

熟成条件の異なるドライエイジング牛肉のうま味成分の測定

田賀千尋・向井寿輔

要 約 牛肉における熟成の度合いやうま味成分の変化を確認するため、熟成条件や品種・部位の異なる熟成肉におけるうま味成分（グルタミン酸およびイノシン酸）を測定した。県内企業が開発した熟成庫を用い、調査1～3の条件で比較を行った。調査1：2種類の異なる湿度（80%、85%）で熟成した和牛ウチモモ肉。調査2：熟成開始時の環境（熟成庫に何も無い状態から熟成開始、カビの生えた熟成肉の隣に新しい肉を入れて熟成開始）の異なる和牛ウチモモ肉。調査3：品種と部位の異なる牛肉（ホルスタインロース肉、和牛トモズネ肉）。ほとんどの熟成条件において、熟成に伴い、グルタミン酸は増加傾向、イノシン酸は減少傾向を示し、30～40日ごろにこれらの濃度は逆転した。熟成の指標となる遊離ペプチドおよびK値（全核酸関連物質を占めるイノシンとヒポキサンチンの割合）は、熟成に伴っておよそ30日間増加し続けるが、それ以降は一定の値で推移した。調査1では、湿度80%と85%で熟成した肉での熟成パターンはほぼ同じであった。調査2では、熟成肉の熟成パターンおよびうま味成分の変化は調査1と同様であり、熟成中に近隣にカビが存在することによる熟成への影響はみられなかった。調査3では、赤身の多いホルスタイン種のイノシン酸の濃度は和牛ウチモモ肉に比べて高かったものの、調査1および2の和牛と同様の変化を示した。トモズネ肉のうま味成分の変動はほとんどなく、部位による熟成過程に差が見られた。

キーワード：ドライエイジング、グルタミン酸、イノシン酸、遊離ペプチド、K値

諸 言

本調査はDry Aging Cold (DACs)プロジェクトの一環として行われた。DACsプロジェクトは県内企業および大学と共同で行われたプロジェクトで、その目的は大型長期貯蔵庫の試作機開発および商品開発である。

屠畜された食肉は真空パックして保存されることが多く、この方法がウェットエイジングといわれるのに対し、肉を真空パックせず、温度や湿度などの環境条件がコントロールできる専用の熟成庫の中で長期保存する方法はドライエイジングといわれている。ウェットエイジング、ドライエイジングのどちらにおいても、熟成過程において、タンパク質分解酵素が筋繊維のタンパク質を分解し、結果として肉は柔らかく、「うまみ」のある食肉となるといわれている。

熟成の度合いやうま味成分の変化には肉の種

類や部位、熟成の条件が影響を及ぼすと考えられていることから、本調査では熟成条件や肉の品種の異なる熟成肉に含まれるグルタミン酸量およびイノシン酸量の経時的変化を調査した。

材料および方法

1. 供試牛肉と比較した条件

県内企業が開発した熟成庫で熟成された牛肉について、次の条件での3つの比較を行った。

（調査1）湿度の異なる2種類の熟成庫で熟成させた牛肉のうま味成分の経時的変化を測定した。サンプルには和牛のウチモモ肉を用いた。熟成条件は室温1℃、湿度80%あるいは85%、風速2m/秒とした。熟成開始4日目から40日目まで4日おきに専用のコアラーを用いてサンプリングした。

（調査2）熟成庫内に何も入っていない状態で

熟成を開始した熟成肉とカビの生えた熟成肉が付近にある状態で熟成を開始した熟成肉のうま味成分の経時的変化を比較した。和牛ウチモモ肉を室温 1℃、湿度 85%、風速 2m/秒の熟成庫で熟成を開始し、37 日間熟成した。熟成 21 日目に、カビの生えたこのサンプルの横に新しい和牛ウチモモ肉を入れ、44 日間熟成した。サンプルは専用のコアラを使用し、およそ 10 日おきに採取した。

(調査3) 和牛トモズネ肉とホルスタインロース肉の熟成肉のうま味成分の経時的変化を調査した。ホルスタインのロース肉については室温 1℃、湿度 70%、風速 4m/秒の熟成庫でそれぞれ 58 日間保存し、およそ 5 日おきに専用のコアラでサンプリングした。和牛のトモズネ肉については、室温 1℃、湿度 99%、風速 4m/秒の熟成庫で 44 日間保存し、3 日にサンプリングを行った。

