الباب الأول
تصنيع اللحوم ومنتجاتها

الفصل الأول

التركيب الكيميائى والتشريحي للعضلات وتحولها إلي لحم وتقييم جودتها

مقدمة:

للحوم أهمية خاصة فهي إحدى المنتجات الرئيسية التي يعتمد عليها الإنسان في تغذيته منذ وجد على ظهر الأرض فهو يصطاد الحيوانات ليحصل منها على اللحوم كغذاء، ثم قام باستئناس هذه الحيوانات وتربيتها بغرض مساعدته في الزراعة والاستفادة منها كمصدر للحوم والحليب والجلود والفراء والصوف. ومع التقدم الحضاري، بدأ التركيز على سلالات معينة متخصصة في إنتاج اللحوم بشكل اقتصادي، ولقد ساهم التقدم التقني في طرق حفظ اللحوم وسرعة النقل، في ازدهار صناعة وتجارة اللحوم بين أقطار العالم، فأصبح بالإمكان ذبح الحيوان في دولة واستهلاكه في أخرى.

تعريف اللحوم:

تعرف اللحوم على أنها الأنسجة العضلية الحيوانية، والأعصاب والأوعية الدموية والشحوم والأنسجة الضامة.

التركيب الكيماوي للحوم:

حيث إن العضلات هي الجزء المأكول من الذبيحة، فإن معرفة التركيب الكيميائى للعضلات من المهم معرفتها. تتركب ذبيحة الحيوان من عضلات ودهن وعظام، وتختلف نسب هذه الأجزاء على حسب نوع الحيوان ودرجة تسمينه ويختلف التركيب الكيميائي لبعض لحوم الحيوانات والدواجن والأسماك، كما هو موضح في الجدول (١).

جدول (١): التركيب الكيميائي لبعض لحوم الحيوانات والدواجن والأسماك (جرام/١٠٠ جرام لحم).

النـــوع	رطوبة %	بروتين %	دهـــن%	أمـــلاح%
جمال	٧٧	١٩	٢,٦	٠,٩
أبقار	٧٣	٢٠	٤,٧	١,٥
أغنام	٧٢	٢٠	٦,٢	١,٥
ماعز	٧٤	٢٠	٣,٣	١,٤
دجاج	٧٣	٢١	٥,٤	١,٣
أسماك	٧٨	١٨	٢,٣	١,٣

وتقسم الذبيحة الي لحم (عضلات) ودهون وعظام، وبالتالي يمكن معرفة نسبة الجزء المأكول من الذبيحة إلى إجمالي وزنها من جدول (٢)، مع ملاحظة أن مع زيادة نسبة الدهن في الذبيحة تقل نسبة اللحم المأكول، كما يوضح الجدول (٣) التركيب الكيمائي للعضلات الطازجة.

جدول (٢): تأثير نسبة الدهن وتغيرها على تغيير نسبة اللحم والعظام في الذبائح.

نسبة الدهن	٨%	١٢%	٢١%	٢٦%	٣٧%	٤٢%
نسبة اللحم	٦٦%	٦٢%	٦١%	٥٩%	٤٩%	٤٦%
نسبة العظام	٢٦%	٢٦%	١٨%	١٥%	١٤%	١٢%

جدول (٣): النسبة المئوية للتركيب الكيميائي للعضلات الطازجة.

المركب	%	المركب	%
الماء	٦٥-٨٠	الكربوهيدرات	١-٠,٥
البروتين	١٦-٢٢	معادن مختلفة	١
الدهون	١٣-١,٥	مركبات نيتروجينية غير بروتينية	١,٥

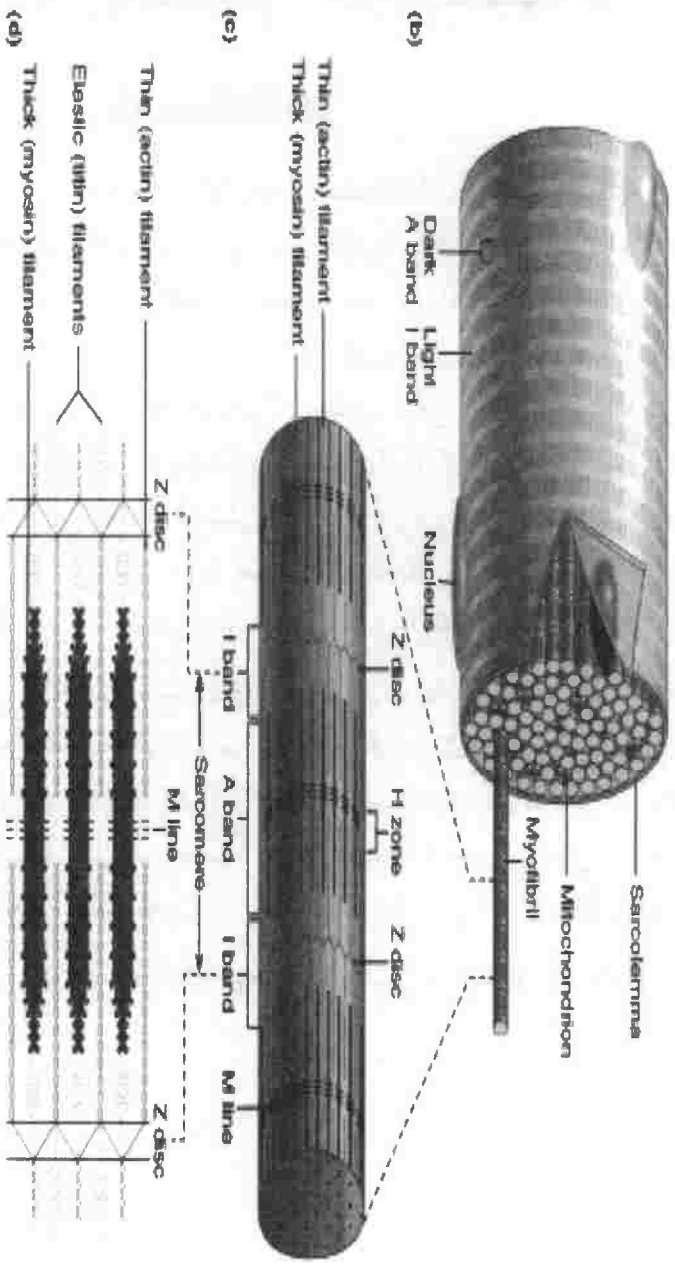
التركيب التشريحي والكيميائى للأنسجة العضلية

النسيج العضلي: The Muscular Tissue

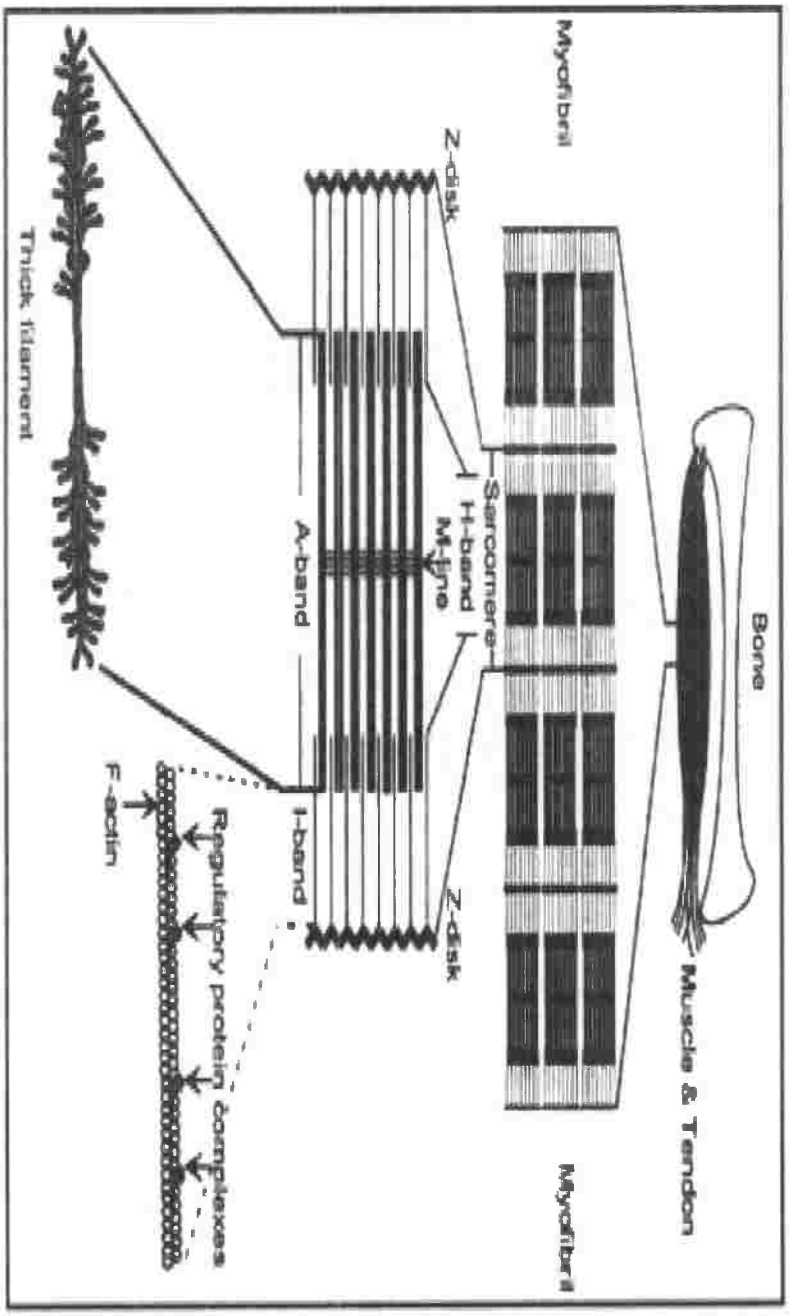
النسيج العضلي هو أحد الأنسجة الأساسية الأربعة بالجسم، ويتكون من خلايا عضلية متخصصة للانقباض؛ لكي توفر القدرة على تحريك الأجزاء المختلفة للجسم بالنسبة لبعضها البعض. والخلايا العضلية ميزودرمية المنشأ، ويطلق عليها اسم ألياف عضلية Muscular fiber حيث إنها ممتدة اتجاه محور انقباضها، والليفة العضلية بها لليفات سيتوبلازمية لها القدرة على الانقباض. وتقع الليفات العضلية في سيتوبلازم غير متميز يعرف باسم السيتوبلازم العضلي (الساركوبلازم)، ويطلق على غشاء الخلية العضلية اسم الغشاء العضلي sarcolemma، ويحتوي الساركوبلازم على شبكة أندوبلازمية ملساء، يطلق عليها اسم شبكة سيتوبلازمية عضلية، وعادة ترتبط الألياف العضلية معًا بنسيج ضام غني بالأوعية الدموية والألياف العضلية.

العضلة: هي نسيج ليفي يتميز بقابليته للانقباض والانبساط، ويؤمّن حركة الكائن. وتتكون العضلة الهيكلية من حزم عضلية، وكل حزمة تتكون من ألياف عضلية، ويسمى سيتوبلازم الليفة العضلية بالساركوبلازم، وتتكون الليفة العضلية من لليفات عضلية والليفة الواحدة تتكون من قطع عضلية متجاورة والقطع العضلية تتكون من خيوط بروتينية وهي الأكتين والميوسين.

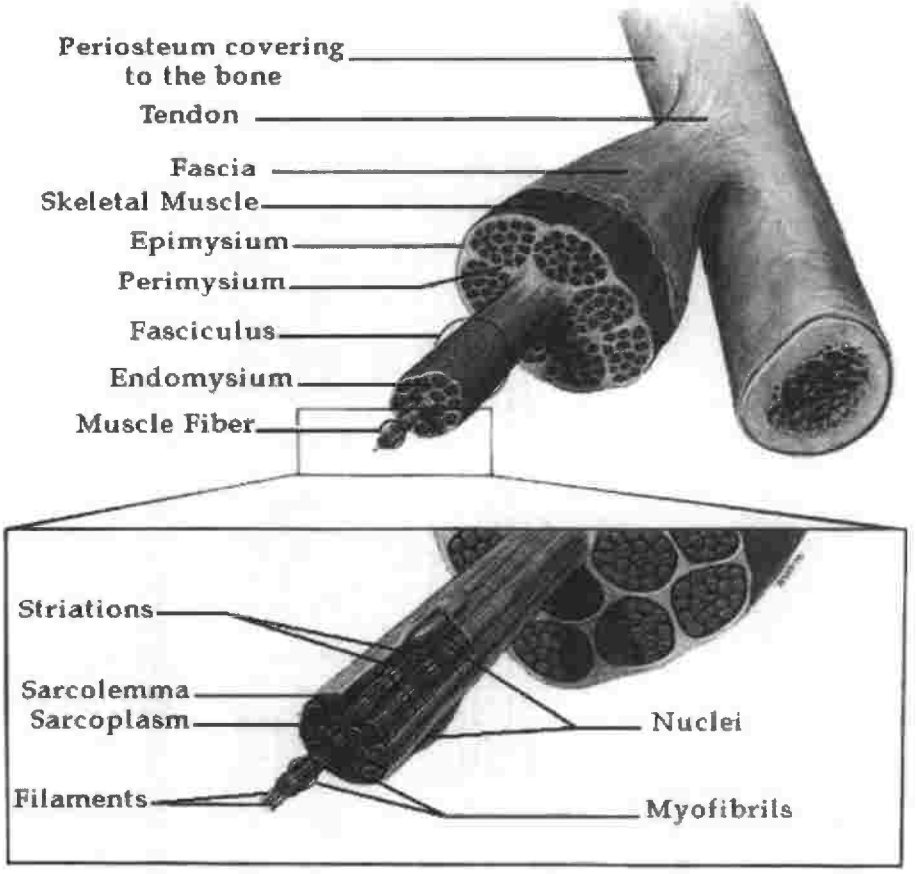
والصور التوضيحية التالية توضح ذلك في الأشكال (١-أ)، (١-ب)، (٢-أ)، (٢-ب)، (٣).



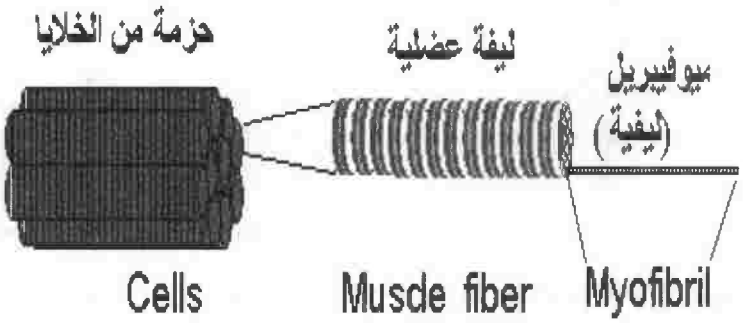
شكل (١-أ): الشكل الأسطواني العام للعضلة والخيوط الرفيعة والسميكة التي تتكون منها الأنسجة العضلية.



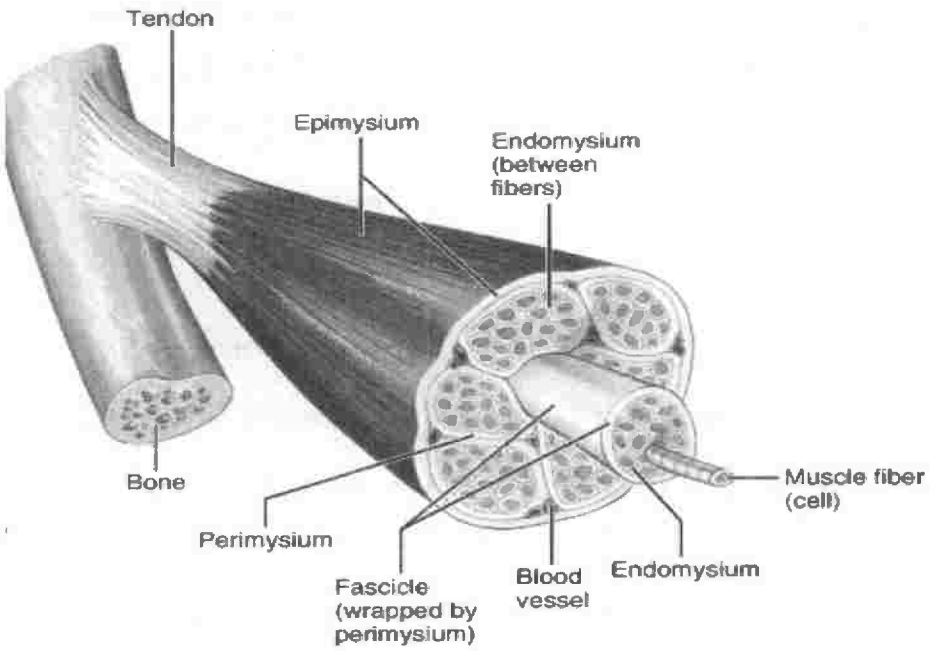
شكل (١-ب): كيفية اتصال العضلة بالعظم - ثم التكوين الدقيق للأنسجة العضلية في صورة منطقة مظلمة ومنطقة مضيئة. وشكل الخيوط السميكة والرفيعة المكون للأكتين والميوسين.

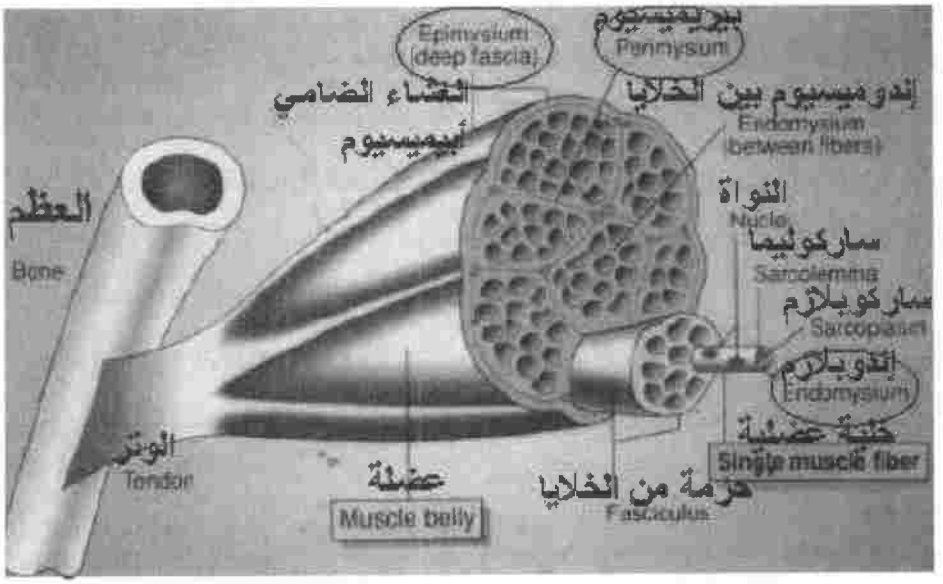


شكل (٢-أ): قطاع عرضي في الأنسجة العضلية وكيفية وجود الحزم العضلية داخل العضلة والأغلفة التي تحيط بالعضلة والخيط العضلي.



شكل (٢-ب): شكل الحزمة العضلية والليفة العضلية وخيوط الميوفيبريل.





شكل (٣-العلوي والسفلي): قطاع عرضي توضح فيه الأنسجة الضامة التي تحيط بالأنسجة العضلية وهي ابيميسيم وبيريمسيم واندوميسيم والوتر.

تختلف الخلايا العضلية عن بقية خلايا الجسم في أن معظم السيتوبلازم فيها متحررة إلى خيوط منقبضة، وتعرف باللييفات التي تجري موازية للمحور الطولي لليفة. وتوجد ثلاثة أنواع من الألياف العضلية، هي:

١- الألياف الهيكلية (المخططة).

٢- الألياف الملساء (غير المخططة).

٣- الألياف القلبية.

١- الألياف الهيكلية (المخططة) Striated or Skeletal Muscles:

- هي العضلات التي ترتبط بالهيكل العظمي (شكل ٣)، وهي عضلات إرادية، فهي المسئولة عن حركة الأطراف والرأس والفكوك.
- وهي تكون الجزء الأكبر مما يسمى بلحم الحيوان.
- الليفة العضلية الإرادية اسطوانية الشكل (شكل ١-أ)، ويغلف كل ليفة غشاء رقيق يعرف بالصفيحة اللحمية sarcolemma (شكل ٣)، ويوجد بداخلها عدد كبير من الأنوية nuclei حافية الموضع كما في حالة الثدييات، أو منتشرة بغير نظام كما في البرمائيات، ولذلك تعتبر الليفة مدمجًا خلويًا syncytin.
- تحتوي الليفة العضلية المخططة على عديد من الليفات العضلية myofibrils (شكل ١-ب)، وعلى أشرطة معتمة وأشرطة مضيئة dark and light bands بالتبادل، ولذلك تبدو مخططة (شكل ١-ب).
- وقد أظهر الميكروسكوب الإلكتروني أن الليفة العضلية تتركب من خيوط بروتينية سميكة من مادة الميوسين myosin، وأخرى رفيعة من مادة الأكتين actin، وأن هذه الخيوط مرتبة بنظام خاص (شكل ٥-أ و٥-ب).

ترتبط الألياف العضلية المخططة بعضها ببعض عادة بنسيج ضام (شكلي ٢-ب و٣) لتكون حزمًا، وترتبط هذه الحزم بدورها بعضها ببعض بنسيج ضام لتكون عضلات الجسم المعروفة.

٢- الالياف الملساء (غير المخططة) Unstriated or Smooth muscles:

- هي العضلات غير الإرادية الموجودة في أجزاء الجسم التي لا تخضع في حركتها لإرادة الحيوان، كالقناة الهضمية والأوعية الدموية والجهاز التناسلي والجهاز التنفسي.
- الليفة العضلية غير المخططة رفيعة ممدودة ومدببة الطرفين، وتحتوي بداخلها على عدد من الليفات العضلية وكمية قليلة من الساركوبلازما ونواة بيضية في الوسط.

أماكن تواجد العضلة الملساء:

- قد تكون الألياف غير المخططة منفردة كما في الجلد، أو توجد موزعة بشكل شبكي كما في الأعضاء التنفسية.
- وفي أعضاء أخرى كالقناة الهضمية، تكون هذه الألياف موازية للمحور الطولي للقناة الهضمية، وطبقة دائرية للداخل تمتد أليافها موازية لمحيط القناة الهضمية.

٣- العضلات القلبية Cardiac Muscles:

- توجد هذه العضلات في القلب فقط، وتتميز بانقباضاتها المنتظمة التي تحدث دقات القلب.
- تظهر هذه الألياف في القطاع الطولي متفرعة ومتصلة بعضها ببعض لتكون تركيبًا شبكيًا.
- تتركب الألياف من مدمج خلوي، والأنوية في هذه الألياف تقع في وسط الليفة، كما تبدو مخططة مستعرضة داكنة في الأقراص البينية intercalated disc التي تمثل مكان اتصال كل ليفة بالليفة المجاورة لها.

