الفصل الرابع

كيمياء البروتينات والأحماض الامينية في الاغذية

Chemistry of Proteins and Amino Acids in Food

الدكتور غسان حمادة الخياط

مقدمة : أخذ الاسم البروتين « Protein » من الاسم الاغريقي Protos ومعناه « الأول » • وقد اقترح هذا الاسم العالم Mulder في عام ١٩٣٨ على المركب العضوي النتروجيني الذي وجد في ذلك الوقت في خلايا الحيوان والنبات• ويعد البروتين من أهم المركبات التي في تدخل بشكل أساسي في التركيب البنائي للجسم مثل (الشعر ، الصوف ، الكولاجين) وبعضها يدخل في تركيب الأنزيمات والهرمونات أو كحامل للأوكسجين كما أن البروتين هام في عملية انقباض العضلات وانبساطها وبعضها له علاقة بالمورثات « الكروموزومات » كما أن مولدات الضد « Antibody » هي بروتينات • وبذلك نجد أن البروتين يدخل في معظم الأنشطة الفيسيولوجية للخلايا •

أما كيميائياً فتتميز البروتينات بارتفاع وزنها الجزيئي الذي تتراوح من عدة آلاف إلى عدة ملايين ، والوحدة الأساسية في بناء البروتين هي الحمض الأميني • ويضم كل جزيء من البروتين آلاف الوحدات من الحموض الأمينية ، ويتشكل البروتين أساساً من أربعة عناصر هي : الكربون ، والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين ، وبعضها قد تحتوي على عناصر الكبريت أو الفوسفور كما قد تحتوي على بعض المعادن مثل الحديد والنحاس •

وتختلف كمية هذه العناصر حسب أنواع البروتينات إلا أنها توجد عادة في معظم البروتينات في حدود النسب التالية :

الكربون	٤٥ ــ ٥٥٪	أوكسجين	١٩ ــ ٢٥٪
هيدروجين	٦ ــ ٨ ٪	كبريت	صفر ــ ٤ ٪
نتروجين	١٤ ــ ٢٠٪	فوسفور	صفر ــ ١ ٪

وفي الأغذية فإن متوسط نسبة النتروجين تقدر عادة بـ ١٦٪ • وترجع أهمية البروتين في الأغذية كونه المادة الغذائية الضرورية للانسان والحيوان • بالاضافة إلى أنه يؤثر في خواص المادة الغذائية وصفاتها بالتالي قابليتها للاستهلاك •

وسنورد هنا **أهم الخواص التي يلعب البروتين دوراً أساسياً في تجديدها بالنسبة للمواد الغذائية** • وبعض هذه الخواص سوف يرد تفصيلها في مواضع أخرى •

١ ــ القدرة على الاحتفاظ بالماء **Water holding capacitys** : ترتبط بالبروتين كميات كبيرة من الماء ، وذلك عن طريق الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء والمجاميع القطبية في جزيئات البروتين مثال ذلك : الكميات الكبيرة من الماء الموجودة في اللحوم والأسماك (نحو ٧٠ ــ ٨٠٪) وهذه الصفة هي من أهم العوامل المسؤولة عن قوام اللحوم والأسماك Texture **وبالتالي** قابليتها كغذاء •

٢ ــ يؤثر البروتين في لزوجة Vicosity الأغذية حيث يمكن زيادة لزوجة المادة الغذائية عن طريق اضافة بروتين أو مادة تحتوي على نسبة عالية من البروتين ويرجع ذلك إلى العلاقة بين قوة ترطيب البروتين بالماء Hydration واللزوجة • كما تتطلب بعض الأغذية خفض لزوجتها ، ويمكن الوصول الى ذلك عن طريق إضافة الأنزيمات المحللة للبروتين Proteinases •

٣ ــ بعض جزيئات البروتين لها القدرة على الارتباط ببعضها تحت ظروف معينة مكونة شبكة مجسمة ثلاثية الأبعاد Three-Dimention network لها صفات المرونة كما هو الحال عند الهلام في محلول الجيلاتين لدى وصوله الى درجة حرارة معينة •

٤ ــ الصفات الفيزيائية لعجينة دقيق القمح (المرونة والمطاطية والالتصاق) ترجع إلى صفات البروتين في العجينة التي تكون مركب الغلوتين بعد اضافة الماء إلى الدقيق مما يساعد على اعطاء العجينة خواصها المرنة لإنتاج الخبز •

٥ ــ مركبات البروتين المتحدة مع الدهون (الليبوبروتينات Lipoprotein) تعمل كعوامل استحلاب Emulsifying agents في كثير من الأغذية مثل صفار البيض وهذه المركبات هامة في الصناعات الغذائية لأنها تعطي المستحلبات صفاتها المرغوب فيها كما سيرد بالتفصيل .