すべての比較調査において、試料はサンプリング直後に真空パックし、分析まで-20℃の冷凍庫で保管した。

2. うま味成分分析方法

本調査ではうま味成分としてアミノ酸であるグルタミン酸および核酸であるイノシン酸を分析した。また、熟成の指標として遊離ペプチドおよびK値を用いた。K値は核酸である ATP の最終分解物質であるイノシンおよびヒポキサンチンが全核酸関連物質を占める割合である。K値が高いほど ATP の分解が進んでおり、熟成が進んでいることを意味する。

採取したサンプルをそれぞれ凍結状態のまま約 1.0g 計量し、蒸留水を加え、エースホモジナイザーAM-3(日本精機製作所)を用いてホモジナイズした。これを蒸留水で 100mL にメスアップし、それぞれ遊離アミノ酸、遊離ペプチド、拡散関連物質の分析に用いた。

アミノ酸は島津製作所製のアミノ酸分析 HPLC システムを用い、ポストカラム蛍光誘導体化検出法により分析した。

遊離ペプチドはプロテインアッセイ Lowry

キット (nacalai tesque) を使用し、Lowry 法による分析を行った。分析には Perkin Elmer 社の紫外可視近赤外分光光度計 Lambda1050 を使用した。

核酸関連物質は島津製作所の HPLC を用いて分析した。カラムには Shodex Asahipak GS-320 HQ を用いた。

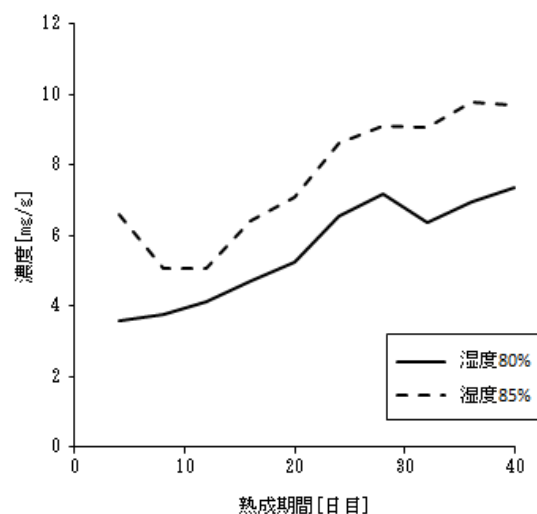


図1 湿度の異なる熟成庫で保存した和牛ウチモモ肉の遊離ペプチド濃度の経時的変化

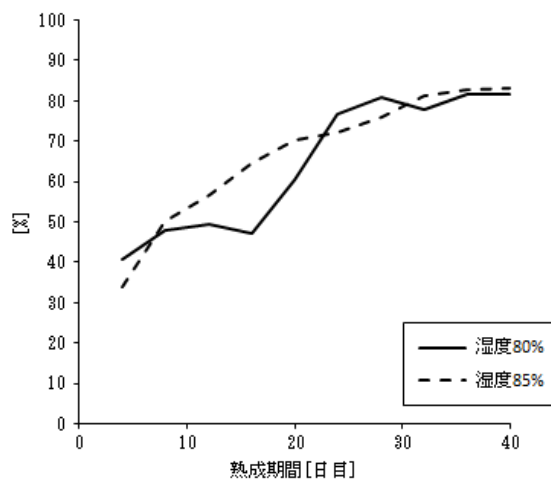


図2 湿度の異なる熟成庫で保存した和牛ウチモモ肉のK値の経時的変化

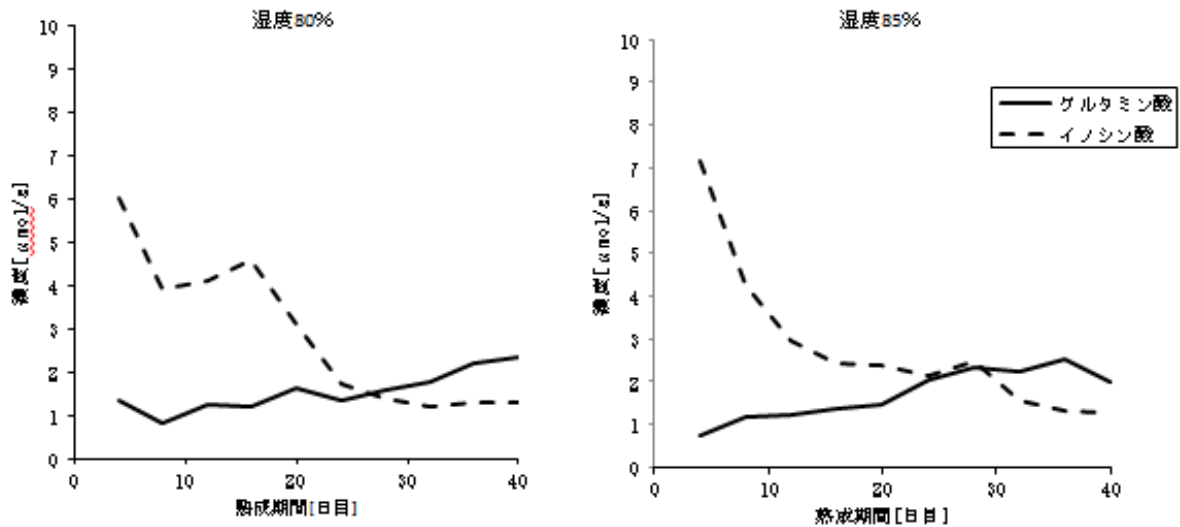


図3 異なる湿度で保存した和牛ウチモモ肉のグルタミン酸含量およびイノシン酸含量の経時的変化

結 果

(調査1) 湿度の異なる熟成庫 (80%および85%) で保存した熟成肉の遊離ペプチド量とK値の経時的変化において、85%の熟成庫で保存した熟成肉の方が全体を通して遊離ペプチド濃度が高いものの、熟成期間を通した変化としては同様な増加傾向を示した (図1)。また、K値については、およそ30日間、両サンプルともに同様な増加傾向を示し、約80%でほとんど変化しなくなった (図2)。熟成に伴い、両サンプルともにグルタミン酸は増加、イノシン酸は減少傾向を示し、およそ30日でグルタミン酸およびイノシン酸の濃度は逆転した (図3)。グルタミン酸量およびイノシン酸量は両サンプル間で差は見られず、経時の変化も同じ傾向を示した。

(調査2) 熟成開始時の環境においては、カビの生えた熟成肉の有無に関わらず、遊離ペプチド量は同様な増加傾向を示した (図4)。また、K値についても両サンプルともに約30%から30~40日間の熟成期間を経て約75%まで上昇した (図5)。両サンプルのグルタミン酸およびイノシン酸の濃度は調査1と同様にグルタミン酸は増加し、イノシン酸は減少した (図6)。ま