الانسجة الضامة (Connective tissues):

تحاط الالياف العضلية بأنسجة رقيقة ضامة تعرف باسم Endomysium (شكل ٣) وسمكها ٠.٥ ميكرون وكل ٤٠ وحده من الالياف العضلية تتجمع معا مكونة حزمة عضلية وتحاط بنسيج ضام آخر، يعرف باسم Perimysium ويقوم النسيج الضام بربط

أجزاء العضلة مع بعضها، ويسمي Epimysium. وينتشر في الأعضاء والأوعية الدموية واللمفاوية والأوتار كما يقوم بوصل الجلد بالجسم. ويتكون النسيج الضام الحقيقي من مادة أساسية تعرف باسم ground substance والمحتوية علي الكولاجين والالستين والرتيكيولين، أيضا تحتوي علي التروبوكولاجين والتروبوالاستين.

ومادة الأساس في الأنسجة الضامة تملأ الفراغات بين الخلايا وألياف النسيج الضام، وهي مادة لزجة مساعدة علي الانزلاق ومانعة لغزو الميكروبات.

ألياف النسيج الضام تختلف في السمك والصلابة حسب موقعها داخل الأنسجة العضلية وحسب نوع الحيوان وعمره (شكل ٢-أ و٣).

الأنسجة الدهنية:

تظهر متأخرة ويعتبر النسيج الدهني مطاطًا وحافظًا وواقيًا وماليًا، وتتجمع بها الدهون المتعادلة. ويبدأ تجمع الدهن في خلايا كبيرة تحاط بغشاء رقيق من الأنسجة الضامة المعروفة باسم الرتيكيولين. الخلايا الدهنية مغزلية الشكل مجاورة للأوعية الدموية وكذلك للأنسجة الضامة غير المرتبطة وتصل نسبة الدهن داخل الخلايا من ١,٥ - ٣ % أما بين العضلات فتصل الي ٢,٥-٣,٥% وتمثل من ١٨-٣٠% من وزن الذبائح. وتختلف كمية الدهن في الذبائح المختلفة حسب نوع الحيوان ودرجة نموه وحسب توزيعها داخل كل عضلة. وبالإضافة الي الدهون المتعادلة، توجد الفسفوليبيدات والكوليستيرول وكذلك يذاب بها بعض الفيتامينات والهرمونات. وتختلف الأنسجة الدهنية في نسبة الاحماض الدهنية الحرة بها حسب موقع النسيج في الذبائح: فالأنسجة الدهنية حول الكلي والظهر والبطن بها نسبة أقل من الأحماض الدهنية الحرة عن الأنسجة الدهنية حول الأمعاء. وهذا يؤثر في جودة الدهن ومدى ثباته خلال التخزين.

البروتينات الليفية:

يعتبر البروتين من أهم المكونات للأنسجة العضلية بعد الماء. ويمكن تقسيم بروتينات الأنسجة العضلية إلي ثلاث مجموعات حسب مصدرها أو شكلها أو طريقة استخلاصها ودرجة ذوبانها في الماء:

١- البروتينات الذائبة في المحاليل الملحية مثل بروتينات الليفات العضلية (٩,٥%).

٢- البروتينات الذائبة في الماء مثل بروتين الساركوبلازم وصبغات اللحم والدم وبعض الانزيمات (٦%).

٣- البروتينات غير الذائبة في الماء والمحاليل الملحية مثل بروتينات الانسجة الضامة (٣%).

أولا: البروتينات الليفية العضلية (Myofibriller protein):

هي المسئولة عن انقباض العضلات وغير قابلة للذوبان في الماء ولكنها تذوب في محاليل ملحية مختلفة التركيز. وتتكون من الميوسين – الاكتين – الاكتوميوسين – التروبوميوسين – التروبونين – الفا وبيتا اكتينين وغيرها من البروتينات.

ويمثل الميوسين والاكتين ٧٥-٨٠% من إجمالي بروتينات الميوفيبريل، والباقي بروتينات منظمة.

- **بروتين الميوسين (Myosin protein):** (شكل ٤) يمثل ٥,٥% من وزن العضلة وهو المكون الاساسي في الخيوط السميكة (Thick Filaments) المكونة للـ(A-band) (شكل ١-ب) وكل خيط سميك يتكون من ٢٠٠-٤٠٠ وحدة ميوسين وكل وحدة ميوسين عبارة عن اثنين سلسلة ببتيدية متماثلة ملتفة حول بعضها في شكل حلزوني وفي نهاية السلسلتين يوجد رأس كروي، تخرج منها سلسلتان منفصلتان عن بعضهما. وقد وجد ان رأس الميوسين يحتوى على إنزيم ادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATPase).

ويمكن كسر هذا البروتين بانزيم التربسين الي جزيئين، هما: الميروميوسين الخفيف (Light Mero Myosin {LMM}) وهذا ليس لة نشاط إنزيم الـATPase – اما الآخر فهو الميروميوسين الثقيل (Heavy Mero Myosin {HMM}) وله نشاط انزيم الـATPase. ومن المعروف ان بروتينات الميوسين حساسة للحرارة والحموضة وبالتالي تصبح مدنترة (Denaturated) بعد التعرض للحرارة والحموضة.

- **بروتين الاكتين (Actin protein):** (شكل ٤) هو المكون الأساسي للألياف الرفيعة (Thin Filaments) والمكونة لمنطقة (I-band) (شكل ١-أ و ١-ب) ويمثل من ١٥-

٣٠% من بروتينات الالياف العضلية، ويتكون من سلسلتين ببتيدتين على شكل حلزوني ولها شكلين هما الصورة الليفية وتسمى بالـ Fiberous-Actin (F-actin) والاخر كروى ويسمى بالـ Globular-Actin (G-actin). ويمكن تحويل الشكل الكروي إلى الليفى في وجود أيونات المغناسيوم. ويمكن لبروتينات الأكتين (الكروى والليفى) الارتباط مع بروتين الميوسين لتكوين الإكتوميوسين.

- **بروتين الإكتوميوسين (Actomyosin protein):** يتكون من ارتباط الاكتين والميوسين بنسبة ٤:١ وله لزوجة عالية ووزنه الجزيئى مرتفع، وسرعة ترسيبة عالية ولها نشاط إنزيم الـ ATPase، ينشط في وجود أيون الكالسيوم (Ca^{++})، ويثبط في وجود المغناسيوم (Mg^{++}).

شكل (٤): شكل خيوط الميوسين السميك ورأس الميوسين وخيوط الأكتين الرفيعة – وكيفية اتصال الخيوط السميكة بالرفيعة.

- **بروتين التروبوميوسين (Tropomyosin):** هو البروتين الليفي الوحيد المكون لبلورات حقيقية لها أبعاد حادة وسطوح، وهو مقاوم للحامض والقلوي والمعاملة الحرارية وليس من السهل دنترته أو ترسيبه بواسطة المذيبات غير القطبية وليس له نشاط إنزيمي. هذه الصفات ساعدت في الحصول علية ودراسة خصائصه. ويمكن استخلاصه من العضلات بالإثانول. هذا البروتين لا يحتوي في تركيبه علي الحمض الأميني تربتوفان وبه كمية ضئيلة جدا من البرولين ويمكن تقدير درجة نقاوته بالكشف على الأحماض الأمينية السابقة. ويتواجد بنسبة ٥% من كمية بروتينات الألياف العضلية.

ثانيا: بروتينات الساركوبلازم (Sarcoplasmic protein):

هي ذائبة في الماء ويسهل استخلاصها وتحيط بالخيوط العضلية. تتكون من إنزيمات مختلفة وصبغات اللحم، وتمثل من ٣٠-٣٥% من كمية بروتينات الأنسجة العضلية. تتوقف كميته علي مصدر العضلة ودرجة النمو. كما أنها تحتوي أيضا علي أحماض امينية حرة وايونات عضوية (Ca^{++}, Mg^{++}, Fe^{++}, K^{+}, Na^{+}, Ph^{-}). ومعظم الإنزيمات الموجودة بها لها نشاط في عمليات التمثيل الغذائي.

ثالثا: بروتينات الأنسجة الضامة (Connective tissues protein):

يطلق عليها ستروما بروتين (Stroma protein)، وهي غير قابلة للذوبان في الماء أو المحاليل الملحية. وتتكون من بروتينات الكولاجين والريتكيولين وبروتينات الألاستين. والكولاجين هو الأكثر تواجدًا في جسم الحيوان ومؤثر مباشر في طراوة اللحم، ويدخل في تركيب الأوتار والروابط والعظام والغضاريف، ويتحول بالحرارة الي مادة ذائبة في الماء (الجيلاتين).

- **الكولاجين:** يتركب من وحدات تسمى (Tropocollagen) وهي عبارة عن ٣ سلاسل ببتيدية وكل سلسلة تتكون من ١٠٠٠ حامض أميني والأحماض الأمنية غير أساسية (مثل: الجليسين – برولين – هيدروكسى برولين). والكولاجين هو عبارة عن بروتين كربوهيدراتي، يحتوي علي كمية صغيرة من سكريات الجالاكتوز والجلوكوز، ويحتوي علي كمية قليلة من التيروسين والمثيونين، ولا يحتوي على التربتوفان والسستين والسستئين. يمثل الجليسين ٣٣% من الأحماض الأمينيه المكونة للكولاجين، أما البرولين والهيدروكسي برولين يمثل الثلث الثاني في تكوينه. وكلما تقدم الحيوان في العمر يزداد الكولاجين في السمك والصلابة، وتتوقف نسبته على عمر الحيوان ويزيد من خشونة اللحم.

أهم خواص الكولاجين:

- الكولاجين لا يذوب في الماء ولا المحاليل الملحية.
- الكولاجين لا يتأثر بالوسط الحامضي.
- مقاوم لإنزيمات التربسين والبيبسين، ولكنه يتحلل بواسطة إنزيم كولاجينيز.

تأثير الحرارة على الكولاجين:

عند بداية تسخين الكولاجين ينكمش إلى ثلث طوله، ثم عند حرارة ٦٠°م يبدأ في الذوبان، وبعد ذلك يحدث تحلل ويعطي (جيلاتين) ذائبًا في الماء. يرجع تحول الكولاجين من صورة غير قابلة للذوبان إلى صورة قابلة للذوبان؛ لأنه حدث له تحول في تركيبه الكيميائي. وبعد الطبخ والمعاملات الحرارية لا يمكن الكشف عنه ميكروسكوبيًا لحدوث تداخل بينه وبين الأنسجة الأخرى. أما في حالة صناعة البسطرمة، فإن بعض الإنزيمات المحللة للكولاجين تحلله جزئيًا مما يسهل قطعه.

- **بروتين الألستين:** يعتبر الألستين من مكونات النسيج الضام، ويمثل جزءًا كبيرًا منها. لا يذوب في الماء ولا المحاليل الملحية والأحماض والقلويات، ولا يتأثر بالإنزيمات ولا يتأثر بالحرارة، ولا يتأثر بالقطع ولابد من التخلص منه. ينتشر الألستين بين الأنسجة العضلية في خيوط رقيقة جدًا، أو في حزم سميكة خارج العضلة، وينتشر أيضا في روابط وجدران الشرايين. يكون سميكًا خارج العضلات ورفيعًا داخل الأنسجة العضلية. الألستين غير قابل للذوبان في الماء، وترجع هذه الصفة إلى وجود ٧٨% من الأحماض الأمينية المكونة له غير قطبية، وترتفع نسبة الحامض الأميني الجلايسين في تركيبه، وهو فقير في القيمة الغذائية.

آلية انقباض وانبساط العضلات

لإتمام عملية انقباض واسترخاء الخلايا العضلية، لابد من وجود أربعة بروتينات ليفية، وهي: الميوسين (المكونة للخيوط السميكة)، والاكتين (المكونة للخيوط الرفيعة – شكل ٥-أ و٥-ب)، وكذلك التروبونين والتروبوميوسين (شكل ٥ و٦)، بالإضافة إلى كل من الكالسيوم والماغنسيوم، ومركبات الطاقة في صورة أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP).

الأكتين: قطر الأكتين (١١ نانومتر nm) يمثل (١٥-٣٠%) من الميوفيبريل Myofibrils، وتتركب من ثلاثة أنواع مختلفة من البروتين. والعمود الفقري للخيوط الرفيعة عبارة عن شريط مزدوج من بروتين الأكتين، ملتف في لولب

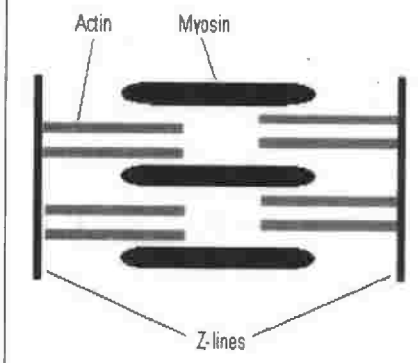
مزدوج، وتحاط خيوط الأكتين هذه بشريطين رفيعين من نوع آخر من بروتين تروبوميوسين Tropomyosin. ويقع بالقرب من الميزاب الموجود بين أشرطة الأكتين. وكل شريط تروبوميوسين، عبارة عن لولب مزدوج، والبروتين الثالث في الخيوط الرفيعة هو تروبونين Troponin وهو مركب من كريات بها ثلاثة أنواع من البروتينات، تقع على فترات على جانبي الخيوط، يعتمد التروبونين على أيونات الكالسيوم كمفتاح يعمل كنقطة للمراقبة في عملية الانقباض (شكلا ٤ و٥).

الميوسين: مركب عالي الطاقة (ATPase) يتكون من (٢٠٠-٤٠٠) وحدة ميوسين. وكل وحدة ميوسين يتركب من سلسلتين من الببتيدات المتعددة (شكل ٤ و٥)، وكل سلسلة لها رأس مصففة بجوار بعضها، كما لو كانت في حزمة لتكون الخيط السميك، والرأسان المزدوجان لكل جزيء ميوسين متوجهان للخارج بالنسبة لوسط الخيط، وهما يعملان كقناطر عبور جزئية يتعاملان مع الخيوط الرفيعة أثناء الانقباض.

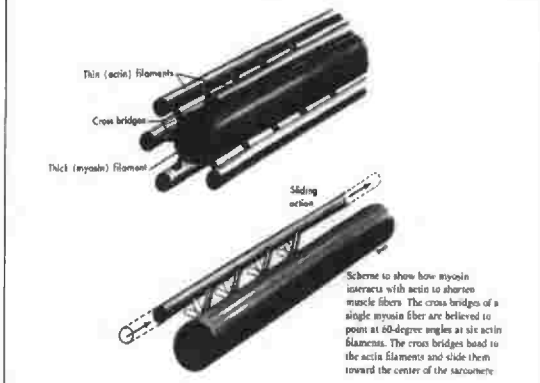
ويوجد عديد من النظريات لتفسير آلية الانقباض والانبساط، وأهمها نظرية الخيوط المنزلقة (Sliding filaments)، وفيها يتم انزلاق الخيوط الرفيعة للأكتين علي خيوط الميوسين السميكة، ويتم ذلك عن طريق رأس الميوسين ذات الطاقة العالية، وخلال الانقباض يتغير طول منطقة (I. band) ولا يتغير طول منطقة (A. band) والتي تمثل طول خيوط الميوسين، كما يلاحظ تغيير طول منطقة (H. zone) مع تغيير طول منطقة (I. band). وفي بداية الانقباض تتقابل خيوط الأكتين في منطقة (H. zone) وتختفي تلك المنطقة تماما، ثم يحدث انزلاق لخيوط الاكتين فوق بعضها مكونة نهايات متضخمة، كما هو موضح في الأشكال الآتية (٦-أ، ٦-ب، ٦-ج).

كما أن نظرية تكوين القناطر المتقاطعة بين الأكتين والميوسين (The Cross Bridges) تفسر انقباض وانبساط العضلات، والقناطر المتقاطعة هي جزء من الميوسين، والتي تدخل في تفاعل مباشر مع الأكتين علي مناطق خاصة (Special Sites)، وفي كل مرة جذب تقوم رأس الميوسين بجذب خيوط الأكتين الي مسافة محددة، ثم ترجع الي مكانها الاصلي استعدادا لعملية جذب أخرى، وخلال تلك العملية يحدث انفصال لمجموعة

الفوسفات من مركبات الطاقة (ATP) ليعطى الطاقة اللازمة لإتمام الدورة كما يلي:
ATP ↔ ADP + P + Energy وعند غياب مركبات الطاقة تتكون قناطر متقاطعة دائمة بين الأكتين والميوسين، ويؤدي ذلك إلى تصلب العضلات.



شكل (٥-أ): يوضح تركيب خيوط الأكتين الرفيعة والميوسين السميك.



شكل (٥-ب): يوضح القناطر المتقاطعة التي تربط الأكتين بالميوسين على زاوية ٦٠ وكيفية انزلاق الخيوط على بعضها والاتجاه للداخل لمركز منطقة الساركومير.

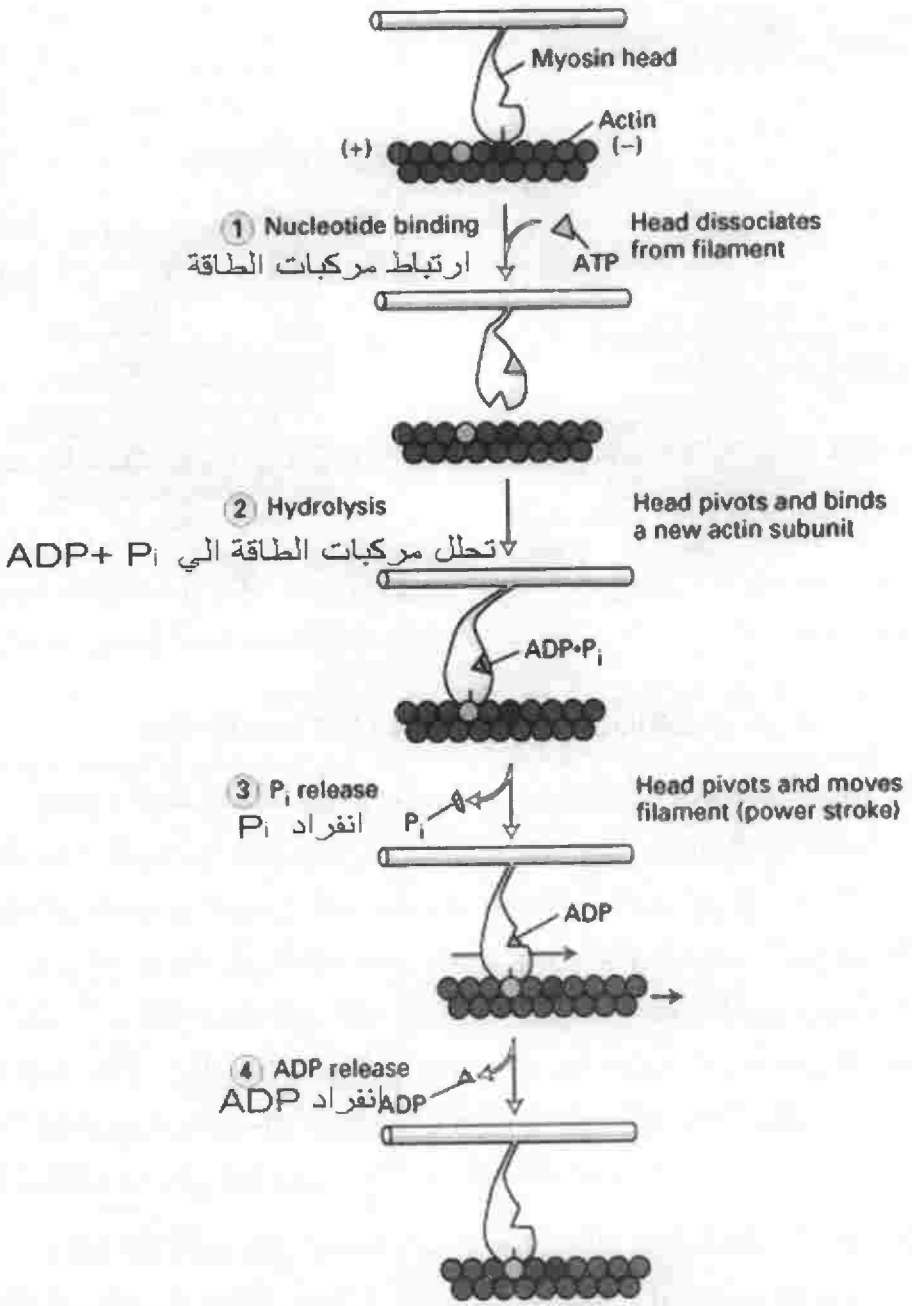
والخطوات التالية (شكل ٦-أ و٦-ب) تلخص مراحل انقباض العضلات:

(أ) رأس الميوسين ترتبط بخيط الأكتين.

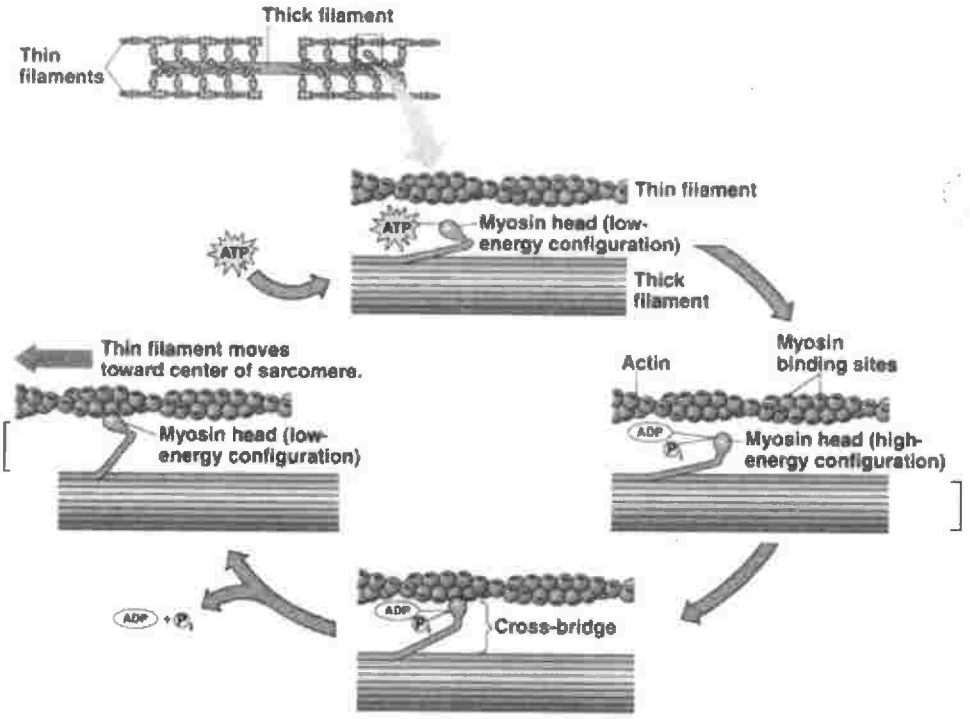
(ب) رأس الميوسين تجذب خيط الأكتين تجاه الوسط.