٦ ــ البروتين المتجمع (المتخثر) coagulated وهو البروتين الذي فقد قابليته على الانحلال في الماء يعطي بعض الأغذية قوامها المرغوب فيه كما في حالة الخبز .

٧ ــ يعمل البروتين على تشكيل الرغاوي ويعتقد أن الرغاوي الموجودة في البيرة يرجع معظمها الى البروتين ، كما أن البروتين المتخثر يساعد على ثبات هذه الرغاوي كما سيمر لدى دراسة الغرويات .

٨ ــ البروتين ميوغلوبين هو المركب المسؤول عن لون اللحوم الطبيعي وإضافة النتريت إلى اللحم أثناء التصنيع يؤدي إلى تكوين لون أحمر مرغوب فيه كما في اللحوم المملحة .

٩ ــ يتكون من تفاعل البروتين مع السكريات مثل الغلوكوز والفركتوز لون بني ورائحة معينة كما هو الحال أثناء خبيز الخبز أو تسخين الفاصولياء وتحميص القهوة . وهو مايسمى الاسمرار غير الأنزيمي كما سيشرح بعد بالتفصيل .

١٠ ــ تتحلل الأحماض الأمينية على درجات الحرارة العالية مكونة مركبات طيارة ذات روائح نفاذة، كما يحدث عند طبخ اللحوم أو تسخين الحليب حيث يتكون كبريتور الهيدروجين ، والمركبتان وهذه ناتجة عن تحلل الحموض الأمينية الكبريتية .

١١ ــ نظراً للخاصية الأمفوتيرية للحموض الأمينية يستعمل البروتين كمحلول منظم (Buffar) .

١٢ ــ يرجع تشكيل العكارة في معظم الأغذية السائلة (البيرة) إلى وجود البروتينات ولذلك تستعمل الأنزيمات المحللة للبروتين لتكسيره إلى جزيئات ذات وزن جزيئي صغير .

١٣ ــ تتوقف القيمة الغذائية للبروتين حسب الحموض الأمينية الداخلة في تركيبه وبخاصة وجود الحموض الأمينية الضرورية ويعد البروتين الحيواني (لحماً ــ

سمكاً ــ بيضاً ــ حليباً) ذا قيمة غذائية عالية لاحتوائه على الحموض الأمينية الضرورية وفي بروتين الحبوب هناك نقص في الحموض الأمينية الضرورية ففي بروتين القمح هناك نقص في الحمض الأميني « ليسين » ولذلك يضاف هذا الحمض إلى الخبز في الولايات المتحدة الأميركية •

أولاً ــ الحموض الأمينية Amino acids :

تعريف : تتكون البروتينات من حموض أمينية مختلفة، ترتبط مع بعضها معطية جزيئات البروتينات ذات الوزن الجزيئي العالي ، وتحتوي الحموض الأمينية على مجموعة كربوكسيل (COOH –) ومجموعة الأمين (NH_2 –) وتتميز الحموض الأمينية المكونة للبروتين بأن مجموعة الأمين موجودة في الموضع ألفا (Alpha) بالنسبة لمجموعة الكربوكسيل كما في الشكل :

$$R-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}.COOH$$

وتتماثل جميع الحموض الأمينية في موضع مجموعة الكربوكسيل ومجموعة الأمين ولكن تختلف في باقي الجزيء (R) أو مايسمى السلسلة الجانبية التي قد تكون إما سلسلة كربونية مستقيمة أو متفرعة أو قد تحتوي على حلقة بنزينية في تركيبها أو أي نوع آخر من التركيب الحلقي •

تقسيم الحموض الأمينية Classification of Amino Acid :