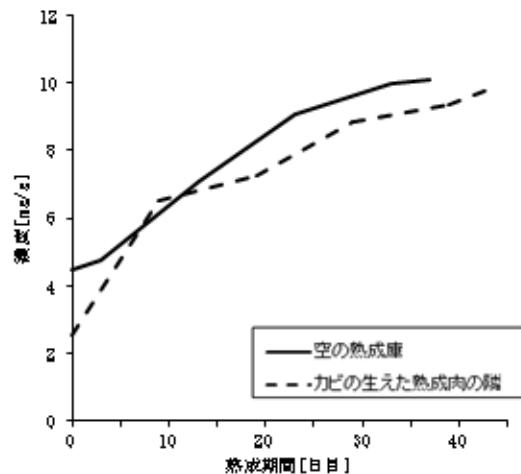


図4 空の熟成庫で熟成を開始した和牛ウチモモ肉とカビの生えた熟成肉の隣で熟成を開始した和牛ウチモモ肉の遊離ペプチド含量の経時的変化

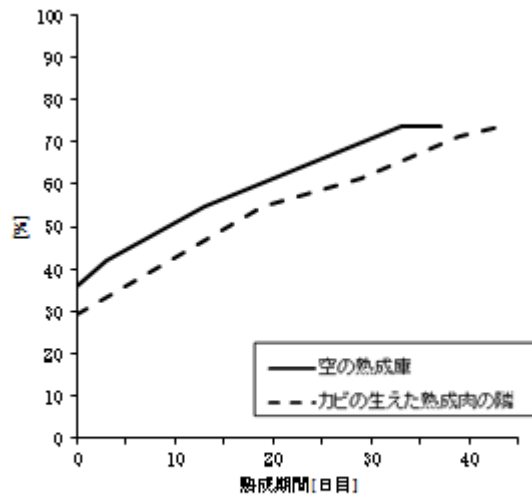


図5 空の熟成庫で熟成を開始した和牛ウチモモ肉とカビの生えた熟成肉の隣で熟成を開始した和牛ウチモモ肉のK値の経時的変化

た、これらの値は30~40日の間に約3 $\mu\text{mol/g}$ で交差した。

(調査3) 熟成に伴い、グルタミン酸含量はすべてのサンプルにおいて増加した(図7)。しかし、ホルスタインロース肉のイノシン酸の減少パターンは調査1および調査2で用いた和牛のイノシン酸の減少パターンと類似していたもの

の、熟成開始時の濃度が非常に高くなり、全体として高い値で推移した。また、和牛スネ肉については、47日間の熟成期間を通しておよそ1~5 $\mu\text{mol/g}$ でほとんど変動を示さなかった。