(جـ) الجسور المتقاطعة تتحرر عندما ترتبط ATP مع الميوسين.

(د) عند تحلل مركب ATP إلى P + ADP تتكون قناطر متقاطعة جديدة.



شكل (٦-أ): خطوات الارتباط مع مركبات الطاقة وتحللها وانفراد الفوسفور والـــADP في مراحل الانقباض والانبساط للخيوط العضلية من ١ إلى ٤.



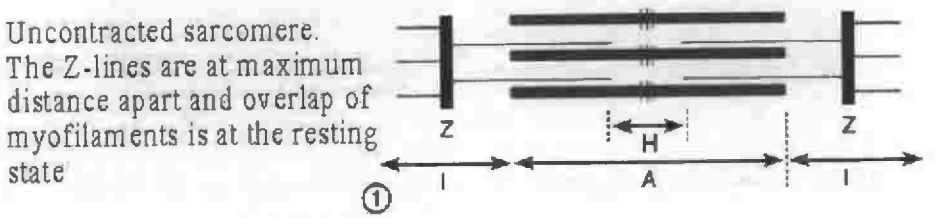
شكل(٦-ب): دورة الربط والجذب لخيوط الميوسين والأكتين من أ إلى د.

ودورة الربط والجذب بين الأكتين والميوسين تبدأ بأن: يتحد الميوسين مع ثلاثي الفوسفات الأدينوسين ATP (شكل ٦-ب-I)، ثم ينشق منها، وتنشط الطاقة الناتجة من هذه الرابطة رأس الميوسين الذي يتصل بشريط الأكتين المجاور (شكل ٦-ب-II)، وتنحني ٤٥ درجة. وفي الوقت نفسه.. يتحرر جزيء ثنائي فوسفات الأدينوسين ADP (شكل ٦-ب-III)، وهذه تكون القوة الضاربة التي تجذب خيط الأكتين مسافة (١٠ نانومتر nm) تقريبًا، وبهذا نأتي إلى النهاية حيث يتحد جزيء آخر ثلاثي فوسفات الأدينوسين برأس الميوسين مثبطًا المكان (شكل ٦-ب- IV)، وهكذا.. كل دورة تتطلب استهلاك طاقة على هيئة جزيء ثلاثي فوسفات الأدينوسين.

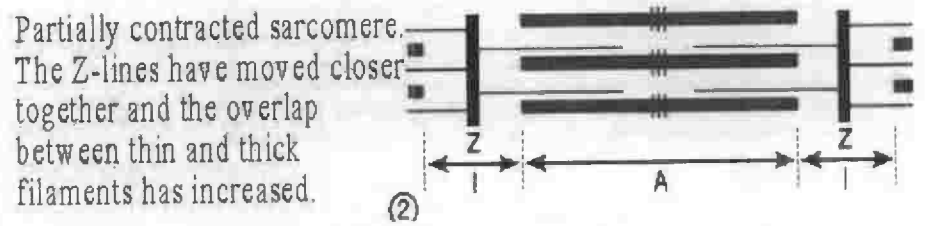
وكلما طالت مدة تأثير العضلة، أتيح الحصول على جزيئات ثلاثي فوسفات الأدينوسين جديدة، وتتكرر دورة الربط – الجذب، والتحرر مرات، ومرات (حوالي ٥٠ إلى ١٠٠ مرة في الثانية) جاذبة الخيوط الرفيعة فوق الخيوط السميكة وخلالها يمكن أن تتقلص المسافة الممكنة لكل وحدة عضلية، وهي صغيرة جدًا، إلا أن هذه المسافة

تتضاعف بواسطة الآلاف من الوحدات العضلية، التي تمتد كل منها في طرف الأخرى داخل الليفة العضلية، لذلك.. قد تتقلص العضلة ذات الانقباض القوى إلى ثلث طولهـا عنها في حالة الاسترخاء. وهذا يتضح في الأشكال التالية (شكل ٧) للخيوط العـضلية خلال مرحلة الاسترخاء والانقباض وتغير طول منطقة الساركومير.

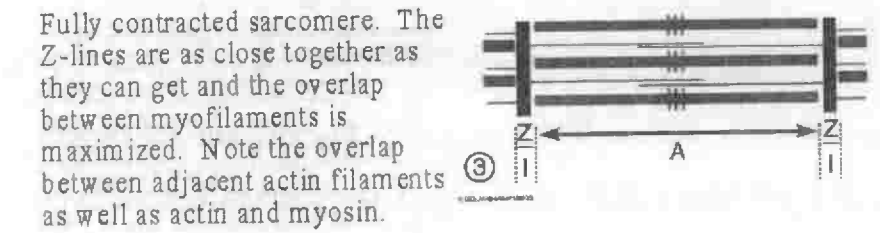
والأشكال التالية (٧-أ و٧-ب و٧-جـ) توضح شكل الخيوط العـضلية خـلال مرحلة الاسترخاء والانقباض:



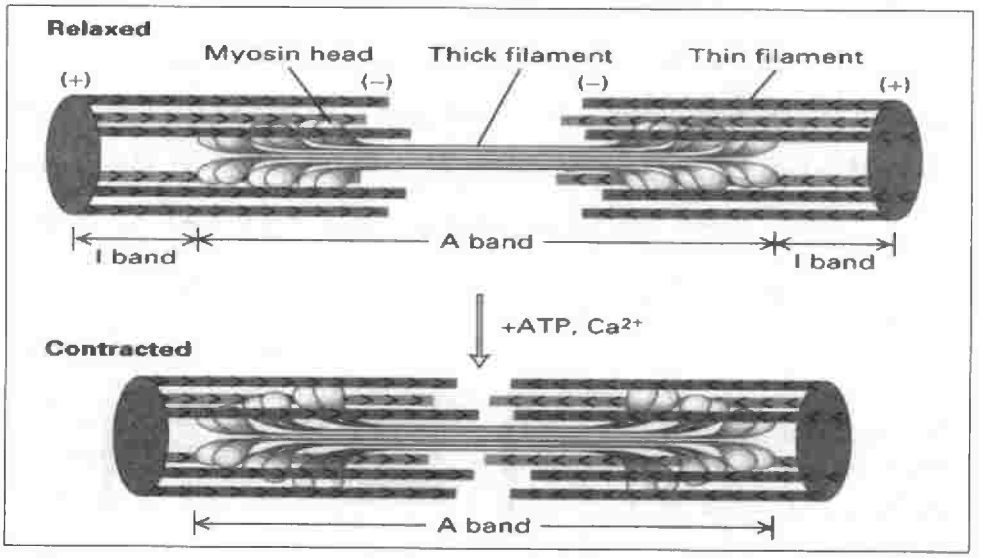
شكل (٧-أ): العضلة في حالة الاسترخاء مع وضوح منطقة الساركومير.



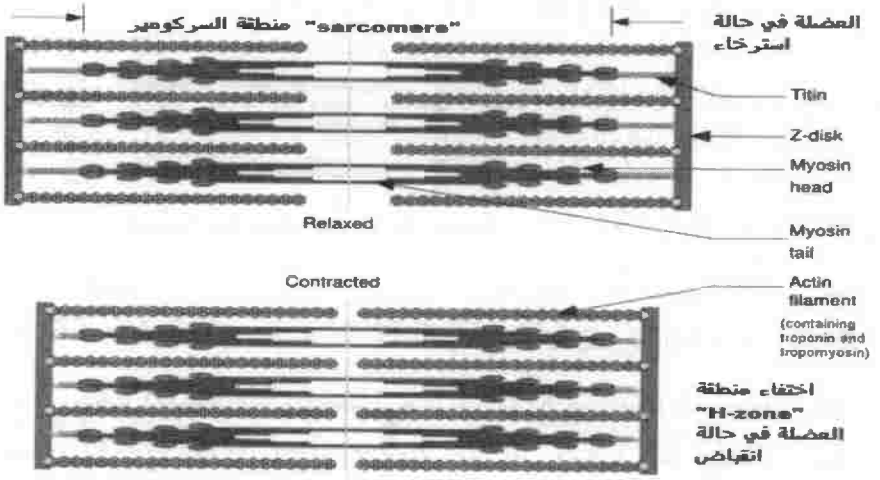
شكل (٧-ب): بداية الانقباض للعضلة مع تقليل مسافة منطقة الساركومير وتقليل المنطقة المضيئة.



شكل (٧-جـ): الانقباض التام للعضلة واختفاء المنطقة المضيئة تمامًا (I-band) مع ظهور المنطقة المظلمة فقط وهي (A-band).



شكل (٨-أ): تغير طول منطقة الساركومير خلال انقباض واسترخاء العضلات واختفاء منطقة الـH-zone.



شكل (٨-ب): كيفية جذب خيوط الأكتين إلى وسط منطقة الساركومير بواسطة الميوسين.

والنتيجة النهائية للانقباض هو قصر طول (أو انكماش) منطقة الساركومير، وهذا يتضح من التغيرات التالية:

١- تقليل المسافة بين خيط Z وZ التالي له.

٢- اختفاء منطقة H في وسط الساركومير.

٣- انكماش طول الخيط الرفيع (I band).

التيبس الرُّمي

تحول العضلات إلى لحم:

بعد ذبح الحيوان تبدأ العضلة بالانقباض والانبساط ولذلك يلاحظ أن هناك حركة للعضلات في الساعات الأولى بعد ذبح الحيوان وسلخه إلى أن يتم استنزاف جميع أشكال الطاقة الموجودة في العضلة في صورة ATP أوجليكوجين ومن ثم دخول العضلة في مرحلة تسمى التيبس الرُّمي (Rigor-mortis).

التيبس الرُّمي (Rigor-mortis):

هي ظاهرة تحدث في اللحوم بعد الذبح بساعات نتيجة لانقباض العضلات، والتي تؤدي إلى تكوين الأكتوميوسين، وإلى تماسك المفاصل والعضلات، وتعرف هذه العملية بصلابة الذبيحة بعد الذبح فبعد انتهاء الطاقة الموجودة في العضلة يحدث تيبس أو تصلب للعضلة، مع إنتاج حمض اللاكتيك، وتختلف مدة دخول العضلة في التيبس الرُّمي باختلاف نوع الحيوان كما يلي:

- في الدواجن واللحوم البيضاء تستغرق من ١-٢ ساعة.
- في الأغنام والأبقار واللحوم الحمراء تستغرق من ٦-٢٤ ساعة.

تسبب ظاهرة التيبس الرُّمي تغيرات في العضلات منها حدوث قصر في طول العضلة وبذلك تقل طراوتها وجودتها، وبعد انتهاء فترة التيبس الرُّمي والتي تبلغ حوالي ٢٤ ساعة بعد الذبح، تبدأ العضلة في عملية انحلال هذه الانقباضات، وتكسر بعض الألياف والروابط بسبب وجود بعض الإنزيمات مثل مجموعة إنزيمات الكثابسن (Cathepsin and Calpain) وكالبين.

العوامل المؤثرة على سرعة التيبس الرُّمي:

١- درجة نشاط العضلات قبل الذبح تؤثر في سرعة عملية التيبس الرُّمي بعد الذبح.

٢- ارتفاع درجة الحرارة تزيد سرعة التيبس، وكلما انخفضت الحرارة تعطلت عملية التيبس.

٣- إجهاد الحيوان أو مرضه قبل الذبح يبطئ عملية التيبس الرُّمي.

ويعتبر فهم ومعرفة التغيرات التي تطرأ على هذه العضلات بعد ذبح الحيوان شيئاً مهمًّا وأساسيًّا لمعرفة كيفية تحولها إلى لحم، وهذه التغيرات هي:

١ – استنزاف الدم (Exsanguinations):

يعتبر استنزاف دم الحيوان أولى مراحل تحول العضلات إلى لحوم، والهدف من عملية استنزاف الدم هو التخلص من أكبر كمية ممكنة منه، ويعتبر هذا الاستنزاف إشارة إلى بدء سلسلة من التغيرات التي سوف تحصل خلال تحول العضل إلى لحم، ونزف الدم الغزير من الحيوان ما هو إلا عبارة عن إجهاد شديد له، فعندما يبدأ الضغط الدموي بالانخفاض تدريجيًّا نتيجة نقص الدم، يحاول جهاز الدوران القيام بتوازن وظيفي، في محاولة للمحافظة على الإمداد الدموي للأعضاء الحية داخل الجسم. حيث تبدأ دقات القلب بالتسارع وتنقبض الأوعية الدموية الطرفية، في محاولة للمحافظة على الضغط الدموي وحجز الدم في الأعضاء.

ولذلك لا يتم خروج إلا حوالي ٥٠% فقط من حجم الدم الفعلي الموجود في جسم الحيوان، أما الباقي فيبقى محتجزًا ضمن الأعضاء الحيوية، وهذا الدم المحتجز له أثر كبير في صحة اللحوم؛ لأنه يعتبر بيئة مناسبة لنمو الجراثيم، كما أن زيادة نسبة الدم في قطع اللحم غير مقبولة من قبل المستهلك.

٢ – القصور الدوراني إلى العضلات (Failure to The Muscles Circulatory):

يقوم جهاز الدوران في الجسم بنقل المواد الغذائية الضرورية إلى العضلات ويحمل الفضلات الناتجة منها، إما لطرحها خارج الجسم أو لحملها إلى أعضاء أخرى من أجل إعادة استقلابها إلى مواد نافعة للجسم. وعند إجراء عملية الذبح والإدماء تفقد العضلات صلتها بالوسط الخارجي، ويتوقف بالتالي إمداد هذه العضلات بالمواد الغذائية أو حمل الفضلات الناتجة.

من ناحية أخرى يقوم الدم بنقل الأكسجين من الرئتين (بواسطة الهيموجلوبين) إلى العضلات؛ حيث يخزن في الميوجلوبين الموجود فيها مما يتيح للعضلات استعماله في عمليات الأكسدة والحصول على الطاقة، وعندما يحدث الإدماء تفقد العضلات مصدرها الوحيد من الأكسجين، وبالتالي تلجأ إلى إحداث عملية ميتابولزم اللاهوائي

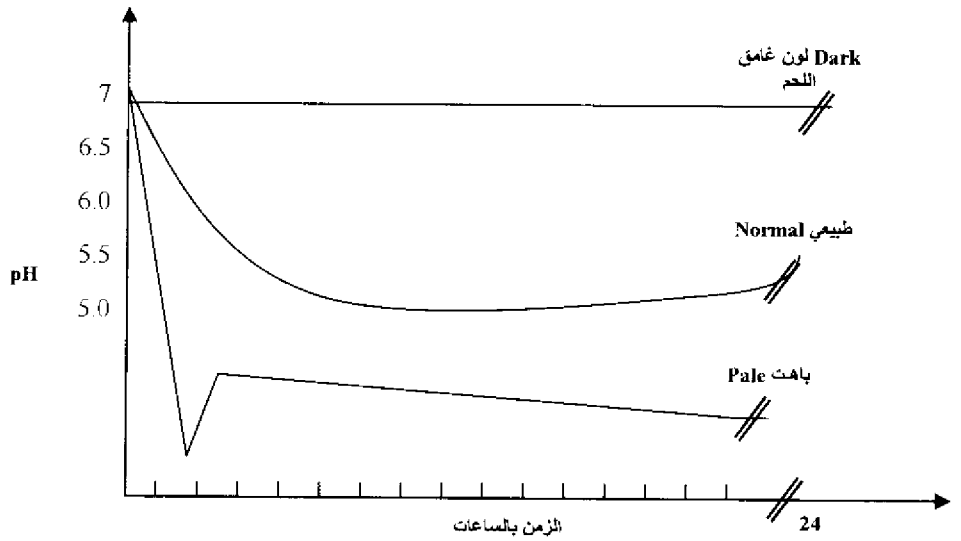
في داخلها للحصول على الطاقة، وخلال هذه العملية يتشكل حمض اللبن (اللاكتيك) ضمن العضلات.

ولو كان الحيوان حيًا والدورة الدموية تعمل بشكل جيد، فإن حمض اللبن (اللاكتيك) المتشكل ينقل بواسطة الدم إلى الكبد حتى يعاد تحويله مرة أخرى إلى جليكوجين، ولكن هذا لن يحدث بعد الذبح وبالتالي سوف تتراكم كميات كبيرة من حمض اللبن (اللاكتيك) في العضلات، مما يؤدي إلى الانخفاض في التركيز الهيدروجيني pH، وتعتمد درجة التركيز الهيدروجيني النهائية على كمية الجليكوجين الموجود في العضلات عند ذبح الحيوان.

٣- الهبوط في التركيز الهيدروجيني (pH) بعد الذبح (pH Decline Post Mortem):

إن درجة pH في عضلات الحيوان المذبوح حديثًا والسليم صحيًا (خاليًا من الأمراض والإصابات)، وفي حالته الفسيولوجية الطبيعية، تكون إما متعادلة (= ٧) أو تميل إلى الحموضة بدرجة طفيفة أي تتراوح بين (٦,٨-٧,٢). ولكن بعد ساعتين من الذبح وعند بداية التيبس الرُمي تبدأ درجة التأين الأيدروجيني في الانخفاض، وتصل إلى أدنى درجة لها خلال (٢٤-٤٨) ساعة، ثم تبقى بعد ذلك ثابتة لفترة زمنية.

وقد لوحظ أن أسرع التغيرات التي تحدث بعد الذبح هو انخفاض درجة pH اللحوم، ويرجع ذلك إلى تراكم حمض اللاكتيك في العضلات، وبذلك تنخفض درجة pH من ٧ إلى ٥,٦ في خلال ٦-٨ ساعات بعد الذبح ثم تخفض إلى ٥,٣ بعد ٢٤ ساعة بعد الذبح، ويختلف ذلك على حسب: نوع الحيوان (البتلو- حوت - دواجن - أسماك - أغنام). وكذلك على حسب نسبة الجليكوجين في العضلات، حالة الحيوان قبل الذبح، إجهاد الحيوان قبل الذبح، وإذا انخفضت درجة pH بسرعة كبيرة وقبل أن ينخفض درجة حرارة جسم الحيوان، يؤدي ذلك الي الإضرار بخصائص جودة اللحم فإذا انخفض درجة الـpH إلى ٥,٦ وحرارة الذبيحة في حدود ٣٩-٤٠°م يؤدي ذلك إلى دنترة كمية كبيرة من بروتينات اللحم، ومن ثم فقد القدرة على الارتباط بالماء (Water Holding capacity) كما يحدث تغير في لون اللحم. ويوضح الشكل التالي (٩) تأثير انخفاض درجة pH اللحم في فترة زمنية قصيرة علي لون اللحم الناتج.



شكل (٩): العلاقة بين معدل انخفاض درجة الـ pH ولون اللحم الناتج.

ويعتمد طول هذه الفترة على ما يلي:

(أ) درجة تبريد الذبيحة.

(ب) درجة تلوث الذبيحة بالميكروبات.

(جـ) ظروف تخزين الذبيحة.

بعد هذه الفترة تبدأ درجة الـpH في الارتفاع مرة أخرى ببطء، وذلك نتيجة لـ:

(أ) التحلل الذاتي في اللحم بالإنزيمات الطبيعية في الأنسجة العضلية.

(ب) نمو الميكروبات والجراثيم الموجودة على الذبيحة والملوثة لها، خلال الذبح والسلخ والتبريد.

وعندما يصل pH إلى ٦,٤ يصبح هناك اشتباه في بداية تفسخ اللحم، ولكن عند وصوله إلى درجة ٦,٨ أو أكثر، فإن علامات التفسخ تصبح ظاهرة على شكل تغيرات في اللون والملمس والرائحة.

وفترة هبوط التركيز الهيدروجيني وارتفاعه تختلف من حيوان إلى آخر، ففي الحيوان السليم يكون الهبوط تدريجيًّا حتى يصل إلى أدنى مستوياته، وعندما يرتفع يكون هذا الارتفاع تدريجيًا أيضًا. أما في الحيوان المجهد أو المريض أو الجائع لفترة

طويلة قبل ذبحه فسوف يكون الانخفاض بالتركيز الهيدروجيني سريعًا وفجائيًا. كما أن ارتفاعه أيضًا يكون سريعًا وفجائيًا، لأن الجليكوجين في هذه الحيوانات كان قد سبق له أن تحول إلى حمض اللبن (اللاكتيك) خلال فترة ما بعد الذبح.

من ناحية أخرى عندما تحفظ اللحوم عند درجة التجمد وما دونها، فإن التركيز الأيدروجيني يبقى ثابتًا طول فترة الحفظ، ولكن عند إذابة اللحم فإن التركيز الأيدروجيني يرتفع بسرعة عالية، مما يسمح للميكروبات والجراثيم بالنمو والتكاثر مسببة التفسخ السريع لهذه اللحوم.

قياس درجة التركيز الهيدروجيني (pH) للعضلات:

لقياس درجة pH في اللحوم أهمية كبيرة في بعض الحالات، كما في الذبح الاضطراري لأنها تزودنا بالنتيجة الفاصلة والتي نعتمد عليها في قرار المعاينة، وما إذا كان اللحم صالحًا للحفظ أم لا.

الحالات التي يتم فيها قياس pH للحوم هي:

١- الذبح الاضطراري.

٢- الفحص الجرثومي.

٣-عند تقدير درجة النزف في الذبائح.

ويكون قياس درجة pH في العضلة التي أخذت منها العينة للفحص الجرثومي. وأن نقوم بعملية قياس pH بعد مرور ٢٤ ساعة على ذبح الحيوان ويتم القياس بواسطة مقياس التأين الأيدروجيني الكهربائي وبواسطة مقياس الألوان أيضًا.

نتائج قياس درجة pH اللحم:

- يكون اللحم جيدًا وله صفات حفظ جيدة، إذا كانت درجة pH بين ٦,٢-٦,٣.
- يكون اللحم متوسط الجودة ويجب استهلاكه بسرعة، قبل أن يفسد إذا كانت pH = ٦,٦.
- يعتبر اللحم سيئًا غير صالح للحفظ، إذا كانت pH ما بين ٦,٥-٦,٨.
- يعتبر اللحم غير صالح للاستهلاك الآدمي، إذا كانت pH أعلى من ٦,٩.

أهمية الـ pH بالنسبة للحوم:

- له أهمية كبيرة في صفات حفظ اللحوم،
- الوسط الحامضي يثبط نمو كثير من الميكروبات والجراثيم،
- الوسط الحامضي يساعد في طراوة اللحم (نضج اللحم).

