأحماض الأمينية عبارة عن بلورات بيضاء ذات طعم حلو (جليسين، ألانين وسبرين) أو مرّ (أرجنين) أو عديمة الطعم (تربتوفان، ليوسين). وتشتق معظم الأحماض الأمينية نتيجة التحلل المائي للبروتينات بمساعدة الإنزيمات. ولقد وجد أن جميع الأحماض الأمينية الناتجة من التحلل المائي لبروتينات الغذاء الطبيعية توجد في الوضع ألفا alpha-amino acids ، أي أن مجموعة الأمين مجاورة لمجموعة الكربوكسيل، كما هو موضح في الشكل التالي:



ألفا - حمض أميني

وتتميز جميع الأحماض الأمينية باستثناء الجلايسين بأنها فعالة ضوئياً optically active ، أي أن لكل واحد منها متماثلين ضوئيين. وتجدر الإشارة إلى أن جميع الأحماض الأمينية من المصادر البروتينية الطبيعية توجد على صورة المتماثل - ل L-isomer ، أي أن مجموعة الأمين على يسار جزيء الحمض الأميني، وهذا المتماثل يستفيد منه الجسم بمعدل أكبر من المتماثل - د D-isomer . إلا أن الجسم يستطيع الاستفادة من المتماثل د عندما يحوله إلى النوع - ل كما في حالة الميثيونين. ويتعادل تأثير الشقين الحامضي والقاعدي في البروتين عند درجة pH معينة تعرف باسم نقطة التعادل الكهربائي isoelectric point ، والتي عندها يترسب البروتين بإضافة محلول ملحي أو كحول.

(٦, ٧, ١) تقسيم الأحماض الأمينية Classification of amino acids

تقسم الأحماض الأمينية عادة إما تبعاً لتركيبها الكيميائي أو تبعاً لأهميتها الغذائية

لجسم الإنسان :

أولاً : تقسيم الأحماض الأمينية تبعاً لتركيبها الكيميائي

١ - الأحماض الأمينية المستقيمة (الأليفاتية) **Aliphatic amino acids** : وهي

أحماض متعادلة تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة ومجموعة أمين واحدة، ومثالها الجليسين (Gly) glycine والالانين (Ala) alanine والليوسين (Leu) leucine والايزوليوسين (Ile) isoleucine والفالين (Val) valine والثريونين (Thr) threonine والسيرين (Ser) serin .

٢ - الأحماض الأمينية الحامضية **Acidic amino acids** : وهي تحتوي على

مجموعتي كربوكسيل ومجموعة أمين واحدة، ومثالها حمض الأسبرتيك (ASP) aspartic acid والجلوتاميك (Glu) glutamic acid . كما يصنف ضمن الأحماض الأمينية الحامضية كل من حمض الأسبارجين (Asn) asparagine وحمض الجلوتامين (Glu) glutamine ، إلا أنها يحتويان على مجموعة هيدروكسيل واحدة ومجموعة أميد amide group في نهاية السلسلة الجانبية بدلاً من مجموعة الكربوكسيل الثانية .

٣ - الأحماض القاعدية **Basic amino acids** : تحتوي على مجموعة كربوكسيل

واحدة ومجموعتي أمين، ومثالها الأرجنين (Arg) arginine واللايسين (Lys) lysine وهيدروكسي لايسين (Hylys) hydroxylysine .

٤ - الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت **Sulphur containing amino acid** :

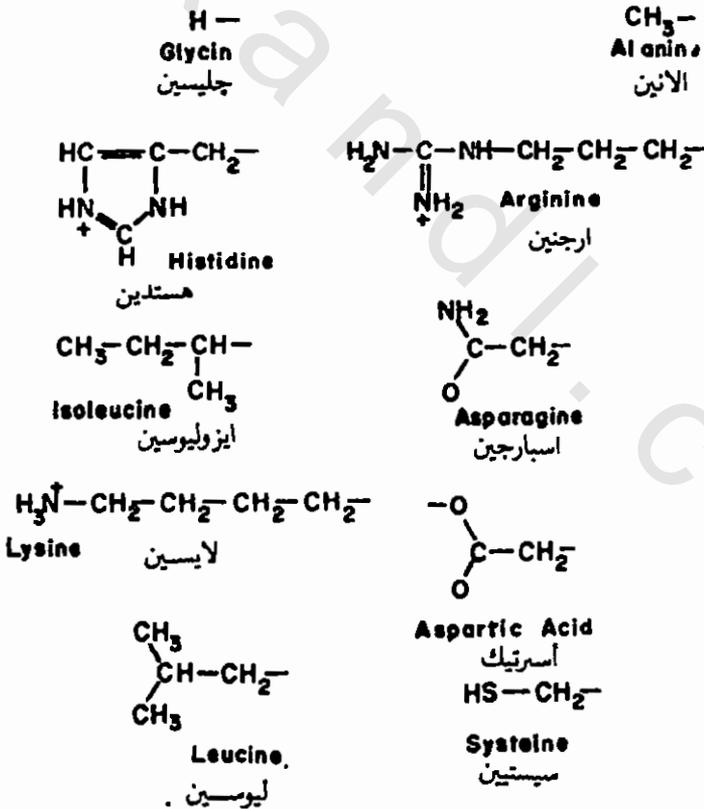
تحتوي سلاسلها الجانبية على عنصر الكبريت، ومثالها السيستين (Cys) cysteine والميثيونين (Cys-Cys) cystine والسيستين .