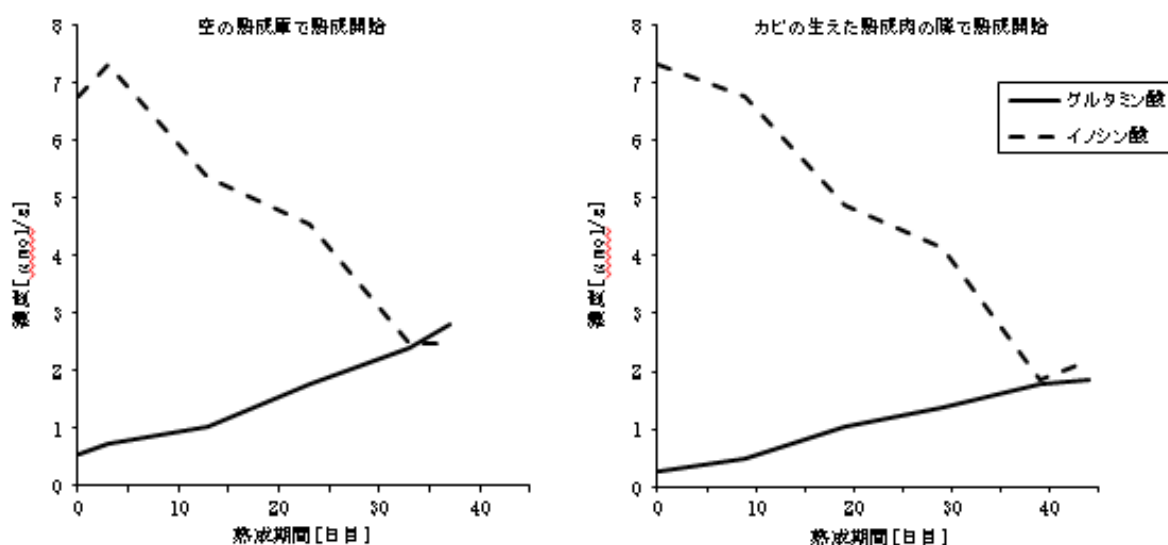


図6 熟成開始時の熟成環境の異なる熟成肉のグルタミン酸含量およびイノシン酸含量の経時的変化

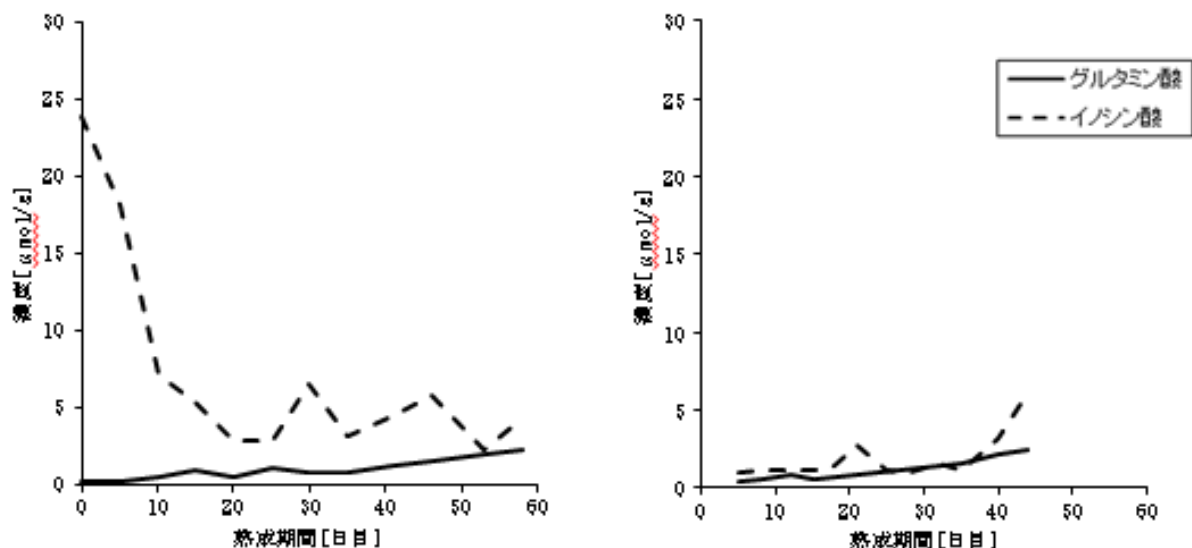


図7 ホルスタインのロース肉および和牛のトモスネ肉のグルタミン酸含量およびイノシン酸含量の経時的変化

考 察

本調査のすべてのサンプルにおいて、熟成に伴って遊離ペプチド量およびグルタミン酸量は増加した。死後筋肉においてはタンパク質の合成は停止し、タンパク質はエンドペプチダーゼの作用によりペプチドへ分解され、ペプチドはエキソペプチダーゼの作用により遊離アミノ酸へと分解される（沖谷ら，1992）。長尾ら（1994）は食肉中のペプチド成分を含めた非タンパク態窒素量は、一般に熟成が進行するに伴い増加し、この増加したペプチドは筋肉組織に内在するプロテアーゼの作用により生成されると報告している。また、熟成に伴うアミノ酸量の変動については多くの報告がある（SHIMADA et al, 1992; 長尾ら，1994）。ドライエイジングによる熟成においてもこの増加傾向は見られ（土屋ら，2014）、本調査と同様であった。

イノシン酸はATPがADP、AMPを経て分解することで生じる。また、イノシン酸はさらにイノシンやヒポキサンチンへと分解する。イノシン酸に関して、ほぼすべてのサンプルにおいて熟成に伴う減少傾向が見られた。多くの研究において熟成に伴いイノシン酸は減少するとされており（荒川，1979; SHIMADA et al, 1992; 長尾ら，1994）、本調査においてもほぼすべてのサンプルで同様の結果が得られた。また、熟成に伴いイノシン酸の分解物質であるイノシンやヒポキサンチンの濃度は高くなり、結果としてK値は増加した。これは根岸（1995）の報告と同様であった。