٤- حرارة الحيوان بعد الذبح: Post mortem heat production:

بعد الذبح مباشرة ترتفع درجة حرارة جسم الحيوان نتيجة للحرارة الكامنة، وبالتالي ترتفع درجة حرارة العضلات وتتوقف مقدار الارتفاع في درجة حرارة جسم الحيوان بعد الذبح على عدة عوامل، منها: عوامل داخلية وأخرى خارجية. أولاً: العوامل الداخلية وتشمل حجم العضلة – مكان تواجدها وكمية الدهن المغلفة للعضلة. أما العوامل الخارجية فتشمل حالة الحيوان قبل الذبح، درجة حرارة عنابر الذبح، طول زمن الذبح، درجة حرارة غرف التبريد. فإذا لم تتخذ الاحتياطات اللازمة لخفض درجة حرارة جسم الذبائح بعد الذبح، فسوف يؤثر ذلك على خصائص جودة اللحم.

٥- انخفاض مستوى ATP: ATP ñ Declination:

إن أول مظاهر التيبس الرُّمي هو تصلب العضلات، وهذا التصلب راجع أساسًا إلى تكوين القناطر المتقاطعة الدائمة بين الأكتين والميوسين (شكل ٤)، وهو التفاعل الكيميائي نفسه الذي يحدث خلال انقباض وانبساط العضلات خلال حياة الحيوان، ولكن خلال التيبس لا تحدث راحة للعضلات؛ نظرًا لفقد مركبات الطاقة اللازمة لكسر مركب الأكتوميوسين ولعدم وجود Mg^{--}-ATP اللازمة لبقاء العضلات في حالة راحة. ومع انخفاض مستوى ATP في العضلات وعدم وجود Mg^{++}-ATP فإن التفاعل لن يكون عكسيًا. ورغم حدوث التصلب، إلا أنه بعد فترة تعود المطاطية والليونة إلى اللحم، لخروج إنزيمات الـCathepsin من أجسام Lysosomes والتي تحلل الأنسجة وخاصة عند منطقة Z Linc.

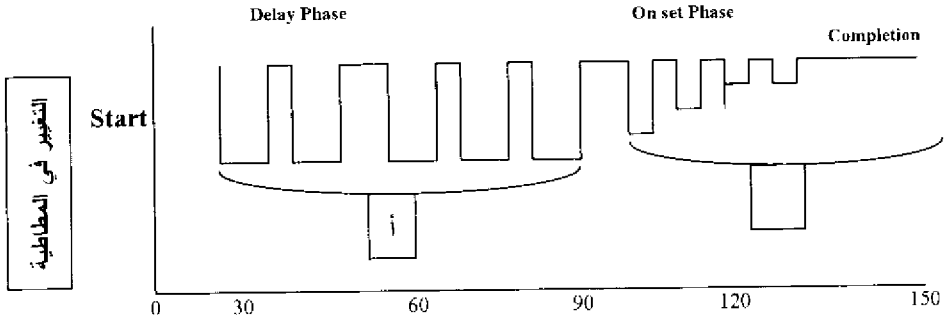
ويبدأ انخفاض ATP بعد الذبح مباشرة، وهو يكون مرتبطًا مع انخفاض pH ويتأثر بنوع الحيوان، نوع العضلة، درجة الحرارة للحيوان. ومتوسط كمية ATP في العضلات هي ٣ مللي جرام/جم من العضلة الطازجة والزمن اللازم لاختفاء تلك

الكمية تكون ٢-٤ ساعة في الدواجن، ١٠-٢٤ ساعة في الأبقار، ٥٠ ساعة في الحوت وتبدأ التغيرات في ATP عندما تختفي كمية الجليكوجين (١٠-٢٠ ملليجرام/جرام) في عضلات الحيوان، وتتحول إلى حمض لاكتيك.

وفي هذه الحالة يبدأ مخزون الكرياتين فوسفات i Phosphate creatine في إعادة فسفرة ADP إلى ATP، وعند انخفاض مستوى الكرياتين فوسفات فإن كمية ATP في العضلات سوف تقل وتصبح غير كافية لإبقاء العضلات في حالة راحة، وبالتالي يحدث تكوين الأكتوميوسين.

٦- التغير في المطاطية Extensibility:

من أهم التغيرات التي تحدث خلال مرحلة التيبس، هو فقد المطاطية والمرونة للعضلات والانكماش وزيادة الصلابة، ومن الرسم التالي (شكل ١٠) يمكن توضيح التغيرات التي تمر بها الأنسجة العضلية كما يلي:



شكل (١٠): تغيير المطاطية بعد الذبح وخلال التيبس الرُّمي.

أ) بعد الذبح مباشرة، تكون العضلات في حالة مرونة عالية عند تعرضها لأي ثقل خارجي – وفي تلك المرحلة لا تتكون أي كمية تذكر من قناطر الأكتوميوسين، وتلك المرحلة تسمى (Delay Phase).

ب) بعد انخفاض مستوى ATP والكرياتين فوسفات وعدم قدرته على جعل العضلات في حالة راحة. يبدأ تكوين الأكتوميوسين بالتدريج وتفقد العضلة قدرتها على المطاطية وتسمى On set phase، والذي يستمر حتى نهاية مرحلة

التيبس Completion وفي تلك المرحلة يكسر كل فوسفات الكرياتين ولا يمكن تحويل ADP ← ATP فتفقد العضلة مطاطيتها تمامًا. وهذا التغير يختلف من حيوان إلى آخر ومن عضلة إلى أخرى، ويؤثر في خصائص جودة اللحم.

٧- فقد المقاومة لمهاجمة الأحياء الدقيقة Loss of protection from Bacteria:

هناك عوامل عديدة تمنع مهاجمة الأحياء الدقيقة للحيوان الحي، ومن تلك العوامل: الغطاء الخارجي من الخلايا والأنسجة، وكذلك الأنسجة الضامة وكذلك الجهاز الليمفاوي وخلايا الدم البيضاء، ولكن خلال تحول العضلات إلى لحم تفقد الأنسجة عوامل الحماية السابقة وتصبح سهلة الغزو بالميكروبات والتلوث. ولكن انخفاض درجة pH في أنسجة العضلات سوف يقلل من مهاجمة بعض الأنواع من الأحياء الدقيقة؛ خاصة إذا تلازم ذلك مع خفض درجة حرارة التبريد.

٨- التغير في الإنزيمات Degradation of Enzymes:

توجد بعض الإنزيمات المحللة للبروتينات داخل أنسجة العضلات، ولكن في صور غير نشطة أو غير فعالة؛ حيث إن انزيمات الـcathepsin (Lysosome) يبدأ نشاطها في تحليل بروتينات العضلات عند انخفاض درجة pH إلى ٥-٥,٦.

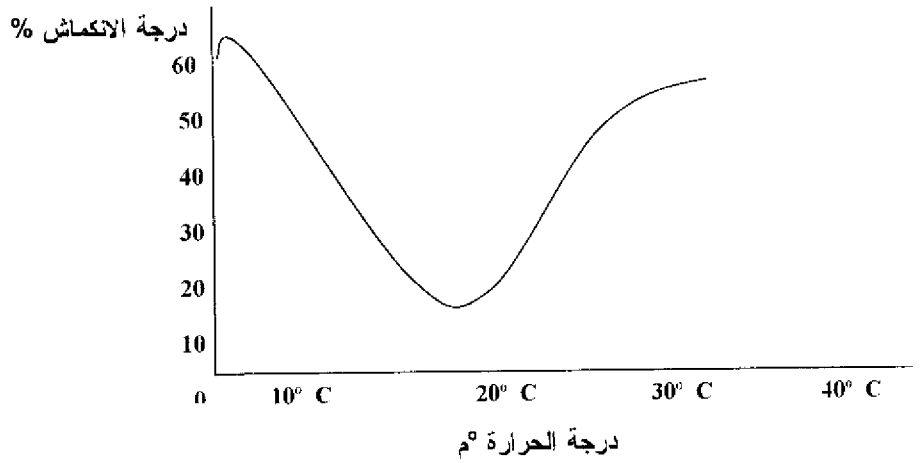
أنواع أخرى من التيبس الرُّمي Thaw Rigor, cold Shortening:

أمكن التعرف على نوعين آخرين من التيبس الرُّمي وكلاهما ناتج من انخفاض درجة الحرارة خلال مرحلة التيبس الرُّمي. والنوع الأول (Thaw) يعتبر غير عادي لحدوث تجمد للعضلات قبل بداية التيبس الرُّمي وتدخل العضلة بعد الانصهار في التيبس الرُّمي ويلاحظ فيها الانكماش الشديد في العضلات، والذي يصل إلى ٢٥% والذي تزيد فيه نسبة السوائل المفقودة، والذي يصل إلى ٢٥% من الوزن الرطب للعضلات – كما تزيد فيه درجة الخشونة للحم. ويوضح الشكل التالي (١١) العلاقة بين درجة الانكماش في العضلات ودرجة حرارة العضلات خلال مرحلة التيبس الرُّمي. وتكون تلك التغيرات أقل حدة إذا كانت العضلات متصلة بالهيكل العظمي للحيوان. ولذلك لا ينصح بتجميد الحيوانات بعد الذبح مباشرة، وقبل المرور بالتيبس الرُّمي العادي، الذي يحدث على ١٦-١٧ °م. أما إذا تم تبريد الذبائح على درجة فوق

الصفر وأقل من ١٦- ١٧ °م فإنه يحدث Cold shortening وهو أقل حدة من Thaw ولكنه أكثر من التيبس العادي. وكثير من مصانع تصنيع اللحوم تعمل على سرعة إزالة حرارة الحيوان بعد الذبح وقبل الانتهاء من مرحلة التيبس الرُّمي، وهذا يؤدي إلى زيادة خشونة اللحم وانخفاض العصير به.

وتختلف الحيوانات في الزمن اللازم للإنتهاء من التيبس الرُّمي، فهو من ٦-١٢ ساعة للأغنام، ١٢-٢٤ ساعة في الأبقار، ١٥ق - ٣ساعات في الدواجن..

وعمومًا تتم عملية التصلب، ومازال هناك ٤٠% من كمية ATP في العضلات، وهذا يختلف عن التيبس الرُّمي العادي.



شكل (١١): العلاقة بين درجة الانكماش ودرجة حرارة الذبيحة.

التغيرات التي تحدث خلال التيبس الرُّمي وتأثيرها على جودة اللحم الناتج

١- التغير في القوام والقدرة على الاحتفاظ بالماء Texture and WHC:

من أكثر العوامل المؤثرة على قدرة اللحوم على ربط الماء Water holding capacity معدل انخفاض درجة pH بعد الذبح وليس فقط مقدار الانخفاض، ولكن معدل حدوثه يكون له تأثير فعال في درجة الارتباط بالماء، حيث إن ذلك يؤثر على دنترة

كمية كبيرة من بروتينات اللحم، كما أن انفراد بعض الأحماض الدهنية الحرة الناتج من تأثير الأنزيمات المؤكسدة والمحللة للدهون، مثل Phospho-Lipase, Lipase يكون من العوامل المؤثرة على معدل دنترة بروتينات الأنسجة العضلية. ومن العوامل المؤثرة على قوام اللحوم الارتباط بين الأكتين والميوسين، والناتج من انخفاض كمية ADP, ATP.

٢- اللون Color:

يعتبر انخفاض درجة pH من العوامل المؤثرة على لون اللحم، لأنه يتحكم في:

- الخصائص الطبيعية للألياف العضلات ومن ثم قدرتها على عكس الضوء.
- كما أن انخفاض درجة pH تؤثر في عمل الميتاكوندريا، ومنافستها للميوجلوبين في الارتباط بالأكسجين.
- تؤثر درجة pH على الصفات الاختزالية لبعض المواد الموجودة بالعضلات، ومن ثم تسرع من أكسدة الصبغات وتحولها إلى اللون البني للميتاميوجلوبين.

وقد لوحظ أثناء تخزين اللحوم لفترات طويلة تحول لون اللحم إلى اللون البني (ميتاميوجلوبين)، ويرجع ذلك إلى انخفاض كمية المواد المختزلة الطبيعية الموجودة باللحم، وبالتالي سرعة أكسدة الصبغات بالمواد المؤكسدة القوية، والتي قد تنتج بواسطة الميكروبات الملوثة لسطح اللحم والمنتجة H_2O_2. كما أنه بعد الذبح قد يبقى جزء من الدم في الأنسجة العضلية، وتلك الصبغة أكثر حساسية لتغير درجة pH اللحم.

٣- التغير في القوام Change in Texture:

التغير في القوام يسير مع التغير في المطاطية، فبعد الذبح تكون العضلات ناعمة مطاطية ثم خلال التيبس تصبح جافة صلبة، ثم تعود في مرحلة أخرى إلى المطاطية مع ابتلال القوام أو خروج سائل من اللحم أي تصبح العضلة moisture مع خروج كمية من الـWeep، وتختلف على حسب درجة الـpH ودرجة الحرارة فمع انخفاض درجة الـpH لأقل من ٦ وارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٧°م تصل كمية الـweep الخارجة من العضلات إلى ١٥% من الوزن؛ أي تزيد كمية السائل المنفصل مع زيادة

انكماش العضلات. ولا تحدث هذه الظاهرة في الحيوانات الجائعة أو المجهدة؛ حيث إن رقم الـpH النهائي يكون أعلى من ٦,٣.

ويقاس التغير في القوام بجهاز Sclerometer (هو قياس درجة انغماس كرة من المعدن في العضلات) ومع انخفاض درجة الـpH إلى ٥,٣ يحدث تلف للغشاء، Sarcolemma ومن ثم حدوث خروج لسوائل الألياف العضلية (weep).

وتغير القوام يمر بمراحل مثل المطاطية ففي مرحلة الـdelay phase تبقى درجة الصلابة منخفضة لا تتغير لعدة ساعات (صلابة منخفضة)، ثم تزيد الصلابة بدرجة كبيرة في مرحلة Rapid phase، ثم يحدث انخفاض في الصلابة مرة ثانية مع خروج كمية كبيرة من سوائل اللحم (Weep).

٤- النكهة Flavor:

قد تؤثر بعض البروتينات النووية أوالنيوكليوتيدات على نكهة اللحوم المطهية. وقد ينتج من تحلل مركبات الطاقة ATP ← ph + ADP ← AMP ← إنيوسين ← مركبات تعطي نكهة اللحوم الطازجة.

٥- القيمة الغذائية:

التغيرات التي تحدث خلال التيبس الرُّمي قد تؤثر على القوام واللون، ولكنها لاتؤثر على القيمة الغذائية للحم إلا في حالة Thaw أوCold rigor؛ لخروج كمية كبيرة من عصائر اللحم (weep) بما تحمله بالمغذيات (الأحماض الأمينية الحرة – البروتينات الذائبة – الصبغات – الفيتامينات...).

تطرية اللحوم بعد مرحلة التيبس الرُّمي:

تطرية اللحوم بعد مرحلة التيبس الرُّمي تنتج من بعض الإنزيمات الموجودة في العضلات والمحللة للبروتينات العضلية (Proteolyses enzymes)، ويوجد ٢ إنزيم هما Cathepsins. Calpanis في العضلات الحمراء وعضلات الدواجن والأول أكثر أهمية، ولكن الثاني يكون مهمًّا في مرحلة Post mortem degradation خاصة في عضلات الأسماك، وكذلك في لحوم الحيوانات التي تحفظ على درجة حرارة عالية.

والـــCathepsin يوجد في الـــLyzosomes داخل الـــSarcoplasm. وهو يتحور خـــلال مرحلة التيبس الرُمي؛ لأنـــه يحتـــاج إلـــى وســـط حـــامض متوســـط (mildly acid condhtions) وهو يحلل بعض أنواع البروتينات الموجودة بالأنسجة العـــضلية، مثـــل Troponin T وبعض الروابط العضلية للأنسجة الضامة (Some collagen ceors links and mncopoly saccharides of connective tissues grow subslan) ولكنهـــا تهـــدم الأكتين والميوسين عند pH أقل من ٥، وذلك في حالات غيـــر عاديـــة، أمـــا نـــشاط calpanis فيصل إلى أقصى نشاطه عند pH مرتفعة قريبة من التعادل أو القلوية.

مرحلة التعتيق أو التطرية (Aging): تبدأ هذه المرحلة بعد ٢٤ ساعة من الـــذبح، وتستمر حوالي ٢١ يومًا وهي عملية تتم بوضع الذبائح بكاملها في غرف التبريـــد أو تقطع إلى قطع كبيرة وتغلف بالتفريغ الهوائي، ثم تخزن علـــى درجـــة حـــرارة ١°م؛ لتحسين خصائص جودة اللحم الناتج بالإنزيمات الطبيعية الموجودة بالأنـــسجة، وهـــذا يزيد سعرها لأنها تتطلب تبريدًا لفترة طويلة.

هناك ظاهرتان تحدثان للحوم نتيجة للتبريد أو التجميد الخـــاطئ خـــلال مرحلـــة التعتيق، وهما: الانكماش التبريـــدي (Cool Shortening) وانكمـــاش التجميـــد (Thaw Rigor)، وتحدث هاتان الظاهرتان للحوم نتيجة لانخفاض درجة حرارة العضلات قبل أن يحدث التيبس الرُمي ويحدث قصر للعضلات في الطول، ويكون له تـــأثير ســـلبي على طراوة اللحوم؛ حيث إن هناك علاقة طردية بين طول الليفة العـــضلية وطـــراوة وجودة اللحوم فكلما زاد طول الليفة العضلية زادت طراوة اللحوم والعكـــس صـــحيح، وتكون بدرجة أكبر في اللحوم المجمدة مباشرة بعد الـــذبح، فعنـــد انـــصهار اللحـــوم للاستهلاك نجد أن طولها يقصر، وتفقد جزءًا من عصير اللحم مما يجعل اللحوم أقـــل عصيرية وجودة وطراوة، هذه التغيرات تحدث بدرجة أقل إذا وضـــع اللحـــم تحـــت التبريد، وأفضل درجة هي ١٥-١٦ °م خلال الساعات الأولى بعد الذبح؛ لكي تـــدخل العضلات في مرحلة التيبس الرُمي مع أقل مقدار من الانكماش أو القصر للعضلات.

ذبح الحيوانات وإعدادها

عند الذبح لابد أن يؤخذ العمر المناسب؛ لأن ذلك يؤثر على درجة جودة اللحـــم. وعند الذبح يجب أن نراعي الآتي:

١- تذبح الحيوانات وهي هادئة لأن هياجها يؤدي إلى رفع درجة حرارتها؛ مما يؤثر في ضخ الدم، كما أن إجهادها يؤدي إلى انخفاض نسبة الجليكوجين في أنـــسجتها؛ مما يؤثر في كمية حمض اللاكتيك التي تتكون خلال مرحلة التيبس الرُمي، ومـــن ثم على خصائص جودة اللحم.

٢- يجب أن يبقى الحيوان قبل الذبح بـــ٢٤ ساعة في حالة راحة تامة؛ لأن ذلك يؤدي إلى تحسين خصائص جودة اللحم. كما يجب أن تعطي الحيوانات أكبر كمية مـــن الماء للتخلص من البكتيريا والأحياء الدقيقة في المعدة والأمعاء.

٣- تصويم الحيوان ٢٤ ساعة يؤدي إلى خفض الملوثات في القناة الهضمية، ويحـــسن من خصائص الجودة.

٤- الكشف على الحيوان للتأكد من خلوه من الأمراض.

طرق الذبح Slaughtering:

توجد طريقتان للذبح: الطريقة الاولي (العاديـــة) Regular method وفيهـــا يفقـــد الحيوان الوعي أولاً، ثم يذبح (Stunning) وفقد الوعي يتأتى بعدة طرق منها الـــضرب فوق المخ بآلة حادة، وهذه يودي الي كفاءة عالية في نزف الدم، ولكن إذا كانت الضربة أكبر وأشد فإنها تؤدي الي تهشم الجمجمة، وبالتالي التأثير على كفاءة نزف الدم. وقـــد يطلق رصاص علي الحيوان أو قد يعرض إلى تيار كهربائي ضعيف لفقد الوعي. اما الطريقة الثانية Kosher method وفيها يذبح الحيوان في كامـــل وعيـــه حيـــث يـــربط الحيوان من أرجله ويوضع على جانبه، وتقطع شرايين الرقبة عند الـــشريان الـــدموي الرئيسي ويترك لينزف الدم. وحيث أن كلا من القلب والرئتين سليمة فإن القلب يـــضخ كمية أكبر من الدم.

إعداد اللحم وكفاءة إعداد اللحم Dressing and dressing percentage:

بعد الذبح تفصل الرأس ثم تربط القصبة الهوائية والبلعوم لمنع تلوث الذبيحة، ثم تقطع الأرجل الأمامية والخلفية عند المفصل، ثم يتم السلخ ثم تفتح البطن لإزالة الأحشاء الداخلية، ثم التقطيع إلى نصفين ثم إلى أرباع.

والمقصود بكفاءة إعداد اللحم Dressing percentage هي المقارنة بين وزن الذبيحة بعد الذبح ووزن الحيوان قبل الذبح. وتعتمد تلك النسبة علي عدة عوامل منها: درجة نضج الحيوان – نوع الحيوان – كفاءة طريقة الإعداد. وتتراوح تلك النسبة بين ٤٥–٧٠% وإذا زادت تلك النسبة الي ٧٦–٧٨% دل علي زيادة نسبة الدهن. وبصفة عامة لا تزيد هذة النسبة عن ٦٠% في الماشية. وتحسب من المعادلة التالية:

كفاءة إعداد اللحم= (وزن الذبيحة باردة/ وزن الحيوان الحي)× ١٠٠ .

تدريج اللحم Grading of meat:

يتدرج اللحم تبعًا لخواص الجودة والتي يتحدد علي أساسها السعر. وأسس تدريج اللحم تتوقف علي ثلاثة عوامل رئيسية هي: شكل الحيوان – توزيع الدهن الخارجي – درجة جودة اللحم.

- **شكل الحيوان:** هذا يتوقف علي السلالة والتربية، وهي تهم البائع أكثر من المشتري؛ لأنها تتحكم في نسبة القطعيات الممتازة إلى القطعيات الأقل جودة، كما أنها تؤثر في نسبة اللحم/العظم/الدهن.
- **توزيع الدهن الخارجي:** الدهن الخارجي لا يستهلك عاده، ولكنه يساعد على تقليل انكماش العضلات خلال التخزين بالتبريد، كما أنه يقلل من وصول الأحياء الدقيقة إلى اللحم الأحمر، ويعطى دلالة على جودة اللحم. اما الدهن الداخلي، فإنه يقلل من فقد الرطوبة خلال الطبخ، كما أنه يزيد الإحساس بالعصرية خلال المضغ والبلع؛ لأنه يكون مع بروتينات اللحم مستحلبًا؛ مما يزيد الإحساس بالطراوة ويقلل الخشونة.
- **درجة جودة اللحم:** تتأثر بعدة عوامل، منها: نضج الحيوان – لون اللحم – درجة الصلابة – نسبة الدهن الداخلي (Marbling).