هناك عدة طرق لتقسيم الحموض الأمينية ، ولكن الطريقة شائعة الاستعمال تعتمد على تقسيم هذه الحموض تبعاً لتركيبها الكيميائي إلى :

١ ــ الحموض الأمينية الأليفاتية أحادية الأمين أحادية الكاربوكسيل وهي : الغلايسين ــ الآلانين ــ الفالين ــ الليوسين ــ ايزولوسين ــ سيرين ــ ثيريونين •

٢ ــ الحموض الأمينية المحتوية على الكبريت : ستيئين ــ سستين ــ مثيونين •

٣ ــ حموض أمينية أليفاتية أحادية الأمين ثنائية الكربوكسيل : الاسبارتيك ــ الغلوتاميك •

٤ ــ الحموض الأمينية الأليفاتية القاعدية : الليسين ــ الأرجنين ــ الهيستيدين •

٥ ــ الحموض الأمينية الحلقية فينايل الألانين ــ تيروزين •

٦ ــ حموض أمينية ذات تركيب حلقي غير متجانس : التربتوفان ــ البرولين •

يوضح الشكل التالي الرمز الكيميائي لهذه الحموض الأمينية :

(I) Aliphatic monoamino monocarboxylic amino acids :

Glycine — $CH_2.(NH_2).COOH$

Alanine — $CH_3.CH.(NH_2).COOH$

Valine —

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ \diagdown \\ \quad CH.CH.(NH_2).COOH \\ \diagup \\ CH_3 \end{array}$$

Leucine —

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ \diagdown \\ \quad CH.CH_2.CH.(NH_2).COOH \\ \diagup \\ CH_3 \end{array}$$

Isoleucine — $CH_3.CH_2.CH(CH_3).CH.(NH_2).COOH$

Serine — $HO.CH_2.CH.(NH_2).COOH$

Threonine — $CH_3.CH(OH).CH.(NH_2).COOH$

(II) Sulfur - containing amino acids :

Cysteine — $HS.CH_2.CH.(NH_2).COOH$

Cystine —

$$\begin{array}{l} S.CH_2.CH.(NH_2).COOH \\ | \\ S.CH_2.CH.(NH_2).COOH \end{array}$$

Methionine — $CH_3.S.CH_2.CH_2.CH(NH_2).COOH$

(III) Aliphatic monoamino dicarboxylic amino acids :

Aspartic acid — $HOOC.CH_2.CH.(NH_2).COOH$

Glutamic acid — $HOOC.CH_2.CH_2.CH.(NH_2).COOH$

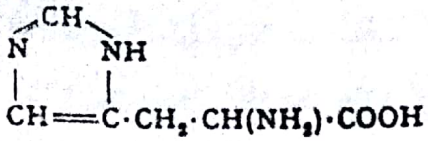
(IV) Aliphatic, basic amino acids :

Lysine — $NH_2.CH_2(CH_2)_3.CH.(NH_2).COOH$

Arginine —

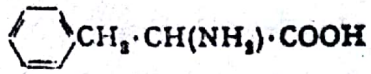
$$\begin{array}{l} H_2N \\ \diagdown \\ \quad // \quad C.NH.CH_2.CH_2.CH_2.CH(NH_2).COOH \\ HN \end{array}$$

Histidine —

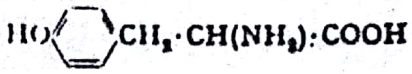


(V) *Aromatic amino acids:*

Phenylalanine —

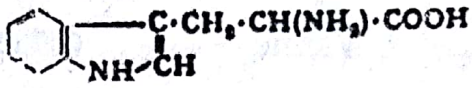


Tyrosine —

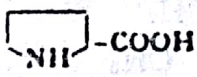


(VI) *Heterocyclic amino acids:*

Tryptophan —



Proline —



References p. 149/150

شكل رقم (٤ — ١) يبين الصيغ الكيميائية للحموض الأمينية

ويجب أن نذكر هنا أن الحموض الأمينية هذه هي الحموض الأمينية الشائعة والموجودة بكثرة وتم عزلها فعلاً من البروتينات من مصادر نباتية أو حيوانية وإن اختلفت كمياتها في كل بروتين .

