



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사 학위논문

숙성방법 및 숙성기간이 소고기
풍미에 미치는 영향

제주대학교대학원

생명공학부 동물생명공학전공

문 찬

2023년 2월

숙성방법 및 숙성기간이 소고기 풍미에 미치는 영향

지도교수 류 연 철

문 찬

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

2022년 12월

문 찬의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 이 왕 식 (인)

위 원 박 종 은 (인)

위 원 류 연 철 (인)

제주대학교 대학원

2022년 12월

Effect of aging methods and periods on
beef flavor

Chan Moon

(Supervised by professor Youn-Chul Ryu)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Science

2023. 2.

This thesis has been examined and approved.

Faculty of Biotechnology, Animal Biotechnology Major
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effect of the 60 days on aging method on beef flavor, and the sirloin was performed for 15, 30, 45, and 60 days using Wet(wet aging), Dry(dry aging), and Dry-bag(dry aging in the bag) methods. Free amino acid analysis and electronic tongue sensor measurement were performed every 15 days during the 60 days of the aging period.

Total free amino acid content tended to increase as the aging time extended, and glutamic acid and aspartic acid increased by about 9 times and 200 times respectively during 60 days of aging. Differences in free amino acids among aging methods were observed. The free amino acid content of the Wet was more abundant and there was no significant difference between Dry and Dry-bag. As a result of classifying and comparing amino acids among groups, Wet increased the content of all groups compared with days 0 and 60 days of aging. In addition, sweet, savory, bitter, and functional amino acid groups were significantly higher than other aging methods. sweet group in Dry and Dry-bag was decreased, and the savory, bitter, and functional groups increased. In addition, there was no significant difference between Dry and Dry-bag.

As a result of electronic tongue measurement, sourness indicated a high tendency of Wet, and umami of the Dry and Dry-bag significantly increasing as the aging time expanded. Dry, and Dry-bag have improved umami, richness, and saltiness over Wet.

As a result of the correlation analysis, the content of total free amino acid, umami, richness, and saltiness revealed a positive correlation (+) with the aging period. Glutamic acid and aspartic acid did not show correlation with umami and richness sensors.

In conclusion, the results of measuring free amino acid and electronic tongue of Dry and Dry-bag were almost similar. Therefore, it is concluded that the two aging methods provide the same flavor, and the possibility that the Dry-bag method may replace other aging methods was confirmed.

목 차

ABSTRACT	i
목 차	ii
List of Tables	iii
List of Figures	v
I. 서 론	1
II. 연구사	3
1. 한우의 역사 및 현황	3
(1) 한우의 개량역사	
(2) 소고기의 등급제도	
(3) 한우의 산업 현황	
2. 소고기의 숙성	9
(1) 건식 숙성(Dry aging)	
(2) 습식 숙성(Wet aging)	
(3) 수분 고투과성 포장 건식 숙성	
3. 숙성육의 현황	12
(1) 숙성육 소비 현황	
(2) 숙성육 개발 현황	
4. 소고기의 풍미	16
(1) 유리아미노산과 풍미	

(2) 지질과 풍미	
(3) 핵산 물질과 풍미	
5. 맛의 평가	21
(1) 관능 평가	
(2) 전자코 측정을 통한 맛 분석	
(3) 전자혀 측정을 통한 맛 분석	
III. 재료 및 방법	23
1. 공시 재료	23
2. 숙성방식 및 시료 처리	23
3. 유리아미노산 분석	24
4. 전자혀 측정	26
5. 통계 분석	26
IV. 결과 및 고찰	27
1. 숙성방법 및 숙성기간에 따른 유리아미노산 변화	27
2. 숙성방법 및 숙성기간에 따른 전자혀 센서 변화	46
3. 상관관계 분석	50
V. 국문 요약	61
VI. 인용 문헌	63

LIST OF TABLES

Table 1. Setting condition for beef aging	23
Table 2. Retention time of amino acid standards	25
Table 3. Characteristics of taste information on taste sensors	26
Table 4. The content of free amino acid according to the aging period	29
Table 5. The percentage of free amino acid according to the aging period	31
Table 6. The content of free amino acid according to the aging methods	35
Table 7. The percentage of free amino acid according to the aging methods	38
Table 8. Classification of free amino acid according to function	42
Table 9. Changes in the content of free amino acid groups by classification according to the aging methods and periods	44
Table 10. Changes in the percentage of free amino acid groups by classification according to the aging methods and periods	45
Table 11. Measurement results of electronic tongue sensor according to aging methods and periods	49
Table 12. Correlation coefficient between meat quality analysis	52
Table 13. Correlation coefficients of free amino acid group and meat quality analysis	53
Table 14. Correlation coefficients of electronic tongue sensor and meat quality analysis	54
Table 15. Correlation coefficients of free amino acid group and electronic tongue sensor	58

Table 16. Correlation coefficients of free amino acid content and electronic tongue sensor	59
Table 17. Correlation coefficients of free amino acid percentage content and electronic tongue sensor	60

LIST OF FIGURES

Fig 1. Degree of self-sufficiency of beef and per capita beef consumption	6
Fig 2. Number of Hanwoo farms, breeding and slaughtering	7
Fig 3. Grade appearance rate of Hanwoo and beef cattle	8
Fig 4. The origin of beef that is mainly purchased	12
Fig 5. Types of purchase of aged meat and main reasons for purchase of aging meat	13
Fig 6. Considerations for purchasing aging meat	14
Fig 7. The taste buds of the tongue	17
Fig 8. Flavor classification of free amino acids	18
Fig 9. GC peak of the standard used for amino acid measurement	24
Fig 10. Changes in the content of amino acid groups according to the aging methods and periods.	43
Fig 11. Measurement results of electronic tongue sensor according to aging periods	48

I. 서론

우리나라는 경제성장과 식생활의 변화로 육류의 소비량이 증가하고 있다. 2020년 기준 한국인 1인이 1년간 섭취한 육류(소고기·돼지고기·닭고기 포함)는 54kg, 같은 해 1인당 쌀 소비량은 58kg로 1인당 연간 육류 소비량은 2012년 이후 8년간 32%나 증가한 데 반해, 쌀소비량은 17% 감소하여, 이런 추세가 지속하게 되면 조만간 쌀과 육류 소비량이 역전될 것으로 예상된다(한국육류유통수출협회, 2021). 그중 우리나라 1인당 소고기 소비량은 2010년 8.8kg에서 2017년 11.3kg, 2021년에는 13.6kg으로 꾸준히 증가하는 것으로 보고되었으며, 소고기 소비량이 점점 증가함에 따라 한우의 사육두수 및 농가 증가하였다(농림부, 2021).

또한, 육류의 소비성향이 양보다는 질적인 개념으로 전환이 되고, 수입 자유화와 유통시장의 개방으로 해외의 질 좋은 소고기가 수입되어 점차 소비자들의 선택 폭이 확대되고 있어 국내산 소고기는 가격 경쟁력에서도 어려움을 겪고 있다(이, 2011; 최 등, 2017). 국내에서 소비하는 전체 소고기 소비량 중 수입산과 국내산의 비중은 2020년 기준 수입산 63%, 국내산 37%로 조사되었으며, 이러한 시점에서 국내산 소고기의 경쟁력 향상을 위해서는 차별화시킬 수 있는 노력이 필요하다(조 등, 2009; 농림부, 2021).

저등급 및 저지방 부위의 고급화를 통해 소비자 요구를 만족시키고 수입육과의 차별화를 통한 지속적 경쟁에서 우위를 갖게 하며 제품개발 전략을 수립하는 것이 필요하고, 많은 연구자들이 저등급 한우육의 연도와 풍미를 증진 시키기 위해 숙성 기술에 관한 연구를 진행하고 있다(황, 2018). 소고기의 품질은 도축 후 냉장 또는 숙성으로 향상되며, 숙성은 낮은 온도에 장시간 보관하는 것으로 숙성에 의한 소고기의 연도와 향의 향상 효과는 기호성과 관능적 품질을 증진하는 데 크게 관여한다고 알려져 있다(Warren 등, 1992; 정 등, 2006). 숙성방법은 주로 진공포장을 하여 냉장 상태에서 저장하는 습식 숙성과 포장하지 않고 저온 환경에 직접적으로 노출하여 저장하는 건식 숙성이 있으며, 건식 숙성한 소고기는 식육 내 수분이 증발하고 표면이 건조되어 다양한 미생물들이 자라 특유의 향미와 육질이 나타나는 게 특징이지만 높은 숙성 감량, 정형 손실, 오염에 대한 위험

요소들이 발생한다(Lee 등, 2017; Kim 등, 2018; 조 등, 2018). 최근 이러한 단점을 보완하기 위해 풍미가 좋은 건식 숙성의 이점과 습식 숙성의 높은 수율을 결합할 수 있는 수분 투과율이 매우 높은 형태의 포장 기술이 도입되었다(Ahnström 등, 2006). 수분 고투과성 포장지를 이용한 건식포장 숙성은 일반 건식 숙성보다 숙성 감량 및 정형으로 인한 손실을 줄일 수 있으며, 미생물의 오염도 줄일 수 있다(Ahnström 등, 2006; Degeer 등, 2009).

또한, 소비자가 소고기 구매할 때 영향을 주는 가장 중요한 요소는 풍미이다. 최근 소고기 관련 연구 동향들을 살펴보면, 육질등급 향상에서 나아가 소고기의 ‘풍미’와 ‘기능성’을 과학적으로 구명하기 위한 연구들이 진행되고 있다(정, 2011).

본 연구는 소비자의 요구를 파악하여 차별화된 소고기 제품 생산에 따른 풍미의 변화를 알아보기 위해서 실행되었다. 이를 위해 거세 2등급의 채끝 등심을 습식 숙성, 건식 숙성과 건식포장 숙성방법을 이용하여 숙성을 진행하였으며, 숙성방법과 숙성기간에 따른 풍미 성분 변화를 측정하고, 이에 따른 상관관계를 분석하여 소고기 숙성육의 풍미 특성에 관한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구사

1. 한우의 역사 및 현황

(1) 한우 개량의 역사

한우는 과거부터 농가에서 사육되어 온 가축으로서 외래 품종과 혼혈 없이 순수한 집단으로서의 고유한 유전자 조성을 가지고 있으며, 우리나라 고유의 재래 가축 품종으로 한반도 기후에 적합하고 유전력이 높은 형질을 보유하고 있다. 현재 보존되는 토종 한우는 털색에 따라 황소, 칠폌소, 흑우, 백우로 나누어지고, 한우는 풍부한 단백질과 양질의 무기질을 공급할 수 있는 중요한 식량 공급원이며, 농가에는 없어서는 안 될 소득 자원이다(신, 2006; 김, 2009). 1950년대 이전에는 한우의 보호와 증식을 위한 축우 도살제한법이 시행되었으며, 1954년 한우 개량과 번식을 장려하는 가축보호법이 제정되어 한우의 등록, 도축 제한 사항 고시되었다. 1963년에는 축산법이 제정되어 종축 및 후보 종축 심사기준이 마련됐고, 1969년 종축개량협회가 설립되면서 한우의 체계적 관리를 위해 한우 등록사업이 본격화되었다. 한우의 개량은 암소 개량 및 기반 유지를 위한 개량 농가 육성 사업과 우수 종모우 선발 및 보급을 위한 한우 후대검정 사업을 기반으로 이루어졌으며, 1992년 우루과이 회의(GATT)를 통해서 우루과이 라운드협상(UR)이 이루어지고, 다자간 무역협정을 타결함에 따라 소고기 수입 자율화로 인해 한우 산업의 위기에 대한 대응으로 수입고기와 차별화를 위해서 육질(근내지방) 중심의 한우 개량을 추진하였으며, 한우의 고급화 생산기술 개발 및 한우의 등급판정 기준 등을 제정하였다(김, 2009; 박 등, 2018; 최, 2020). 또한, 한우 생산 시스템은 국가 주도 씨수소 선발 프로그램을 중심으로 선발된 씨수소들의 정액을 번식 및 일괄 사육농장으로 보급하는 산업 구조를 가지고 있으며, 국가에서 보급하는 씨수소를 이용하여 태어난 개체들의 명호를 등록하는 것과 같이 혈통등록을 종축개량협회에서 관리되고, 전국 도축장에서 도축된 소의 도축 결과는 축산물품질평가원에서 이력 추적정보와 함께 관리하는 구조적으로 안정화된 생산체계를 유지하고 있다(Chung 등, 2018; 박 등, 2018).

