الفصل السادس

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

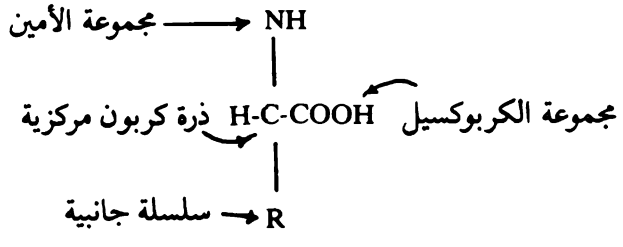
(٦,١) المقدمة Introduction

أطلق اسم بروتينات في عام ١٨٣٨م من قبل العالم مولدر Mulder على مكونات الأغذية التي تحتوي على النيتروجين. وتعد البروتينات من العناصر الغذائية المهمة جدًا 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. وتتوزع 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 ٠,٥ - ٣٪ كبريت. كما تحتوي بعض البروتينات على الحديد والنحاس والفوسفور والزنك. وتعد الصفراء bile والبول urine من مكونات الجسم الوحيدة الخالية من البروتين. ويمكن أن يكون البروتين مصدرًا 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.

(٢, ٦) التركيب الكيميائي للبروتينات
Chemical Composition of Proteins

إن البروتينات عبارة عن مركب عضوي يتكون من ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين كما في حالة الدهون والكربوهيدرات، 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 car-boxyl group متصلتان بذرة كربون مركزية وهذه تتصل بسلسلة جانبية side chain (R) وبذرة هيدروجين، كما هو موضح أدناه.



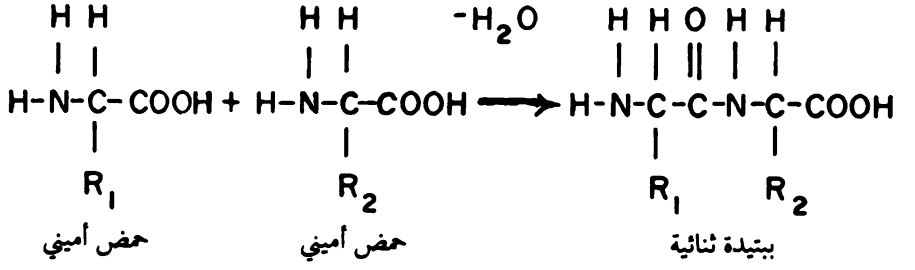
قد يحتوي البروتين على ٢٢ من الأحماض الأمينية المختلفة، وهذا الاختلاف يكون نتيجة لاختلاف السلسلة الجانبية side chain (R) المتصلة بذرة الكربون المركزية. كما أن السلسلة الجانبية قد تكون متصلة إما بسلسلة مستقيمة أو متفرعة أو حلقية أو عطرية aromatic أو heterocyclic أو مجموعة كبريت. والجدير بالذكر أن جميع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

هناك أربعة أنواع من الببتيدات (البروتينات) وهي :

١ ـ الببتيدة الثنائية Dipeptide

هي عبارة عن حمضين أمينيين متصلين ببعضهما البعض برابطة ببتيدية، حيث إن مجموعة الأمين في أحد الحمضين الأمينيين متصلة بمجموعة الكربوكسيل في الحمض الآخر مع إزاحة جزيء من الماء.

والشكل (١, ٦) يوضح تركيب الببتيدة الثنائية.



شكل (١, ٦). تركيب الببتيدة الثنائية.

٢ ـ الببتيدة الثلاثية Tripeptide

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

٣ ـ الببتيدة المتعددة Polypeptide

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

٤ ـ الببتيدة المتوسطة Oligopeptide

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

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

(٦, ٣) تقسيم البروتينات Classification of Proteins

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

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

(١) البروتينات البسيطة Simple proteins

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

١ ـ **الألبيومينات Albumines** : توجد في بلازما الدم blood plasma والبيض . وهي تذوب في الماء وتتخثر بالحرارة .

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

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

٦ ـ **البروتامينات Protamines** : توجد عادة في الخلايا متحدة مع الأحماض النووية nucleic acids ، وتذوب في الماء، وهي غنية بالحمض الأميني ارجنين argnine (٧٠ ـ ٨٠٪) .

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

(ب) البروتينات المرتبطة **Congugated proteins**

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

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

٢ ـ البروتينات السكرية **Glycoproteins** : تتكون من ارتباط البروتينات مع السكريات كالمانوز والجلوكوز والفركتوز والجالاكتوز وغيرها، ومنها الميوسين mucin .