٥ - الأحماض الأمينية العطرية **Aromatic amino acids** : وهي أحماض متعادلة

تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة ومجموعة أمين واحدة، بالإضافة إلى سلسلة جانبية عطرية ومثالها الفينيل ألانين (Phe) phenylalanine التيروسين tyrosin (Tyr).

٦ - الأحماض الأمينية الحلقية المختلفة (غير المتجانسة): وهي أحماض أمينية متعادلة تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة ومجموعة أمين واحدة، ومثالها البرولين (Pro) proline والهيدروكسي برولين (Hyp) hydroxyproline والتريبتوفان (Trp) والهستيدين (His) histidine وهذا الأخير يميل قليلاً إلى القاعدية. ويتضمن الجدول (٦،٣) السلاسل الجانبية في الأحماض الأمينية.

جدول (٦،٣) . السلاسل الجانبية (R groups) في الأحماض الأمينية.

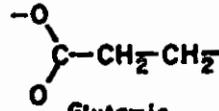


تابع جدول (٦،٣).



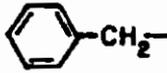
Methionine

مثنونين



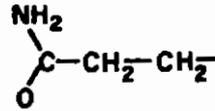
Glutamic

جلوتاميك



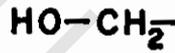
Phenylalanine

فيل ألانين



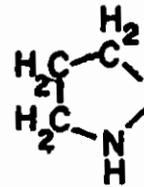
Glut

جلوتامين



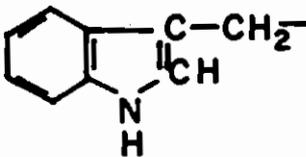
Serine

سيرين



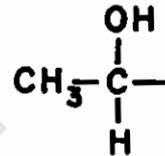
Proline

برولين



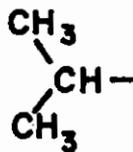
Tryptophan

تربتوفان



Threonine

ثريونين



Valine

فالين



Tyrosine

تيروسين

ثانياً: تقسيم الأحماض الأمينية تبعاً لأهميتها الغذائية لجسم الإنسان

١ - الأحماض الأمينية الأساسية (EAA) Essential amino acids : وهي

الأحماض الأمينية التي لا يستطيع جسم الإنسان تصنيعها بكميات تكفي لنمو الجسم وإصلاح الأنسجة التالفة وغيرها، لهذا يلزم وجودها في الوجبة الغذائية التي يتناولها الإنسان بالكميات المناسبة. وبلغ عدد الأحماض الأمينية الأساسية تسعة فقط وهي :

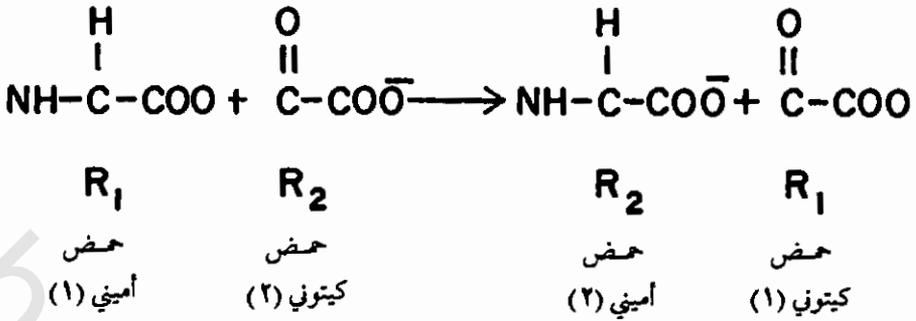
اللايسين lysine ، الليوسين leucine ، الأيزوليوسين isoleucine ، الهستيدين histidine ، الميثيونين methionine ، التربتوفان tryptophan ، الفينيل ألانين phenylalanine ، الفالين valine ، الثريونين threonine.

ويعتبر الحمض الأميني هستدين أساسياً فقط للأطفال الرضع infants ، في حين أن الأحماض الأمينية الثمانية الأخرى تعتبر أساسية للأشخاص البالغين. تشير بعض المراجع إلى أن حمض الأرجنين arginine يعد من الأحماض الأمينية الأساسية للأطفال، نظراً لأن الكمية الناتجة من خلال دورة اليوريا تكون غير كافية لتأمين حاجة الطفل أثناء النمو، بينما تؤمن حاجة الشخص البالغ.

٢ - الأحماض الأمينية غير الأساسية (NEAA) Non-essential amino acids :

وهي الأحماض الأمينية التي يستطيع جسم الإنسان تصنيعها بكميات كافية لتأمين احتياجاته منها.