(2) 소고기의 등급제도

축산물 등급제는 식생활에 이용되는 축산물의 품질을 정부가 정한 일정 기준에 따라 구분하여 품질을 차별화함으로써 소비자는 구입하고자 하는 축산물의 품질의 구매지표를 제공하고, 구입 선택의 폭이 넓어지며 생산자에게는 품질이 좋은 축산물을 생산하게 하여 축산물 유통을 원활하게 하는 제도이다(축산물품질평가원). 소고기의 등급제도는 축산물 시장 개방 확대에 대비하여 국내에서 유통되는 축산물의 품질 차별화, 국내산 쇠고기 경쟁력을 높이기 위해 1990년 현 축산물품질평가원 주도하에 쇠고기 등급관정을 제정하고 1993년 시행했으며 도입 시 육질등급은 미국 등급제를 참조하여 육질 1·2·3등급, 육량 A·B·C등급으로 설정하였고, 그 이후 소 도체 품질의 고급화로 일본 등급제를 참조하여 1997년 1+ 등급과 근내지방도 No. 6, 7번이 신설되었으며, 2004년 1++등급과 근내지방도 8, 9번을 신설하였고, 소득의 증가 및 산업 구조 변화와 더불어 외부환경 변화요인들에 의해 지속해서 소고기 등급제도의 변화가 진행되고 있다(정, 2020; 최, 2020). 김등(2014)은 소고기 등급별 소비자 선호도를 분석하였으며, 등급별 선호도에서는 연령, 가구소득, 축산물 구매 성향이 영향을 미치는 것으로 나타났고, 특히 안전성을 중시하는 소비자일수록 높은 등급의 쇠고기를 선택하는 것으로 나타났다. 또한, 한우자조금(2018)에 따르면 한우의 등급별 선호도를 조사한 결과 주 구입 등급은 '1+등급'이 50.0%로 가장 높았으며, 다음으로 '1등급'이 24.0%로 조사되었으며, 향후 한우 구입 등급을 조사한 결과, 42.0%가 '1+등급'이라고 응답하였고, 다음으로 '1등급'과 '1++등급'이 각각 31.1%, 20.2%로 조사되었다. 이러한 소비자의 요구에 맞추어 한우의 경쟁력 유지를 위해 근내지방 위주의 장기 비육 체계를 유지하되, 생산비 등을 고려해 사육 기간 단축 유도로 2019년 12월 소고기 등급제를 근내지방도 기준 완화 및 최저등급제 적용하고 품종·성별을 고려한 6종의 육량지수 계산식을 개편하였다(최, 2020). 등급제의 개편 이후 한우 비육 시 최적의 출하 월령은 28개월령이나 높은 등급을 받기 위해 많은 농가에서는 28~32개월령까지 출하하고 있다. 그러나 거세 한우의 경우 개편 이후 출하 월령이 지속해서 단축되고 있는 것으로 나타났다(황, 2022). 최(2020)에 따르면 개편 등급제의 이후로 한우의 사육 기간이 증가한 농가의 비율은 높으나 거세 한우의 출

하 월령은 감소하였으며 1+, 1등급 거세 한우의 평균 출하 월령은 30.5개월로 조사되었다. 황(2022)은 소고기 등급제 개편 전·후의 비육 한우 경영성과를 조사한 결과 등급제의 개편에 따라 1++, 1+ 등급의 출현율이 증가하였고 1등급 출현율이 감소하여 육질등급 출현율이 개선되었고, A등급, B등급 출현율이 증가하고 C등급 출현율이 감소하여 육량등급의 출현율도 개선되었으며, 출하 월령도 단축된 것을 볼 수 있었다.

(3) 한우의 산업 현황

국내 1인당 소고기 소비량은 2010년 8.8kg에서 2017년 11.3kg, 2021년에는 13.6kg으로 꾸준히 증가하고 있으나(농림부, 2021), 소고기의 자급률은 지속해서 감소(자급률 : 52.8%('00) → 43.2%('10) → 35.7%('21))하고 있다. 소비량이 점점 증가함에 따라 한우의 사육두수 및 농가 또한, 육류의 소비 경향이 양보다는 질적인 개념으로 전환이 되고, 수입 자유화와 유통시장의 개방으로 해외의 질 좋은 소고기가 수입되어 소고기 수입량은 점차 증가(소고기 수입량(톤) : 236천('06) → 245천('10) → 452천('21))하고 있다. 국내산 소고기 생산량은 2021년 기준 249천 톤으로 국내산 소고기 가격의 강세뿐만 아니라, 대형 유통업체의 수입육 매장 확대, 가정 간편식과 가공장의 확대, 수출국의 지속적·적극적인 판매 전략으로 수입육 수요가 늘어나기 때문으로 판단되며, 이에 따라 소비자들은 선택 폭이 확대되고 있으며, 국내산 소고기는 가격 경쟁력에서도 어려움을 겪고 있다. 따라서 수입 개방화에 대응하기 위한 한우 차별화 방안과 한우 산업의 지속적인 발전을 위해서는 미래 지향적인 경쟁력 제고 방안이 필요한 실정이다(이, 2011; 국립축산과학원, 2014; 최 등, 2017; 최, 2020).

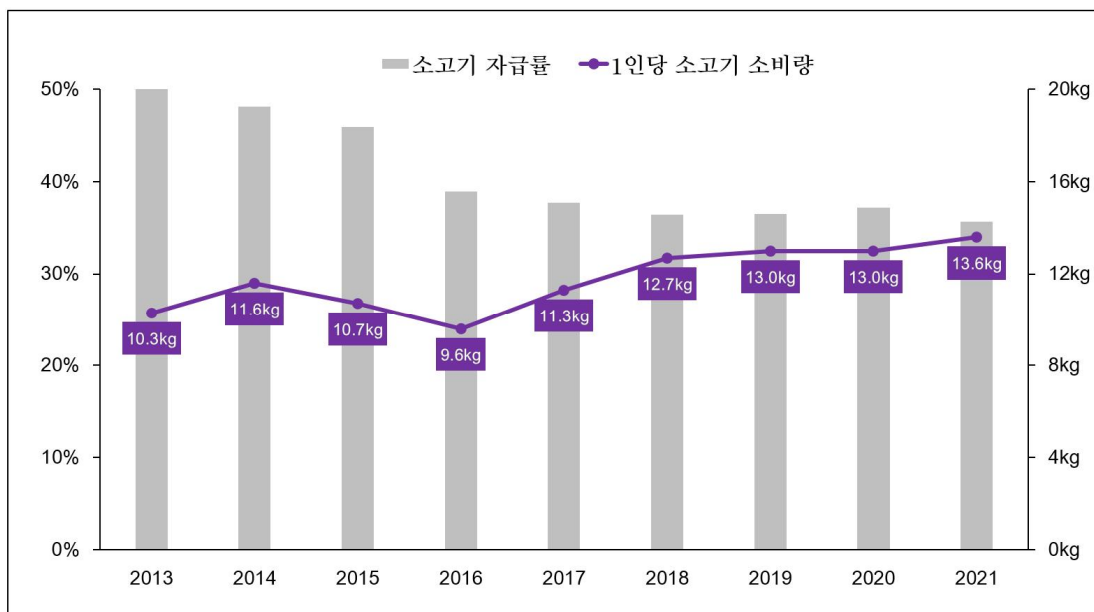


Figure 1. Degree of self-sufficiency of beef and per capita beef consumption (농림부, 2021).

통계청(2021) 자료에 따르면 한우의 사육두수는 2004년 1,420,499두에서 2021년 3,367,423두로 약 2.4배가 증가하였고, 이에 반하여 한우 사육 농장 수는 2014년 120,164호에서 2021년 89,615호로 약 25.4%가 감소하였다. 하지만 앞으로 한우 사육두수가 지속해서 증가할 것으로 전망된다(최, 2020). 축산물품질평가원(2022) 자료에 따르면 100두 이상을 사육하는 전업 농장을 중심으로 비중이 증가하여 한우 농가의 규모화가 이루어지고 있는 것으로 분석했다. 2021년 한우의 등급판정 두수는 794,238두로 전년(762,749두) 대비 약 4.1%가 증가하였고, 사육두수 대비 등급판정 두수는 29.2%('04), 22.8%('05), 31.1%('14) 31.4%('15), 26.4%('16), 25.9%('17) 25.1%('18) 25.1%('19), 23.9%('20) 23.6%('21)로 지속해서 감소하는 것으로 나타났다.

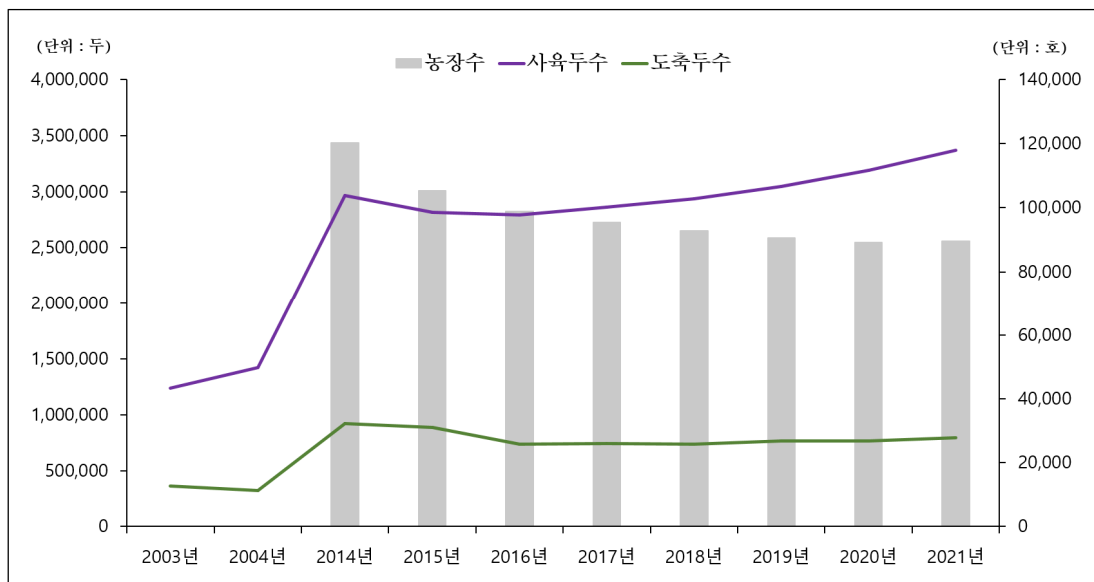


Figure 2. Number of Hanwoo farms, breeding and slaughtering(통계청, 축산물 품질평가원, 「가축동향조사」).

축산물품질평가원(2022)에 따르면 2021년 한우의 육질등급 출현율은 1++등급(2.38%), 1+등급(25.8%), 1등급(25.3%), 2등급(17.5%), 3등급(12.0%), 등외(4.1%)로 나타났으며, 한우 육질 1등급 이상 출현율은 75.2%로 2009년 대비 18.5%가 증가했다. 육우 육질등급 출현율은 1++등급(0.9%), 1+등급(3.3%), 1등급(10.6%), 2등급(46.6%), 3등급(38.1%), 등외(0.5%)로 나타났으며, 육우 육질 1등급 이상 출현율은 14.8%로 2009년(11.4%) 대비 3.4%가 증가했다. 최(2020)는 2019년 개정된 등급 기준 시행에 따라 사육 규모가 큰 대규모 사육 농가에서는 출하 월령이 증가하여 도체중, 등심단면적 및 근내지방 침착도가 증가하는 경향이며, 또한, 비교적 사육 규모가 적은 농가 수가 급속히 감소하는 반면, 대규모 사육 농가가 증가함에 따라 사육의 규모화가 빠르게 이루어지고, COVID19의 영향으로 고품질 생산보다는 경영안정 및 경영을 통한 소득 창출로 사육 기간 조정이 되고 있다고 보고하였다.

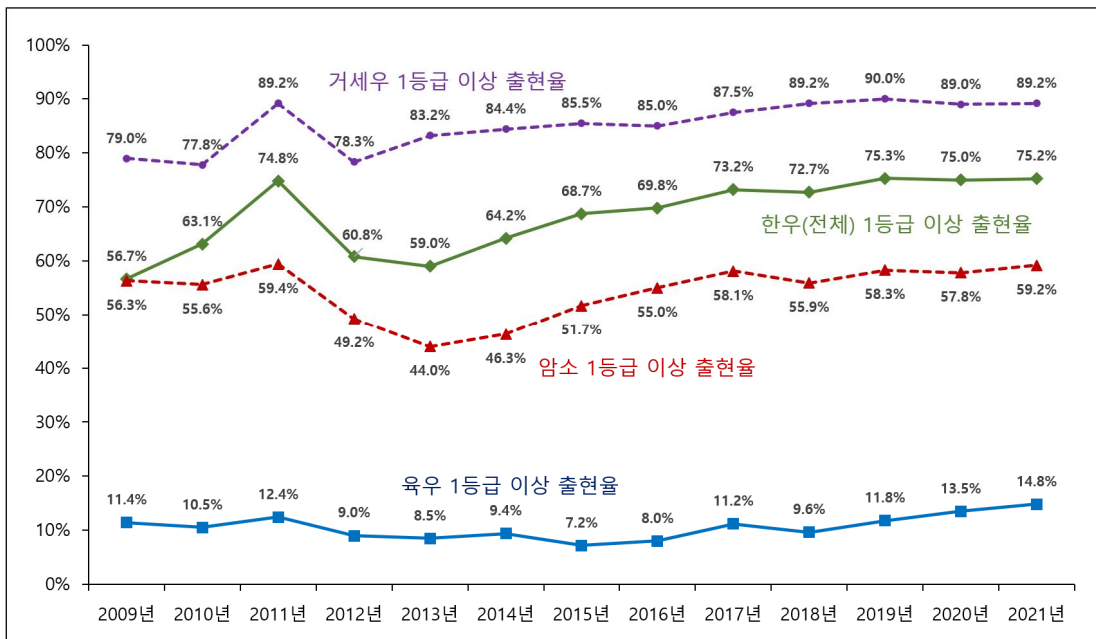


Figure 3. Grade appearance rate of Hanwoo and beef cattle(축산물품질평가원, 2022).