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

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

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

٦ ـ 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 .

(جـ) البروتينات المشتقة Derived proteins

هي بروتينات ناتجة من تحلل البروتينات البسيطة والمرتبطة، ومثالها البروتيوزات proteoses والببتونات peptones والببتيدات peptides (الثنائية والمتعددة) التي تنتج من تحلل البروتينات.

ثانيًا : تقسيم البروتينات تبعًا لصفاتها الغذائية Nutritional properties

١ ـ البروتينات الكاملة Complete proteins

هي بروتينات تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية، وبكميات كافية لتـأمين احتياجات الجسم اللازمة للنمو وصيانة الأنسجة التالفة. ومن أمثلتها جميع البروتينات الحيوانية (فيما عدا الجيلاتين gelatin) مثل بروتين البيض والحليب واللحم والسمك والدواجن. كما تسمى البروتينات الكاملة أحيانًا 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 ـ البروتينات غير الكاملة Incomplete proteins

هي بروتينات ينقصها حمض أميني أساسي أو أكثر وتكون كمية الأحماض بها غير كافية لتأمين احتياجات الجسم، ومثالها البروتينات النباتية (القمح والأرز والبقوليات والبذور 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 ـ البروتينات الكاملة جزئيًا 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 جيلايدين القمح wheat gliadin .

(٦,٤) وظائف البروتينات Proteins Functions

يمكن حصر وظائف البروتينات بالنسبة لجسم الإنسان في الآتي:

١ ـ 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:

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

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

جـ) تشكل المكونات الرئيسية لنخاع العظام والأسنان bones & teeth matri 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 تتجددكل ٤ ـ 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 ـ الطاقة Energy

تعد البروتينات مصدرًا ثانويًّا 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 سابقًا فإن استخدام الجسم للبروتينات كمصدر للطاقة يكون مكلفًا وغالي الثمن مقارنة بالكربوهيدرات والدهون، بالإضافة إلى أنها مرهقة للكُليتين، وتكلف الجسم قدرًا من الطاقة لطرح نواتج أيض البروتين خارج الجسم.

٣ ـ اتزان السوائل Fluid balance

يُنظم توازن السوائل داخل الجسم وخارج خلاياه جزئيًّا 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 :

(ا) 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 دورًا مهمًّا في اتزان السوائل في الجسم. وفي حالة نقص البروتين في الجسم فإن ذلك يؤدي إلى خفض بروتين بلازما الدم (الألبيومين)، وبذلك لا يمكن سحب الماء إلى الأوعية الدموية blood vessels مما يؤدي إلى تراكمه داخل الخلايا وتصبح الأنسجة اسفنجية ومتورمة، وهذا ما يعرف باسم الإديما edema .

٤ ـ المحافظة على الرقم الهيدروجيني pH Maintenance

تعد البروتينات مهمة جدًا 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 ـ 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 تبعًا لوظائفها كالتالي:

(ا) 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 .

(جـ) 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 والاكتين actin .

(هـ) بروتينات الدم

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

(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. وبشكل عام تتحدد احتياجات الفرد الكلية من البروتين بناء على:

(ا) 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 Recommended Dietary Allowances (RDA) للعناصر الغذائية المختلفة. حيث أوصت لجنة الـ RDA بأن مقررات البروتين المقترحة (البروتين المرتفع الجودة، PER تساوي ٧٠ أو أكثر) للشخص البالغ السليم هي ٠,٨ جرام يوميًا لكل كيلوجرام من وزن الجسم. فعلى سبيل المثال فإن الرجل الذي يزن ٧٠ كيلوجرامًا يحتاج في اليوم إلى ٥٦ جرامًا بروتين (٧٠×٠,٨) مرتفع القيمة الحيوية، وتؤمن هذه الكمية من البروتين احتياجات الجسم اللازمة للنمو وإصلاح الأنسجة التالفة، بالإضافة إلى أنها تعوض عن البروتين الفاقد 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