ويتم تصنيع الأحماض الأمينية غير الأساسية من النواتج الوسطية لأيض الكربوهيدرات والدهون وبعض البروتينات، والتي تعتبر مصادر للهيكل الكربونية (الأحماض الكيتونية Kitoacids) ويسمى تصنيع الأحماض الأمينية غير الأساسية بعملية تبادل المجاميع الأمينية transamination ، أي نقل مجموعة الأمين من حمض أميني (وقد يكون مصدرها الأمونيا) إلى حمض كيتوني بمساعدة إنزيم الترانس أميناز transaminase الذي يحتوي على فيتامين ب ٦ النشط كقرين إنزيم pyridoxal).
ومما تجدر الإشارة إليه أن الجسم يستطيع فقط تكوين الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية غير الأساسية، لكنه لا يستطيع تكوين الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية الأساسية.



ولقد أشارت الدراسات إلى أن جميع الأحماض الأمينية الأساسية لها القدرة على تبادل مجاميعها الأمينية amino group مع هياكلها الكربونية transamination فيما عدا حمض الليسين والثريونين، لهذا يعتبر هذان الحمضان من أهم الأحماض الأمينية التي يجب توافرها في الوجبة الغذائية.

ولقد وجد أن تصنيع البروتين الجديد اللازم للنمو أو إصلاح الأنسجة التالفة يستلزم توافر كل من الأحماض الأمينية الأساسية وغير الأساسية وبالكميات المناسبة في مواقع تصنيع البروتين، حيث إن نقص أو غياب أي منهما يعوق عملية تصنيع البروتين، ويدل ذلك بوضوح على مدى أهمية كلا النوعين من الأحماض الأمينية في عملية تصنيع البروتين.

وتقدر نسبة الأحماض الأمينية غير الأساسية في بروتينات الجسم بحوالي ٤٠٪.

(٦، ٧، ٢) **Daily requirements of amino acids** احتياجات الأحماض الأمينية اليومية
يبين الجدول (٦، ٤) تقديرات الأحماض الأمينية التي يحتاجها جسم الإنسان في اليوم. ويتضح من هذا الجدول أن حاجة الأطفال للأحماض الأمينية أكبر من حاجة الأشخاص البالغين، بالإضافة إلى أن الأطفال الرضع يحتاجون إلى المستدين كحمض أميني أساسي، نظراً لأن أجسامهم لا تستطيع تصنيعه بالكميات اللازمة للنمو.

جدول (٤، ٦). تقديرات الأحماض الأمينية التي يحتاجها الجسم.

الاحتياجات، ملليجرام/ كيلوجرام/ يوم				الأحماض الأمينية
الأطفال العمر ١٠-١٢ سنة	الأطفال العمر ٢ سنة	الرضع العمر ٣-٤ شهور	البالغون	
١٢-٨		٢٨		هستيدين histidine
١٠	٢٨	٣١	٧٠	إيزوليوسين isoleucine
١٤	٤٢	٧٣	١٦١	ليوسين leucine
١٢	٤٤	٦٤	١٠٣	ليسين lysine
١٣	٢٢	٢٧	٥٨	ميثونين سستين Me + Cys
١٤	٢٢	٦٩	١٢٥	فنييل ألانين + تيروسين Phe + Tyr
٧	٢٨	٣٧	٨٧	ثريونين threonine
٣,٥	٣,٣	١٢,٥	١٧	تريبتوفان tryptophan
١٠	٢٥	٣٨	٩٣	فالين valine
٨٤	٢١٤	٣٥٢	٧١٤	المجموع فيما عدا الهستيدين

المصدر : Food and Nutrition Board (1989), p. 57.

(٦,٧,٣) مجمع (بركة) الأحماض الأمينية Pool of amino acids

يعبر عن كمية الأحماض الأمينية الحرة (الأساسية وغير الأساسية) الموجودة في الدورة الدموية وسوائل الأمعاء intestinal fluid بمجمع الأحماض الأمينية. وتستخدم هذه الأحماض لتصنيع بروتينات جديدة في الجسم وإنتاج الطاقة وتكوين مركبات أخرى غير بروتينية وغيرها. وهناك مصدران لمجمع الأحماض الأمينية في الجسم هما: (١) الأحماض الأمينية الناتجة من أيض بروتينات الغذاء، (٢) الأحماض الأمينية الناتجة من تهدم catabolism أنسجة البروتين في الجسم. وتوجد عدة عوامل تنظم مجمع الأحماض الأمينية في الجسم، فمثلاً يسبب إعطاء الإنسولين insulin انخفاضاً في مستوى الأحماض الأمينية في البلازما، في حين يسبب هرمون الجلوكوكورتيكويد الكظري adrenal glucocorticoids (يفرزه لحاء الغدة الكظرية حيث يؤثر على أيض الجلوكوز) ارتفاعه.