2. 소고기의 숙성

소는 도축 후 저장되는 동안 근육의 glycogen이 분해되어 혐기적 상태에서 해당작용에 의해 젖산으로 전환되고, ATP(adenosine triphosphate)가 소실되면서 보수성이 낮아지고 신전성을 잃어 근육이 단단해지는 사후강직 상태를 맞게 된다(정 등, 1997). 도축 후 소고기의 품질은 냉장, 숙성으로 향상되는데 특히 숙성에 의한 소고기의 연도와 향의 향상 효과는 기호성을 증진하는 데 크게 관여한다고 알려져 있다(정 등, 2006). 숙성은 사후강직 후 질겨진 고기의 연도를 향상하기 위하여 얼지 않는 낮은 온도에 장시간 보관하는 것으로 관능적 품질을 개선할 수 있으며, 식육의 숙성 조건은 축종, 근육의 종류, 유통기한 등에 따라 달라지고 일반적으로 숙성 시 온도가 낮아질수록 숙성기간은 길어진다. 이는 1950년대부터 연구가 진행되어 고기 자체에 있는 단백질분해효소들(calpain, cathepsins)에 의한 자가소화(autolysis)의 결과로 연도가 개선되는 것으로 알려져 있다(Warren 등, 1992; 한 등, 1996; Li 등, 2013). 숙성 중에는 근섬유의 미세구조에 많은 변화가 일어나는데 자가소화에 의해 Z-선이 붕괴하여 근원섬유가 약화되고 짧게 소편화가 이루어지며, 데스민(desmin), 타이탄(titin), 네불린(nebulin)과 같은 세포골격 단백질들이 붕괴하여 근원 섬유들 사이의 횡적 연결과 구조적 안정을 무너뜨려 식육의 연화를 촉진한다(한국식육과학연구회, 2018). 숙성방법에는 일반적으로 습식 숙성과 건식 숙성 두 종류가 있다. 냉장 온도에서 진공 밀봉된 포장지에 보관되는 습식 숙성은 현재 소고기 산업에서 가장 널리 사용되는 숙성 방법이며, 건식 숙성은 소고기를 보호 포장지 없이 며칠에서 몇 주간 냉장고에 보관하는 전통적인 숙성방법이다(Savell, 2008).

(1) 건식 숙성(Dry aging)

소고기의 건식 숙성은 "버터 맛이 풍부함", "부드럽고 강렬함", "구수하고 고소함"으로 설명된 독특한 풍미를 만들며, 고도로 훈련된 관능 요원들이 건식 숙성육의 관능 특성을 분석한 결과에서 건식 숙성육이 습식 숙성육보다 훨씬 더 향이 강하다고 보고하였다(Warren 등, 1992; Savell, 2008). 이러한 숙성육은 독특한 소비자의 요구를 충족시키기 위해 일부 고급 레스토랑과 전문 매장에서 사용되었으며, 건식 숙성육의 향상된 풍미에 따른 기호성으로 시장에서 높은 가격의 프리미엄 제품으로 판매되고 있다(Smith 등, 2008; Li 등, 2014). 건식 숙성은 고기를 포장하지 않고 저온 외부환경에 직접적으로 노출하는 숙성방법으로 건식 숙성한 소고기는 숙성 과정 중에 식육 내 수분이 증발하고 표면이 건조되어 다양한 미생물들이 자라 특유의 향미와 육질이 나타나지만 높은 숙성 감량, 정형 손실, 오염에 대한 위험 요소들이 발생한다(Lee 등, 2017; 조 등, 2018).

(2) 습식 숙성(Wet aging)

습식 숙성은 육류 산업에서 일반적으로 사용되는 육류 숙성방식으로 냉장 보관 조건에서 진공포장 하여 공기를 차단한 혐기성 숙성으로 정의할 수 있다. 습식 숙성은 최소한의 가공 기술과 적은 손실로 인해 육류 산업에서 가장 실용적인 숙성방법으로 이용된다(Kim 등, 2018). 또한, 수분 증발에 의한 수율 감소를 줄일 수 있으며, 미생물 증식을 억제할 수 있다는 장점이 있다(Campbell 등, 2001). 건식 숙성 소고기는 습식 숙성육이나 숙성되지 않은 고기보다 풍부한 풍미를 가지며, 습식 숙성 소고기는 더 강한 신맛과 금속성 맛, 핏빛의 풍미를 가졌다(Warren 등, 1992; Jeremiah 등, 2003). Degeer 등(2009)의 연구에 따르면 일부 소비자는 건식 숙성의 맛보다 습식 숙성 맛에 더 익숙 하지만 건식 숙성의 맛을 인식하거나 선호하는 소비자는 해당 제품에 더 큰 비용을 지불할 용의가 있음을 나타냈다.

(3) 수분 투과성 포장 건식 숙성

소고기의 건식 숙성은 습식 숙성에 비해 숙성 감량과 정형 손실로 인해 수율이 감소하기 때문에 비용이 많이 드는 방법이다(Parrish 등, 1991; Warren 등, 1992; Smaldone 등, 2019). 이러한 단점을 보완하기 위해 풍미가 좋은 건식 숙성의 이점과 습식 숙성의 높은 수율을 결합할 수 있는 수분 투과율이 매우 높은 형태의 포장 기술이 도입되었다(Ahnström 등, 2006). 선행 연구에 따르면 건식 숙성 제품과 수분 고투과성 포장 건식 숙성 제품 사이에 향미의 차이를 발견하지 못했고, 동일한 풍미를 생성했다고 보고하였다. 또한, 수분 고투과성 포장 건식 숙성 처리로 일반 건식 숙성 보다 숙성 감량 및 정형으로 인한 손실이 줄어드는 효과가 있었고, 유사하거나 그 이상의 부드러움과 다즙성을 보였으며, 미생물 부패를 줄인다고 보고하였다(Ahnström 등, 2006; Degeer 등, 2009).

3. 숙성육의 현황

최근 축산 경쟁국과의 경쟁이 가속화되는 상황에서 한우의 산업은 수입육과 가격 경쟁뿐 아니라 내부적으로는 웰빙 소비트렌드 등의 수요에도 부응해야 하는 어려운 상황에 직면해 있다. 한우의 고급화와 품질 다변화에 관련된 여러 연구가 개발 진행되고 있고, 숙성육과 저등급육 및 비선호 부위의 고급화에 대한 필요성이 높아지고 있으며, 지난 몇 년간 소비적인 측면과 산업적인 측면에서 큰 성장을 이루었다. 그러나 현재 숙성육은 축산물 위생관리법에서 식육 또는 포장육에 포함되는 것으로 판단하고 있으며, 숙성육에 대한 용어 정의와 구체적인 구분이 이루어지고 있지 않은 실정이다(축산물품질평가원 2016; 황, 2018; 농촌진흥청, 2019).

(1) 숙성육 소비 현황

농림부(2020)에 따르면 소고기 구매 시 구입하는 소고기의 주된 용도는 구이용(48.8%), 국거리용(25.0%), 불고기용(14.2%), 스테이크용(8.9%), 샤브샤브용(1.6%) 순으로 나타났으며, 그중 국내산 소고기의 구입은 구이용(51.0%), 스테이크용(25.8%)로 나타났다.

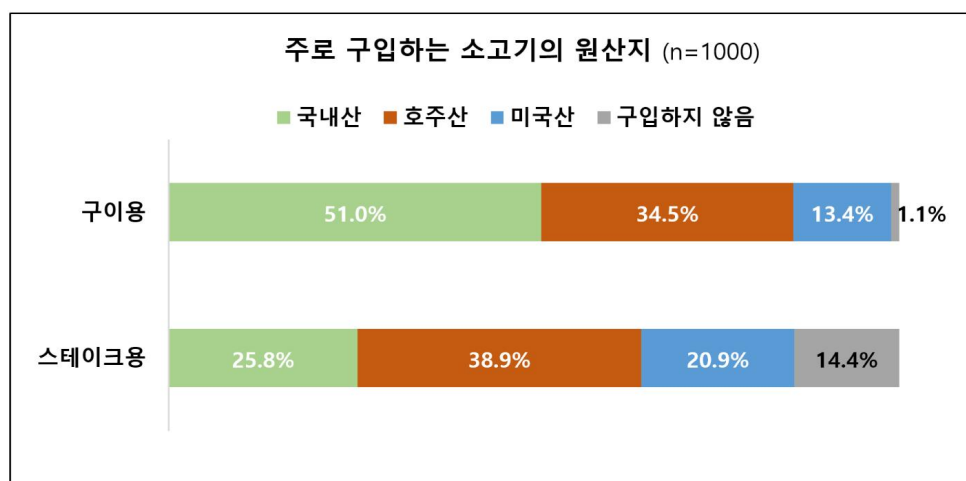


Figure 4. The origin of beef that is mainly purchased(농림부, 2020).

숙성 소고기 구입 경험이 있는 대상자로 숙성육의 구입 종류를 조사한 결과 습식 숙성육이 82.4%로 건식 숙성육(29.0%)보다 높게 나타났으며, 숙성육을 구입하는 주된 이유에 대해 조사한 결과로는 육질이 연하고, 부드러운 소고기가 먹고 싶어서(60.6%), 풍미가 있는 소고기가 먹고 싶어서(18.6%), 육즙이 풍부한 소고기가 먹고 싶어서 (17.6%), 건강에 좋은 소고기가 먹고 싶어서(2.0%) 순으로 나타났다. 또한, 숙성육 구입 시 우선적으로 고려하는 사항으로는 맛(품질)(28.6%), 가격(23.0%), 원산지(18.0%), 안전성(위생상태)(12.6%), 등급(7.0%), 판매처(5.2%) 순으로 나타났다.

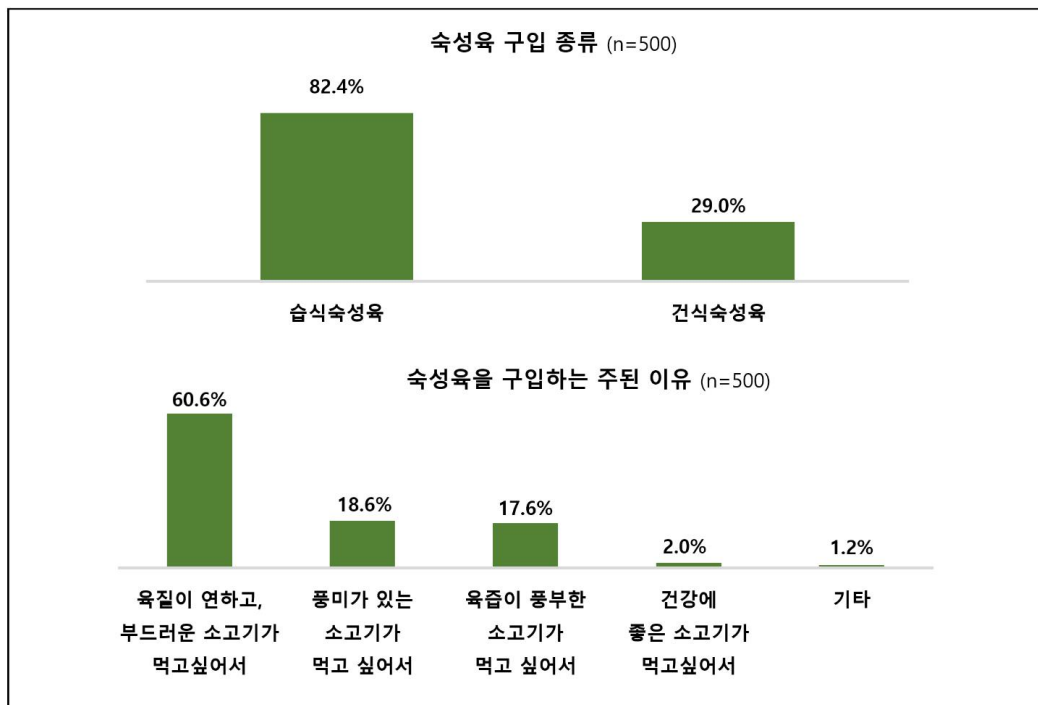


Figure 5. Types of purchase of aged meat and main reasons for purchase of aging meat(농림부, 2020) .

또한, 숙성육 구입 시 우선적으로 고려하는 사항은 맛(품질)이 28.6%로 가장 높았으며, 그다음으로는 가격(23.0%), 원산지(18.0%), 안전성(위생상태)(12.6%), 등급(7.0%), 판매처(5.2%) 순으로 나타났다.

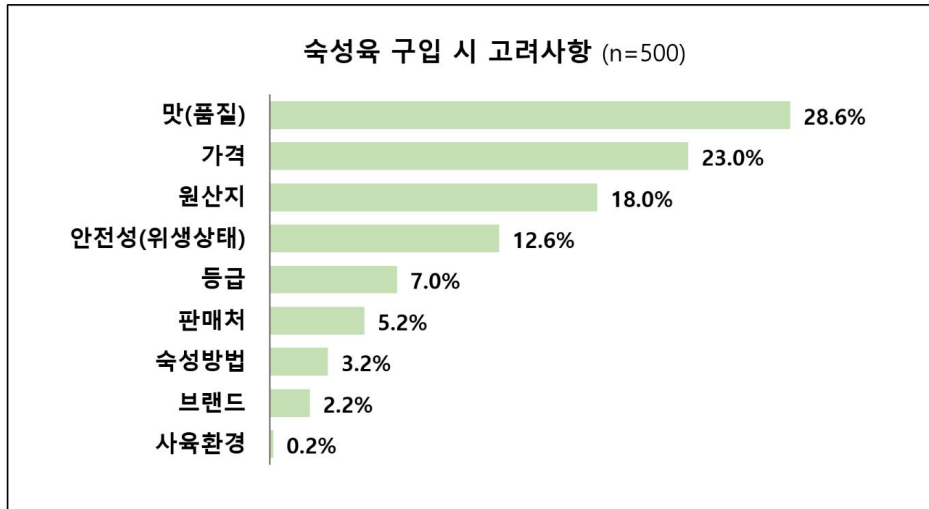


Figure 6. Considerations for purchasing aging meat(농림부, 2020).