تختلف درجات جودة اللحم (اللون – الخشونة – الطراوة – نسبة الدهن الداخلي والخارجي) حسب النوع والجنس والعمر، كما هو موضح فيما يلي:

١- **لحم الضأن الحولي والبالغ:** هو لحم ناتج من غنم (ذكر أو أنثي) يتراوح عمره ما بين ١٢ الي أكثر من ٢٠ شهرًا. وتتميز ذبيحة البالغ بأن عظامها ذات صلابة وأكثر خشونة وأقل طراوة عند المقارنة باللحم الحولي. ويتدرج لونها من الأحمر الفاتح الي الأحمر الغامق حسب العمر، كما أن طبقات الدهن الخارجي أكثر سمكًا وتماسكًا، أما طبقات الدهن الداخلية فهي أكثر كمية، ويميل لونها إلى اللون الكريمي في البالغ.

٢- **لحم الإبل:** هو لحم وردي اللون وأليافه خشنة، عريضة، مرتبطة مع بعضها بنسيج ضام كثيف ولا يوجد فيها دهن مختلط بالعضلات. دهنه أملس، كريمي، مائل إلى الصفرة، يتجمع في السنام والقص، وأقل تواجدًا حول الكلية، طراوة اللحم قليلة نظرًا لقلة وجود الدهن بين الألياف العضلية. وتختلف تلك الخصائص حسب العمر، حيث يتراوح ما بين اقل من ١٨ شهر للباني وأكثر من ٥٠ شهرا للابل الكبيرة. وتتميز لون عظام الضلوع بأنها أحمر داكن في اللباني، ويميل إلى الأبيض مع تقدم العمر.

٣- **لحم البقري:** تختلف خصائصه حسب العمر، وتتصف لحوم اللباني (٣ شهور) بنعومتها، لونها الوردي، لون عظام ضلوعها داكن، دهنها ناعم، إما عند زيادة العمر إلى عام يميل لون اللحم إلى الرمادي، والدهن أكثر صلابة، عظام الضلوع أقل احمرارًا. وعند الوصول إلى عامين، يصبح لون اللحم أحمر فاتحًا، ينتشر الدهن بين العضلات، يصبح لون الدهن اصفر، ويزيد هذا اللون مع تقدم العمر.

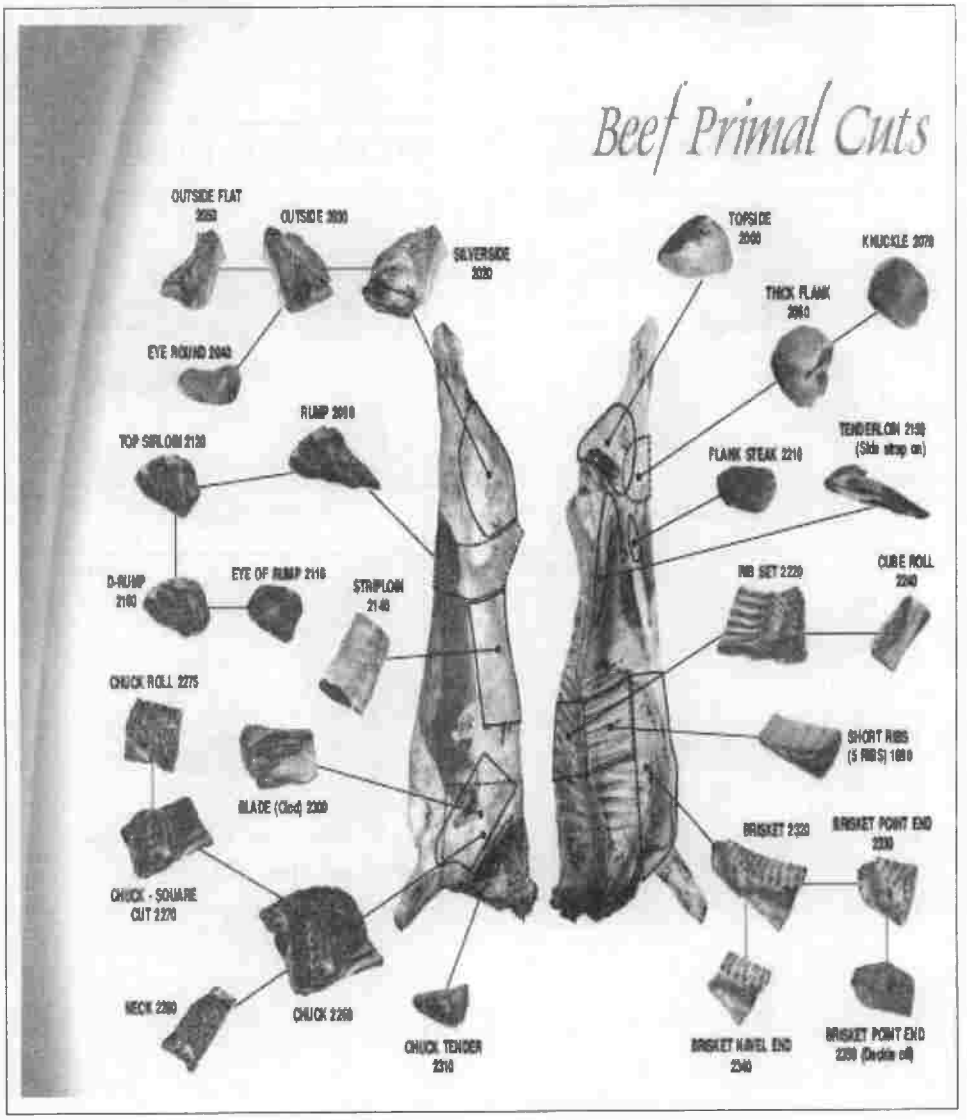
٤- **لحم الجاموس:** أكثر مسامية من اللحم البقري وأليافها سميكة، صلبة، ولا يوجد اي تعريق للدهن داخل لحومها.

٥- **لحم الماعز:** يختلف اللون حسب عمر الحيوان، فيتراوح من الأحمر الفاتح إلى الداكن، له رائحة تشبه بول الماعز، دهنه تحت الجلد قليل ولا يوجد دهن بين العضلات. يتميز الدهن بلزوجة الملمس مما يؤدي إلى التصاق الشعر على سطح الذبيحة، وهذه تميزه عن اللحم الضأن.

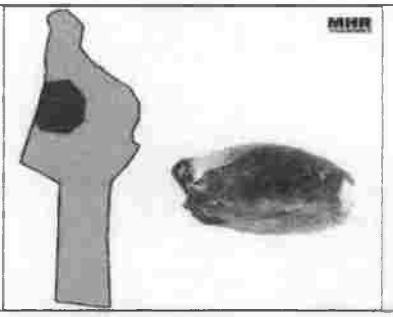
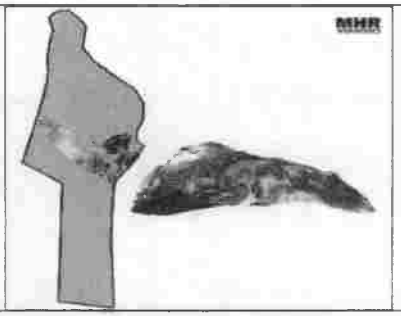
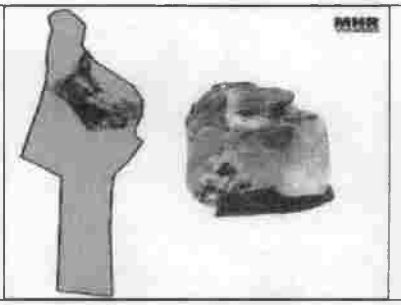
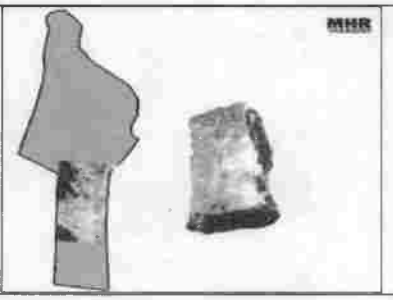
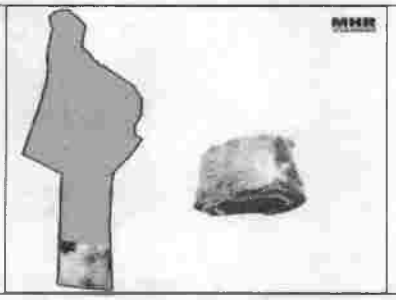
٦- **لحم الدواجن:** أليافها دقيقة، متينة، غير مختلطة بالدهن، ولونها يختلف من الأبيض (لحم الدجاج والديك الرومي) إلي الأحمر (البط والإوز والنعام).

المقاطع الرئيسية لذبائح الأبقار:

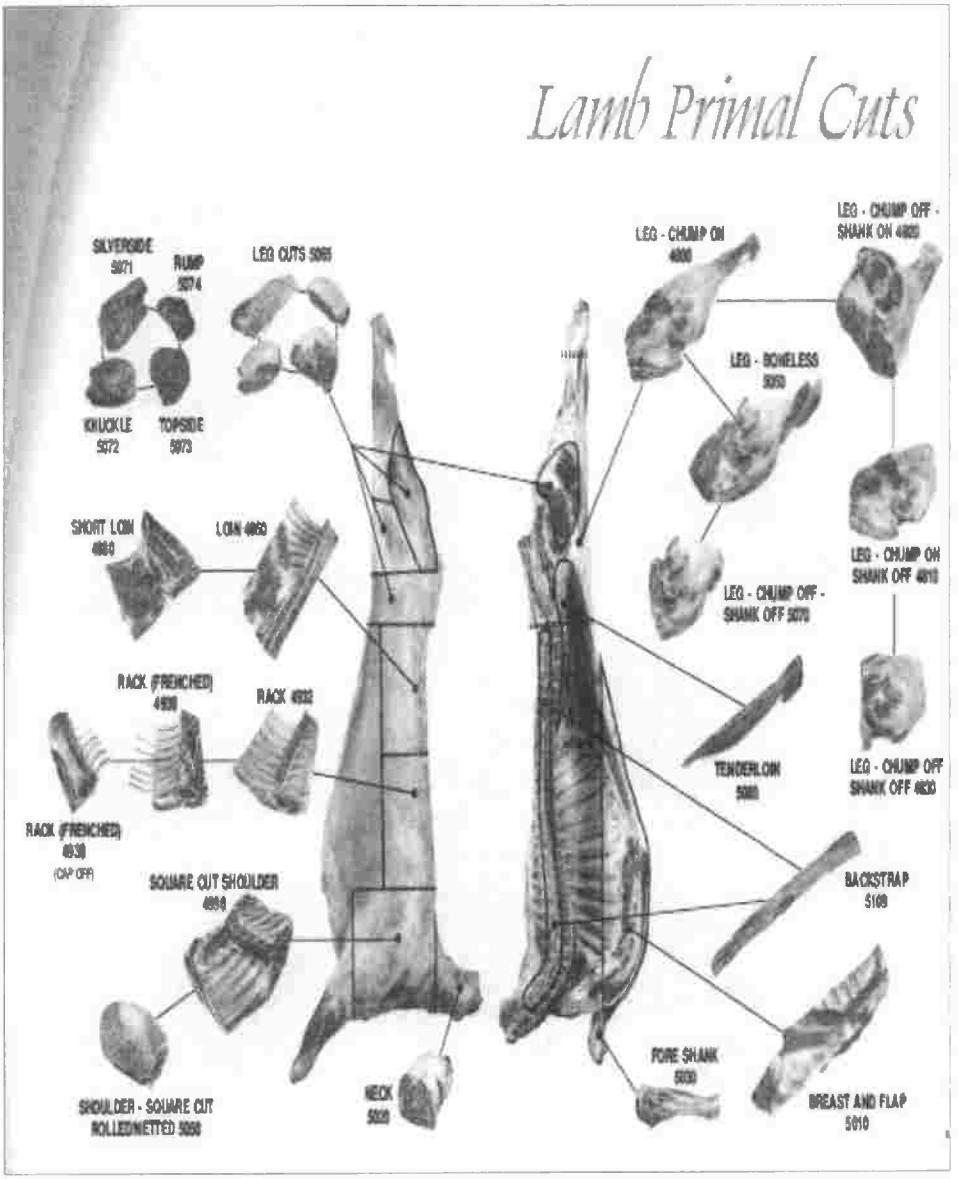
تختلف المقاطع الرئيسية للحم الابقار والجاموس والجمال من بلد إلـــى أخـــرى. ويوضح الشكل التالي (١٣) تلك المقاطع.



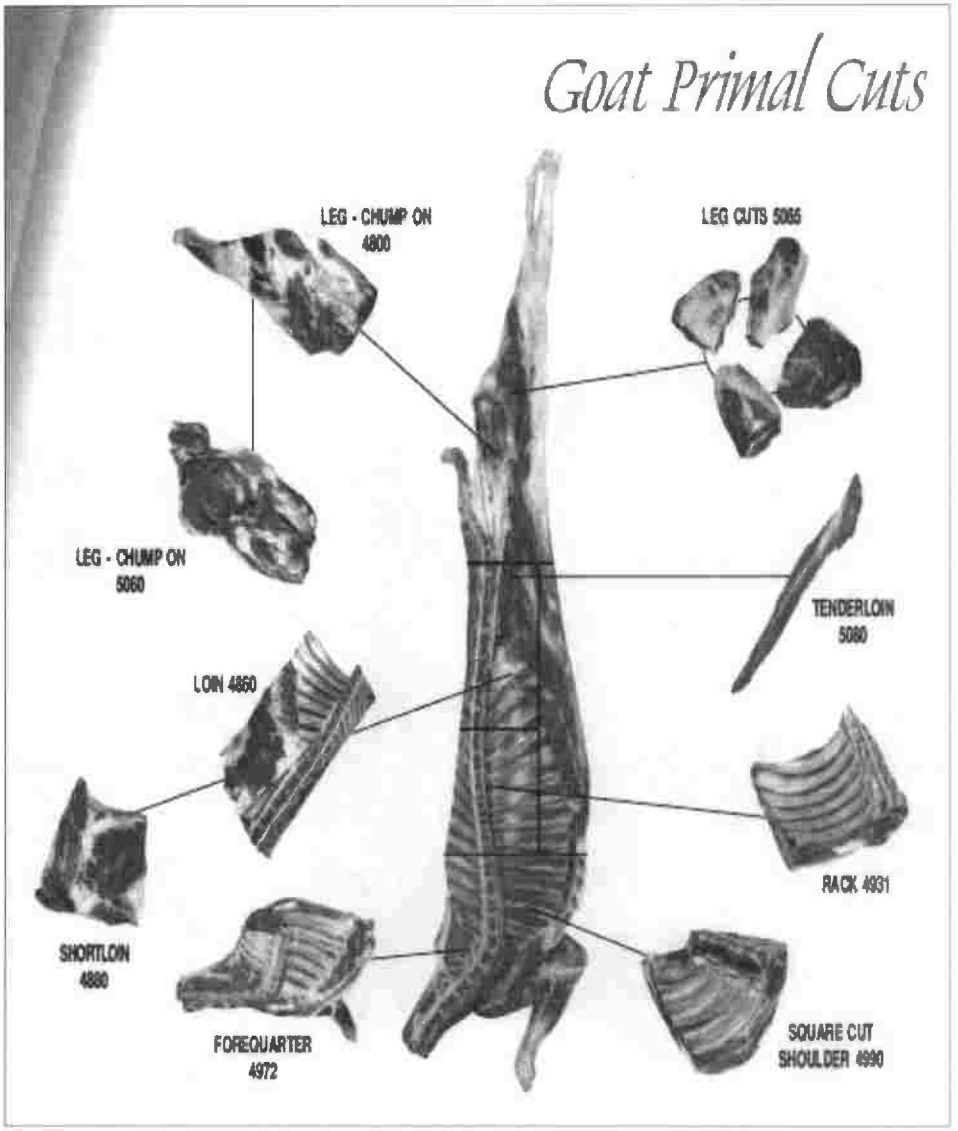
شكل (١٣-أ): المقاطع الرئيسية لذبائح الأبقار كما هو متداول عالميا.

السمانة	الكولاتة
	
ظهر الفخد (١) وعرق التلبيانكو (١)	ظهر الفخد (٢) وعرق التلبيانكو(٢)
	
الاتركوت Sirloin	العضلة العينية Eye muscle
	

شكل (١٣-ب): اسم المقطع والعضلة المأخوذة منها من لحم الابقار.

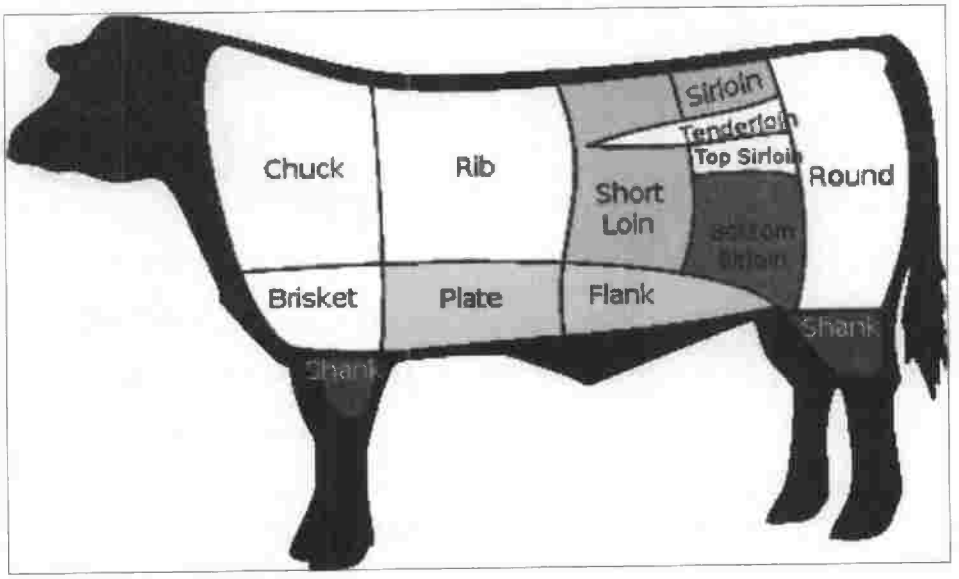


شكل (١٣-جـ): المقاطع الرئيسية لذبائح الأغنام كما هو متداول عالميًا.

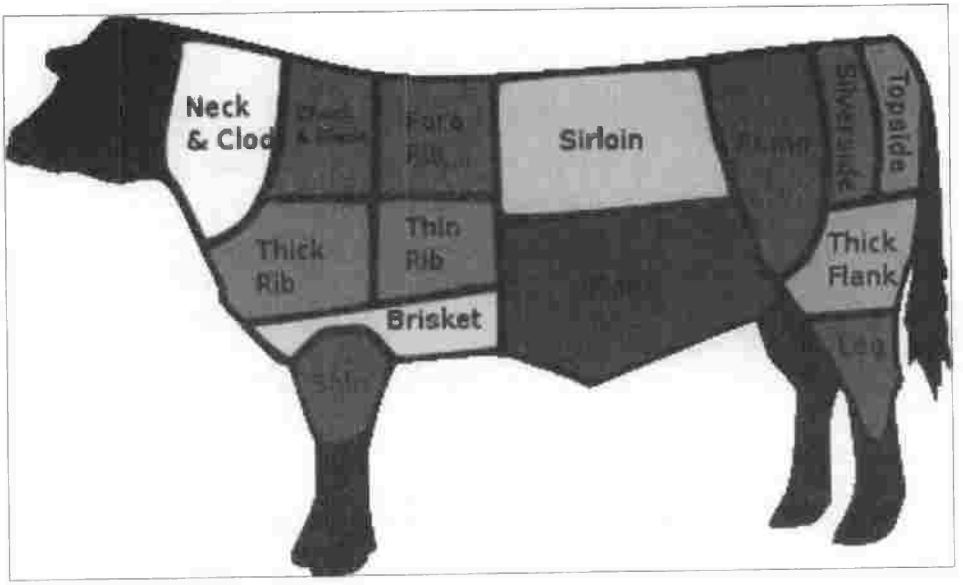


شكل (١٣-د): المقاطع الرئيسية لذبائح الماعز كما هو متداول عالميًا.

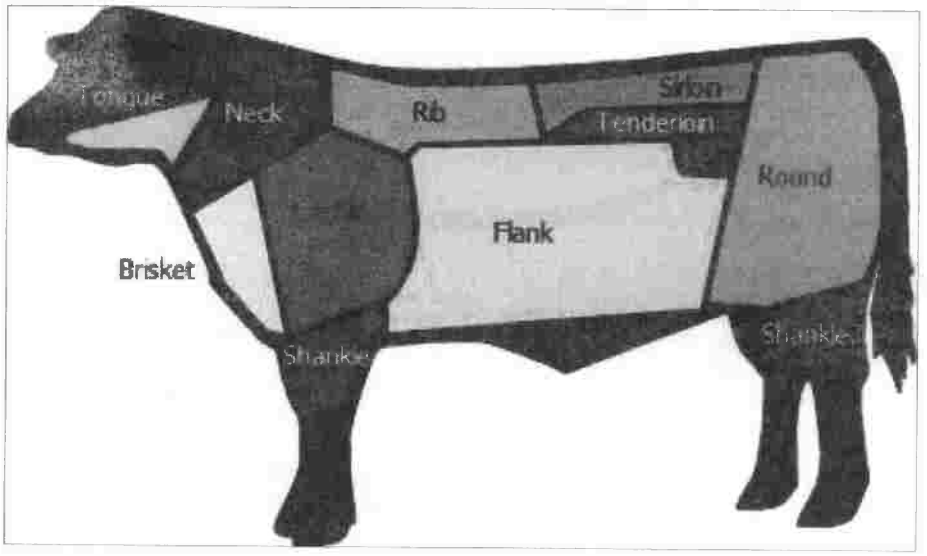
تختلف مقاطع اللحم تبعًا للدول المختلفة، كما هو موضح فـي الأشـكال التاليـة (١٤-أ، ١٤-ب، ١٤-جـ).



شكل (١٤-أ): مقاطع ذبائح الأبقار في الولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (١٤-ب): مقاطع ذبائح الأبقار في المملكة المتحدة (بريطانيا).



شكل (١٤-جـ): مقاطع ذبائح الأبقار في ألمانيا.

تداول وتخزين اللحوم بعد ذبح الحيوان:

١- يتم وضع الذبيحة في الثلاجة لمدة ٢٤ ساعة، وبعد ذلك يتم تقطيع الذبيحة وتغليفها، ثم تستهلك أو تخزن بالتجميد وهذه أفضل الطرق.