(٦, ٨) تجدد البروتين (Protein Turnover)

يكون بروتين الأنسجة في حالة تغير مستمر، وهي ليست بنياناً ثابتاً كما كان سائداً في المفاهيم القديمة. بمعنى أن بروتينات الجسم تكون في حالة اتزان ديناميكي dynamic equilibrium من حيث تهدم البروتينات القديمة وبناء بروتينات جديدة، وهذا ما يعرف باسم تجدد البروتين protein turnover. ويختلف معدل تجدد البروتين باختلاف الأنسجة في الجسم، فمثلاً يتجدد ألبومين السرم serum albumin بمعدل ١٠ جرامات يومياً والفيبرينوجين بمعدل جرامين يومياً. كذلك فقد أشارت الدراسات بأن خلايا الكبد hepatocytes تعيش طويلاً، لكن تتجدد نصف كمية البروتين في هذه الخلايا كل ٤ أيام أو أقل، كما أن الغشاء المخاطي للأمعاء intestinal mucosa يتجدد كل يومين، وأن كرات الدم الحمراء red blood cells تتجدد كل ١٢٠ يوماً، في حين يتجدد نسيج الجلد والعضلات والدماغ والكولاجين collagen ونخاع العظام bone matrix ببطء شديد. وتقدر كمية البروتين التي تتجدد يومياً (تبنى) في الجسم بحوالي ٢٤٠ جراماً، وتزيد هذه الكمية عن كمية البروتين المتناولة يومياً مع الغذاء. لذلك يحصل الجسم على بقية البروتينات التي يحتاجها لعمليات التجديد من الأحماض الأمينية الداخلية endogenous amino acids الناتجة من تهدم أنسجة البروتين في الجسم وكذلك من تصنيع الأحماض الأمينية غير الأساسية. أي أن الأحماض الأمينية الناتجة من تناول الغذاء تضاف إلى الأحماض الأمينية الناتجة من تهدم أنسجة البروتين في الجسم لإحداث اتزان يؤمن احتياجات الجسم من الأحماض الأمينية.

(٦, ٩) جودة البروتين Protein Quality

تتحدد جودة البروتين تبعاً لما يحتويه من الأحماض الأمينية الأساسية essential amino acids الضرورية لإحداث النمو وإصلاح الأنسجة التالفة في الجسم، لهذا قسمت البروتينات الغذائية تبعاً لما تحتويه من الأحماض الأمينية إلى التالي:

١ - بروتينات مرتفعة الجودة High quality proteins

وهي عبارة عن بروتينات تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية التي يحتاجها الجسم من أجل النمو والإصلاح، وتسمى أحياناً بروتينات مرتفعة الحيوية

high biological value proteins ، ومثالها بروتينات البيض والحليب واللحم والسمك والدواجن .

٢ - بروتينات منخفضة الجودة Low quality proteins

وهي عبارة عن بروتينات ينقصها واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية التي يحتاجها الجسم أو تكون كميتها غير كافية لتأمين احتياجات الجسم منها، لهذا تكون غير قادرة على إحداث النمو عندما تكون المصدر الوحيد للبروتين في الغذاء وتسمى كذلك بروتينات منخفضة القيمة الغذائية، ومثالها بروتينات البقوليات والمكسرات والحبوب (جلالدين القمح wheat gliadin وهوردين الشعير barley hordein) . ولقد أشارت الدراسات التي أجريت على الحيوانات إلى أن التغذية على جلالدين القمح لا تحدث نمواً بالمقارنة بالبروتينات الأخرى مما يؤدي إلى انخفاض في وزن الحيوان. كما أن إضافة الحمض الأميني الحدي (الناقص) الأول first limiting amino acid إلى البروتين المنخفض القيمة الحيوية يؤدي إلى رفع جودته وتحسينها، فمثلاً إضافة اللايسين lysine إلى جلالدين القمح والترتوفان tryptophane إلى زايين الذرة corn zein يؤدي إلى زيادة في وزن الفئران التي تغذت على هذه البروتينات. كما تجدر الإشارة إلى أن هناك بعض البروتينات التي تعمل على إصلاح الأنسجة التالفة، إلا أنه لا يمكنها إحداث نمو في جسم الحيوان إذا كانت المصدر الوحيد للبروتين في الغذاء. وبشكل عام فإن قياس جودة البروتين تعتمد جزئياً على ما إذا كان البروتين يمد الجسم بجميع الأحماض الأمينية الأساسية، وبصفة خاصة على كمية هذه الأحماض الأمينية.