(2) 숙성육 개발 현황

현재 숙성육 개발을 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 2022년 10월 기준 (소고기*숙성)과 관련된 특허 실용은 1,769개 및 상표는 4,370개, (고기*숙성)과 관련된 특허 실용은 7,533개 및 상표는 5,109개가 등록되어 있다. 또한, 농림부(2020)에 따르면 2020년 9월 기준 국가과학기술지식정보서비스의 고기 숙성과 관련된 등록정보에 따르면 (고기*숙성)의 검색에서 과제 102건, 논문 15건, 특허 2건 등이 검색되었으며, (소고기*숙성)의 경우 과제 26건, 논문 1건, 특허 1건 등이 검색되었다. 국내산 소고기의 숙성은 인기 부위(등심, 채끝)는 40~50%, 저지방 부위는 약 10% 내외 수준으로 활용하여 유통되고 있으나 최근 국내 브랜드 업체 및 연구기관에서는 저등급육 또는 비선호 및 저지방 부위의 활용성 증대를 위해 건식 숙성과 같은 기술 개발도 증가하고 있다(이, 2018; 조, 2018). 이 등(2015b)은 2등급 채끝 등심을 21일간 건식 숙성을 진행하여 숙성하지 않은 2등급 및 1+ 채끝 등심과 비교 연구를 하였으며, 이 등(2018) 건식 숙성육의 유통관리 방법을 설정하여 제안하였다. 또한, 조 등(2018)은 건식 숙성이 한우 설도육의 이화학적 및 관능 특성에 미치는 영향을 연구하였고, 하 등(2019)은 건식 숙성 및 습식 숙성에 따른 2등급 등심과 저지방 부위인 보섭, 우둔을 60일간 건식 숙성과 습식 숙성을 진행하여 육질 특성을 연구하였다. 강 등(2011, 2013)은 숙성에 따른

한우 경산우육 등심 및 우둔의 풍미 물질 변화를 연구하였으며, Kim 등(2017)은 냉동, 습식 및 건식 숙성이 등심과 다리살의 이화학적, 관능적 평가에 미치는 영향을 연구하였다. 이 밖에도 국립축산과학원을 주축으로 하여 한우의 품질 차별화에 따른 숙성육에 대한 등급 기준 적용을 위해 부위별 육질 차이, 숙성효과, 요리 방법 등 소비자의 만족도 평가 결과를 근거로 하여 연도관리시스템을 개발하였다(조, 2012).

4. 소고기의 풍미

소비자의 소비성향은 기존의 경험을 바탕으로 소고기에 대한 선호도와 구매습관이 형성되어 결정된다. 이때, 소비자가 소고기 구매할 때 영향을 주는 가장 중요한 요소는 풍미이다. 소고기 풍미는 휘발성 성분, 비휘발성 성분, 풍미 강화성분 등과 같은 화학 성분에 의해 결정되고 근육 내 지방, 유리 지방산, 지방산 또는 아미노산 구성과 같이 육류의 다양한 화학 화합물 사이의 복잡한 상호 작용에 의해 영향을 받는다(Macleod 등, 1981; Calkins 등, 2007; Zhang 등, 2015; Zhao 등, 2016). 고기의 맛에서 비휘발성 성분은 필수 풍미 전구체이며 열 유도 반응의 기능으로 조리된 고기의 맛에 기여하고, 부드러움이 일정할 때 소비자의 육류 구매 습관과 선호도에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다(Sitz 등, 2005). 풍미의 특성 평가 시에는 아미노산, 펩타이드, 뉴클레오타이드를 고려해야 하는데 이 화합물들은 식육의 단맛(당), 짠맛(무기염류), 쓴맛(hypoxanthine), 신맛(유기산) 등의 맛을 나타내게 된다(Macleod, 1986). 맛은 수용성 화합물에서 파생된 기본 맛(단맛, 신맛, 쓴맛, 짠맛, 감칠맛)과 식품에 처음부터 존재하거나 다양한 반응을 통해 파생되는 여러 물질에의 냄새의 조합에서 비롯된다. 전구체 화합물에서 파생된 수용성 물질이 타액에 용해되면 혀의 미뢰에 결합하여 뇌에서 인지되는 반응을 자극하고, 냄새는 휘발성 화합물이 비강 뒤의 후각 구에 있는 수용체에 결합하여 반응을 자극할 때 발생한다(Brewer, 2006). 미각은 자극치들에 대한 감각세포의 화학 반응 결과가 신경계를 통해 뇌로 전달되는 감각으로 미각 시스템의 기본단위는 미뢰다. 미뢰에는 혀의 가장자리와 표면을 따라 널리 퍼져 있으며 수용기 분자, 신호전달 및 이온 채널 등이 복잡하게 배열되어있는 미세포를 구성하고 수용액 속에 녹아있는 각종 전해질, 비전해질 물질들이 미세포를 자극함으로써 맛을 판별한다(정, 2011; 조, 2013).

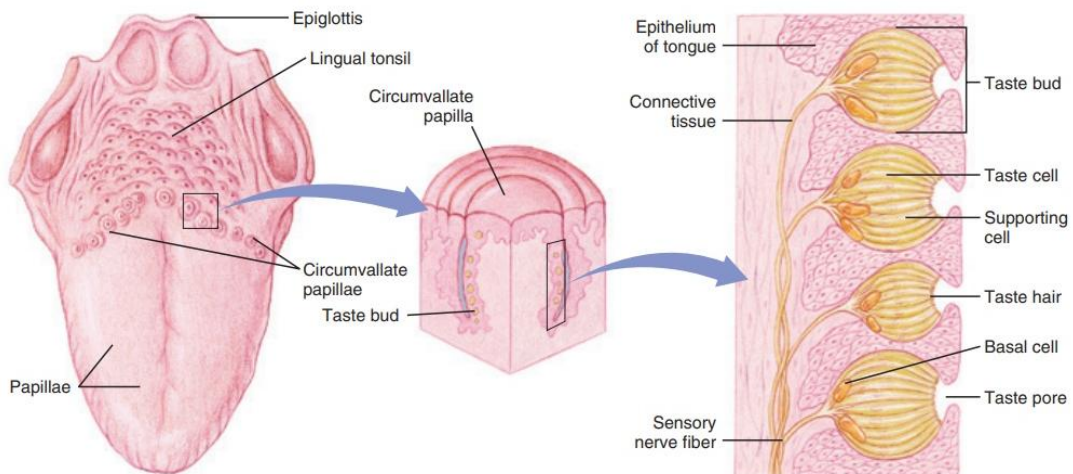


Figure 7. The taste buds of the tongue(source, pharmacy180).

(1) 유리아미노산과 풍미

숙성 중에 단백질 분해에 의해 생성되는 유리아미노산은 식육 풍미의 전구체로서 단독 또는 당이나 핵산 물질과 복합적으로 식육의 맛과 풍미를 증가시킨다(K outsidis 등, 2008). 최초 단계에서는 calpain, cathepsin 및 multicatalytic proteinase complex에 의해 polypeptide로 분해된 후 dipeptidyl peptidase, tripeptidyl peptidase 및 carboxipeptidase와 같은 peptidase에 의해 작은 분자의 peptide로 분해된다. 이후 마지막 단계에서 amino peptidase, dipeptidase 및 tripeptidase의 작용에 의해 유리아미노산이 생성된다(국립축산과학원, 2014). 고기를 숙성하게 되면 유리아미노산의 함량이 증가하게 되어 고기의 맛이 향상되며 유리아미노산의 조성은 고기의 특정 맛을 식별하는데 중요하다(Macleod, 1994; Nollet 등, 2012; Rotola 등, 2015). Aoki 등(2009)에 따르면 alanine, glycine, proline, serine, threonine 및 lysine은 단맛을 나타내며, arginine, histidine, isoleucine, leucine, methionine, phenylalanine 및 valine은 쓴맛, glutamic acid와 aspartic acid는 감칠맛을 나타낸다. 또한, Nishimura 등(1988a)에 따르면 tyrosine, tryptophan은 쓴맛, methionine, glutamine은 단맛, histidine, asparagine이 신맛을 내는데 기여할 수 있으며, aspartic acid와 glutamic acid 이외에도 carnosine이 감칠맛을 낼 수 있다고

보고하였다. 유리아미노산은 풍미 전구물질로서 맛을 낼 뿐만 아니라, 식육의 가열 시 환원당 성분들과 함께 Maillard 반응 및 Strecker 분해 통해 다양한 향기 성분들을 생성한다(Macleod, 1994). Maillard 반응은 주로 조리된 고기의 휘발성 물질에서 발견되는 다수의 헤테로고리 화합물의 원인이 되고 짝짤하고 구운 맛과 삶은 맛을 나타낼 수 있으며 ribonucleotides의 ribose와 황 함유 아미노산인 cysteine은 이러한 반응의 중요한 전구물질이다(Mottram, 1998). 또한, leucine과 isoleucine은 Maillard 반응에서 형성된 dicarbonyl 화합물과 반응하여 고기 냄새 2-, 3-methylbutanal을 생성할 수 있다(Koutsidis 등, 2008).

Sweet taste	Bitter taste	Umami Taste
<chem>CC(N)C(=O)O</chem> Alanine(Ala)	<chem>CNC(=O)O</chem> Glycine(Gly)	<chem>C(C(=O)O)C(N)C(=O)O</chem> Aspartic acid(Asp)
<chem>C(CCN)C(N)C(=O)O</chem> Lysine(Lysine)	<chem>C(CCN)C(N)C(=O)O</chem> Arginine(Arg)	<chem>C(C(=O)O)C(N)C(=O)O</chem> Glutamic acid(Glu)
<chem>C(C(O)C)C(N)C(=O)O</chem> Serine(Ser)	<chem>C(C(O)C)C(N)C(=O)O</chem> Threonine(Thr)	<chem>C(C)C(N)C(=O)O</chem> Valine(Val)
<chem>C1CCNC1C(=O)O</chem> Proline(Pro)	<chem>C(C)C(C)C(N)C(=O)O</chem> Isoleucine(Ile)	<chem>C(C)C(N)C(=O)O</chem> Leucine(Leu)
<chem>C(C)C(C)C(N)C(=O)O</chem> Methionine(Met)	<chem>C1=CC=C(C=C1)C(C)C(N)C(=O)O</chem> Phenylalanine(Phe)	<chem>C1=CN=C[NH+]1C(C)C(N)C(=O)O</chem> Histidine(His)

Figure 8. Flavor classification of free amino acids(정, 2011).

(2) 지질과 풍미

지질은 식육의 풍미 발달에 여러 가지 역할을 한다. 가공 과정에서 생성된 휘발성 화합물의 용매 작용을 하고, 지방산 조성에 따라 식육의 풍미에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Moody, 1983; Cameron 등, 1991). 소고기의 지방산에 대한 포화지방산 비율은 40~48%, 불포화지방산 44~60% 정도로 불포화지방산 함량이 더 높은 편이며, 불포화지방산 중 단일불포화지방산의 함량이 높다(조 등, 2011; 권 등, 2015). 단일불포화지방산은 이중결합을 가진 지방산으로 HDL-콜레스테롤을 증가시키면서 LDL-콜레스테롤을 낮춰주어 심혈관 건강에 좋은 지방이며 한우에는 Oleic acid(C18:1)가 풍부하여 단일불포화지방산의 비율이 높고, 식육 내 Oleic acid의 함량이 증가할수록 소고기의 풍미가 증가한다(Sturdivant 등, 1992; Jung 등, 2016; Joo 등, 2017). Cameron 등(1991)의 연구에 따르면 단일불포화지방산 함량이 높고, 다가불포화지방산 함량이 낮을수록 식육의 맛이 좋아지며, 또한, Rhee 등(1990)의 연구에 따르면 고기에 대한 관능 기호성 점수가 Oleic acid 농도가 증가함에 따라 향상된 것을 발견했다. 소고기의 근내지방에는 일반적으로 높은 비율의 단일불포화지방산이 있으며 주로 Oleic acid를 가지고 있다(Joo 등, 2017). 근내지방 함량이 높을수록 식육이 연하다고 알려져 있으며, 근내지방도 증가에 따라 소비자의 다즙성, 연도, 풍미, 종합적인 기호도가 증가한다(Jung 등, 2016; 이 등, 2012; 한국식육과학연구회, 2018). 소고기 근내지방의 불포화도는 지질 산화로 인한 휘발성 물질의 전체 농도를 결정하기 때문에 중요하다(Specht 등, 1994). 지질의 산화는 식육의 저장 및 가공 중에 불포화지방산의 산화로 인해 발생하는 품질 저하의 주요 요인 중 하나로 식육에 이취가 발생하고 풍미, 육색 등 관능적 특성에 좋지 않은 변화를 초래한다(Younathan 등, 1959; Gray 등, 1996; Morrissey 등, 1998). 반면 Shahidi 등(1986)은 지질 산화가 식육을 조리 시에 고기의 전형적인 향을 발달시키는 데 필수적이라고 보고하였다.