٢- يتم تقطيع اللحوم بعد الذبح ثم تغليفها وتخزينها في الثلاجة على درجة حرارة الثلاجة العادية ١-٢°م لمدة ٢٤-٤٨ ساعة أو أكثر، بشرط تفريق الأكياس عن بعضها؛ لكي تصل البرودة إليها جميعًا، ثم يتم نقلها إلى مكان التجميد أو قد تستهلك مباشرة.

٣- يتم تقطيع الذبيحة بعد الذبح وتجميدها مباشرة خلال فترة زمنية قصيرة (٤ ساعات بعد الذبح)، وتكون اللحوم أقل عصيرية وجودة وطراوة من الطرق السابقة؛ لذا يجب على المستهلك تجنبها.

مشكلات ما بعد الذبح:

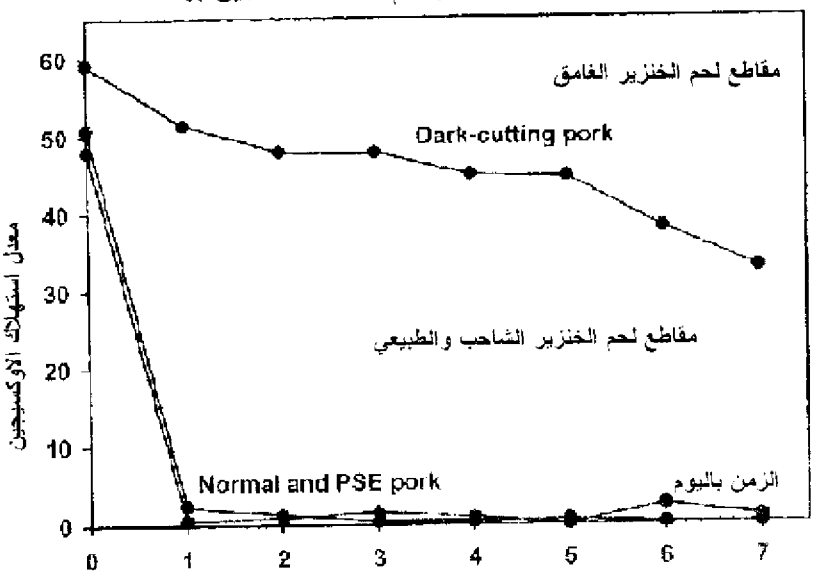
١- الحالة اللزجة والناعمة والشاحبة (Pale, Soft, Exudative Condition (PSE:

حالة (PSE) هي مشكلة جودة شائعة التأثير على لحم الخنزير، ولكنها أيضًا قد تؤثر على لحم البقر، الحمل، الدواجن، ولحم PSE مميز بلونه الشاحب، وقوامه غير الصلب، وانسياب السائل المفصول منه وعند طبخه يفتقر إلى عصيرية اللحم الطبيعي.

وهو غير مناسب للحوم المصنعة أيضًا، لأنه ينتج لونًا شاحبًا غير مرغوب فيه. وحالة (PSE) تحدث نتيجة هبوط سريع بشكل غير طبيعي في pH الذبيحة بعد الذبح ومازالت الجثة ساخنة. هذه الحالة غالبًا ما تلاحظ في ذبائح الخنازير، التي تعاني من الإجهاد قبل الذبح مباشرة، ولكن يمكن أيضًا أن تؤثر على ذبائح الأغنام والأبقار الطبيعية التي تعرضت لإجهاد بسيط قبل الذبح، ويؤدي ذلك إلى تباعد الألياف وفقد القدرة على ربط الماء.

٢ – الحالة الغامقة، الصلبة، الجافة (DFD) Dark, Firm, Dry:

مشكلة جودة تؤثر على كل من لحم البقر، ولحم الخنزير، ولحم الحمل، وصفات لحم DFD (Dark-Firm-Dry cutting meat) مميز بلونه الغامق وقوامه الجاف أو عالي اللزوجة، وإقبال المستهلكين عليه قليل بسبب لونه الغامق غير الجذاب وطعمه غير المحدد، وهناك مشكلة إضافية بهذا النوع من اللحم بأنه أسرع عرضة للفساد؛ بسبب ارتفاع الـpH الذي يعتبر مناسبًا لنمو الكائنات الدقيقة، وتحدث هذه الحالة في الحيوانات التي أجهدت قبل الذبح لفترة طويلة ولم تسترد مخزونها من الجليكوجين، ويؤدي ذلك إلى تماسك الألياف العضلية، وعدم تخلل الأكسجين بها.



شكل (١٥): علاقة معدل استهلاك الاوكسيجين لمدة سبع أيام في حالة لحم الخنزير الغامق والشاحب والطبيعي.

لون اللحم

يرجع لون اللحم إلى تواجد صبغات تمتص الضوء الساقط عليها، وتعكس عددًا آخر من الموجات الضوئية ذات اللون المميز للحم. وبجانب صبغات اللحم، فإن اللون يتأثر بعوامل أخرى كثيرة سوف نتطرق اليها فيما بعد.

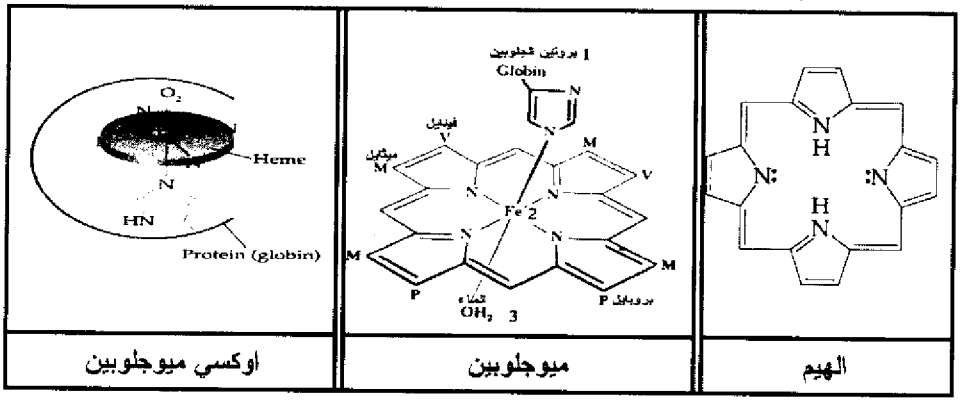
يعتبر بروتين الميوجلوبين المسئول الرئيسي عن صبغات الأنسجة العضلية، والذي يعطي اللون الأحمر في اللحوم، حيث إن الميوجلوبين لا يدخل في الدورة الدموية للدم والمتبقي منه داخل النسيج الخلوي يعطي اللون الأرجواني، وعندما يرتبط الميوجلوبين مع الأكسجين يتكون الأكسي ميوجلوبين، وهو الذي يعطي اللون الأحمر الساطع. كما أن اللون الناتج من الهيموجلوبين (صبغات الدم) يؤثر في لون اللحم ومن المعروف أنه يوجد بشكل رئيسي في الدورة الدموية، ومن الممكن أن يوجد كمية قليلة منه في الأنسجة بعد عملية الذبح. يتأثر اللون أيضًا بعمر الحيوان ونوعه وجنسه وطريقة تغذيته، ومدى المجهود البدني الذي تعرض له، حيث يكون لون لحم الحيوان الكبير في السن أغمق؛ لارتفاع مستوى الميوجلوبين مع تقدم العمر، والعضلات التي تقوم بالجهد البدني يكون لونها أدكن؛ مما يعني أن لون اللحم للحيوان نفسه يكون مختلف من عضلة إلى أخرى.

- **لون اللحم تبعًا لنوع الحيوان:** الدرجة المثلى للون السطح الخارجي للحوم الطازجة يكون أحمر فاتحًا إلى أحمر كريزي للحم البقر، وأحمر فاتح إلى أحمر طوبي في الخراف، وأحمر وردي في العجول، وأحمر داكن في الإبل، وأحمر قرنفلي إلى أبيض رمادي في الأسماك، وأبيض رمادي إلى أحمر في الدواجن. وبشكل عام، فإن هذه الألوان سريعة التغير، عندما يكون اللحم طازجًا ومحميًا من ملامسة الهواء (مثل استخدام العبوات المفرغة من الهواء) ففي هذه الحالة يكون لون اللحم أحمر أرجوانيًا، وهذا اللون ناتج من الميوجلوبين، وهو أحد المسببين الرئيسيين للون اللحم، وعند كشف اللحم للهواء فإن الميوجلوبين سوف يتفاعل مع الأكسجين مكونًا مركب الأوكسي ميوجلوبين، الذي يعطي اللحم اللون الأحمر الفاتح. ولهذا السبب تجد أن محلات بيع اللحوم تستخدم الأغلفة المنفذة للهواء.

- وتغير اللون أمر طبيعي بالنسبة للمنتجات الطازجة، وتغير اللون بمفرده ليس دليلاً على فساد اللحم، أما في حالات التلوث فيحدث إما بهتان للون أو يصبح قاتمًا. إضافة لتغير اللون، فإن اللحوم أو الدواجن قد يصاحبها رائحة كريهة مع ملمس لزج أو رغوي، فإذا احتوى اللحم على هذه الصفات يجب عدم استهلاكه.
- **أثر التخزين على لون اللحم:** وجد أن لون اللحوم والدواجن المخزنة في محلات التجزئة والجزارة يمكن أن يتغير عند تخزينه كما في المنزل، ولكن عند تخزين اللحم بشكل سليم في الثلاجة.. فإن لون اللحم سوف يتغير بشكل طبيعي، عما كان عليه وهو طازج. وخلال تجميد اللحوم والدواجن قد يحدث تغيير في اللون، ويسمى هذا التغيير بحروق التجميد والتي تظهر علي سطح اللحم، ولكن بهتان اللون وتغيره (الي اللون الغامق) أثناء التجميد لا يؤثر على سلامة اللحوم أو الدواجن. وللتقليل من تغير اللون للحوم المجمدة، ينصح باستخدام أغلفة خاصة لتجميد اللحوم والدواجن وتفريغ الهواء منها بقدر المستطاع. وحروق التجميد (الرقعة الجافة البيضاء في أنسجة اللحوم والدواجن المجمدة) تحدث عندما يتم تجميدها في درجات حرارة متباينة (-١٠° ± ٢ °م)، أو عند عدم تغليفها أو إحكام غلقها بواسطة أغلفة خاصة، وبشكل عام فإن اللحوم والدواجن التي توجد بها هذه الحروق لاخوف من تناول لحومها، بعد أن يتم استبعاد الجزء المصاب بالحرق.
- **أثر الضوء والأوكسيجين على لون اللحم:** وعند تعرض اللحم إلى الضوء، فإن كلاً من الميوجلوبين والأكسي ميوجلوبين يعطي مركبًا جديدًا هو الميتاميوجلوبين (وهي صبغة اللون البني المحمر)، وهذا التغير اللوني إذا كان بمفرده فإنه لا يعني أن اللحم أصبح فاسدًا.
- ومما سبق يتبين، أن قطعة اللحم الطازجة يكون لونها أرجوانيًا، وبعد تعرضها للأكسجين يصبح لونها أحمر ساطعًا (وهو ما يتم رؤيته على سطح اللحم البقري المفروم المعروض في السوبر ماركت)، أما الجزء الداخلي يكون بنيًا مائلاً إلى الرمادي (لأنه يعاني من نقص في كمية الأكسجين النافذة له).
- **أثر الحرارة على لون اللحم:** يبقى لون اللحم البقري المفروم المطبوخ وردي اللون من الداخل؛ خاصة مع وجود خضروات تحتوي على نتريت صوديوم.

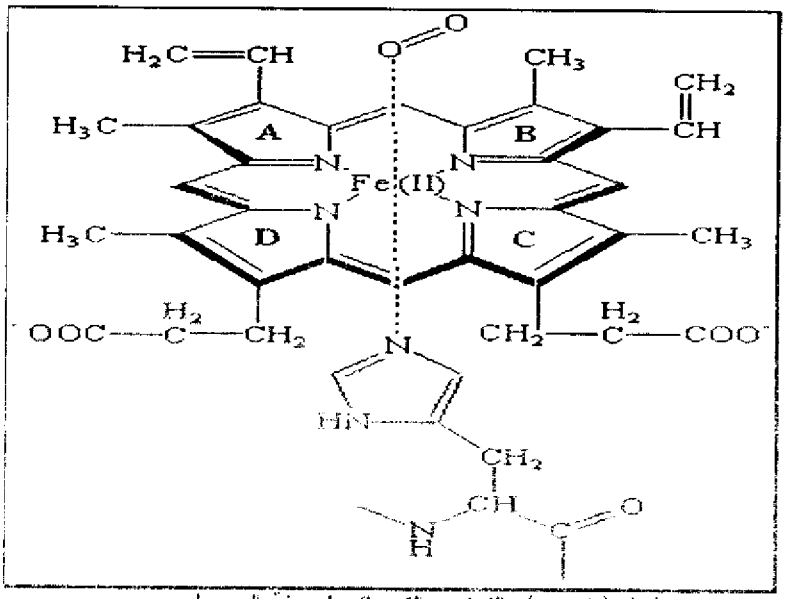
التركيب الكيمياوي لصبغات اللحم:

يتضح تركيب صبغة الهيم الموجودة في الميوجلوبين والأوكسي ميوجلوبين في (شكل ١٦-أ و ١٦-ب) (Heme Pigment Found in Myoglobin):



شكل (١٦-أ): التركيب الكيميائي لصبغة الميوجلوبين والاوكسي ميوجلوبين وحلقة الهيم.

- ومن المعروف أن الهيموجلوبين (صبغات الدم).. ينقل الأكسجين من الرئتين إلى الخلية.
- أما صبغة الميوجلوبين (صبغات الأنسجة العضلية).. يخزن الأوكسجين في الانسجة العضلية.



شكل (١٦-ب): التركيب الكيميائي لصبغة الميوجلوبين.

العوامل المؤثرة علي لون اللحم:

١- تتأثر كمية الميوجلوبين (Quantity of Myoglobin) الموجودة بالأنسجة بالعمر ونوع الحيوان ونوع العضلة كما يلي:

- **العمر**: يوضح الجدول (٤) اختلاف محتوى العضلة من صبغة الميوجلوبين تبعًا للفئة العمرية للحيوان.

جدول (٤) اختلاف محتوى العضلة من صبغة الميوجلوبين تبعًا الفئة العمرية للحيوان.

كمية الميوجلوبين	الفئة العمرية
٢ مليجرام/جم لحم	لحم العجل (Veal) صغير بتلو
٤ مليجرام/جم لحم	العجل (Calf) كبير
٨ مليجرام/جم لحم	لحم البقر الصغير (Young beef)
١٨ مليجرام/جم لحم	لحم البقر الكبير (Old beef)

- **اختلاف نوع الحيوان:** تتأثر لون الأنسجة العضلية بنوع الحيوان، وهذا يتضح من جدول (٥).

جدول (٥): محتوى العضلة من الصبغة يختلف تبعًا نوع الحيوان.

كمية الميوجلوبين	لون الأنسجة	النوع
٢ مليجرام/ جرام لحم	وردي (Pink)	لحم الخنزير (Pork)
٦ مليجرام/ جرام لحم	أحمر خفيف (Light red)	الضاني (Lamb)
٨ مليجرام/ جرام لحم	أحمر غامق (Cherry red)	لحم البقر (Beef)

- **نوع العضلة Type of Muscle**: يوضح الجدول (٦) اختلاف كمية الميوجلوبين تبع نوع العضلة.

جدول (٦): اختلاف محتوى العضلة من الصبغة تبعًا لنوع العضلة.

كمية الميوجلوبين	اسم العضلة	نوع العضلة
١٢ مليجرام/ جرام لحم	Extensor carpi radialis	متحرك (Locomotive)
٦ مليجرام/ جرام لحم	Longissimus dorsi	دعم (Support)

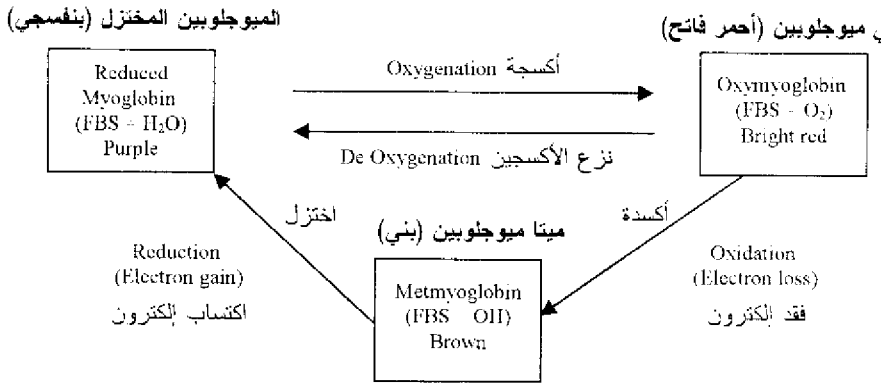
٢- الحالة الكيميائية للميوجلوبين (Chemical State of Myoglobin):

تؤثر على لون الأنسجة العضلية، ويوضح جدول (٧) اختلاف لون الأنسجة العضلية تبع الحالة الكيميائية للميوجلوبين.

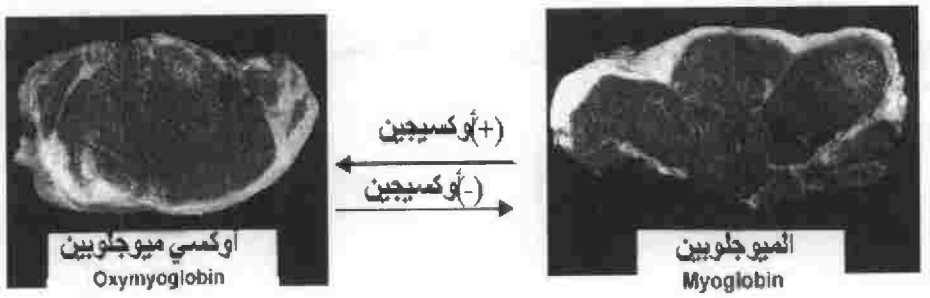
جدول (٧): اختلاف لون الأنسجة العضلية تبعًا للحالة الكيمائية للميوجلوبين.

الاسم	اللون	المركب	الروابط
ميوجلوبين مختزل Reduced Myoglobin	بنفسجي Purple	H_2O	Fe^{++} Ferrous (covalent)
أوكسي ميوجلوبين Oxymyoglobin	أحمر Red	O_2	
نيتريك أوكسيد ميوجلوبين Nitric oxide myoglobin	وردي Cured pink	NO	
كاربوكسي ميوجلوبين Carboxymyoglobin	أحمر Red	CO	
سينا ميتا ميوجلوبين Cyanmetmyoglobin	أحمر Red	-CN	Fe^{+++} Ferric (ionic)
ميتا ميوجلوبين Metmyoglobin	بني Brown	-OH	
سلف ميوجلوبين Sulfmyoglobin	أخضر Green	-SH	
كولجلوبين Choleglobin	أخضر Green	$-H_2O_2$	

والرسم في شكلي (١٧-أ و١٧-ب) يوضح تغير لون الميوجلوبين المختزل إلى الأوكسي ميوجلوبين ثم إلى الميتا ميوجلوبين.



شكل (١٧-أ): تغير لون صبغة الميوجلوبين تبع الحالة الكميائية للصبغة.



شكل (١٧-ب): يوضح تغير لون صبغة الميوجلوبين تبع ضغط الأوكسجين.

٣- تغذية الماشية بأعلاف محتوية على فيتامين E تؤثر في لون اللحم الناتج (Vitamin E Feeding of Cattle):

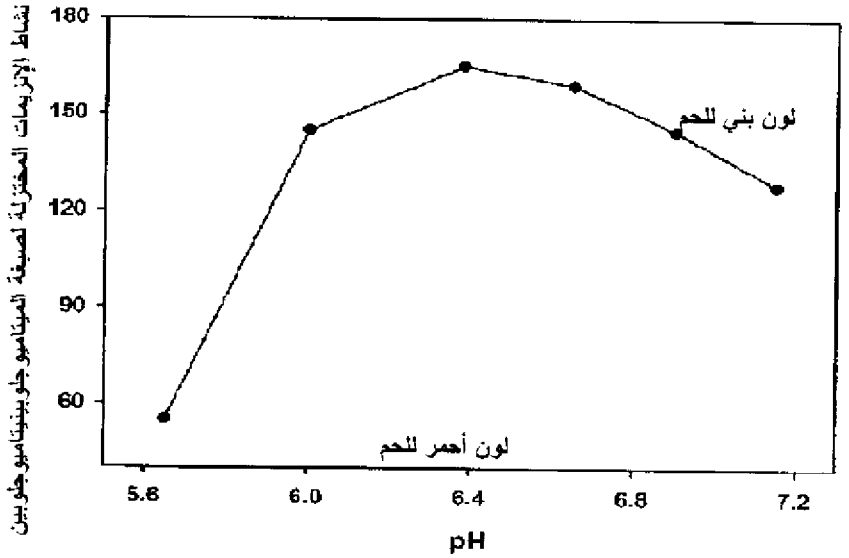
يمكن استخدام فيتامين E في تغذية الماشية لزيادة تركيز الألفا توكوفيرول في العضلة، وحيث إن الألفا توكوفيرول عبارة عن مضاد للأكسدة، فهذا يعيق تحول الميوجلوبين المخفض والأكسي ميوجلوبين إلى ميتا ميوجلوبين.

٤- نشاط البكتيريا (Activity of Bacteria): يؤثر على لون اللحم الناتج كما هو واضح في جدول (٨).

جدول (٨): لون الصبغة وعلاقتها بالنشاط الميكروبي.

الصبغة الجديدة	العامل المحفز	الصبغة
ميتاميوجلوبين Metmyoglobin (-OH)	بكتيريا + أكسدة Oxidation + bacteria	الأكسي ميوجلوبين Oxymyoglobin
كوليجلوبين Choleglobin ($-H_2O_2$)	بكتيريا Bacteria	الميتا ميوجلوبين Metmyoglobin
سلف ميوجلوبين Sulfmyoglobin (-SH)	بكتيريا Bacteria	الميتا ميوجلوبين Metmyoglobin

٥- درجة الحموضة (pH): تؤثر درجة الحموضة علي نشاط الانزيمات المختزلة لصبغة الميتاميوجلوبين، كما هو موضح في الشكل (١٨).



شكل (١٨): العلاقة بين درجة حموضة اللحم ونشاط الإنزيمات المختزلة وتاثيرها على لون اللحم.