ويعتبر بروتين البيض egg protein من البروتينات ذات الجودة الممتازة (B.V=100) ، لهذا يستخدم كبروتين قياسي (مثالي أو مرجعي) reference protein من قبل منظمة الأغذية والزراعة FAO لقياس جودة البروتينات الأخرى. وتوجد طرق متعددة لتقدير جودة البروتينات، وجميع هذه الطرق تعتمد على قياس مدى إمكانية البروتين في تزويد الجسم بالأحماض الأمينية الأساسية اللازمة للنمو وإصلاح الأنسجة التالفة. وتمثل طرق تقويم جودة البروتين في الطرق الكيميائية chemical methods والطرق الحيوية biological methods ، وفيما يلي شرح موجز لهما:

أولاً : الطرق الكيميائية

تعتمد هذه الطرق على التحليل الكيميائي للأحماض الأمينية كخطوة سابقة للتحليل البيولوجي ، ويتميز بأنها سهلة وتجري في المختبر دون الحاجة إلى استعمال الحيوانات ومن الأمثلة على هذه الطرق ما يلي :

١ - الدرجة الكيميائية (CS) Chemical score

تحسب الدرجة الكيميائية للبروتين ، والتي تسمى أحياناً درجة الحمض الأميني amino acid score عن طريق مقارنة تركيب الأحماض الأمينية في البروتين المختبر مع تركيب الأحماض الأمينية في البروتين القياسي reference protein . ولقد عرفت هذه الطريقة في عام ١٩٤٦م من قبل العالم Mitchell و Block ، ومازالت تستخدم في معظم الأبحاث لتقويم جودة البروتينات في الخلطات الغذائية ومصادر البروتين الغذائية الجديدة . يوجد حالياً عدة بروتينات ذات درجة جودة مرتفعة ، وتستخدم كبروتينات قياسية لتقدير الدرجة الكيميائية مثل بروتين البيض والحليب أو خليط من البروتينات التي اعتمدها منظمتا الأغذية والزراعة والصحة العالمية FAO/WHO ، ويتضمن الجدول (٦,٥) محتوى الأحماض الأمينية في نموذج البروتين المرجعي المصمم من قبل منظمتي الأغذية والزراعة والصحة العالمية (١٩٧٣م) ، وكذلك بروتينات مرجعية أخرى (مليجرام حمض أميني / جرام بروتين) .

$$\text{الدرجة الكيميائية} = \frac{\text{كمية الحمض الأميني في البروتين المختبر (مليجرام / جرام بروتين)}}{\text{كمية الحمض الأميني نفسه في البروتين القياسي (مليجرام / جرام بروتين)}} \times 100$$

وتقدر الدرجة الكيميائية عادة للأحماض الأمينية الأساسية essential التسعة في البروتين المراد اختباره ، وأقل درجة تمثل الحمض الأميني الحدي الأول في هذا البروتين first limiting amino acid ، وبالطريقة نفسها يمكن تحديد الحمض الأميني الحدي الثاني . ويمكن أن يعكس الحمض الأميني الحدي إلى حد ما درجة جودة البروتين لأنه هو الذي يتحكم في توازن الأحماض الأمينية الأساسية في البروتين ، وبالتالي في ملاءمتها وفعاليتها في

جدول (٦,٥) . محتوى الأحماض الأمينية في نموذج البروتين المرجعي (القياسي) المقترح من قبل منظمتي الأغذية والزراعة والصحة العالمية (١٩٧٣) وفي بروتينات مرجعية أخرى (مليجرام حمض أميني / جرام بروتين).

حليب البقر	حليب الأم	البيض	نموذج البروتين المرجعي FAO/WHO (١٩٧٣)	الأحماض الأمينية الأساسية
٢٧	٢٦	٢٢	•	هستيدين histidine
٧٨	٦٦	٧٠	٥٥	اللايسين lysine
٩٥	٩٣	٨٦	٧٠	الليوسين leucine
٤٧	٤٦	٥٤	٤٠	إيزوليوسين isoleucine
٣٣	٤٢	٥٧	٣٥	ميثيونين، وسستين Met + Cys
١٠٢	٧٢	٩٣	٦٠	فينيل ألانين وتيروسين Phe + Tyr
٤٤	٤٣	٤٧	٤٠	الثريونين threonine
١٤	١٧	١٧	١٠	التريبتوفان tryptophan
٦٤	٥٥	٦٦	٥٠	الفالين valine
٥٠٤	٤٦٠	٥١٢	٣٦٠	المجموع

• لم يحدد بالنسبة للأطفال

المصدر : Anderson et al. (1982).

عمليات النمو والإصلاح . وعندما يقال إن الدرجة الكيميائية للبروتين تساوي ٧٠ فإن ذلك يعني أن هذا البروتين يحتوي على حمض أميني حدي، وهذا الحمض يوجد بنسبة ٧٠٪ من الكمية الموجودة في البروتين القياسي reference protein .

٢ - طريقة كاربتنور (طريقة الاتحاد بالصبغة) Carpenter's method or dye-binding method

وفي هذه الطريقة تتفاعل الصبغة مع حمض أميني محدد حيث تتكون رابطة كيميائية توصل بينهما، وبمعرفة كمية الصبغة المتفاعلة والمتبقية يمكن حساب كمية الحمض

الأميني . وتعتبر هذه الطريقة محدودة الاستعمال بالمقارنة بطريقة الدرجة الكيميائية التي تستعمل على نطاق واسع في معظم الدراسات والبحوث العلمية ذات الصلة بجودة البروتين .