كذلـك أصـدرت منـظمتـا الأغذية والزراعة والصحة العالمية (FAO/WHO) معـاييرها الخاصة بالنسبة لاحتياجات البروتين وغيره من العناصر الغذائية الأخرى. ونـظرًا لأن احتياج الفـرد للبروتين يعتمد على جودة quality البروتين (القيمة الحيوية للبروتـين)، لهذا فإن الـ FAO/WHO حددت الاحتياجات من البروتين استنادًا على بروتين البيض والحليب، كما أصدرت توصيات بالنسبة للبروتينات المنخفضة الجودة. ولقـد أوصت الـ FAO/WHO بأن تكون مقررات البروتين اليومية هي ٠,٥٢ جرام لكـل كيلوجـرام من وزن الجسم للرجل البالغ. وتعدل 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 الـبروتينات الحيوانية تتميز بأنها تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية (عـالية القيمـة الحيوية)، في حين أن الـبروتينات النباتية ينقصها واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية (منخفضة القيمة الحيوية). لهذا تقسم مصادر البروتينات الغذائية بشكل رئيسي إلى قسمين هما:

١ ـ مصادر حيوانية

وتشمل اللحوم الحمراء والدواجن والأسماك والبيض والكبدة والأجبان والحليب.

٢ ـ مصادر نباتية

وتشمل المكسرات (فول سوداني وكاشيو)، والبقوليات (فاصوليا وبازلاء جافة وعدس)، والحبوب (الأرز والقمح والمكرونة). 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 يوميًا يؤمن للجسم كميات معتدلة (لا بأس بها) من البروتين.

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

الحامل فإنه يوصى بكمية إضافية مقدارها ١,٣ جرام يوميًّا زيادة عن المقررات الغذائية المقترحة RDA خلال الثلاثة شهور الأولى و ٦,١ جرام يوميًّا خلال الثلاثة شهور التالية و ١٠,٧ جرام يوميًّا خلال الثلاثة شهور الأخيرة (RDA, 1989) . أما بالنسبة للمرضع فيوصى بزيادة كمية البروتين المتناولة يوميًّا 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 (جرام/كجم)	المقررات المشتقة من البروتين المرجعي (جم / يوم)	المقررات الموصى بها (RDA) (جم/كجم)	المقررات الموصى بها (RDA) (جم/ يوم)
كلا الجنسين	٠-٠,٥	٦	٢,٢		٢,٢	١٣
	٠,٥-١	٩	١,٥٦		١,٦	١٤
	١-٣	١٣	١,١٤		١,٢	١٦
	٤-٦	٢٠	١,٠٣		١,١	٢٤
	٧-١٠	٢٨	١,٠٠		١,٠	٢٨
الذكور	١١-١٤	٤٥	٠,٩٨		١,٠	٤٥
	١٥-١٨	٦٦	٠,٨٦		٠,٩	٥٩
	١٩-٢٤	٧٢	٠,٧٥		٠,٨	٥٨
	٢٥-٥٠	٧٩	٠,٧٥		٠,٨	٦٣
	٥١+	٧٧	٠,٧٥		٠,٨	٦٣
الإناث	١١-١٤	٤٦	٠,٩٤		١,٠	٤٦
	١٥-١٨	٥٥	٠,٨١		٠,٨	٤٤
	١٩-٢٤	٥٨	٠,٧٥		٠,٨	٤٦
	٢٥-٥٠	٦٣	٠,٧٥		٠,٨	٥٠
	٥١+	٦٥	٠,٧٥		٠,٨	٠٥
الحامل	الثلاثة شهور الأولى			+ ١,٣		+ ١٠
	الثلاثة شهور الثانية			+ ٦,١		+ ١٠
	الثلاثة شهور الأخيرة			+ ١٠,٧		+ ١٠
المرضع	الستة شهور الأولى			+ ١٤,٧		+ ١٥
	الستة شهور التالية			+ ١١,٨		+ ١٢

المصدر : Food and Nutrition Board (1989) p. 66.

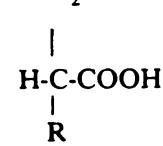
البكتريا والخمائر والطحالب والفطريات على مخلفات الصناعات البترولية)، وبروتينات النباتات المحسنة وراثيًا genetic manipulated plant proteins (مثالها سلالات جديدة من القمح والشعير والذرة opaque 2 ، والتي تتميز بمحتواها المرتفع من الليسين والتربتوفان مقارنة بالأصناف العادية) وبروتينات البذور الزيتية (مثالها بذور المكسرات والخردل وعباد الشمس والقطن ويقتصر استعمالها للحيوانات بعد استخلاص الزيت منها)، ومركزات 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 (٢ , ٦) محتوى بعض الأغذية من البروتين.