(3) 핵산 물질과 풍미

IMP(Inosine monophosphate)는 ATP(adenosine triphosphate) 유래 저분자 수용성 물질로 식육의 감칠맛을 내는 풍미 전구물질로 알려져 있으며, glutamic acid와 함께 감칠맛 발현에 상승작용을 하고 숙성 중 식육 내 고분자 핵산 물질 및 당 성분들이 분해되어 풍미 전구물질들의 함량이 증가한다(Calkins 등, 1982). 도축 후 식육 동물 근육 내의 ATP는 순차적으로 ADP(adenosine diphosphate), AMP(adenosine monophosphate)로 분해되고, AMP는 AMP deaminase에 의해 탈아미노 반응을 거쳐 IMP로 분해된다. IMP는 시간이 지남에 따라 효소적 작용에 의해 inosine 또는 hypoxanthine으로 분해되며, inosine 또한, 최종적으로 hypoxanthine으로 분해된다. hypoxanthine은 식육의 쓴맛을 낸다고 알려졌으며 숙성을 과도하게 진행하게 될 경우 IMP가 분해되어 소실되고 hypoxanthine의 함량이 증가하여 풍미에 상대적으로 좋은 영향을 줄 수 없으므로 적절한 숙성이 중요하다(조 등, 2008; 이 등, 2015a). ATP의 분해는 숙성기간과 가공공정에 따라 다양하게 나타나고 IMP의 함량이 높은 소고기는 가열 후 thiol과 disulfide를 함유한 furan 그룹이 많이 발생하여 풍미를 높인다고 알려져 있으며, IMP 자체가 감칠맛에 영향을 주지만 glutamic acid 등과 함께 작용 시 강한 시너지 효과를 일으킨다고 보고되고 있다(Nishimura 등, 1988b).

5. 맛의 평가

(1) 관능 평가

소고기의 맛을 평가할 때 일반적으로 사람의 미각을 이용한 관능 평가가 있다. 관능 평가는 간단하고 신속하며 훈련이 잘된 관능검사 요원들의 경우 재현성이 높은 결과를 얻거나 향의 강도나 배합의 차이를 감지할 수 있는 장점이 있다(Chou, 1995). 소고기의 맛은 풍미, 연도, 다즙성, 근내지방도와 연관되어 있으며, 근내지방도가 높을수록 풍미, 연도, 다즙성 항목에서의 점수가 우수하다(May 등 1992), 반면 Hiner 등(1965), Cho 등(2010)에 따르면 소고기의 기호도는 부위 및 조리 방법에 따라서도 차이가 있으며, 다양한 조리 형태의 차이가 소비자의 기호도 및 만족도에 높은 상관관계를 나타낸다(Monsón 등, 2005). 관능 평가는 육질 평가에서 종합적인 육질 평가 방법으로 고기의 외관, 육즙, 부드러움, 풍미 및 수용성을 평가하기 위한 맛 평가 방법으로 사용된다. 그러나 관능 평가는 높은 비용과 시간 소모뿐만 아니라 주관적이고 낮은 재현성이라는 단점들이 있다(Bartoshuk, 2000).

(2) 전자코 측정을 통한 맛 분석

관능 평가의 단점들을 보완하기 위해 센서 자체가 여러 맛과 향을 동시에 평가할 수 있는 전자코(electronic nose), 전자혀(electronic tongue)가 개발되어 이용되고 있다(Bartoshuk, 2000; Tran 등, 2004). 전자코는 냄새를 화학적 성분으로 분석하여 구분하는 전자 장치로 화학 가스 센서 어레이를 사용하며 휘발성 화합물 분석에 널리 이용되었다. 전자 센서와 같은 화학 검출기와 신경 회로망과 같은 패턴 인식 기능을 가지고 있다. 인간의 코가 냄새인 화학물질을 신경 물질로 전환하여 뇌에 전달하듯이 전자코도 전자 센서로 냄새를 감지하여 냄새의 정성, 정량 분석을 빠르게 분석하며, 사람의 후각인지 시스템을 모방하여 냄새를 감별하는 것이다(이 등, 2020). 전자코는 인간이 감지하기 어려운 화학물질에 대해서

도 반응하며, 비 파괴적인 분석 방법으로 제품에 배합된 전체의 향을 감지하여 분석하는 것이 아니라, 인간이 감지하는 것처럼 제품 전체의 향을 감지하는 특성이 있다(Hong, 1996).

(3) 전자혀 측정을 통한 맛 분석

전자혀는 인체가 인지하는 후각과 미각 자극을 중추신경계의 도움 없이 전기적 신호로 변환하여 판별하는 것으로 미각 센서인 전자혀에는 최대 8개의 지질막 센서가 장착되어 있으며, 각 센서는 이온 특성이 다른 분자에 특정한 맛 astringency, bitterness, umami, saltiness, sourness와 지속적인 맛(뒷맛)을 나타내는 aftertaste-A(astringency), aftertaste-B(bitterness), richness(umami) 같은 미각 자극 또는 입안의 느낌을 나타내어 수치로 표현할 수 있는 장치이다. 액체의 비휘발성 화합물과 유사하게 반응할 수 있는 사람의 미각 센서를 모방하도록 설계되었으며, 맛 품질에 대한 사람의 관능 평가 결과와도 높은 정(+)의 상관관계를 갖는다(Kobayashi 등, 2010; Baldwin 등, 2011; 조, 2013). Zhang 등(2015)에 따르면 전자혀의 적용이 소고기의 맛 품질을 결정하는 데 성공적으로 사용되었으며, 식품산업에 매우 활용 가능성이 크다고 보고하였다. 그러나 전자 혀의 센서 반응은 비휘발성 화합물에만 기반하며 휘발성 화합물의 감지에는 적용하기가 어렵다(Baldwin 등, 2011).

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 공시 재료

숙성에 이용된 소고기는 제주시내 위치한 축산물 전문 판매점에서 구매하였으며, 거세 2등급의 한우 채끝 등심을 이용하였다. 이력번호를 확인하여 도축 일자를 숙성 0일 차로 설정하여 실험을 진행하였다.

2. 숙성방식 및 시료 처리

소고기의 숙성은 3가지 숙성방식(습식 숙성, 건식 숙성, 건식포장 숙성)을 이용하였으며, 숙성기간은 0일, 15일, 30일, 45일, 60일로 설정하여 15일 간격으로 실험을 진행하였다. 처리당 4반복으로 총 60개 채끝 등심 시료를 이용하였다. 습식 숙성에 이용한 진공포장지는 산소 투과도 $0.03\text{g}/\text{m}^2/24\text{h}$, 이산화탄소 투과도 $0.1\text{g}/\text{m}^2/24\text{h}$ 의 Nylon 재질 포장재를 이용하였으며, 4°C 이하의 업소용 냉장고에서 숙성을 진행하였다. 건식포장 숙성에 이용한 숙성 전용 packaging bag(Umai Dry Co., USA)은 38°C , 상대습도 50% 상태에서 수분 투과도는 $8000\text{g}/15\mu/\text{m}^2/24\text{h}$, 산소 투과도는 $2.3\text{mL}/\text{m}^2/\text{d}$ 의 PE 재질 포장재로 이용했으며, striploin이나 boneless ribeye를 포장할 수 있는 크기인 $30\text{cm}\times 60\text{cm}$ 길이로 구매하여 이용하였다. 건식 숙성과 건식포장 숙성은 고기 숙성고(LMP-1045DA, Daeyoung E&B, Korea)에서 $2^\circ\text{C}\sim 4^\circ\text{C}$, 습도 85%~90%, 기류 0.5~2.0m/s에서 숙성을 진행하였다.

Table 1. Setting condition for beef aging

	습식 숙성	건식 숙성	건식포장 숙성
숙성 조건	4°C 이하의 업소용 냉장고(냉장 보관)	$2\sim 4^\circ\text{C}$ 의 숙성고(습도: 85~90%)	
숙성 기간	15일, 30일, 45일, 60일		
포장 방법	진공포장	비포장	숙성 전용 packaging bag

3. 유리아미노산 분석

시료의 추출은 증류수를 통해 시료의 적정량 희석하고 초음파 추출 5시간, 냉장 방치 추출 20시간, 다시 초음파 추출을 1시간 진행하여 추출된 시료를 원심분리 (3,000rpm, 10min) 처리하여 상등액으로 전처리를 진행하였다. 상등액 시료 : 5% trichloroacetic acid(TCA)=1:1 (x 2배 희석)로 원심분리(12,000rpm/15min)하여 단백질 및 펩타이드를 제거하고, 상등액에 n-Hexane을 처리하여 비극성 물질을 제거한 후 하층액을 필터링(0.2 μ m syringe filter)하였다. 표준시료로 구성아미노산 25배, 유리아미노산은 20배 희석하여 아미노산 자동분석기(L-8900, Hitachi Co., Japan)로 분석하였다.

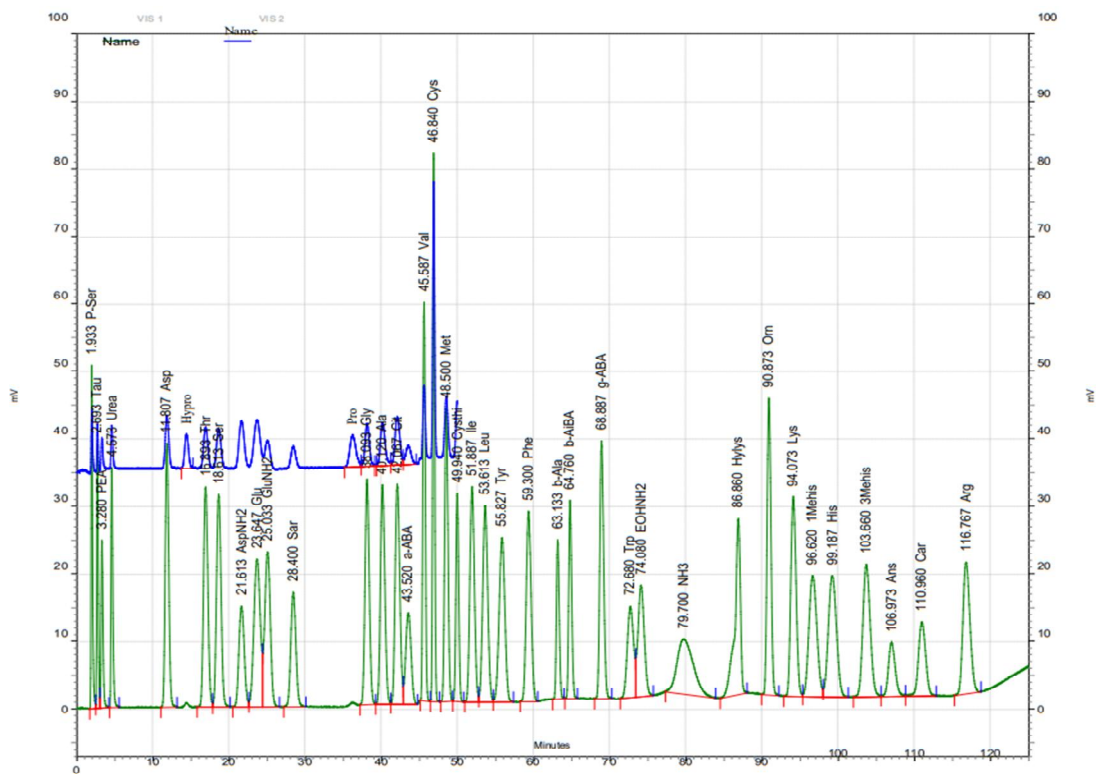


Figure 9. GC peak of the standard used for amino acid measurement.

Table 2. Retention time of amino acid standards

No	Name	RT
1	Phosphoserine	1.933
2	Taurine	2.693
3	Phosphoethanolamine	3.280
4	Urea	4.573
5	Aspartic acid	11.807
6	Threonine	16.893
7	Serine	18.613
8	asparagine	21.613
9	Glutamic acid	23.647
10	Glutamine	25.033
11	Sarcosine	28.400
12	Glycine	38.093
13	Alanine	40.120
14	citrullineCitrate	42.067
15	α -aminobutyric acid	43.520
16	Valine	45.587
17	Cystein	46.840
18	Methionine	48.500
19	Cystathionine	49.940
20	Isoleucine	51.887
21	Leucine	53.613
22	Tyrosine	55.827
23	Phenylalanine	59.300
24	β -Alanine	63.133
25	β -aminoisobutyric acid	64.760
26	γ -aminobutyric acid	68.887
27	Tryptophan	72.680
28	Ethanolamine	74.080
29	Ammonia	79.700
30	Hydroxy-lysine	86.860
31	Ornithine	90.873
32	Lysine	94.073
33	1-Methylhistidine	96.620
34	Histidine	99.187
35	3-Methylhistidine	103.660
36	Anserine	106.973
37	Carnosine	110.960
38	Arginine	116.767

4. 전자혀 측정

전자혀 측정은 맛 품질과 해당 기준 전극을 나타내는 5개의 고분자 중합체의 지질막 센서가 장착된 전자혀 기기(Taste Sensing System SA402B, Insent, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 샘플은 세절된 시료 100g을 85℃ 증류수 400ml와 함께 삼각플라스크에 넣고 교반하여 추출 후 여과지(Whatman No.1)에 2회 반복 여과하여 시료액으로 만들었다.