٦- **معالجة اللحم (Curing)**: معالجة اللحوم بنتريت الصوديوم تغير لون اللحم إلـــى الأحمر الوردي، كما هو واضح من المعادلة التالية:

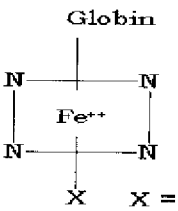
ميوجلوبين وأوكسي ميوجلوبين وميتا ميوجلوبين
Myoglobin, Oxymyoglobin Metmyoglobin

\+ No

نتريك أوكسيد ميوجلوبين
Nitric oxide myoglobin

\+ Heat

نيتروزيل هيموكرموجين
Nitrosylhemochromogen



X = H_2O, O_2, CO, NO

(mostly water for myoglobin) +No→

تقييم جودة اللحم Measuring Eating Quality

إن تقييم جودة اللحوم وخاصة التقييم الحسي يعتبر الحكم النهائي على اللحوم، وتختلف درجة تقبل المستهلك للحوم ومنتجاتها من فرد لآخر حسب العادات الغذائية.

هناك عدة عوامل يجب وضعها في الحسبان عند تقييم جودة اللحوم، وهي: المظهر والرائحة (خاصة أثناء الطبخ)، ومقدار الفاقد، وسهولة التحضير، وسعر الشراء، ومقدار المستهلك من اللحم، والطراوة، والعصيرية، والنكهة، والقيمة الغذائية.

أولاً: التذوق Palatability ثانيًا: المظهر Appearance

ثالثًا: الطراوة Tenderness رابعًا: العصيرية Juiciness

خامسًا: النكهة (الطعم والرائحة) Flavour (taste and odour)

أولاً: التذوق Palatability:

التذوق (Palatability) هي درجة التقبل العالية في صفات اللحم ذات العلاقة الوثيقة بالتذوق مثل الرؤية بالعين والتقبل أيضًا، وكذلك ذات طعم يقبلهُ اللسان عن طريق الحلمات التذوقية. فالطعم المنتظر من الضأن، ليس كما هو متوقع من طعم اللحم البقري أو الدجاج أو الأسماك. ومظهر اللحوم ذاته يشير إشارة واضحة إلى حالتها الصحية ومن ثم مدى تذوقها؛ ولذا يعد المظهر إشارة إلى طعم اللحم.

ثانيًا: المظهر Appearance:

إن اللحوم الطازجة ذات مظهر ولون جذاب، ويعد اللون الأحمر البراق في جميع أنواع اللحوم هو اللون السائد (ما عدا لحوم الدواجن والأسماك ولحوم الحيوانات صغيرة السن).

ويدل اللون الداكن في اللحوم إلى فقد كميات كبيرة من الماء أو قلة طازجة اللحوم، أو أن الحيوانات المذبوحة مريضة، أو تم ذبحها تحت ظروف مختلفة من الإجهاد. واللحوم ذات الألوان غير المرغوب فيها يتوقع أن تكون ذات طعم غير مقبول ونكهة قليلة عند طبخها. ويعد اللون الأصفر الغامق بدهون الأبقار إشارة إلى تركيز صبغة الكاروتين في تلك الدهون، أما اللون الأصفر البرتقالي أو الأصفر

الليموني في دهون الأغنام والماعز والجاموس والجمال، فيدل دلالة واضحة على ترسب صبغات الصفراء بتلك الدهون، وهي حالة مرضية.

وهناك عوامل أخرى تؤثر على مظهر اللحوم، مثل: نسبة العضلات الحمراء إلى الدهون، فاللحوم ذات التعريق أو المظهر الجرانيتي (Marbling in Appearance) تدل على تداخل الدهون بنسب متفاوتة بين العضلات؛ مما يعطي اللحم مظهرًا جيدًا وجذابًا وخاصة للمستهلك؛ مشبعًا بذلك رغبته النفسية.

ويتحكم في المظهر النهائي للحم كمية الدهن الموجودة به؛ حيث يفضل معظم المستهلكين شواء أو تحمير هذه الدهون عن طبخها. ولحوم الحيوانات المسنة ذات مظهر ليفي وخشن، وكذلك اللحوم التي تطبخ لفترة طويلة تصبح ذات مظهر غير مقبول للمستهلك؛ حيث تصبح منكمشة الحجم وجافة وتفقد نكهتها، وتكون صعبة القطع.

ثالثًا: الطراوة Tenderness:

تعد الطراوة من الخصائص المهمة للحوم، ويؤثر في طراوة اللحم عوامل كثيرة مما يجعلها ذات صعوبة بالغة في كيفية الإحساس بها، سواءً عن طريق الأجهزة أو التذوق الحسي.

والوصف الحسي بطراوة اللحم أثناء المضغ له علاقة بالتغيرات التالية:

(أ) مقدار نعومة اللحم نتيجة الإحساس الناتج من ملاصقة هذا اللحم للسان وجانبي الفم، ويتراوح هذا بين القوام الهش إلى المتخشب المتماسك.

(ب)مقاومة قطعة اللحم للضغط الواقع عليها من الأسنان أثناء المضغ، فبعض اللحوم تصبح مطاطية أثناء المضغ، أما اللحم الجيد فيصبح سهل المضغ، ولا توجد أي مقاومة أثناء محاولة قطعها بالأسنان.

(ج) درجة التماسك (التلاصق) بين الألياف العضلية مع بعضها البعض، وتؤثر قوة الأنسجة الضامة أو أغلفة الحزم العضلية أو الألياف في حد ذاتها أو حجم الحزم العضلية على درجة هذا التماسك أو التلاصق. وكلما كانت درجة التماسك عالية، كان هناك صعوبة في القطع والمضغ. والأنسجة التي يصعب مضغها يتم حسابها عن طريق كمية الأنسجة الضامة المتبقية بعد المضغ.

ومن العوامل التي تؤثر تأثيرًا مباشرًا في درجة طراوة اللحم:

(أ) الأنسجة الضامة Connective Tissues:

يعزى الاختلاف بين أنواع اللحوم المختلفة وبين العضلات بعضها البعض في نفس الحيوان إلى كمية ونوعية الألياف الموجودة بها؛ فالعضلات ذات المحتوى العالي من الألياف الكولاجينية تعرف بأنها قليلة الطراوة وخاصة العضلات ذات النشاط المستمر مثل القوائم الخلفية والأمامية، أما العضلات ذات الحركة القليلة مثل العضلات الظهرية؛ فهي ذات طراوة عالية. وتلعب كمية الكولاجين الدور الرئيسي في ذلك؛ لأن معظم الأنسجة الضامة تتكون من هذا الكولاجين، على الرغم من وجود الأيلاستين والرتيكولين بكميات غير جوهرية.

ومن العوامل التي تؤثر على نمو وتقوية النسيج العضلي، وكذلك الأنسجة الضامة بين العضلات، العمل الشاق والتقدم في العمر.

(ب) صفات الألياف العضلية Characteristics of Muscle Fibers:

تتناسب درجة الطراوة عكسيًا مع درجة الشد بالعضلات المصاحبة للعضلة أثناء التيبس الرومي. كما أن هناك تناسبًا عكسيًا أيضًا بين طول الساركومير ودرجة القطع (الطراوة) في جميع درجات الطبخ. وتوجد فروقات في الطراوة بين العضلة والأخرى، حسب حالة التقلص وكمية الأنسجة الضامة وطريقة التقطيع.

وتفقد الطراوة في اللحوم الطازجة (المذبوحة حديثًا) خلال ساعات قليلة نتيجة تكون الجسور العرضية التي تؤدى إلى تصلب العضلة؛ نتيجة تصلب الأكتوميوسين (Actomyosin Toughning). ثم تبدأ بعض الإنزيمات المحللة للبروتين في تحلل منطقة (Z) وكذلك Actomysoin، وما يتبعه من استطالة في الساركومير، وبذلك تعود للحوم الطراوة.

(ج) الدهن بين الأنسجة العضلية Intermuscular fat:

يعمل الدهن بين الألياف العضلية على سهولة مضغ اللحوم وسهولة الابتلاع.

وهناك طريقتان رئيسيتان لإحداث الطراوة في اللحوم، وهما:

أولا: إحداث الطراوة قبل ذبح الحيوان Pre slaughter Tenderizing:

إحداث الطراوة في اللحوم قبل ذبح الحيوان، يتم عن طريق حقن كثير من الإنزيمات النباتية أو البكتيرية أو الفطرية إلى جانب إنزيم التربسين. وتسمى هذه الطريقة التي يحقن بها الحيوان قبل الذبح (PTP Procese)، وهي الطريقة التي تستخدمها شركات اللحوم في شيكاغو. وفيها يتم حقن إنزيم البابين (Papain) في الوريد الوداجي، ببطء شديد قبل الذبح بفترة تتراوح من ١٠-١٥ دقيقة. كمية الإنزيم المحقون من ٣٠٠-٥٠٠ ملليتر معتمدًا على عمر وجنس وسلالة الحيوان، وبهذه الطريقة يصبح تركيز الإنزيم في اللحوم ٤ (ppm).

وأثناء طبخ تلك اللحوم الناتجة من الحيوانات المعاملة بهذه الإنزيمات، يتم تنشيط هذا الإنزيم (البابين) ويحدث طراوة في اللحوم عند درجة حرارة، تتراوح من ٦٠-٧٠°م. وبهذه الطريقة يمكن الاستفادة من أجزاء الذبيحة الصالحة للشواء التي تصل إلى ٧٥% بدلاً من ٣٥%، وتتميز هذه الطريقة باختصار الوقت اللازم لإحداث الطراوة المتجانسة بالذبيحة، وعدم فقد الوزن نتيجة قصر التبريد ومن الطرق قليلة التكلفة.

ويعيب هذه الطريقة أن بعض الأعضاء مثل اللسان والكليتين والكبد تصبح طرية أكثر من اللازم عند طبخها بالطرق العادية. وقد يحدث شد عضلي أثناء الحقن؛ مما يؤدي إلى نفوق الحيوان أو إحداث حساسية.

ثانيا: إحداث الطراوة بعد ذبح الحيوان Postmortem Tenderizing:

يتم إحداث الطراوة في اللحوم بعد ذبح الحيوان بعدة طرق، منها:

١) التحفيز (التنبيه) الكهربي Electrical Stimulation:

وتستخدم هذه الطريقة في ذبائح الأبقار لتصبح اللحوم ذات طراوة جيدة بعد اليوم الرابع من الذبح، أو تصبح طرية عند اليوم العاشر من التعتيق (Ageig). ويؤدي هذا التحفيز الكهربي على اللحوم إلى الإسراع في عملية

التيبس الرُّمي وخفض (pH) للحوم إلى حوالي ٦ خلال ٢-٣ ساعات من الذبح.

وتتم هذه العملية عن طريق إمرار التيار الكهربي في قطبين، القطب الموجب يوضع في رقبة الذبيحة أو أنفها والقطب السالب يتصل بالسلسلة المتحركة التي تحمل الذبائح (Electerical Stimulation Unit). وتطبق قبل غسل الذبيحة مباشرة، وبذلك يتم التخلص من كميات لا بأس بها من الدم المتبقي بالذبيحة ويوفر الجهد المبذول للتنظيف.

ويستخدم التيار الكهربي بقوة ٧٠٠ فولت وبسرعة ٢٥ نبضة في الثانية لمدة ١,٥ق من بعد ذبح الحيوان وتجهيزه بنصف ساعة. ومن مميزات هذه الطريقة، اختصار الوقت لإحداث الطراوة وتجنب ظاهرة قصر التبريد وقصر التسييح (التذويب) (Thawing). كما تتميز بالعمل على تطور الطعم والنكهة بسرعة في اللحوم، وتحسين مظهر الرقبة بالذبيحة.

٢) تعليق الذبيحة من العظم الحرقفي Hanging of Carcase from Aitchbone:

بما أن هناك تناسبًا عكسيًّا بين طول الساركومير ودرجة القطع (الطراوة)، فهذا يعني أنه كلما زاد طول الساركومير انخفضت الطراوة والعكس صحيح.

والطريقة التقليدية لتعليق الذبائح من الوتر العرقوبي (Achilles tendon) تحدث أقصى شد بالعضلات وخاصة بالعضلات الظهرية، ومن ثم يصبح طول الساركومير أقل، وبذلك تصبح الطراوة عالية.

أما تعليق الذبائح من العظم الحرقفي (Aitchbone)، فتصبح الذبيحة في وضع استرخاء شبه تام، وبذلك يحدث بها الشد والقصر بحرية تامة في عضلات عديدة بمناطق القطن والفخذ، مسببًا قصرًا في طول ساركومير الألياف العضلية العديدة وبذلك تحدث طراوة في هذه العضلات، أكثر مما هو متعارف عليه في الطرق التجارية التقليدية الأخرى.

وتعليق الذبيحة بهذه الطريقة (من العظم الحرقفي) يجرى بعد الذبح بساعة ونصف، ثم توضع بالثلاجات بالطريقة نفسها لمدة ٢٤ ساعة، ثم تعليق مرة أخرى من الوتر العرقوبي وتظل على حالتها حتى توزيعها أو التعامل معها،

وبذلك تصبح هناك عضلات كثيرة بالذبيحة طرية (Tender) وتعادل هذه الطراوة الناتج بعد فترة ثلاثة أسابيع من التعتيق على درجة حرارة ٢°م للذبيحة نفسها.

٣) التبريد التقليدي Classical Refrigeration:

تتلخص هذه الطريقة التقليدية في إحداث الطراوة المطلوبة بالذبائح في الخطوات الآتية:

- تعليق الذبيحة عند درجة حرارة -٠,٥°م إلى درجة +٣°م لمدة ٢٤-٤٨ ساعة.
- تحفظ الذبائح أو الأرباع بعد ذلك لمدة ١٠-١٢ يومًا في درجة حرارة تتراوح من +٢°م إلى +٣°م.
- بعد ذلك تحفظ الذبائح عند درجة حرارة الغرفة لمدة ٢٤ ساعة قبل التوزيع أما إذا كانت درجات الحرارة مرتفعة (أي إذا كان الجو حارًا) فتحفظ عند درجة حرارة +٤,٥°م إلى +٧°م للفترة نفسها (٢٤ ساعة).

وتعتمد تلك الطريقة على الإنزيمات الطبيعة الموجودة بالأنسجة العضلية (Natural enzymes) في تطرية اللحوم أثناء التعتيق (aging) دون إضافة أي مستحضرات خارجية، وتلك الإنزيمات يطلق عليها الإنزيمات المحللة للبروتينات (Proteolytic Cathepsins). وأمكن عزل تلك الإنزيمات من الأنسجة الغددية والعضلية والجلد والأعضاء المختلفة بالذبائح وتلك الإنزيمات تفقد صفاتها خلال العزل. وقد تم عزل الإنزيمات التالية وهي Cathepsin A ويشبه في عمله الـ(Pepsin) البيسين، Cathepsin B ويشبه في عمله أنزيم التربسين (Trypsin)، أنزيم cathepsin C، ويشبه في عمله كيموتربسين (Chymotrypisn)، وكذلك أنزيم Cathepsin D، ويشبه في عمله البيسين (Pepsin)، وتنشط تلك الإنزيمات في وجود بعض الأيونات المعدنية أو في وجود مجموعة الكبريت والبعض الآخر ينشط على درجات حموضة منخفضة، كما وجدت بعض الإنزيمات تنشط على (pH=5) في وجود (Fe^{++}) الحديدوز، أو تنشط على (pH=9) في وجود EDTA.

وتتراوح فترة التعتيق (Aging) على المستوى التجاري من أسبوعين إلى ستة أسابيع، إذا كانت الذبائح كاملة. أما الأجزاء فتقل هذه الفترة إلى ٩ أيام فقط. وقد تحدث تلك الطراوة الطبيعية أثناء نقل اللحوم الطازج من أماكن الذبح إلى الدول المصدر إليها، والتي تستغرق في بعض الأحيان شهرًا.

٤) استخدام الإنزيمات في اللحوم Use of Enzymes:

تستخدم بعض الإنزيمات المحللة للبروتين مثل البابين (Papain) والمستخرج من ثمار الباباظ أو أنزيم الفايسين (Ficin) المستخرج من ثمار التين أو البروميلين من الأناناس، ويمكن استخدام هذه الإنزيمات بصورة فردية أو خليط منها.

ويتم رش هذه الإنزيمات على أسطح اللحوم في صورة سائلة ومن عيوب هذه الطريقة أنها تؤثر على لون اللحوم المعاملة، وتؤثر هذه الإنزيمات على بروتينات الأنسجة من حيث إحداث الطراوة لكل من الكولاجين والأيلاستين.

٥) الهدم الآلي للأنسجة الضامة Mechanical destruction of comnective tissues:

من الطرق الشائعة لهذا الهدم الميكانيكي طريقة الطرق (Hammering) كما في شرائح اللحوم والفرم (Mincing) أو الهرس أو الشد، الذي يؤثر على التركيب الطبيعي لليفة العضلية.

ومن الطرق التي تعمل على الهدم الميكانيكي للألياف العضلية التجميد السريع للحوم قبل حدوث التيبس الرُّمي.

٦) رفع درجة حرارة اللحوم Raising of the temperature of meat:

ينصح برفع درجة حرارة غرف الانتظار إلى +١٨°م أو+٢٠°م، وبذلك تصل درجة حرارة الذبائح إلى درجة حرارة الغرفة في مدة أقل من ٢٤ ساعة. وهناك طريقة أخرى هي الطبخ على درجات الحرارة المنخفضة ٦٥°م؛ حيث يكتمل التغير في الألياف الكولاجينية عند درجة حرارة من ٦١°م إلى ٦٢°م.

ويمكن إحداث تغيرات في الكولاجين وتحويله إلى ألياف سهلة الذوبان بالطبخ على درجات حرارة منخفضة (٥٦°م). وبهذا تصبح نصف الألياف الكولاجينية سهلة الذوبان عند درجة حرارة تتراوح من ٦١-٦٢°م، ويحدث

انكماش في ألياف الكولاجين مصحوب بزيادة الذوبان، وباستمرار التسخين وفي وجود الرطوبة المناسبة يتشبع هذا الكولاجين بالماء، ويتحلل مكونًا الجيلاتين (Gelatin) ولهذا يصبح الكولاجين أكثر طراوة بعد التسخين وتزداد قابليته لربط الماء. ولا يتأثر بروتين الإيلاستين (Elastin) بالحرارة، بل يمكن أن يتأثر بفعل الإنزيمات النباتية المحللة للبروتينات.

العلاقة بين طراوة اللحم وقدرتها على الاحتفاظ بالماء:

Meat Hydration and Meat Tenderness:

تعتبر قدرة اللحوم على الاحتفاظ بالماء من أهم العوامل المؤثرة بدرجة مباشرة بدرجة طراوة اللحوم – وتتأثر تلك القدرة بظروف ومعاملات قبل وبعد الذبح – وكذلك بالبروتينات التي لها علاقة مباشرة بالـ Water Holding Capacity، وتلك البروتينات هي الميوسين والأكتين. ويرتبط بالأنسجة الحيوانية طبقات من الماء فالطبقة الأولي تمثل حوالي ٤% من الماء المرتبط، ولا يمكن خروجه إلا تحت ضغط بخاري منخفض جدًا. وهذه الكمية من الماء تعتبر ١/٥ الكمية التي تغطي جزء البروتين (Mono molecular byar). وهذا الماء يكون مرتبطًا مع بعض المجاميع المحبة للماء Hydrophilic وهذا يكون طبقة بين السلاسل الببتيدية سمكها حوالي جزيء واحد.

أما الطبقة الثانية من الماء فتمثل (٤-٦%)، فإنها تكون طبقة أخرى فوق المجاميع المحبة نفسها للماء (Hydrophilic) ويطلق عليها Immobilized water أو Multimolecular adsorption أو True hydration.

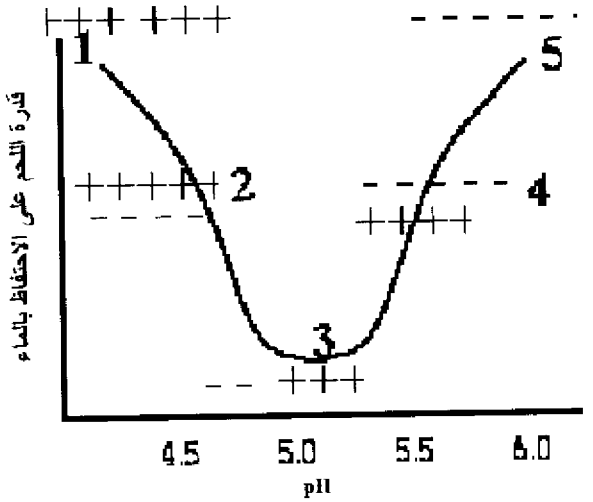
أما الطبقة الثالثة للماء فتمثل حوالي (١٠-١٦%)، وهذه ترجع إلى تكثف جزئيات الماء دون ترتيب على السطوح الجزيئية ويطلق عليها Capillary condensation أو الماء الحر Free water.

العوامل المؤثرة على قدرة اللحوم على الاحتفاظ بالماء:

Factors affecting Meat Hydration (Water Holding Capacity WHC):

١- رقم الحموضة (pH) حيث إن أقل كمية من الماء تكون مرتبطة عند رقم (pH =5)؛ حيث إنه يكون ممثلاً لنقطة التعادل الكهربائي (IP) لبروتين الأكتوميوسين. ويرجع تأثير الحامض أو القلوي على زيادة الارتباط بالماء إلى حدوث تنافر بين

جزئيات البروتين التي تحمل نوع الشحنات نفسه؛ مما يؤدي إلى زيادة المسافة بين السلاسل الببتيدية وبالتالي يسمح بكمية أكبر للماء بين تلك السلاسل، كما هو موضح في شكل (١٩).



شكل (١٩): العلاقة بين درجة حموضة اللحم وقدرة اللحم علي الاحتفاظ بالماء.

٢- المعادن (Metals) تؤثر على قوة الاحتفاظ بالماء (WHC)؛ حيث إنها تعمل على ربط السلاسل الببتيدية بدرجة كبيرة بواسطة تكوين (Cross linkages) وبالتالي زيادة ربط التركيب الهيكلي؛ مما يؤدي إلى نقص في قدرة البروتين على الارتباط بالماء. وبالتالي فإن الاستخلاص الجزيئي لكل من المغناسيوم والكالسيوم (Ca^{++} - Mg^{++}) يؤدي إلى زيادة WHC.

٣- التحلل (Proteolysis) تؤثر على WHC لأنها تكسر الروابط الببتيدية؛ مما يؤدي إلى تغير في طبيعة تركيب البروتين، وبالتالي زيادة القدرة على ربط الماء.

٤- عوامل قبل الذبح (Pre-Slaughter) أي معاملة تؤدي إلى رفع رقم pH تزيد من WHC ومن تلك المعاملات الإجهاد – التصويم – الحقن بالهرمونات – وكذلك الحقن بالعقاقير المختلفة، التي تنشط من عملية تكسر وهدم ATP.