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

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

(٦,٧) الأحماض الأمينية Amino Acids

تشكل الأحماض الأمينية الوحدات البنائية الأساسية في بروتينات الجسم (٥٠ ـ ١٥٠٠٠٠ حمض أميني)، ويقدر عددها بحوالي ٢٢ حمضًا أمينيا، بالإضافة إلى وجود أحماض أمينية أخرى مثل أورنيثين ornithine وستروللين 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 بلّورات بيضاء ذات طعم حلو (جليسين، ألانين وسيرين) أو مُرّ (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 ـ حمض أميني

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

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

تقسم الأحماض الأمينية عادة إما تبعًا لتركيبها الكيميائي أو تبعًا لأهميتها الغذائية لجسم الإنسان:

أولاً : تقسيم الأحماض الأمينية تبعًا لتركيبها الكيميائي

١ ـ الأحماض الأمينية المستقيمة (الأليفاتية) Aliphatic amino acids : وهي أحماض متعادلة تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة ومجموعة أمين واحدة، ومثالها الجليسين glycin (Gly) والألانين alanine (Ala) والليوسين leucine (Leu) والايزوليوسين isoleucine (Ile) والفالين valine (Val) والثريونين threonine (Thr) والسيرين serin (Ser) .

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

٣ ـ الأحماض القاعدية Basic amino acids : تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة ومجموعتي أمين، ومثالها الأرجنين arginine (Arg) واللايسين lysine (Lys) وهيدروكسي لايسين hydroxylysine (Hylys) .

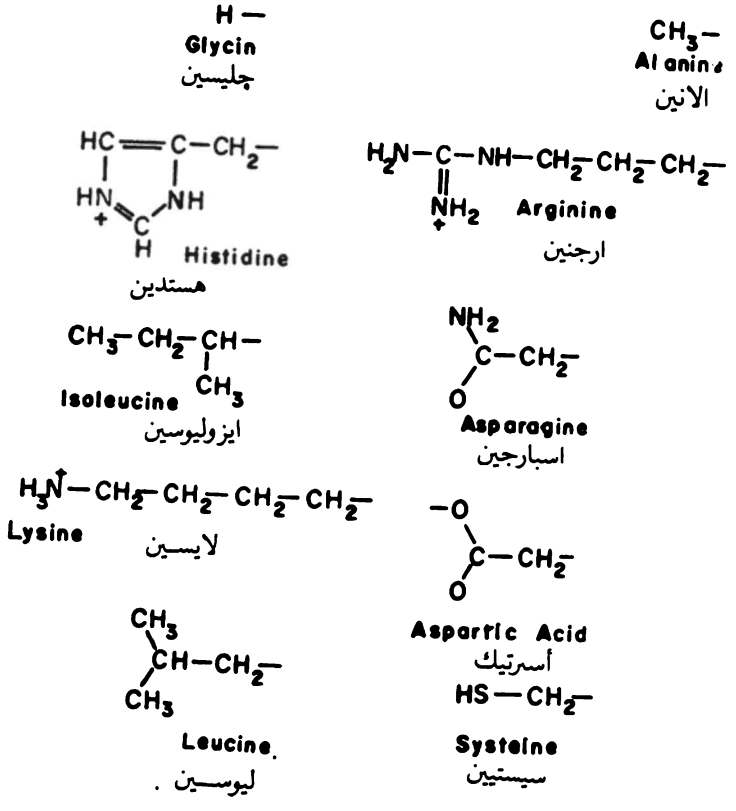
٤ ـ الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت Sulpher containing amino acid : تحتوي سلاسلها الجانبية على عنصر الكبريت، ومثالها السيستيين cysteine (Cys) والميثيونين methionine والسيستين cystine (Cys-Cys) .

٥ ـ الأحماض الأمينية العطرية Aromatic amino acids : وهي أحماض متعادلة

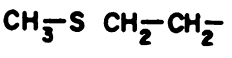
تحتـوي على مجمـوعـة كربـوكسـيل واحـدة ومجموعـة أميـن واحـدة، بالإضافـة إلى سلسلـة جانبيـة عطريـــة ومثالهـا الفينـيل ألانـين phenylalanine (Phe) التيروســين tyrosin (Tyr).