ثانياً : الطرق الحيوية Biological methods

يمكن حصر الطرق الحيوية المستخدمة لتقدير جودة البروتين في الآتي :

١ - معامل الهضم Digestibility coefficient (DC)

تختلف قدرة الجسم على هضم البروتينات باختلاف أنواعها، فمثلاً تقدر نسبة هضم البروتينات الحيوانية بحوالي ٩٠٪ ، في حين تقدر نسبة هضم البروتينات النباتية مثل البقوليات بحوالي ٨٠٪ . والهضم يعني كمية البروتين التي امتصها جسم الإنسان من الكمية التي تناولها في غذائه، ويمكن حساب كل من معامل الهضم الظاهري ap -parent digestibility coefficient للبروتين ومعامل الهضم الحقيقي $true$ digestibility coefficient له كما يلي :

$$\text{معامل الهضم الظاهري} = \frac{\text{النيتروجين المتبادل في الغذاء} - \text{النيتروجين الخارج في البراز}}{\text{النيتروجين المتناول في الغذاء}} \times 100$$

$$\text{معامل الهضم الحقيقي} = \frac{\text{النيتروجين في الغذاء} - (\text{النيتروجين الخارج في البراز} - \text{نيتروجين البراز الأبيض})}{\text{النيتروجين المتناول في الغذاء}} \times 100$$

ونيتروجين البراز الأبيض $metabolic$ fecal nitrogen يعني كمية النيتروجين الموجودة في براز الحيوانات (الفرسان) التي تناولت غذاء خالياً من البروتين $nitrogen$ -free diet . لهذا فإن مصدر نيتروجين البراز الأبيض هو تهدم الخلايا المبطنة للجهاز الهضمي وتلف الإنزيمات وكذلك بقايا العصارات الهضمية الأخرى المحتوية على النيتروجين .

٢ - القيمة الحيوية Biological value (BV)

تعرف القيمة الحيوية للبروتين بأنها كمية البروتين التي احتجزها الجسم من الكمية التي امتصها الجسم ، أي :

$$\text{القيمة الحيوية} = \frac{\text{النيتروجين المحتجز}}{\text{النيتروجين الممتص}} \times 100$$

تختلف القيمة الحيوية لبروتينات الأغذية المختلفة، فمثلاً القيمة الحيوية لبروتين البيض والحليب والأرز وجلوتين القمح wheat gluten والذرة corn هي ١٠٠ و ٩٣ و ٨٦ و ٤٤ و ٤٠ على التوالي. ولتقدير النيتروجين المحتجز retained nitrogen والنيتروجين الممتص فإنه لا بد من معرفة كمية النيتروجين المتناول ingested nitrogen في الغذاء، وكمية النيتروجين في البراز fecal nitrogen وكمية النيتروجين في البول uri-nary nitrogen ، وذلك باستخدام حيوانات التجارب.

النيتروجين الممتص = كمية النيتروجين في الغذاء - كمية نيتروجين البراز
النيتروجين المحتجز = كمية النيتروجين الممتص - كمية النيتروجين في البول
ولكي تقدر القيمة الحقيقية true biological value للبروتين فإنه لا بد أن يؤخذ في الاعتبار حسابات كمية النيتروجين التي تخرج مع براز وبول الحيوانات التي وضعت على غذاء خالٍ من النيتروجين nitrogen-free diet ، وهذا ما يعرف باسم نيتروجين البراز الأيضي metabolic fecal nitrogen ونيتروجين البول الداخلي endogenous urinary nitrogen . ويحتوي براز وبول الحيوانات التي وضعت على غذاء خالٍ من البروتين على نيتروجين نتيجة لحدوث تدهم للأنسجة المبطنة للقناة الهضمية، بالإضافة إلى أن هناك نيتروجيناً يكون مصدره العصارات الهاضمة (الإنزيمات) المتبقية داخل الجهاز الهضمي كما ذكر أعلاه. وتقدر القيمة الحقيقية للبروتين كالاتي:

$$\text{القيمة الحيوية} = \frac{\text{N الغذاء} - (\text{N الخارج مع البول} - \text{N البول الداخلي}) + (\text{N الخارج مع البراز} - \text{N البراز الأيضي})}{\text{N الغذاء} - (\text{N الخارج مع البراز} - \text{N البراز الأيضي})}$$

وتتميز هذه الطريقة بالدقة في وصف جودة البروتين، لكن من عيوبها أنها تحتاج إلى جهد ووقت نتيجة لاستخدام حيوانات التجارب كما أنه لا يمكن إجراؤها إلا بواسطة شخص لديه خبرة جيدة على تجارب الحيوانات.