بالاضافة لذلك هناك حموض أمينية أخرى ولكن ليست بالأهمية كالأحماض المذكورة سابقاً من هذه الحموض نذكر :

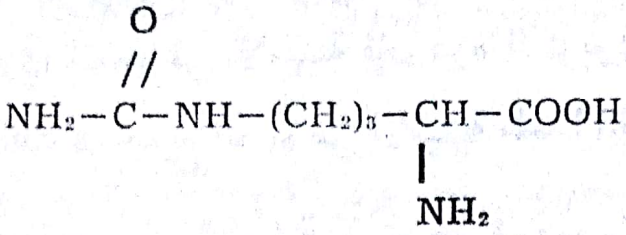
آ — البيتا ألانين (Alanine β) $NH_2-CH_2-CH_2-COOH$ ويدخل هذا الحمض في تركيب فيتامين الباتوثينك .

ب — حمض أمينوبيوتريك Aminobutyric acid وقد وجد في بعض النباتات وفي المخ وبعض الأنسجة الحيوانية وصيغته $NH_2-(CH_2)_3-COOH$.

جـ — الأورنيثين Ornithin وهو مثل الليسين (وينقصه بذرة كربون واحدة) وهو حمض هام في عملية اصطناع الحمض الأميني الأرجنين وكذلك في دورة اليوريا في الجسم

$$NH_2-CH_2-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

د ــ السيترولين Citruline وقد تم فصله من البطيخ يدخل أيضاً في اصطناع الأرجنين وكذلك في دورة اليوريا :



وكذلك الهوموسيرين Homosirine الذي يوجد في بعض الخطوات الوسطية في الاستقلاب الغذائي والثيروكسين وهو هرمون موجود في الغدة الدرقية وكذلك الديهادروفينايل ألانين وهو هام في تكوين صبغات الميلانين في الخضار والفاكهة كما سيرد فيما بعد .

بعض الخواص الفيزيائية للحموض الأمينية Physical proportics of A. A :

تحتوي بعض الحموض الأمينية على مجموعة حامضية (مجموعة الكربوكسيل) ومجموعة قاعدية (مجموعة ألامين) وبذلك لها الخاصية الأمفوتيرية Amphteric ومعنى ذلك أنها يمكن أن تسلك سلوك الحموض والقواعد ودراسة هذه الخاصية هامة لفهم الكثير من الخواص الكيميائية والفيزيائية للبروتينات والحموض الأمينية .

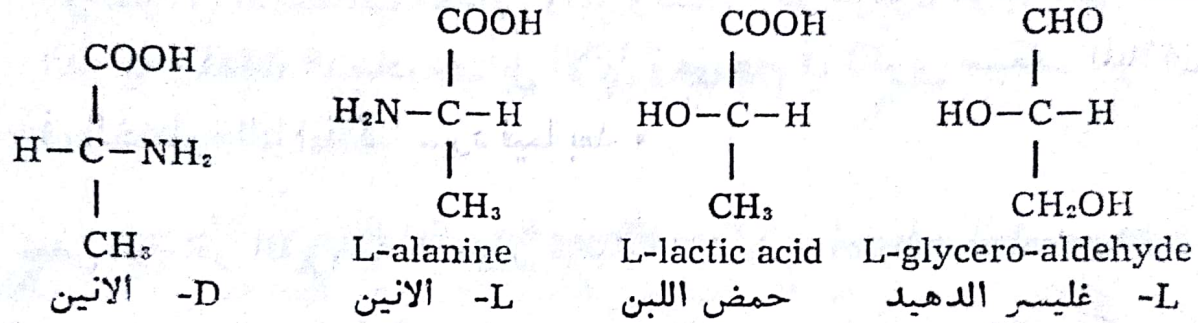
ملاحظة هامة : راجع كتاب الكيمياء الحيوية ، السنة الثانية ، وذلك بالنسبة للخواص العامة للحموض الأمينية والبرهنة على وجود الزويتر أيون .