Table 3. Characteristics of taste information on taste sensors

Sensor probes	Taste information (Initial taste)	Taste information (After taste)
CA0	Sourness	-
C00	Bitterness	Aftertaste-B
AE1	Astringency	Aftertaste-A
AAE	Umami	Richness
CT0	Saltiness	-

(Kwak 등, 2015)

5. 통계 분석

본 연구 결과의 통계는 SAS(Statistics Analysis System, USA) program(2001)을 이용하여 처리하였고 숙성방법(습식 숙성, 건식 숙성, 건식포장 숙성)과 숙성기간(0일, 15일, 30일, 45일, 60일)을 요인으로 분산분석을 실시하였으며, Duncan (1955)의 다중검정으로 요인 간의 유의성($p < 0.05$; $p < 0.01$; $p < 0.001$)을 비교 분석하였다. 또한, 육질 분석, 풍미 성분 및 전자혀 항목 간의 상관관계(correlation)를 알아보기 위하여 Pearson's 상관계수(coefficient of correlation)를 측정·검정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 숙성방법 및 숙성기간에 따른 유리아미노산 변화

Table 4, 5는 숙성기간에 따른 유리아미노산의 함량과 비율을 나타낸 표이다. 비단백 아미노산인 taurine과 γ -aminobutyric acid(GABA)는 숙성기간이 늘어나면서 45일 차에 함량과 비율이 유의적으로 증가하였다. Taurine은 단맛을 내며, 인체에서 가장 많이 분포하고 있는 유리아미노산으로, 체내 여러 조직에 분포하면서 항산화 효과, 황함유 아미노산에 대한 해독작용, 삼투압 조절, 신경세포의 성장과 보호 등 다양한 기능을 한다(윤 등, 2015). γ -aminobutyric acid는 혈압 저하, 항산화 효과 등 생리활성 기능이 있으며 glutamic acid의 탈탄산화로 생성된다고 알려져 있다(Inoue 등, 2003). Aspartic acid와 glutamic acid는 감칠맛을 낸다고 알려져 있으며 숙성기간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 숙성 0일 차와 60일 차의 함량을 비교했을 때 aspartic acid는 약 200배 증가하였으며, glutamic acid는 약 9배가 증가하였다. 선행 연구에서도 숙성기간 경과에 따라 aspartic acid와 glutamic acid가 증가하는 것으로 나타났다(Foraker 등, 2020). Arginine, phospho ethanolamine, tryptophan, t tyrosine의 함량과 비율은 숙성기간이 지날수록 증가하다가 숙성 45일 차에 유의적으로 감소하는 경향을 보였는데 arginine, tyrosine과 tryptophan은 쓴맛을 낸다고 알려져 있다(Nishimura 등, 1998a; Aoki 등, 2009). Anserine은 숙성기간 중 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, carnosine은 숙성기간 중 함량 변화를 살펴보면 유의적으로 30일까지 감소하였다가 이후 증가하는 것으로 나타났으나, Table 6의 비율에 따른 분석 결과에서는 유의적으로 감소하는 것으로 확인되었다. Anserine과 carnosine은 β -Alanine을 함유한 histidyl dipeptides로 완충 효과, 항산화 활성 등 생체활성의 역할을 하며, carnosine은 또한, 고기의 감칠맛에 기여할 수 있다(Jung 등, 2013; Dashdorj 등, 2015). Ethanolamine과 ammonia의 함량과 비율은 숙성 45일 차에 유의적으로 증가하였는데 이는 사후 AMP(adenosine monophosphate)의 탈아미노 반응에 따라 암모니아가 생성되고, 숙성 중 질소화

합물의 분해에 의해서도 암모니아 및 각종 아민류가 생성될 수 있다(Ko, 2017). Threonine, serine, glycine, β -Alanine, valine, histidine의 함량은 숙성 45일 차에 유의적으로 증가하여 60일 차에 감소하는 경향을 보였고, alanine, proline, isoleucine, leucine 또한, 숙성 45일 차까지 증가하다가 60일 차에 감소하였지만, 숙성 기간별 유의적 차이는 나타나지 않았다. 총 유리아미노산(TotalFAA)의 함량은 숙성 45일 차에 유의적으로 증가하였으며, Yanagihara 등(1995)의 연구에 따르면 소고기를 64일간 숙성한 결과 총 유리아미노산의 양이 64일까지 점차 증가하였다. 또한, Iida 등(2016)의 연구에서 와규를 60일간 숙성한 결과 총 유리아미노산의 함량은 30일 이후에 급격히 증가하였고, 이는 숙성기간 동안 amino peptidases C와 H의 활성화에 의해 유발되었음을 보고하였다. 소고기의 숙성 중 유리아미노산의 증가는 소고기 내 존재하는 단백질 분해 효소들의 작용으로 근원섬유 단백질들이 분해됨에 따른 결과임이 보고되고 있다(Feidt 등, 1996).

Table 4. The content of free amino acid according to the aging period

mg/kg	Aging Time(d)					Sig
	0	15	30	45	60	
Taurine	194.88 ^b ±42.46	212.37 ^b ±37.01	204.30 ^b ±34.79	450.45 ^a ±94.48	532.20 ^a ±172.24	***
Phospho ethanolamine	5.27 ^a ±1.20	6.49 ^a ±1.63	5.27 ^a ±1.13	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	***
Urea	208.48 ^{ab} ±54.10	220.77 ^{ab} ±43.11	194.71 ^b ±53.58	306.10 ^{ab} ±115.36	315.92 ^a ±146.10	+
Aspartic acid	0.54 ±1.32	19.41 ±11.62	34.41 ±11.34	51.98 ±84.70	103.82 ±119.42	NS
Threonine	50.19 ^c ±7.64	117.17 ^{bc} ±28.19	143.65 ^{bc} ±25.95	320.05 ^a ±184.05	241.75 ^{ab} ±248.23	*
Serine	69.27 ±9.88	165.00 ±38.68	184.94 ±35.37	72.23 ±158.13	203.96 ±319.86	NS
Asparagine	27.80 ±3.37	60.10 ±16.43	71.57 ±14.52	47.64 ±86.10	104.96 ±166.32	NS
Glutamic acid	40.77 ±18.79	137.00 ±59.30	168.70 ±78.24	262.61 ±330.49	372.85 ±454.12	NS
Glutamine	421.23 ±112.01	528.60 ±176.89	420.15 ±85.61	112.14 ±172.22	348.27 ±571.83	NS
Glycine	74.90 ^b ±11.55	121.18 ^b ±24.35	134.63 ^b ±20.36	324.28 ^a ±162.33	295.50 ^a ±176.98	**
Alanine	322.87 ±45.82	496.48 ±81.18	493.10 ±90.92	894.75 ±685.86	664.38 ±755.67	NS
Valine	67.10 ^c ±9.83	172.46 ^{bc} ±41.21	209.72 ^{bc} ±39.55	528.14 ^a ±277.98	390.94 ^{ab} ±357.71	**
Cystein	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	1.69 ±4.14	9.32 ±18.09	NS
Methionine	36.12 ^b ±8.30	93.05 ^{ab} ±24.07	99.87 ^{ab} ±20.29	186.88 ^a ±109.35	176.25 ^{ab} ±134.91	*
Isoleucine	50.05 ±8.56	126.77 ±30.04	146.40 ±28.35	234.11 ±161.39	186.71 ±261.17	NS
Leucine	96.58 ±18.39	237.69 ±58.45	266.73 ±55.24	465.40 ±310.68	388.35 ±508.87	NS
Tyrosine	60.80 ^b ±10.24	142.77 ^a ±37.40	149.12 ^a ±33.47	26.92 ^c ±32.27	9.64 ^c ±9.10	***

Phenylalanine	52.36 ±7.95	134.43 ±33.66	152.21 ±33.00	239.07 ±190.99	207.10 ±293.31	NS
β-Alanine	7.53 ^b ±1.52	9.89 ^b ±2.80	11.35 ^b ±3.00	30.66 ^a ±12.38	26.22 ^a ±10.22	***
γ-aminobutyric acid	0.89 ^b ±0.75	0.42 ^b ±0.29	0.63 ^b ±0.49	6.84 ^a ±7.15	3.58 ^{ab} ±3.67	*
Tryptophan	9.73 ^{bc} ±1.66	22.03 ^a ±6.47	22.51 ^a ±5.82	17.44 ^{ab} ±16.85	0.00 ^c ±0.00	***
Ethanolamine	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	12.39 ^a ±8.74	16.31 ^a ±12.44	***
Ammonia	98.26 ^b ±2.95	112.71 ^b ±16.26	114.84 ^b ±22.07	489.11 ^a ±119.74	482.68 ^a ±103.58	***
Ornithine	12.28 ^b ±7.00	18.16 ^b ±9.46	18.21 ^b ±6.42	83.43 ^{ab} ±111.40	183.08 ^a ±213.59	*
Lysine	69.89 ^c ±7.21	165.30 ^{bc} ±38.07	199.88 ^{bc} ±35.27	264.42 ^{ab} ±160.42	351.89 ^a ±166.10	**
Histidine	34.37 ^b ±4.25	68.95 ^b ±16.92	73.92 ^b ±12.60	197.78 ^a ±83.81	176.67 ^a ±90.24	***
Anserine	887.75 ^{bc} ±270.06	933.36 ^{abc} ±212.20	707.93 ^c ±203.10	1288.67 ^a ±413.11	1148.58 ^{ab} ±374.39	*
Carnosine	4495.31 ^b ±269.23	4508.87 ^b ±586.25	3299.87 ^c ±262.96	6192.23 ^a ±890.36	5529.36 ^a ±1225.94	***
Arginine	66.89 ^b ±8.53	144.92 ^a ±34.10	152.03 ^a ±36.44	26.09 ^{bc} ±59.68	3.24 ^c ±5.24	***
Proline	28.01 ±2.93	53.53 ±10.73	65.71 ±16.93	139.37 ±145.31	89.56 ±138.17	NS
TotalFAA ¹⁾	7490.11 ^c ±479.51	9029.82 ^{bc} ±1154.11	7746.32 ^c ±718.83	13272.86 ^a ±4106.11	12563.07 ^{ab} ±6107.09	*

Result presented Means± SD.

^{a-c} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p < 0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant.; ⁺ $p < 0.1$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

¹⁾Total free amino acid

Table 5. The percentage of free amino acid according to the aging period

%	Aging Time(d)					Sig
	0	15	30	45	60	
Taurine	2.59 ^b ±0.46	2.39 ^b ±0.53	2.67 ^b ±0.56	3.64 ^a ±1.15	4.74 ^a ±1.89	**
Phospho ethanolamine	0.07 ^a ±0.02	0.07 ^a ±0.02	0.07 ^a ±0.02	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	***
Urea	2.79 ±0.71	2.49 ±0.62	2.51 ±0.62	2.51 ±1.42	2.60 ±1.12	NS
Aspartic acid	0.01 ^c ±0.02	0.22 ^{bc} ±0.13	0.44 ^{ab} ±0.12	0.34 ^{abc} ±0.46	0.63 ^a ±0.49	*
Threonine	0.67 ^c ±0.12	1.29 ^{bc} ±0.18	1.85 ^{ab} ±0.22	2.21 ^a ±1.05	1.53 ^{bc} ±1.01	**
Serine	0.93 ^{bc} ±0.15	1.81 ^{ab} ±0.25	2.37 ^a ±0.29	0.42 ^c ±0.88	1.03 ^{bc} ±1.54	**
Asparagine	0.37 ±0.06	0.66 ±0.11	0.92 ±0.15	0.28 ±0.49	0.53 ±0.80	NS
Glutamic acid	0.54 ±0.25	1.51 ±0.53	2.13 ±0.90	1.70 ±1.74	2.25 ±1.90	NS
Glutamine	5.66 ^a ±1.59	5.75 ^a ±1.40	5.45 ^a ±1.10	0.67 ^b ±1.02	1.71 ^b ±2.77	***
Glycine	1.00 ^b ±0.16	1.33 ^b ±0.13	1.73 ^{ab} ±0.16	2.30 ^a ±0.86	2.27 ^a ±1.18	**
Alanine	4.31 ±0.52	5.48 ±0.54	6.33 ±0.73	5.84 ±3.79	3.97 ±3.32	NS
Valine	0.90 ^c ±0.16	1.89 ^{bc} ±0.26	2.69 ^{ab} ±0.32	3.69 ^a ±1.55	2.62 ^{bc} ±1.58	**
Cystein	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.01 ±0.02	0.05 ±0.09	NS
Methionine	0.49 ±0.13	1.02 ^a ±0.16	1.28 ^a ±0.17	1.29 ^a ±0.54	1.27 ^a ±0.39	***
Isoleucine	0.67 ^b ±0.14	1.39 ^{ab} ±0.19	1.88 ^a ±0.24	1.56 ^a ±0.87	1.01 ^{ab} ±1.22	*
Leucine	1.30 ^b ±0.28	2.61 ^{ab} ±0.39	3.42 ^a ±0.47	3.12 ^a ±1.67	2.19 ^{ab} ±2.31	+
Tyrosine	0.82 ^c ±0.15	1.57 ^b ±0.26	1.91 ^a ±0.31	0.23 ^d ±0.32	0.10 ^d ±0.12	***