٦ ـ الأحماض الأمينية الحلقية المختلفة (غير المتجانسة): وهي أحماض أمينية متعادلة تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة ومجموعة أمين واحدة، ومثالها البرولين proline (Pro) والهيدروكسي برولـين hydroxyproline (Hyp) والـتريتـوفـان (Trp) والهستدين histidine (His) 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.

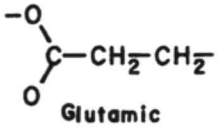


تابع جدول (٣,٦).



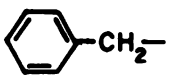
Methionine

مثيونين



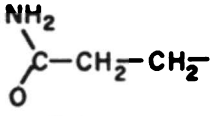
Glutamic

جلوتاميك



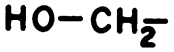
Phenylalanine

فنيل ألانين



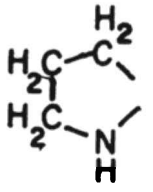
Glut

جلوتامين



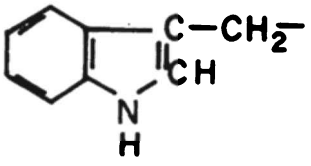
Serine

سيرين



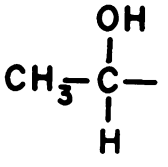
Proline

برولين



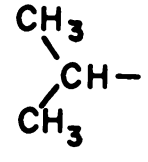
Tryptophan

تربتوفان



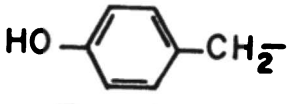
Threonine

ثريونين



Valine

فالين



Tyrosine

تيروسين

ثانيًا: تقسيم الأحماض الأمينية تبعًا لأهميتها الغذائية لجسم الإنسان

١ ـ الأحمـاض الأمينيـة الأسـاسيـة Essential amino acids (EAA) : وهي الأحماض الأمينية التي لا يستطيع جسم الإنسان تصنيعها بكميات تكفي لنمو الجسم وإصـلاح الأنسجة التالفة وغيرها، لهذا يلزم وجودها في الوجبة الغذائية التي يتناولها الإنسان بالكميات المناسبة. ويبلغ عدد الأحماض الأمينية الأساسية تسعة فقط وهي: اللايسـين lysine ، الليوسـين leucine ، الأيـزوليوسـين isoleucine ، الهستـدين histidine ، الميثـونـين mythionine ، التربتـوفـان tryptophan ، الفينيـل ألانـين phenylalnine ، الفالين valine ، الثريونين threonine.

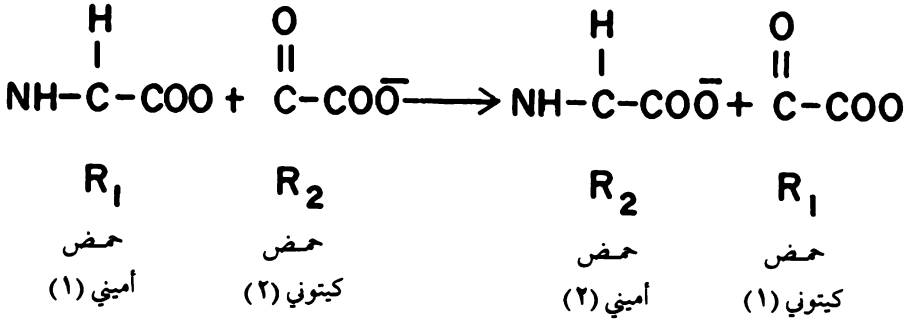
ويعتبر الحمض الأميني هستدين أساسيًا فقط للأطفال الرضع infants ، في حين أن الأحماض الأمينية الثمانية الأخرى تعتبر أساسية للأشخاص البالغين. تشير بعض المراجع إلى أن حمض الأرجنين arginine يعد من الأحماض الأمينية الأساسية للأطفال، نظرًا لأن الكمية الناتجة من خلال دورة اليوريا تكون غير كافية لتأمين حاجة الطفل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

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

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

ويتم تصنيع الأحمـاض الأمينية غير الأسـاسية من النـواتـج الـوسطية لأيض الكـربوهيدرات والدهون وبعض البروتينات، والتي تعتبر مصادر للهياكل الكربونية (الأحمـاض الكيتـونية Kitoacids) ويسمى تصنيع الأحمـاض 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 أمينيز transaminase الـذي يحتـوي عـلى فيتامـين ب ٦ النشـط كقريـن إنــزيم 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٪ .