الخواص الضوئية للحموض الأمينية Optical Activity of Amino Acids :

يلاحظ النشاط الضوئي لدى تعريض محلول مادة ما أو كبلورات للضوء المستقطب ، فالمحلول الذي يتكون من جزيئات لها نشاط ضوئي سوف يحول اتجاه الضوء المستقطب .وهذا التحويل ومداه يقدر بوساطة جهاز البولاريستر Polarimeter فإذا كان الاتجاه في اتجاه عقارب الساعة يسمى (+) أو يمينياً وإذا كان بعكس

اتجاه عقارب الساعة فهو يسمى يسارياً أو (–) • وفيما عدا الغليسين فإن كل الحموض الأمينية لها نشاط ضوئي ، ولكل منها مشابهان ضوئيان والسبب في هذا النشاط هو وجود ذرة كربون غير متناظرة (أي أن المجموعات المرتبطة بها غير متشابهة) وفي الحموض الأمينية فإن ذرة الكربون في الوضع (α) ألفا لها هذه الخواص وذلك في جميع الحموض الأمينية ماعدا الغليسين •

ويمكن للحموض الأمينية أن توجد في صورتين L , D وهذه الأسماء بنيت على أساس تركيب الغليسرالدهيد •



شكل رقم (٤ – ٢) يبين ذرة الكربون الغير متناظرة والمشابهات الضوئية

وقد وجد أن الحموض الأمينية الطبيعية الموجودة في البروتين توجد في الصورة (L) فقط ويجب أن نعلم أن L و D هنا لا تمثل اتجاه تحويل الضوء المستقطب (كما في السكريات) ولكنها تمثل شكلاً معيناً للمركبات المتناظرة • وعند فحص هذه المركبات ضوئياً فإننا نجد أنها تغير من اتجاه الضوء المستقطب في اتجاهين مختلفين ولكن بالدرجة نفسها • وتكون متشابهة في جميع الخواص الفيزيائية والكيميائية ماعدا تأثير الأنزيمات عليها • كما يتوقف اتجاه التحويل الضوئي النوعي ودرجته على السلسلة الجانبية للحمض الأميني ، وتتأثر برقم الحموضة ، وعلى العموم فإن الحموض الأمينية في الصورة (L) تعد يمينية أو ميمنة (+) كلما زادت درجة الحموضة ، والحموض الأمينية (D) يكون لها تأثير عكسي، وقد وجد أن :

D اسبارتيك في المحاليل الحامضية يحول الضوء المستقطب إلى اليمين (+ ٢٤ر٦) •

انحلال الحموض الأمينية او ذوبانها : تذوب معظم الحموض الأمينية في الماء ماعدا البرولين والهيدروكسي برولين يذوبان في الكحول • وتتوقف درجة الذوبان على رقم حموضة المحلول ــ ووجود حموض أمينية أخرى ــ ودرجة حرارة المحلول ووجود أيونات عضوية أو غير عضوية وعند نقطة التعادل للشحنات فإن درجة الذوبان تكون أقل ما يمكن وتزيد درجة ذوبان الحمض الأميني لدى إضافة حمض أو قلوي لتكوين ملح الحمض الأميني •

الحموض الأمينية الحرة والببتيدات في الأغذية :

Free A.A and Peptides in Foods

توجد في كل الأنسجة الحيوانية والنباتية بعض الأحماض الأمينية الحرة والببتيدات التي تقدر على أساس أنها نتروجين غير بروتيني NON-protein nitrogen وهذه تذوب في محلول كحول الايثانول ٧٠٪ أو ١٢٪ ثلاثي كلور حمض الخل ــ والحموض الأمينية الحرة قد تؤدي إلى تحسين خواص المواد الغذائية أو فسادها ، ومن الطبيعي أن الحموض الأمينية الحرة تكون سهلة الامتصاص بواسطة الجسم وبالتالي تعطيه جزءاً من احتياجاته من النتروجين وهناك بعض الحموض الأمينية تؤدي إلى تغيرات مرغوب فيها أو غير مرغوب فيها نذكر منها :

آ ــ الليسين والميثونين Lycine and Methionine يتم اضافتهما لبعض الأغذية لزيادة محتواه من الحموض الأمينية الضرورية • وفي الدقيق يستعمل الآن ليسين هيدروكلوريد Lysine hydrochloride .

ب ــ غلوتامات أحادي الصوديوم Mono Sodium Glutamate تضاف للكثير من المواد الغذائية للمساعدة على اعطاء نكهة مرغوب فيها •

جـ ــ البروتين المحلل (المحلمأ) Protein Hydrolysates ويحتوي على حموض أمينية حرة تستخدم مع كثير من الأغذية لتحسين نكهتها وإعطائها نكهة تشبه اللحم المطبوخ .