٣ - صافي البروتين المستفاد (NPU) Net protein utilization

يعني كمية النيتروجين الصافية التي استفاد منها الجسم في عمليات النمو

والصيانة maintenance من النيتروجين الكلي المتناول في الغذاء . لهذا عندما يكون هضم البروتين داخل الجسم كاملاً فإن صافي البروتين المستفاد (NPU) يساوي القيمة الحيوية (BV) ، بينما عندما يكون هضم البروتين منخفضاً (نتيجة لوجود ألياف مثلاً) فإن صافي البروتين المستفاد يكون أقل من القيمة الحيوية . ويمكن حساب صافي البروتين المستفاد NPU كالتالي :

$$\text{صافي البروتين المستفاد} = \frac{\text{النيتروجين المحتجز} \times 100}{\text{النيتروجين المتناول في الغذاء}}$$

$$\text{صافي البروتين المستفاد} = \frac{N \text{ الغذاء} - (N \text{ الخارج مع البول} - N \text{ البول الداخلي}) + (N \text{ الخارج مع البراز} - N \text{ البراز الأبيض})}{N \text{ الغذاء}}$$

ويمكن القول إن صافي البروتين المستفاد عبارة عن محصلة القيمة الحيوية ومعامل الهضم كالآتي :

$$\text{NPU} = \frac{\text{القيمة الحيوية} \times \text{معامل الهضم}}{100}$$

وتتميز هذه الطريقة بأنها تجرى في فترة زمنية قصيرة، حيث تستلزم تغذية الحيوانات على البروتين المختبر test protein لمدة عشرة أيام، وبعد ذلك تقدير كمية النيتروجين في أنسجة هذه الحيوانات. بالإضافة إلى أنها شائعة الاستعمال في الأبحاث وتعطي نتائج دقيقة جداً.

٤ - نسبة كفاءة البروتين (PER) Protein efficiency ration

تعد من الطرق الشائعة الاستعمال لتقدير جودة البروتين وهي الطريقة الوحيدة التي تبنتها الـ AOAC . وتعرف نسبة كفاءة البروتين بأنها مقدار الزيادة في وزن الحيوان بالجرام لكل جرام بروتين يتناوله أي أن :

$$\text{نسبة كفاءة البروتين} = \frac{\text{الزيادة في وزن الحيوان بالجرامات}}{\text{عدد جرامات البروتين المستهلكة}}$$

يستخدم في هذه الطريقة حيوانات (فئران) من مستعمرة colony واحدة وجنس واحد، وتتراوح أعمارها ما بين ٢١ - ٢٨ يوماً. وتوزع الحيوانات إلى مجموعات، وتوضع

في أقفاص cages انفرادياً individually . ثم تغذى هذه الحيوانات على وجبات الاختبار test diets المحتوية على ١٠٪ بروتين و ٤٪ خليط أملاح salt mixture و ١٪ خليط فيتامينات vitamine mixture لمدة ٢٨ يوماً، كما تغذى مجموعة واحدة على وجبة تحتوي على ١٠٪ كازين casine وتستعمل كمجموعة قياسية reference group . يسجل وزن كل حيوان منفرداً، وكمية الغذاء التي يستهلكها عند بداية التجربة وعلى فترات متقطعة (١ - ٣ مرات في الأسبوع) إلى نهاية التجربة كذلك تحسب في نهاية التجربة كمية الغذاء الكلية التي استهلكها كل حيوان منفرداً، ونسبة النيتروجين فيها، ومن ذلك يمكن حساب كمية النيتروجين الكلية التي استهلكها كل حيوان أثناء التجربة. وكذلك يحسب معدل الزيادة بالجرام في وزن الحيوان، وتطبق المعادلة الموضحة أعلاه لحساب نسبة كفاءة البروتين.

تميز هذه الطريقة بأنها سهلة، لأنها لا تتطلب قتل الحيوان وتحليل الأنسجة لتقدير نسبة النيتروجين فيها كما هو الحال عند حساب الـ NPU . لكن من عيوبها أنها تجري فقط على الحيوانات المفطومة (النامية) weaning animals (عمر ٢١ - ٢٨ يوماً)، ولا يمكن تطبيقها على الحيوانات الناضجة، ولذلك فهي تأخذ في الاعتبار استعمال البروتين فقط لأغراض النمو وليس لأغراض الصيانة وإصلاح الأنسجة التالفة. بالإضافة إلى أن تكون البروتين في جسم الحيوان ليس هو السبب الوحيد لزيادة الوزن، حيث إن تكون الدهون والعظام يؤدي أيضاً إلى زيادة في الوزن. وبيّن الجدول (٦، ٦) الحمض الأميني الحدي الأول وجودة البروتين في بعض الأغذية.

(٦، ١٠) اضطراب أيض البروتين Disorder of Protein Metabolism

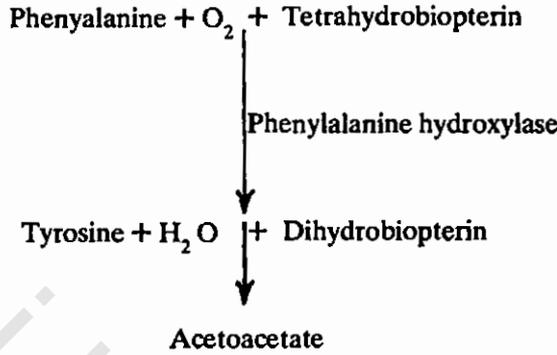
يؤدي حدوث اضطراب أو خلل في أيض البروتينات إلى إصابة الشخص بالعديد من الأمراض، أهمها مرض الفينيل كيتونيوريا phenylketonuria . وهو مرض خلقي وراثي يحدث نتيجة وجود خلل في أيض حمض الفينيل ألانين phenylalanine ، وبمعدل إصابة واحدة من كل ١٣٥٠ حالة ولادة. وسبب الخلل الأيضي في الحمض الأميني هو نقص أو عدم وجود إنزيم الفينيل ألانين هيدروكسليز phenylalanine hyd-

جدول (٦، ٦) . الحمض الأميني الحدي الأول وجودة البروتين في بعض الأغذية .