(٢, ٧, ٦) احتياجات الأحماض الأمينية اليومية Daily requirements of amino acids

يبين الجدول (٤, ٦) 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 الهستدين كحمض أميني أساسي، نظرًا لأن أجسامهم لا تستطيع تصنيعه بالكميات اللازمة للنمو.

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

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

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 insuline انخفاضًا 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 (دوران) البروتين Protein Turnover

يكـون بروتين الأنسجة في حالة تغير مستمر، وهي ليست بنيانًا ثابتًا كما كان سائدًا في المفاهيم القديمة. بمعنى أن بروتينات الجسم تكون في حالة اتزان ديناميكي dynamic equilibrium من حيث تهدم الـبروتينات القديمة وبناء بروتينات جديدة، وهذا ما يعرف باسم تجدد البروتين protein turnover . ويختلف معدل تجدد البروتين باختلاف الأنسجة في الجسم، فمثلاً يتجدد ألبيومين السيرم serum albumin بمعدل ١٠ جرامات يوميًا والفيبرينوجين بمعدل جرامين يوميًا. 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 يومًا، في حين يتجدد نسيج الجلد والعضلات والدماغ والكولاجين collagen ونخاع العظام bone matrix ببطء شديد. وتقدر كمية البروتين التي تتجدد يوميًا (تبنى) في الجسم بحوالي ٢٤٠ جرامًا، وتزيد هذه الكمية عن كمية البروتين المتناولة يوميًا 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 الغـذاء تضـاف إلى الأحـماض الأمينية النـاتجـة من تهدم أنسجة البروتين في الجسم لإحداث اتزان يؤمن احتياجات الجسم من الأحماض الأمينية.

(٦,٩) جودة البروتين Protein Quality

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

١ ـ بروتينات مرتفعة الجودة High quality proteins

وهي عبـارة عن بروتينـات تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية التي يحتاجها الجسم من أجل النمو والإصلاح، وتسمى أحيانًا 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 (جلايدين القمح wheat gliadin وهوردين الشعير barley hordein). ولقد أشارت الدراسات التي أجريت على الحيوانات إلى أن التغذية على جلايدين القمح لا تحدث نموًا 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 جلايدين القمح والتربتوفان tryptophane إلى زاين 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 جزئيًا 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. وتتمثل 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، وتتميز بأنها سهلة وتجرى في المختبر دون الحاجة إلى استعمال الحيوانات ومن الأمثلة على هذه الطرق ما يلي:

١ ـ الدرجة الكيميائية Chemical score (CS)

تحسب الدرجة الكيميائية للبروتين، والتي تسمى أحيانًا 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 حاليًا عدة بروتينات ذات درجة جودة مرتفعة، وتستخدم كبروتينات قياسية لتقدير الدرجة الكيميائية مثل بروتين البيض والحليب أو خليط من البروتينات التي اعتمدتها منظمتا الأغذية والزراعة والصحة العالمية FAO/WHO ، ويتضمن الجدول (٥, ٦) محتوى الأحماض الأمينية في نموذج البروتين المرجعي المصمم من قبل منظمتي الأغذية والزراعة والصحة العالمية (١٩٧٣م)، وكذلك بروتينات مرجعية أخرى (ملليجرام حمض أميني / جرام بروتين).

$$\text{الدرجة الكيميائية} = \frac{\text{كمية الحمض الأميني في البروتين المختبر (ملليجرام / جرام بروتين)}}{\text{كمية الحمض الأميني نفسه في البروتين القياسي (ملليجرام / جرام بروتين)}} \times ١٠٠$$

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 (ملليجرام حمض أميني / جرام بروتين).

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

* 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 كاربنتور (طريقة الاتحاد بالصبغة) Carpentor'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.

ثانيًا : الطرق الحيوية Biological methods

يمكن حصر الطرق الحيوية المستخدمة لتقدير جودة البروتين في الآتي:

١ ـ 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 coefficent للبروتين ومعامل الهضم الحقيقي true digestibility coefficient له كما يلي:

$$\text{معامل الهضم الظاهري} = \frac{\text{النيتروجين المتبادل في الغذاء ـ النيتروجين الخارج في البراز}}{\text{النيتروجين المتناول في الغذاء}} \times ١٠٠$$

$$\text{معامل الهضم الحقيقي} = \frac{\text{النيتروجين في الغذاء - (النيتروجين الخارج في البراز - نيتروجين البراز الأيضي)}}{\text{النيتروجين المتناول في الغذاء}} \times ١٠٠$$