د ــ الحموض الأمينية تتفاعل مع السكريات المرجعة معطية اللون المسمر والطعم المرغوب فيه في بعض الصناعات .

هـ ــ تساعد الحموض الأمينية على تشكيل طبقات الميلانين Melanin .

و ــ قد تتحلل الحموض الأمينية مكونة مركبات غير مرغوب فيها .

ز ــ يمكن أن يتحول الحمض الأميني تيروزين الى صبغة بنية بوساطة أنزيم تيروسينيز Tyrosinase (وقد يحدث ذلك عند تعرض البطاطا للهواء الجوي) .

ح ــ في المراحل الأولى لفساد السمك تتكسر الحموض الأمينية إلى أمينات Amines بوساطة أنزيم الدي كاربوكسيليز Decarboxylase وتنفرد الأمونيا بعد ذلك بوساطة Amin oxidase .

ط ــ يتشكل مركب Pyrrolidin carboxylic A.A (له طعم فينولي دوائي) في الفاكهة والخضراوات ، وينتج عن تحلل الغلوتامين الحر أثناء عمليات التسخين والتخزين للمنتجات المعلبة .

نجد مما تقدم أن للحموض الأمينية الحرة أهمية كبيرة في الأغذية سواء أكانت موجودة طبيعياً في المادة المضافة إليها ولذلك سوف نشرح بعض التطبيقات الهامة لها كما يلي :

١ ــ استخدام الحموض الأمينية لتحسين الطعم في الأغذية : الحموض الأمينية وأملاح هذه الحموض ليس لها أي رائحة ولكن لها طعم مثلاً: بعض أنواع الأجبان تكون الحموض الأمينية هي المسؤولة عن الطعم المميز لها، فالطعم المر في بعض الأحيان ناتج عن وجود الحموض الأمينية التي تعطى هذا الطعم . كما أن حموض الغليسين والآلانين

والهيدروكسي برولين تعطي طعماً حلواً في المحاليل في حين أن بقية الحموض تعطي طعماً ضعيفاً أو متوسط الحلاوة • كما أن طعم غلوتامات أحادية الصوديوم وحمض الغلوتاميك L (+) Glutamic A and Mono Sodium glutamate يتميز بخواص فريدة ، حيث أنه يزيد من الحلاوة ــ الحموضة ــ المرونة أو طعم الفليفلة الحدة• كما أن طعم اللحم الذي ينتج عن بعض أملاح حمض الغلوتاميك قد تكون ناتجة عن الشوائب وتستعمل الغلوتامات أحادية الصوديوم بتركيزات ٠٠٦ر٠٪ أو أقل لتحسين الطعم الموجود أصلاً في الأغذية • وقد وجد أن المركب (L) هو الوحيد الذي يتميز بهذه الخواص ، كما يساعد مركب غلوتامات الصوديوم الأحادية (M.S.G) على اخفاء بعض النكهات غير المرغوب فيها مثل الطعم الحاد في البصل، والطعم النيء في الخضراوات وطعم التربة في البطاطا والطعم الزفر في بعض أنواع الفاصولياء • وتستعمل الغلوتامات على pH ٥ر٣ ــ ٢ر٧ بتركيزات تتراوح من ١ر٠ ــ ٣٪ ويستعمل البروتين المحلل Protein Hydrolys ates أيضاً في زيادة النكهة وتحسينها في بعض الأغذية • ويعطي هذا البروتين طعم اللحم ، كما يحسن من طعم الأغذية مثل (غلوتامات أحادية الصوديوم) ، والمركبات المسؤولة عن طعم اللحم قد تكون ناتجة عن اتحاد الببتيدات مع الحموض الأمينية الحرة والسكريات المرجعة وهناك نوعان من نواتج البروتين ، المحلل كاملاً بالحمض والبروتين المحلل بالحمض والمنزوع منه حمض الغلوتاميك • وتسوق منه تجارياً ثلاث صور (سائل، عجينة ، مسحوق) • والجدول التالي يبين تركيب أحد هذه البروتينات المحللة •