٥- معاملات بعد الذبح (Postmortem) بعد عدة ساعات من الذبح يلاحظ انخفاض WHC للحوم، ويرجع ذلك لتكوين حمض اللاكتيك، حيث إن درجة ال pH للأنسجة الحية حوالي (٧) أما بعد الذبح فتنخفض درجة الـpH إلى (٥,٥) –

ويرجع انخفاض WHC كذلك إلى تكسر ATP – ولكن بعد التعتيق والتخزين ترتفع WHC نتيجة لارتفاع pH إلى (٦,١) وكذلك لتحلل البروتين – وتكسر الروابط الببتيدية بواسطة إنزيم cathepsinc، أو إنزيمات الأحياء الدقيقة.

طرق قياس طراوة اللحوم Measurements of Meat Tenderness:

الطراوة من أصعب صفات جودة اللحم التي يمكن قياسها؛ لأنها عبارة عن قياس مضغ (Chewing) تقطيع – طحن – شد للحم أثناء الاستهلاك، وهناك طريقتان للقياس، وهما:

١ – الطرق الحسية أو الشخصية Organoleptic or Subjective Methods:

ويقوم هذا النوع على رأي الأشخاص الذين يقومون بالاختبارات – أي إن المعامل الإنساني يلعب دورًا مهمًا في النتائج. وتتأثر النتائج بالميل الشخصي للفرد وقدرته على الإدراك – وتسمى تلك الطرق شخصية؛ لأن الفرد يعتمد على تفكيره وشخصيته في تحديد القيمة الكمية والنوعية للخاصية المراد اختبارها، ويقسم هذا النوع إلى قسمين هما:

(أ) **The Consumer Panel**: حيث إن تقبل المستهلك للحم أو منتجاته تعكس كمية استهلاكه، وهذه تعطي تنبؤًا بتصرف المستهلك في المستقبل. وعلاوة على درجة التقبل، فإن تلك الطرق تعطي درجة تفضيل لبعض المنتجات الخاصة. ويستخدم لذلك استمارة مكتوبة به الصفات المراد قياسها، وفي أولها مقبول جدًا – وفي الوسط مقبول – وفي النهاية غير مقبول.

* ويجب أن يكون المستهلك ممثلاً لمجموعة من الجماهير التي سوف تستهلك تلك المنتجات، والنتائج المتحصل عليها في نقطة جغرافية معينة لاتنطبق على بقعة أخرى. وتختلف درجة تقبل المستهلك على عدة عوامل، منها: السن – الوراثة – الحالة النفسية – درجة التعليم – الجنس – العادات الغذائية في العائلة – ثمن الغذاء.

* وتلك الطريقة المستخدمة للقياس – تعتبر طريقة لقياس الطراوة تحت ظروف الاستهلاك الطبيعية. ولكنها طريقة شخصية، لا يمكن معها مقارنة النتائج المتحصل عليها مع بعضها، ويجب ألا يقل العدد المستهلك للعينة عن ١٠٠ ← ١٠٠٠ – ويكون اختياره عشوائيًا.

(ب) **The Specialized or Laboratory Panels**: وهذا الاختبار يتم على نطاق صغير ويحتاج إلى خبرة وتمرين جيد للأشخاص – ويجب أن تكون لدى الشخص القدرة على التميز والتعرف على الاختلافات الصغيرة الموجودة في العينات المختلفة. ففي تلك الحالة يعطي الشخص ٣ عينات: ٢ متشابهتين وواحدة مختلفة، ويطلب منه التعرف عليها. ففي حالة تقدير الطراوة يطلب من المحكم تقدير عدد المضغات المطلوبة لمضغ عينة اللحم إلى المرحلة التي تبلع فيها طبيعيًا. وفي تلك الحالة يجب أن تكون أشكال وأحجام العينات متشابهة. ولابد من توافر الشروط الآتية في المحكم، وهي:

(١) أن يكون من ذوى الخبرة بالعوامل المؤثرة في العينة.

(٢) تكون له القدرة على الحكم على عامل واحد بدون التأثر بالعوامل الأخرى مثل الطراوة دون التأثر باللون والطعم.

(٣) يكون له صحة جيدة وشهية جيدة.

(٤) ألا يكون لديهم الحب الشديد أو الكره الشديد لأنواع معينة.

(٥) يكون عالمًا بطرق التحليل المختلفة وذا كفاءة عالية وله القدرة على تحمل المسئولية.

٢- الطرق الموضوعية Objective Methods:

وهي الطرق التي لا يتدخل فيها العامل الإنساني في تحديد نتائجها وتعتمد على الاختبارات العلمية والقياسية، ويمكن تطبيقها على أي نوع من العينات – وعند تقدير الطراوة تستخدم الطرق التالية:

(أ) طرق كيميائية:

وهي تستخدم لتقدير كمية الأنسجة الضامة أو كمية الحامض الأميني هيدروكسي برولين أو هيدروكسي ليسين، وهي الموجودة بكثرة في الأنسجة الضامة، وبذلك نعطي فكرة عن كمية الأنسجة الضامة وبالتالي طراوة اللحم. أو المقدرة على الاحتفاظ بالماء (WHC) فكلما زادت كميتها زادت درجة طراوة اللحم أو تقدير كمية النتروجين الحرة Free amino nitrogen، وهذا دليل على تكسر البروتين وبالتالي زيادة الطراوة.

(ب) طرق ميكانيكية:

وتلك الطرق تستخدم أجهزة خاصة تقيس القوة اللازمة لانغماس آلة حادة في قطعة اللحم أو القوة اللازمة لقطع قطعة من اللحم، ومن تلك الأجهزة:

١- جهاز يقيس قوة الاختراق للعينة، ويسمى Shear force.

٢- جهاز يقيس قوة الاختراق للعينة، ويسمى Warner ñ Bratzler Shear.

٣- جهاز يقيس أقصى قوة أو ضغط لازمة لاختراق العينة، ويسمى Kramer-shear press.

٤- جهاز يقيس الطاقة الكهربائية اللازمة لطحن عينة لحم، ويسمى Motorized Food Grinder.

رابعًا: العصيرية Juiciness:

وجود العصير باللحم له دور مهم في تذوق اللحم لدى المستهلك، ويحتوي العصير على عديد من المكونات ذات الأهمية لإنتاج النكهة، كما يساعد على تقطيع اللحم وسهولة مضغه. وغياب العصيرية يفسد الصفات التذوقية للحم. والعصيرية بجانب التعريق (Marbling) تساعد على إفراز اللعاب وفتح شهية المستهلك. كما أن التعريق يقلل من فقد السوائل أثناء الطبخ كما تقلل الجفاف وفقدان الرطوبة أثناء الشوي، وتلعب السوائل المتبقية وكمية الماء المتبقي الدور الأساس في الاختلافات في العصيرية بين اللحوم المختلفة.

خامسًا: النكهة (الطعم والرائحة) Flavour (taste and odour):

تعد النكهة (الطعم والرائحة) عاملاً أساسيًا للمستهلك أثناء تناوله للغذاء، عن طريق تنشيط الغدد اللعابية والعصارات الهضمية التي تساعد على الهضم ويقسم الطعم إلى أربعة أقسام: المالح والحامض والحلو والمر، ويمكن الإحساس بهذه الطعوم من الحلمات الحسية الموجودة على سطح اللسان، أما الرائحة فيمكن الإحساس بها عن طريق حاسة الشم.

واللحم الطازج عادة لا يكون له رائحة ظاهرة أوله رائحة خفيفة جدًا تكون مشابهة إلى رائحة حمض اللاكتيك – وفي الغالب يكون اللحم الكبير السن له رائحة مميزة عن رائحة الحيوانات الصغيرة السن لنفس النوع – بعض الأنواع مثل الخنازير

له رائحة مميزة – أوقد تكتسب بعض اللحوم رائحة السمك نظرًا لعليقها الذي تحتوي على منتجات الأسماك.

- إذا خزنت اللحوم وبالذات في ظروف غير مناسبة، تظهر لها رائحة غير مقبولة وهذه الرائحة ترجع إلى تحلل وتكسر البروتين – أو رائحة حامضية ترجع إلى نمو الأحياء الدقيقة، أو قد تظهر رائحة التزنخ من أكسدة الدهون.
- أما بالنسبة للحم المطبوخ، فإن الرائحة تكون أكثر وضوحًا من اللحم الطازج – وتتأثر الرائحة بطريقة الطبخ – ونوع اللحم – طريقة معاملة اللحم قبل الطبخ.
- ولقد فصلت المكونات الكيميائية المسئولة عن رائحة اللحم، فوجد أنها عبارة عن المركبات الآتية: أمونيا – أمينات – أندول – كبريتيد أيدروجين – أحماض اليفاتية.
- وعند تخزين اللحم المطبوخ قد تظهر له رائحة غير مقبولة، وهذه ترجع إلى أكسدة الميوجلوبين الناتج من أكسدة الدهن بعد الطبخ.

وطعم اللحم من الصعب وصفة أو تميزه – وكذلك النكهة والطعم من الصعب فصلها عن بعضهما – حيث إن خصائص الطعم تكون ناتجة من الإحساس بالنكهة. وإذا أمكن إزالة النكهة أو الرائحة فإنه من الصعب تميز الطعم – والطعم للحم الطازج ضعيف جدًا ويميل إلى الملحي أو يشبه طعم الدم – ولكن الطعم الحقيقي للحم يتكون خلال عمليات الطبخ ويرجع أساسًا إلى بروتينات اللحم. ويتأثر طعم اللحم بعمر الحيوان – نوع العليقة – طول وظروف تخزين اللحم بعد الذبح وقبل الطهي، أما الدهن فليس له طعم. ولقد أمكن فصل مركب يرجع إليه مسئولية الطعم القلوي في اللحم، وهذا المركب يحتوي على مادة تماثل iGlycoproteini وتحتوي على نسبة مرتفعة من الفوسفور. ووجد أن الجزء الكربوهيدراتي فيها عبارة عن الجلوكوز – أما الأحماض الأمينية التي فصلت فهي البرولين – أيزوليوسين – ليوسين – ألفا الآنين – فالين – سيرين – ميثل الانين – الجليسين والجلوتاميك وكذلك فصلت مركبات انيوسين (Inosen, Inosinic acid, Hydroxanthine).

وطعم اللحم الأحمر يرجع أساسًا إلى التفاعل بين الأحماض الأمينية والكربوهيدرات ذات الوزن الجزيء المنخفض. كما أن التفاعلات غير الإنزيمية التي تتكون خلال الطبخ (Browning reaction) تكون مسئولة عن الطعم مع اللون.

ولقد أوضح بعض العلماء أن المكونات المسئولة عن الطعم في اللحم الأحمر تتسم بالصفات الآتية:

١- مركبات تذوب في الماء وذات وزن جزئي صغير، وهي التي تكون مسئولة عن طعم اللحم.

٢- المركبات ذات الوزن الجزيء العالي للبروتينات، ليس لها أهمية في إظهار طعم اللحم.

٣- إن طعم اللحم الأحمر في الأنواع المختلفة (أبقار - خراف - خنازير) تكون متشابهة في التركيب، ويرجع ذلك إلى احتوائها على الأنواع نفسها من الأحماض الأمينية والكربوهيدرات.

٤- طعم اللحم ربما يكون لنوع معين من الجليكوبروتينات وكذلك تأثير حمض أينوسينك Inosinic acid.

٥- قد يلعب التفاعل البني دور في طعم اللحم الأحمر.

المركبات الطيارة المسئولة عن طعم اللحم:

يبين جدول (٩) بعض المركبات الطيارة وبعض المكونات التي قد تكون مسئولة عن طعم اللحم المطبوخ.

ولقد لوحظ أن هناك بعض التفاعلات الكيميائية، التي تكون مسئولة عن تكوين عدد من المركبات المسئولة عن طعم اللحم المطبوخ - وخلال تلك التفاعلات تتكون الالدهيدات (R-CHO) من هدم بعض الأحماض الألفا أمينية.

كذلك لوحظ أن تفاعل ميلارد (Millard) يكون مسئول عن تكوين المركبات الكربونيلية من السكريات المختزلة - وتلك المركبات الكربونيلية يحدث لها بلمرة معقدة، تؤدي إلى تكوين اللون البني.

ولقد لوحظ أن الدهن يلعب دورًا مهمًّا في طعم اللحم، حيث إن تسخين الدهن تحت تفريغ في وجود غاز خامل لا يعطي أي رائحة للحم - ولكن أكسدة الدهون ربما يكون هو المسئول عن تكوين الطعم - وكذلك فإن الأحماض الدهنية الحرة تكون مسئولة عن تطور تلك النكهة. ويمكن أن يؤثر الدهن في طعم اللحم بطريقتين، هما:

الطريقة الأولى: هي الأكسدة وخاصة للأحماض الدهنية غير المشبعة – حيث تعطي المركبات الكربونيلية، والتي عند تركيز معين تعطي نكهة مقبولة، ولكن لو زادت، فإنها تؤدي إلى طعم غير مرغوبة.

الطريقة الثانية: أن الدهن يعمل كمصيدة أو كحماية للمركبات الطيارة المسئولة عن طعم ونكهة اللحم ويمنع تطايرها.

جدول (٩): المركبات الطيارة المعزولة من اللحم المطبوخ والمركبات التي قد تكون مسئولة عن تكوينها.

المركب	المركب المسئول عن تكوينها
١- الفورمالدهيد	الجليسين
٢- الإستيالدهيد	الآنين
٣- بروبانول	حمض ألفا بيوتريك
٤- ميثايل البروبانول	الفالين أو الليوسين
٥- حمض الفورميك	الفورمالدهيد
٦- حمض الخليك	الإسيتالدهيد
٧- حمض البروبيونيك	البروبانول
٨- حمض اللاكتيك	جليكوجين
٩- الأسيتون	السكريات
١٠- SH_2 – يدركب	الأحماض الأمينية الكبريتية
١١- الأمونيا	البروتين
١٢- الميثانول	السكريات
١٣- الأيثانول	السكريات

ومن المركبات التي تساعد على تكون الطعم والرائحة الأدينوسين أحادي الفوسفات والهيبوزانثين (Hypoxanthine) في لحوم حيوانات الصيد.

ومن المواد الرئيسية التي تعد من مكونات اللحم والمسئولة عن إنتاج الطعم (النكهة) المواد النيتروجينية غير البروتينية (Non Protein Nitrogen = NPN)، مثل:

الأحماض الأمينية الحرة (السائبة) النيوكليوتيدات وكذلك السكريات (الجلوكوز) والدهون مثل بعض الأحماض الدهنية القصيرة، والمركبات المحتوية على النيتروجين والتي تعرف بالبيرازينات (Pyrazines)، وكذلك المركبات المحتوية على الكبريت والأكسجين.

وإنتاج النكهة المميزة في اللحوم عملية معقدة للغاية، وتؤثر فيها كثير من العوامل، مثل: حالة الحيوان قبل الذبح وعمر الحيوان وطبيعة الحيوان، وجنس الحيوان، والتغذية ونوع العلائق.

أثر الحرارة على مكونات اللحوم:

تتغير طبيعة اللحوم (العضلات) عند تعرضها للحرارة فتفقد بناءها الأصلي ويصاحب تلك التغيرات تجمع جزئيات البروتين (Coagulation) ويؤدي ذلك إلى قلة ذوبانه وتغيرات المظهر المجهري للألياف العضلية، وتحدث صلابة جيدة للحم المطبوخ، وتسمى هذه الظاهرة "بتصلب البروتين" (Protein Hardening)، وتحدث هذه الظاهرة عند درجة حرارة ٦٤°م وتقل طراوة بروتينات الليفيات عند التسخين على درجة حرارة أعلى من تلك الدرجة. ويعتمد الفقد في قابلية ذوبان البروتين على درجة حرارة الطبخ والوقت. وتقل قابلية ربط الماء عند الطبخ على درجات الحرارة العالية؛ ولذا يجب ضبط وقت الطبخ على درجة حرارة من ٣٠ إلى ٧٠°م.

بالطبخ على درجات حرارة منخفضة (٥٦°م)، يمكن إحداث تغيرات في الكولاجين وتحويله إلى ألياف سهلة الذوبان. وبهذا تصبح نصف الألياف الكولاجينية سهلة الذوبان عند درجة حرارة تتراوح من ٦١-٦٢°م. ويحدث انكماش في ألياف الكولاجين مصحوب بزيادة الذوبان، وباستمرار التسخين وفي وجود الرطوبة المناسبة يتشبع هذا الكولاجين بالماء ويتحلل مكونًا الجيلاتين (Gelatin) ولهذا يصبح الكولاجين أكثر طراوة بعد التسخين وتزداد قابليته لربط الماء. ولا يتأثر بروتين الإيلاستين (Elastin) بالحرارة، بل يمكن أن يتأثر بفعل بعض الإنزيمات النباتية المحللة للبروتينات.

تأثير العمليات التصنيعية المختلفة على صبغات ولون اللحم:

١- **الطهـــي Cooking:** يتوقف التغير في لون اللحم على حسب درجة الحرارة والمدة التي تتعرض لها اللحوم. ويتحول اللون من الأحمر إلى البنـــي نتيجـــة لأكـــسدة الحديدوز إلى حديديك في صبغات اللحم.

٢- **الإشعاع Radiation:** يتحول اللون الأحمر إلى اللون الأخضر ثم إلى اللون البني. ويتكون اللون الأخضر لأن الأشعة تؤثر على حمض أمينـــي ســـستئين، وينطلـــق مجموعة الكبريت (SH_2)، وكذلك يتكون فوق أكسيد الأيـــدروجين H_2O_2، وتـــؤدي هذه المركبات إلى كسر حلقة البورفيرين كما سبق ذكره.

٣- **التجفيد Freeze-Drying:** خلال التجفيد نفسه لا يتغير لون اللحم، ولكـــن خـــلال التخزين ومع ارتفاع درجة الحرارة والأكسجين يؤدي ذلك إلى تغير اللـــون إلـــى البني.

٤- **التغليف Package:** يؤدي إلى تقليل ملامسة اللحم للأكـــسجين، وبالتـــالي يمنـــع التزنخ والتغير في اللون.

٥- **التعليب Canning:** يتغير لون اللحوم المعلب (غير المعالج) إما نتيجة لنشاط بعض البكتيريا أو بواسطة الكبريت المعـــدني، والـــذي يرجـــع إلـــى تكـــوين كبريتيـــد الأيدروجين الذي تفاعل مع الحديد مكون كبريتيد الحديد ذات اللون الأســـود، دون التغيير في شكل العلبة من الخارج. أما اللون الأخضر للحم المعلب المعالج نـــاتج من نشاط البكتيريا المحبة للحرارة (المقاومة للحرارة والتي توجد داخل المعلبات) دون أن يظهر انتفاخ خارجي للعلب.

التغيرات غير المرغوبة التي تحدث في لون اللحوم المعالجة ومنتجاتها:

١- التلون البني ويرجع إلى تحول صبغة اللحوم المعالجة إلى الميتاميوجلوبين تحـــت ظروف أهمها انخفاض الرطوبة على درجات حـــرارة التخـــزين وزيـــادة كميـــة النتريت. ولقد وجد أن استخدام غلاف قليل النفاذية للماء والأكسجين يمنـــع هـــذا التغير.

٢- الشحوب ويرجع إلى قلة الأملاح المستخدمة للمعالجة، ويظهر على سطح اللحوم المعالجة (انخفاض نترات ونتريت الصوديوم).

٣- ظهور اللون الأخضر يرجع الي زيادة كمية النتريت المستخدمة في المعالجة.

٤- اللون الباهت (الضعيف) يظهر عندما تتعرض اللحوم المعالجة إلى الضوء، أو للأشعة فوق البنفسجية فى ثلاجات الحفظ بالتبريد، ويمكن منع هذا التغير عن طريق استخدام أغشية غير منفذة للأكسجين، مع استخدام أملاح حمض الأسكوربيك كمادة مختزلة وخفض درجة حرارة التخزين.

٥- وشحوب اللون قد يرجع إلى تزنخ الدهن، ويمكن منع هذا التغير بمنع الأكسجين من الوسط.

تأثير المكونات المختلفة للحم والمواد المضافة على التغيرات اللونية للحم المعالج:

١- درجه pH اللحم (٥,٢-٦,٦) يساعد في أكسدة لون الصبغة - أما إذا لم تضاف نترات ونتريت الصوديوم، تصبح اللحم بيئة مناسبة لنمو الأحياء الدقيقة.

٢- ملح الطعام يسرع من أكسدة الميوجلوبين إلى ميتاميوجلوبين $Fe^{++} \leftarrow Fe^{+++}$.

٣- المعادن (الحديد - النحاس) تسرع من أكسدة الصبغة، أما الزنك فإنه يعمل على اختزال الصبغة - ويستخدم حمض الأسكوربيك كعامل مختزل ومثبت للون.

٤- التوابل تساعد على الحفاظ على اللون؛ حيث إنها تعمل كمواد مضادة للأكسدة.

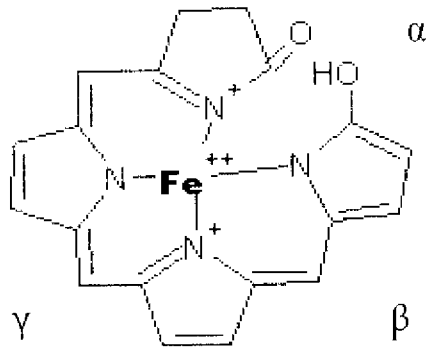
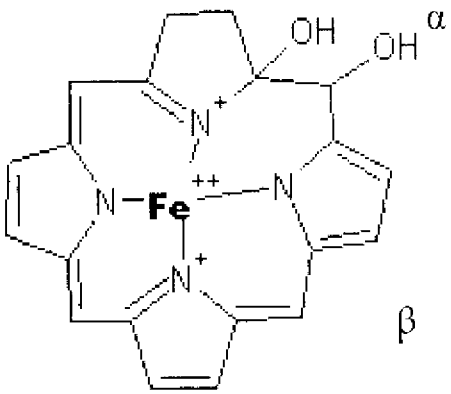
تكوين الصبغات الخضراء في اللحم Green Pigments in Meat:

يرجع تكوين اللون الأخضر في اللحم لنمو أنواع معينة من البكتيريا، التي تؤدي إلى تغير في التركيب الكيميائي للصبغة كما يلي:

١- تأكسد جزئي لقنطرة الميثان في الوضع الفا (α) (شكل ٢٠-أ).

٢- تكسير كلى لهذه القنطرة (شكل ٢٠-ب).

٣- أو إضافة كبريتيد الأيدروجين إلى قنطرة الميثان في الوضع الفا (α).

	
Verdoheam	**Choleglobin**
شكل (٢٠-أ): كسر جزئي لحلقة البورفيرين وظهور اللون الأخضر في اللحوم.	شكل (٢٠-ب): كسر تام لحلقة البورفيرين وتغير لون الصبغة إلى الأخضر أو عديم اللون.