調査1では、湿度の異なる貯蔵庫で熟成した牛肉中のうま味成分の変動に差はみられなかったことから、80%と85%の湿度の差は熟成の度合いに大きな影響を及ぼさないといえる。米国食肉輸出連合会（USMEF）の推奨するドライエイジングビーフの相対湿度は80%～85%であり、この数値より高いと製品を腐敗させる過剰な微生物が増殖し、低いと過剰な収縮による重量減少やトリミングロスが生じるとされている。また、Perry（2012）はドライエイジングを行う上

で湿度は重要であり、80～85%にすべきであると報告している。

調査2では、カビの生えた熟成中の肉が周囲にあることにより、新しく熟成庫に入れたカビの生えていない肉の熟成にどのような影響を与えるか調査した。その結果、両サンプルのうま味成分の変動および熟成の度合いを示すK値や遊離ペプチド量の変動は同様であった。これらのことから、熟成時に周囲に他の肉があるかどうかはその肉自体の熟成に影響を及ぼさないと考えられた。

調査3ではホルスタインのロース肉と和牛スネ肉のうま味成分の比較を行った。ホルスタインのロース肉は調査1および調査2で用いた和牛ウチモモ、肉と比較して非常に高いイノシン酸の値を示し、熟成に伴う減少の大きさも大きかった。一方、和牛スネ肉に関して、グルタミン酸は若干の増加傾向を示したものの、イノシン酸はほぼ横ばいであった。前述したタンパク質および核酸の分解は赤身で生じることから、これらの結果は各熟成肉の部位の脂肪含量の差によると考えられる。織田ら（2014）は黒毛和種去勢肥育牛のリブロースおよびウチモモを真空包装し、冷蔵保存したところ粗脂肪含量の低いウチモモの方がリブロースに比べて高い遊離アミノ酸総量およびイノシン酸含量を示したと報告している。