النوع	المواد المسؤولة عن الطعم ٪	المواد الصلبة الكلية ٪	الكلوريدات	الكلية ٪
سائل	٥ر٢٠	٣٨	٥ر١٧	٢ر٥
عجينة	٠٠ر٤٧	٨٨	٠٠ر٤١	ــ
مسحوق	٠٠ر٤٨	٩٧	٥٢	ــ

جدول رقم (٤ ــ ١) يبين تركيب أنواع البروتين المتحلل

ويحضر البروتين المحلل أو غلوتامات أحادية الصوديوم عن طريق الحلمأة الحمضية للمواد البروتينية، وتعد المصادر التالية من أهم المواد الأولية لهذا الغرض. الكازين ـ دقيق فستق العبيد ـ دقيق فول الصويا ـ غلوتين الذرة ـ غلوتين القمح ـ الخميرة ـ دقيق بذرة القطن ، وتتميز هذه المواد بارتفاع نسبة حمض الغلوتاميك فيها . والجدول التالي يبين نسبة حمض الغلوتاميك فيها :

المادة	نسبة الغلوتاميك ٪ من البروتين
غلوتين القمح	٣٦
غلوتين الذرة	٢٥
دقيق فستق العبيد	٢٠
دقيق بذرة القطن	١٨
دقيق فول الصويا	٢١
الكازين	٢٢
الخميرة	٢٩

جدول رقم (٤ ـ ٢) يبين نسبة حمض الغلوتاميك في بعض المواد

يستعمل عادة حمض كلور الماء على الدرجة ١٠٠° م لاجراء الحلمأة حيث تتكسر الروابط الببتيدية ، كما أن بعض الحموض الأمينية تتهدم أثناء الحلمأة مثل حموض التيروزين ـ السستين ـ السيرين ـ الثريونين . وأثناء الحلمأة الحمضية تتكون مادة سوداء تعرف باسم Humin وهي ناتجة عن التفاعل بين الحمض الأميني التربتوفان مع الالدهيد (الناتج مع الحلمأة) وقد يكون هذا اللون مرغوباً فيه أو غير مرغوب فيه تبعاً للصناعة التي يستخدم فيها هذا البروتين المتحلل .

وبعد انتهاء الحلمأة تعادل الزيادة من الحمض باضافة الصودا الكاوية وبذلك تزيد كمية كلوريد الصوديوم في البروتين المتحلل ورقم الحموضة لهذا الناتج يكون نحو ٥ر٣ .

كما تنطلق الأمونيا أثناء عملية الحلمأة وتتفاعل مع حمض كلور الماء وتعطي

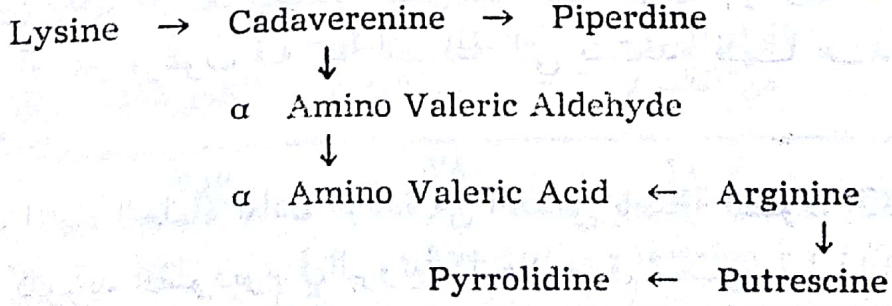
كلوريد الأمونيوم الذي يوجد عادة بنسبة تتراوح من ١ ــ ٣٪ من المواد الصلبة الكلية • والحلمأة الحمضية تعطي عادة نتائج أحسن من الحلمأة الأنزيمية ويجب أن يضبط رقم الحموضة أثناء الحلمأة لتحضير الغلوتامات على نقطة التعادل الكهربائي لحمض الغلوتاميك وهي (pH = ٣٫٢٢) •

٢ ــ تفاعل الحموض الأمينية مع السكريات المرجعة (الاسمرار غير الأنزيمي) •

٣ ــ الاسمرار الأنزيمي وهذان الموضوعان سوف نتكلم عنهما فيما بعد•

٤ ــ تعفن الأنسجة الحيوانية : تحتوي الأنسجة الحيوانية على حموض أمينية حرة يمكنها أن تتحلل بوساطة البكتريا إلى مركبات غير مرغوب فيها • فأنزيم الديكاربوكسيليز Decarboxylase يمكن أن يفصل مجموعة الأمين في الوسط القاعدي •