جسودة البروتين					مصدر البروتين	الحمض الأميني الحدي
معامل الامتصاص الكيميائي (D.C.)	الدرجة الكيميائية (C.S.)	القيمة الحيوية (B.V.)	نسبة كفاءة صافي الاستفادة من البروتين (PER)	البروتين (NPU)		
٩٧	١٠٠	١٠٠	٣,٩٢	٩٤	البيض الكامل	كامل
٩٧	١٠٠	-	-	٨٧	حليب الإنسان	الأحماض الأمينية الكبريتية
٩٧	٩٥	٩٣	٣,٠٩	٨٢	حليب البقر	الأحماض الأمينية الكبريتية
٩٧	٦٩	٧٤	٢,٣٠	٦٧	لحم البقر	الأحماض الأمينية الكبريتية
-	٧١	٧٦	٣,٥٥	-	السماك	الأحماض الأمينية الكبريتية
-	٤٧	٧٣	٢,٣٢	٦٥	فول الصويا	الأحماض الأمينية الكبريتية
٨٤	٦٧	٨٦	-	٥٩	الأرز المبيض	اللايسين، الثريونين
-	٨١	-	-	٥٩	بذور القطن	اللايسين
-	٤٢	٦٢	١,٧٧	٥٤	السمن	اللايسين والثريونين
-	٦٥	٥٥	١,٦٥	٥٥	الفول السوداني	الأحماض الأمينية الكبريتية
-	٤٩	٧٢	-	٥٢	الذرة maize	تربتوفان
٨٩	٤٨	٦٥	١,٥٣	٥٣	القمح الكامل	اللايسين والتربتوفان
٧٨	٣٧	٦٤	١,٥٧	٤٧	البازلاء	الميثيونين والسيسيتين
-	٦٥	-	-	٤٧	المكسرات	اللايسين
-	٦٣	-	-	٤٤	الدخن millet	-
-	٥٧	٦٥	٢,١٩	-	الشوفان oat	اللايسين والثريونين
٨٥	-	-	-	-	الفواكه	غير كامل
٧٩	-	-	-	-	سيريل القمح	اللايسين
٦٥	-	-	-	-	الخضروات	غير كامل
-	-	-	-	٦٠	بطاطس	الأحماض الأمينية الكبريتية
-	-	-	-	-	فول	الأحماض الأمينية الكبريتية

الأحماض الأمينية الحدية في مجموعات الغذاء المختلفة هي (١) مجموعة الحبوب والسيريل : اللايسين والثريونين، (٢) مجموعة البقوليات (بازلاء وفاصوليا) : السيسيتين والميثيونين، (٣) مجموعة المكسرات والبذور : اللايسين (٤) مجموعة الخضروات الورقية leafy vegetables : الميثيونين .

roxylyase في الكبد والضروري لتحويل حمض الفينيل ألانين إلى تيروسين tyrosin ومن ثم إلى أسيتواسيتات acetoacetate .



وتظهر أعراض المرض على شكل تخلف عقلي mental retardation ونقص في وزن المخ وتفتح في لون الشعر والجلد ووجود عيب في تكوين نخاع الأعصاب myelination وقصر المدة الزمنية التي يعيشها الشخص غير المعالج، حيث تتراوح بين ٢٠ - ٣٠ عامًا. ونظرًا لأن الكبد يكون غير قادر على أيض حمض الفينيل ألانين فإن ذلك يؤدي إلى تراكمه وارتفاع تركيزه في جميع سوائل الجسم خصوصًا الدم والبول. كذلك يظهر في البول عدد من الأحماض الكيتونية المشتقة من حمض الفينيل ألانين مثل هيدروكسيل فينيل أسيتات hydroxyphenylacetate وفينيل لاكتات phenyllactate وفينيل أسيتات phenylacetate وفينيل بايروفات phenylpyruvate. ويمكن علاج مرض الفينيل كيتونيوريا بإعطاء الأطفال منذ الولادة وجبات غذائية منخفضة في محتواها من حمض الفينيل ألانين، بحيث تكون كميته كافية فقط لسد عمليات النمو وتعويض التالف من أنسجة الجسم. ويجب أن تقدم هذه الوجبات خلال الأسابيع الأولى من الولادة حيث إن التأخر في تقديمها يترتب عليه ظهور أعراض تخلف عقلي دائم لا يمكن علاجه. ويمكن للمريض أن يتناول وجبات غذائية عادية في عمر ٤ - ٦ سنوات حيث يكون قد اكتمل نمو خلايا المخ.