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

٢ ـ القيمة الحيوية Biological value (BV)

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

$$\text{القيمة الحيوية} = \frac{\text{النيتروجين المحتجز}}{\text{النيتروجين الممتص}} \times ١٠٠$$

تختلف القيمة الحيوية لبروتينات الأغذية المختلفة، فمثلاً القيمة الحيوية لبروتين البيض والحليب والأرز وجلوتين القمح wheat gluten والذرة corn هي ١٠٠ و٩٣ و٨٦ و٤٤ و٤٠ 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 الحيوية 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 endogen-ous urinary nitrogen . ويحتوي براز وبول الحيوانات التي وضعت على غذاء خالٍ من البروتين على نيتروجين نتيجة لحدوث تهدم للأنسجة المبطنة للقناة الهضمية، بالإضافة إلى أن هناك نيتروجيناً يكون مصدره العصارات الهاضمة (الإنزيمات) المتبقية داخل الجهاز الهضمي كما ذكر أعلاه. وتقدر القيمة الحيوية الحقيقية للبروتين كالآتي:

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

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 Net protein utilization (NPU)

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 منخفضًا (نتيجة لوجود ألياف مثلاً) فإن صافي البروتين المستفاد يكون أقل من القيمة الحيوية. ويمكن حساب صافي البروتين المستفاد NPU كالتالي:

$$\text{صافي البروتين المستفاد} = \frac{\text{النيتروجين المحتجز} \times ١٠٠}{\text{النيتروجين المتناول في الغذاء}}$$

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

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

$$\text{NPU} = \frac{\text{القيمة الحيوية} \times \text{معامل الهضم}}{١٠٠}$$

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 جدًا.

٤ ـ نسبة كفاءة البروتين Protein efficiency ration (PER)

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 ـ ٢٨ يومًا. وتوزع الحيوانات إلى مجموعات، وتوضع

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

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

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

في أقفاص cages انفراديًا 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 يومًا، كما تغذى مجموعة واحدة على وجبة تحتوي على ١٠٪ كازين casine وتستعمل كمجموعة قياسية reference group . يسجل وزن كل حيوان منفردًا، وكمية الغذاء التي يستهلكها عند بداية التجربة وعلى فترات متقطعة (١ ـ ٣ مرات في الأسبوع) إلى نهاية التجربة كذلك تحسب في نهاية التجربة كمية الغذاء الكلية التي استهلكها كل حيوان منفردًا، 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.

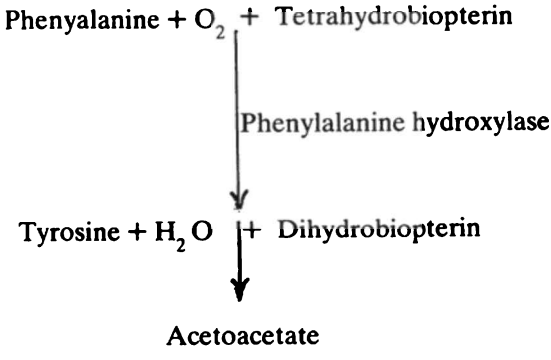
تتميز هذه الطريقة بأنها سهلة، لأنها لا تتطلب قتل الحيوان وتحليل الأنسجة لتقدير نسبة النيتروجين فيها كما هو الحال عند حساب الـ NPU . لكن من عيوبها أنها تجرى فقط على الحيوانات المفطومة (النامية) weaning animals (عمر ٢١ ـ ٢٨ يومًا)، ولا يمكن تطبيقها على الحيوانات الناضجة، ولذلك فهي تأخذ في الاعتبار استعمال البروتين فقط لأغراض النمو وليس لأغراض الصيانة وإصلاح الأنسجة التالفة. بالإضافة إلى أن تكوّن البروتين في جسم الحيوان ليس هو السبب الوحيد لزيادة الوزن، حيث إن تكوّن الدهون والعظام يؤدي أيضًا إلى زيادة في الوزن.

ويبين الجدول (٦,٦) الحمض الأميني الحدِّي 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 هيدروكسيليز phenylalanine hyd-

roxylase 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 ـ 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 hydroxylphenylacetate وفينيل لاكتات phenyllactate وفينيل اسيتات phenylacatate 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 ـ ٦ سنوات حيث يكون قد اكتمل نمو خلايا المخ .