وفي معظم الأنسجة يكون الوسط حمضياً نتيجة لوجود حمض اللبن بعد الذبح ، ويرجع الطعم المتعفن لهذه الأنسجة عند فسادها الى بعض المكونات منها Piperdine , Ammonia , Cadaverine , Putrescine , Histamine , Tyramine , S-amino valeric acid ومصدر هذه المركبات هو حموض : Lysine , Histidine , Arginine , Tyrosine كما في التفاعل التالي للأرجنين والليسين :



وقد وجد أن أهم مركب عند فساد السمك ينتج من تحلل الحموض الأمينية الحرة هو مركب الهيستامين الناتج عن الهيستيدين •

$$\text{Histidin} \xrightarrow{\text{Decarboxylase}} \text{Histamine}$$

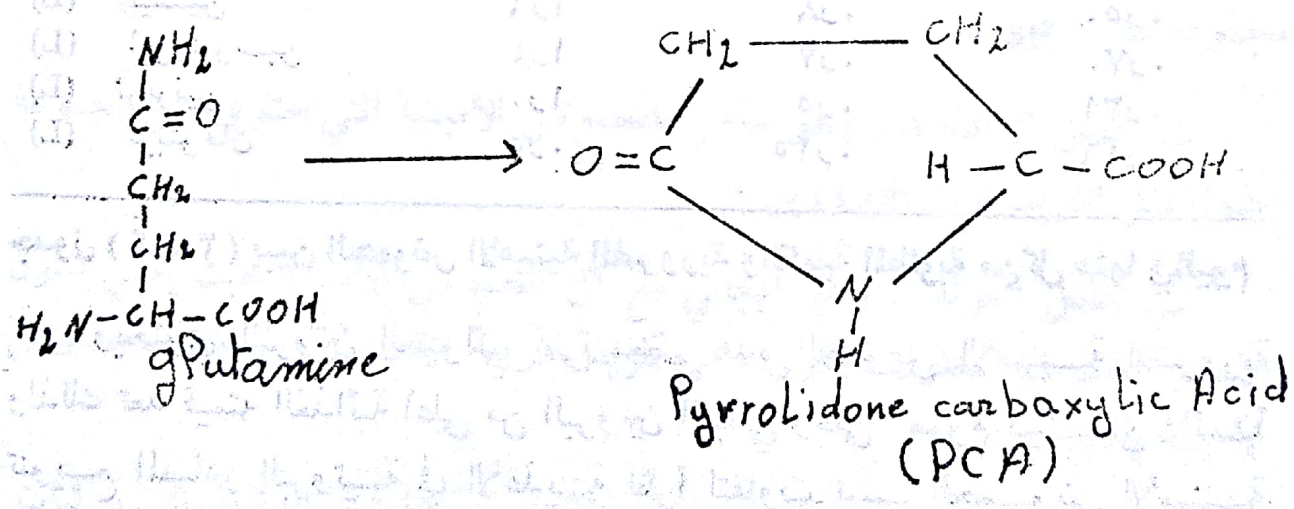
والأمين يمكن أن يتحلل بعد ذلك منتجاً أمونيا كما في المعادلة :

$$R-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH \xrightarrow{\text{Deaminase}} R-CH_2-CO-COOH+NH_3$$

$$R-CH_2-CH_2-NH_2 \xrightarrow{\text{Aminoxidase}} R-CH_2-COOH+NH_3$$

وفي المراحل المتقدمة من الفساد لا يقتصر التحلل على الحموض الأمينية بل يصل إلى البروتين أيضاً .

٥ ـ **Pyrrolidine carboxylic acid** ذو الطعم الفينولي ـ الطبي ـ المر . ويعتقد بعضهم أن هذا المركب هو أحد المركبات المسؤولة عن الطعم غير المرغوب في عصير البندورة وفي الكثير من الفاكهة والخضراوات . كما في التفاعل التالي الذي يحدث على رقم حموضة يتراوح من ٢ ـ ١٠ .



شكل رقم (٤ ـ ٤) يبين صيغة ببروليدين كاربوكسيليك أسيد