Phenylalanine	0.70 ±0.12	1.47 ±0.22	1.95 ±0.29	1.55 ±1.05	1.13 ±1.34	NS
β-Alanine	0.10 ^c ±0.02	0.11 ^c ±0.02	0.14 ^{bc} ±0.03	0.25 ^a ±0.13	0.23 ^{ab} ±0.11	**
γ-aminobutyric acid	0.01 ^b ±0.01	0.00 ^b ±0.01	0.01 ^b ±0.01	0.05 ^a ±0.05	0.03 ^{ab} ±0.02	*
Tryptophan	0.13 ^b ±0.02	0.24 ^a ±0.05	0.29 ^a ±0.06	0.11 ^b ±0.10	0.00 ^c ±0.00	***
Ethanolamine	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.12 ^a ±0.11	0.19 ^a ±0.14	***
Ammonia	1.32 ^b ±0.06	1.25 ^b ±0.09	1.50 ^b ±0.39	3.96 ^a ±1.25	4.88 ^a ±2.76	***
Ornithine	0.17 ^b ±0.10	0.19 ^b ±0.08	0.24 ^b ±0.11	0.53 ^{ab} ±0.59	1.11 ^a ±0.96	*
Lysine	0.94 ^c ±0.11	1.81 ^{bc} ±0.23	2.57 ^{bc} ±0.29	1.95 ^{ab} ±1.11	2.88 ^a ±1.32	**
Histidine	0.46 ^c ±0.07	0.75 ^{bc} ±0.10	0.95 ^b ±0.12	1.49 ^a ±0.46	1.42 ^a ±0.59	***
Anserine	11.71 ±2.95	10.51 ±2.80	9.17 ±2.57	9.84 ±2.01	10.34 ±4.05	NS
Carnosine	60.09 ^a ±2.77	50.01 ^b ±3.29	42.75 ^b ±3.14	49.36 ^b ±11.24	48.86 ^b ±12.12	*
Arginine	0.90 ^c ±0.13	1.59 ^b ±0.22	1.95 ^a ±0.35	0.17 ^d ±0.37	0.04 ^d ±0.06	***
Proline	0.38 ±0.05	0.59 ±0.06	0.84 ±0.17	0.85 ±0.87	0.45 ±0.67	NS

Result presented Means ± SD.

^{a-d} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p < 0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant.; + $p < 0.1$ * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Table 6, 7은 숙성방법에 따른 유리아미노산의 함량과 비율을 나타낸 표이다. Glutamine의 함량과 비율은 숙성 45일 차, 숙성 60일 차에 습식 숙성이 건식 숙성과 건식포장 숙성보다 유의적으로 높게 나타났다. 또한, aspartic acid, threonine, serine, asparagine, glutamic acid, alanine, isoleuine, leucine, proline의 함량과 비율은 숙성 45일 차까지 숙성방법 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 숙성 60일 차에 습식 숙성이 다른 숙성방법에 비해 유의적으로 높은 유리아미노산 수준을 나타내었다. 마찬가지로 valine, methionine, phenylalanine, ornitine 또한, 숙성 60일 차에 습식 숙성이 다른 숙성방법보다 유의적으로 높은 함량을 보였으나, 비율에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Kim 등(2019)의 연구 결과 습식 숙성육이 건식 숙성육에 비해 asparagine, serine, phenylalanine, leucine 함량이 유의하게 높았다. Lysine, glycine은 숙성 0일 차를 제외하고 숙성방법 간 유의적 차이가 나타나지 않았으며, tyrosine, arginine, histidine, tryptophan, γ -aminobutyric acid의 함량과 비율 또한, 숙성방법 간 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Aspartic acid, glutamic acid는 감칠맛을 낼 수 있고, threonine, serine, glutamine, glycine, alanine, lysine, proline은 단맛을 내며, valine, methionine, Isoleucine, leucine, tyrosine, phenylalanine, γ -aminobutyric acid, tryptophan, histidine, arginine은 쓴맛을 낸다고 알려져 있다(Nishimura 등, 1998a; Aoki 등, 2009). 총 유리아미노산의 함량은 숙성 45일 차까지 숙성방법 간 유의적인 차이가 없었고 숙성 60일 차에 습식 숙성이 더 높게 나타났다. Oh 등(2019)의 연구에 따르면 28일동안 건식 숙성한 등심육은 습식 숙성 등심육보다 glutamic acid와 총 유리아미노산의 수치가 유의하게 낮았으며, 건식 숙성육의 총 유리아미노산의 함량은 21일에 정점을 찍은 후 28일에 감소한 반면 습식 숙성육은 숙성 28일에 여전히 점진적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Hwang 등(2022)의 연구에 따르면 유리아미노산의 함량은 건식 숙성육이 더 높았으나 습식 숙성육의 유리아미노산 수준은 숙성기간이 지남에 따라 증가한 반면 건식 숙성육은 숙성기간이 지남에 따라 감소하였고, 유리아미노산 함량이 매우 높을 경우 시간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보였다. Mikami 등(2021)에 따르면 건식 숙성육의 glutamic acid의 함량은 35일 숙성 후 습식 숙성육보다 유의하게 낮았으며, 총 유리아미노산의 함량 또한, 습식 숙성육보다 건조 숙성육에서 유의하게 낮았다. 건식 숙성은 고품

이와 효모를 이용하기 때문에 유리아미노산의 생산을 가속화 한다고 알려져 있지만 35일간 건식 숙성한 소고기에서는 확인되지 않았다. 이는 건식 숙성육의 총 유리아미노산의 함량이 35일 이전에 정점에 도달하여 증가하지 않은 것이라 보고하였다. 반면 Lee 등(2019)의 연구에 따르면 건식 숙성육의 총 유리아미노산 함량은 습식 숙성육에 비해 21일과 28일에 유의하게 더 많았다. 이러한 현상은 습식 숙성육 유리아미노산(18개 성분 중 17개)의 대부분이 숙성 후기에서 유지 또는 감소한 반면, 건식 숙성육의 유리아미노산(18개 성분 중 12개)이 지속해서 증가했기 때문이다. 이는 단백질의 상대적 농도와 건식 숙성 과정 동안 수분 증발과 관련이 있을 것이라 보고하였다. Hanagasaki 등(2018)의 연구 결과에서는 건식 숙성 과정에서 유리아미노산의 증가가 더 높은 것으로 나타났으나 최종적으로 숙성 4주 후, 두 숙성방법 간 유리아미노산은 거의 동일하게 나타났다.

또한, 건식 숙성과 건식포장 숙성방법을 비교했을 때 숙성 15일 차 taurine, 30일 차 ammonia, 45일 차 lysine 세 가지 아미노산을 제외하고 모든 유리아미노산 함량과 비율이 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Lee 등(2017)의 연구에 따르면 28일간 한우육을 건식 숙성과 건식포장 숙성을 진행하여 유리아미노산을 분석한 결과 glutamic acid의 경우 각각 16.85mg/100g, 14.65mg/100g의 함량이 나타났고 유의적 차이를 보이지 않았으며, 20가지 유리아미노산 중 3가지 아미노산(isoleucine, lysine, valine)을 제외하고 건식 숙성과 건식포장 숙성방법 간에 유의적 차이가 없었으며 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다.

Table 6. The content of free amino acid according to the aging methods

mg/kg	Aging Time(d)																			
	0				15				30				45				60			
	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig
Taurine	216 ±34	220 ±20	149 ±34	NS	229 ^a ±16	240 ^a ±14	168 ^b ±22	*	220 ±40	225 ±21	168 ±1	NS	453 ±68	536 ±70	363 ±71	NS	684 ^a ±168	566 ^{ab} ±52	346 ^b ±12	+
Phospho ethanol amine	5 ^{ab} ±1	6 ^a ±0	4 ^b ±0	+	7 ±1	8 ±1	5 ±2	NS	6 ±2	6 ±0	4 ±1	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS
Urea	227 ±61	204 ±82	195 ±55	NS	210 ±3	237 ±58	215 ±72	NS	187 ±32	199 ±91	198 ±70	NS	388 ±88	175 ±61	355 ±50	NS	443 ±94	177 ±164	328 ±5	NS
Aspartic acid	2 ±2	0 ±0	0 ±0	NS	16 ±7	20 ±16	23 ±18	NS	34 ±11	28 ±15	42 ±11	NS	128 ±135	15 ±10	13 ±3	NS	257 ^a ±36	27 ^b ±9	28 ^b ±1	**
Threonine	54 ±8	53 ±3	43 ±8	NS	116 ±62	122 ±0	114 ±4	NS	141 ±42	140 ±37	150 ±11	NS	493 ±21	253 ±42	214 ±276	NS	551 ^a ±113	66 ^b ±58	109 ^b ±62	*
Serine	74 ±9	75 ±1	59 ±9	NS	165 ±85	169 ±1	161 ±11	NS	191 ±52	165 ±46	199 ±8	NS	208 ±263	6 ±6	2 ±1	NS	601 ^a ±196	5 ^b ±3	6 ^b ±1	*
Asparagine	31 ±2	26 ±3	27 ±3	NS	63 ±36	60 ±6	58 ±4	NS	78 ±27	65 ±12	71 ±1	NS	143 ±99	0 ±0	0 ±0	NS	309 ^a ±116	0 ^b ±0	6 ^b ±8	*
Glutamic acid	62 ±12	33 ±14	27 ±5	NS	185 ±98	102 ±16	124 ±16	NS	226 ±78	90 ±51	190 ±47	NS	590 ±464	68 ±22	130 ±76	NS	919 ^a ±364	82 ^b ±53	118 ^b ±1	*
Glutamine	403 ±161	519 ±63	341 ±12	NS	492 ±298	657 ±121	436 ±16	NS	444 ±182	399 ±6	417 ±36	NS	334 ^a ±27	2 ^b ±4	0 ^b ±0	***	1045 ^a ±424	0 ^b ±0	0 ^b ±0	*
Glycine	89 ^a ±5	70 ^b ±1	65 ^b ±4	*	123 ±53	123 ±9	117 ±7	NS	135 ±33	128 ±28	141 ±4	NS	421 ±47	281 ±43	271 ±316	NS	470 ±77	121 ±164	296 ±47	NS
Alanine	327 ±6	313 ±80	329 ±61	NS	443 ±151	534 ±23	513 ±24	NS	450 ±59	487 ±165	543 ±41	NS	1340 ±75	445 ±230	899 ±1222	NS	1632 ^a ±27	157 ^b ±207	204 ^b ±30	**

Valine	74 ±10	68 ±0	59 ±12	NS	172 ±92	172 ±1	173 ±7	NS	209 ±61	197 ±55	224 ±19	NS	713 ±35	456 ±94	415 ±521	NS	815 ^a ±174	163 ^b ±75	194 ^b ±250	+
Cystein	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	5 ±7	0 ±0	0 ±0	NS	28 ±24	0 ±0	0 ±0	NS
Methionine	42 ±9	35 ±4	31 ±10	NS	97 ±52	90 ±1	92 ±10	NS	104 ±30	92 ±30	103 ±6	NS	291 ±33	130 ±34	140 ±157	NS	340 ^a ±87	82 ^b ±45	107 ^b ±4	*
Isoleucine	57 ±7	48 ±1	44 ±12	NS	127 ±66	127 ±3	126 ±14	NS	147 ±44	137 ±42	155 ±8	NS	389 ±31	137 ±62	177 ±229	NS	504 ^a ±189	18 ^b ±26	38 ^b ±54	*
Leucine	112 ±17	95 ±2	83 ±24	NS	244 ±129	236 ±5	233 ±20	NS	270 ±79	255 ±90	276 ±20	NS	768 ±63	289 ±64	339 ±444	NS	1009 ^a ±349	65 ^b ±68	91 ^b ±111	*
Tyrosine	70 ±9	61 ±6	52 ±10	NS	148 ±82	138 ±7	142 ±12	NS	155 ±57	141 ±45	152 ±11	NS	29 ±18	48 ±53	3 ±4	NS	7 ±1	4 ±6	18 ±13	NS
Phenyl alanine	60 ±7	50 ±2	47 ±9	NS	141 ±74	132 ±2	131 ±8	NS	162 ±50	139 ±47	155 ±12	NS	446 ±35	106 ±42	166 ±218	NS	568 ^a ±196	22 ^b ±18	31 ^b ±22	*
β-Alanine	8 ±2	7 ±1	8 ±2	NS	9 ±6	10 ±0	10 ±2	NS	10 ±4	10 ±3	13 ±2	NS	26 ±8	43 ±7	23 ±12	NS	29 ±4	25 ±22	25 ±2	NS
γ-amino butyric acid	1 ±1	0 ±0	1 ±0	NS	0 ±0	0 ±0	1 ±0	NS	0 ±0	1 ±1	1 ±0	NS	2 ±2	9 ±3	9 ±13	NS	5 ±7	3 ±4	3 ±0	NS
Tryptophan	12 ±1	9 ±1	9 ±1	NS	24 ±14	20 ±1	22 ±3	NS	26 ±9	19 ±6	22 ±0	NS	31 ±8	4 ±6	17 ±24	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS
Ethanol amine	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	0 ±0	0 ±0	0 ±0	NS	4 ^b ±5	11 ^{ab} ±1	22 ^a ±4	*	2 ^b ±2	21 ^a ±2	26 ^a ±10	*
Ammonia	98 ±5	100 ±1	97 ±3	NS	100 ±21	124 ±18	114 ±2	NS	92 ^c ±3	141 ^a ±1	112 ^b ±4	***	428 ±141	540 ±70	499 ±184	NS	379 ±15	518 ±10	552 ±141	NS
Ornithine	11 ±7	17 ±11	8 ±1	NS	16 ±10	24 ±15	14 ±1	NS	18 ±9	21 ±10	16 ±1	NS	197 ±152	25 ±9	29 ±18	NS	441 ^a ±135	79 ^b ±88	29 ^b ±15	*