本調査におけるほぼすべての調査において、熟成開始後30～40日で遊離ペプチド量およびK値はプラトーに達した。これらのことから、30～40日以上熟成を行っても、タンパク質や核酸はそれ以上分解されず、うま味成分の構成への影響は小さくなると推測され、過剰な熟成はトリミングロスを多くするなどのマイナスの影響を及ぼす可能性が高くなると思われる。また、熟成に伴ってグルタミン酸含量が増加、イノシン酸含量が減少し、本調査のほぼすべてのサンプルにおいて30日から40日程度でこれらの含量が逆転していた。これについて、織田ら（2013）も長期熟成によってグルタミン酸およ

びイノシン酸含量の構成は逆転すると報告している。しかしこれらの逆転現象が食味にどのような影響を及ぼすかは不明である。また、肉のおいしさには様々な要因が考えられることから、グルタミン酸含量とイノシン酸含量だけでなく、水分含量など、さらなる検討をする必要がある。

参考文献

- Atsuko SHIMADA, Minako WATANUKI, Yohko TANISAWA, and Keiko HATAE, Changes in the Taste of Beef with Aging, J. Home Econ. Jpn, 43(3):199-206, 1992
- Center for research and knowledge management national cattlemen' s beef association. Dry-Aging of Beef executive summary
- N. Perry, Dry aging beef, International Journal of Gastronomy and Food Science, 1:78-80, 2012
- 荒川信彦. 肉の熟成について. 調理科学. 12:192-202. 1979
- 織田一恵・岡幸宏. 長期熟成が牛肉にもたらす影響. 平成 24 年度愛媛県畜産関係業績発表会. 2013
- 織田一恵・岡幸宏. 黒毛和牛去勢牛肉の脂肪含量の異なる部位での熟成効果の検討. 愛媛畜産研究センター研究報告. 2:35-42. 2014
- 沖谷明紘・松石昌典・西村敏英. 食肉のおいしさと熟成. 調理科学. 25(4):314-326. 1992
- 土屋貴幸・宮本泰成・齋藤美英. 早期トリミングと真空パック併用によるドライエイジング牛肉のロス低減. 静岡県畜産技術研究所研究報告. 7:23-24. 2014
- 長尾真理・三上正幸・関川三男・三浦弘之. 牛肉ホモジネートの保存中におけるペプチドおよび遊離アミノ酸量について. 北畜会報. 36:29-32. 1994
- 根岸晴夫. 食肉の貯蔵中における理化学的变化と肉質管理の指標成分に関する研究. 1995

Research on umami taste in dry-aged beef ripened in different conditions

Chihiro TAGA, Juho MUKAI
Fukuil Preceftural Livestock Experiment Station

Abstract

We researched the changes in concentrations of glutamic acid and inosinic acid, both are said to provide umami taste, in dry-aged beef ripened in different conditions. All samples were aged in the refrigerator made by a company in Fukui in the following conditions; (research 1) top round cap off of Japanese black at humidity of 80% and 85%; (research 2) top round cap off of Japanese black started ripening in empty refrigerator and that ripening next to other moldy dry-aged beef; (research 3) Holstein sirloin and Japanese black shank. For almost all samples, the concentration of glutamic acid increased whereas that of inosinic acid decreased through the aging period, and consequently the concentration of glutamic acid took over that of inosinic acid during day 30 and 40. The concentration of peptide and K-value, both could be used as the index of aging, were rose to plateaus after day 30. In research 1, the trends of glutamic acid and inosinic acid in beef aged at humidity of both 80% and 85% were almost same. In research 2, the aging trends of both samples were almost same with that of research 1, and it could be said that starting aging beef next to moldy dry-aged beef have no effect on aging. In research 3, Holstein sirloin, which is relatively high in red meat, showed higher concentration of inosinic acid than Japanese black beef but the trends of concentration of umami components through aging period were similar to that of research 1 and 2. However, umami taste of shank showed small negligible change; therefore the trend of aging could be differed by the parts of meat.

Keyword: dry-aged beef, glutamic acid, inosinic acid, peptide, K-value