Lysine	78 ^a ±1	69 ^{ab} ±0	63 ^b ±7	+	164 ±85	162 ±5	169 ±3	NS	201 ±58	188 ±44	211 ±19	NS	422 ^a ±52	278 ^a ±116	93 ^b ±63	+	493 ±55	242 ±256	321 ±63	NS
Histidine	38 ±4	35 ±5	31 ±2	NS	69 ±36	67 ±10	70 ±4	NS	77 ±23	67 ±9	78 ±4	NS	243 ±30	139 ±105	211 ±108	NS	251 ±47	109 ±73	171 ±114	NS
Anserine	931 ±379	921 ±112	812 ±437	NS	878 ±117	1054 ±120	868 ±391	NS	719 ±264	746 ±123	659 ±337	NS	1399 ±493	1297 ±96	1170 ±741	NS	1314 ±533	1177 ±231	955 ±482	NS
Carnosine	4557 ±398	4349 ±104	4579 ±359	NS	4236 ±871	4458 ±749	4833 ±185	NS	3323 ±256	3072 ±300	3505 ±22	NS	6629 ±167	5633 ±565	6315 ±1607	NS	6881 ±911	4753 ±957	4953 ±495	NS
Arginine	75 ±6	66 ±3	60 ±7	NS	149 ±75	138 ±1	148 ±8	NS	169 ±45	118 ±32	169 ±11	NS	74 ±104	4 ±6	0 ±0	NS	0 ±0	4 ±5	6 ±9	NS
Proline	28 ±2	29 ±5	27 ±3	NS	53 ±23	54 ±1	53 ±6	NS	73 ±20	52 ±20	72 ±8	NS	252 ±15	13 ±18	153 ±217	NS	263 ^a ±69	5 ^b ±8	0 ^b ±0	*
Total FAA ¹⁾	7742 ±601	7478 ±137	7250 ±726	NS	8678 ±2327	9276 ±921	9135 ±74	NS	7864 ±385	7329 ±1299	8046 ±437	NS	16845 ±1347	10945 ±1158	12029 ±6457	NS	20237 ^a ±984	8490 ^b ±2580	8961 ^b ±1396	*

Result presented Means ± SD.

^{a-c} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p < 0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant.; ⁺ $p < 0.1$ * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

¹⁾Total free amino acid

Table 7. The percentage of free amino acid according to the aging methods

%	Aging Time(d)																			
	0				15				30				45				60			
	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig	Wet	Dry	Dry bag	Sig
Taurine	2.78 ^{ab} ±0.22	2.94 ^a ±0.22	2.05 ^b ±0.28	+	2.72 ±0.54	2.61 ±0.40	1.84 ±0.23	NS	2.82 ±0.65	3.09 ±0.25	2.09 ±0.13	NS	2.69 ±0.19	4.89 ±0.13	3.34 ±1.20	NS	3.41 ±1.00	6.90 ±1.49	3.93 ±0.74	NS
Phospho ethanol amine	0.07 ±0.01	0.09 ±0.01	0.06 ±0.01	NS	0.08 ±0.01	0.08 ±0.00	0.06 ±0.02	NS	0.07 ±0.03	0.08 ±0.01	0.06 ±0.02	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS
Urea	2.91 ±0.57	2.72 ±1.05	2.74 ±1.03	NS	2.52 ±0.64	2.60 ±0.88	2.36 ±0.81	NS	2.39 ±0.52	2.65 ±0.78	2.49 ±1.00	NS	2.29 ±0.34	1.64 ±0.74	3.59 ±2.34	NS	2.21 ±0.57	1.89 ±1.36	3.70 ±0.52	NS
Aspartic acid	0.02 ±0.03	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.18 ±0.04	0.22 ±0.20	0.26 ±0.19	NS	0.43 ±0.12	0.37 ±0.14	0.52 ±0.11	NS	0.74 ±0.74	0.14 ±0.11	0.14 ±0.09	NS	1.27 ^a ±0.12	0.31 ^b ±0.01	0.33 ^b ±0.06	**
Threonine	0.71 ±0.16	0.72 ±0.04	0.60 ±0.17	NS	1.29 ±0.37	1.32 ±0.13	1.25 ±0.06	NS	1.78 ±0.45	1.91 ±0.16	1.86 ±0.04	NS	2.94 ±0.36	2.35 ±0.63	1.36 ±1.57	NS	2.71 ^a ±0.42	0.70 ^b ±0.48	1.18 ^b ±0.52	*
Serine	0.96 ±0.18	1.01 ±0.01	0.82 ±0.21	NS	1.84 ±0.49	1.83 ±0.20	1.77 ±0.13	NS	2.42 ±0.54	2.23 ±0.23	2.48 ±0.03	NS	1.18 ±1.47	0.06 ±0.06	0.02 ±0.00	NS	2.95 ^a ±0.82	0.06 ^b ±0.01	0.07 ^b ±0.02	*
Asparagine	0.40 ±0.06	0.35 ±0.05	0.37 ±0.08	NS	0.69 ±0.23	0.65 ±0.01	0.64 ±0.05	NS	0.99 ±0.30	0.89 ±0.00	0.88 ±0.06	NS	0.83 ±0.52	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	1.52 ^a ±0.50	0.00 ^b ±0.00	0.06 ^b ±0.08	*
Glutamic acid	0.81 ±0.22	0.44 ±0.18	0.38 ±0.11	NS	2.06 ±0.59	1.12 ±0.28	1.36 ±0.17	NS	2.85 ±0.85	1.19 ±0.49	2.35 ±0.45	NS	3.41 ±2.48	0.64 ±0.27	1.06 ±0.07	NS	4.50 ^a ±1.58	0.92 ^b ±0.35	1.33 ^b ±0.22	+
Glutamine	5.31 ±2.50	6.96 ±0.97	4.72 ±0.31	NS	5.41 ±1.98	7.06 ±0.60	4.78 ±0.22	NS	5.60 ±2.04	5.54 ±1.06	5.20 ±0.74	NS	1.98 ^a ±0.00	0.03 ^b ±0.04	0.00 ^b ±0.00	***	5.12 ^a ±1.85	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	*
Glycine	1.16 ±0.16	0.94 ±0.04	0.91 ±0.14	NS	1.39 ±0.24	1.33 ±0.04	1.29 ±0.09	NS	1.71 ±0.33	1.74 ±0.08	1.76 ±0.05	NS	2.52 ±0.48	2.56 ±0.13	1.81 ±1.65	NS	2.32 ±0.26	1.19 ±1.57	3.30 ±0.01	NS
Alanine	4.24 ±0.25	4.17 ±0.99	4.51 ±0.40	NS	5.05 ±0.38	5.79 ±0.82	5.61 ±0.21	NS	5.71 ±0.47	6.55 ±1.10	6.74 ±0.14	NS	8.00 ±1.08	3.98 ±1.68	5.56 ±7.18	NS	^a 8.07 ±0.25	1.55 ^b ±1.97	2.29 ^b ±0.02	*

Valine	0.97 ±0.20	0.92 ±0.02	0.83 ±0.25	NS	1.92 ±0.54	1.86 ±0.17	1.90 ±0.10	NS	2.64 ±0.64	2.67 ±0.28	2.78 ±0.08	NS	4.26 ±0.55	4.15 ±0.42	2.67 ±2.90	NS	4.01 ±0.66	1.88 ±0.31	1.98 ±2.48	NS
Cystein	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.03 ±0.04	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.14 ±0.12	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS
Methionine	0.56 ±0.16	0.47 ±0.07	0.44 ±0.19	NS	1.08 ±0.32	0.97 ±0.08	1.01 ±0.11	NS	1.32 ±0.33	1.24 ±0.20	1.28 ±0.01	NS	1.75 ±0.33	1.18 ±0.18	0.95 ±0.80	NS	1.68 ±0.35	0.93 ±0.25	1.21 ±0.15	NS
Isoleucine	0.75 ±0.15	0.65 ±0.02	0.63 ±0.23	NS	1.42 ±0.37	1.37 ±0.10	1.39 ±0.16	NS	1.85 ±0.47	1.86 ±0.23	1.93 ±0.01	NS	2.32 ±0.37	1.23 ±0.44	1.12 ±1.30	NS	2.47 ^a ±0.81	0.18 ^b ±0.25	0.39 ^b ±0.54	+
Leucine	1.46 ±0.33	1.27 ±0.01	1.18 ±0.45	NS	2.72 ±0.76	2.56 ±0.31	2.55 ±0.24	NS	3.42 ±0.84	3.42 ±0.62	3.43 ±0.06	NS	4.59 ±0.74	2.63 ±0.31	2.14 ±2.55	NS	4.95 ^a ±1.48	0.68 ^b ±0.59	0.93 ^b ±1.10	+
Tyrosine	0.91 ±0.18	0.82 ±0.06	0.73 ±0.21	NS	1.64 ±0.50	1.50 ±0.23	1.56 ±0.14	NS	1.96 ±0.63	1.90 ±0.28	1.89 ±0.04	NS	0.18 ±0.12	0.47 ±0.54	0.04 ±0.06	NS	0.04 ±0.01	0.04 ±0.06	0.22 ±0.18	NS
Phenyl alanine	0.78 ±0.16	0.67 ±0.04	0.66 ±0.18	NS	1.57 ±0.43	1.43 ±0.16	1.43 ±0.10	NS	2.05 ±0.54	1.87 ±0.31	1.93 ±0.05	NS	2.66 ±0.42	0.95 ±0.28	1.05 ±1.25	NS	2.79 ^a ±0.83	0.24 ^b ±0.13	0.38 ^b ±0.30	*
β-Alanine	0.10 ±0.03	0.10 ±0.01	0.11 ±0.02	NS	0.10 ±0.04	0.11 ±0.01	0.12 ±0.02	NS	0.13 ±0.04	0.14 ±0.02	0.17 ±0.02	NS	0.16 ±0.06	0.41 ^a ±0.11	0.19 ^a ±0.00	+	0.14 ±0.01	0.27 ±0.18	0.29 ±0.02	NS
γ-amino butyric acid	0.02 ±0.02	0.01 ±0.01	0.02 ±0.01	NS	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.01 ^a ±0.00	***	0.00 ^b ±0.00	0.02 ^a ±0.01	0.01 ^{ab} ±0.00	+	0.02 ±0.01	0.09 ±0.04	0.06 ±0.08	NS	0.03 ±0.04	0.03 ±0.04	0.04 ±0.01	NS
Tryptophan	0.15 ±0.03	0.12 ±0.01	0.12 ±0.03	NS	0.27 ±0.09	0.22 ±0.01	0.24 ±0.03	NS	0.33 ±0.10	0.26 ±0.04	0.28 ±0.01	NS	0.19 ±0.06	0.04 ±0.05	0.11 ±0.15	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS
Ethanol amine	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	NS	0.03 ±0.04	0.11 ±0.02	0.22 ±0.16	NS	0.01 ^b ±0.01	0.26 ^a ±0.06	0.29 ^a ±0.06	*
Ammonia	1.27 ±0.04	1.34 ±0.01	1.34 ±0.10	NS	1.17 ±0.07	1.33 ±0.07	1.25 ±0.04	NS	1.17 ^b ±0.02	1.95 ^a ±0.33	1.40 ^{ab} ±0.03	+	2.58 ±1.05	4.93 ±0.11	4.37 ±0.81	NS	1.87 ±0.01	6.41 ±2.06	6.36 ±2.57	NS
Ornithine	0.16 ±0.11	0.23 ±0.15	0.12 ±0.03	NS	0.18 ±0.06	0.25 ±0.14	0.16 ±0.01	NS	0.23 ±0.11	0.31 ±0.19	0.20 ±0.00	NS	1.14 ±0.81	0.23 ±0.10	0.23 ±0.03	NS	2.17 ±0.56	0.81 ±0.79	0.35 ±0.22	NS

Lysine	1.01 ±0.09	0.92 ±0.01	0.88 ±0.18	NS	1.83 ±0.49	1.76 ±0.12	1.86 ±0.05	NS	2.54 ±0.62	2.56 ±0.15	2.62 ±0.09	NS	2.50 ±0.11	2.61 ±1.34	0.74 ±0.13	NS	2.43 ±0.16	2.51 ±2.25	3.69 ±1.28	NS
Histidine	0.49 ±0.08	0.47 ±0.08	0.43 ±0.07	NS	0.77 ±0.21	0.73 ±0.04	0.77 ±0.05	NS	0.98 ±0.25	0.92 ±0.04	0.97 ±0.01	NS	1.46 ±0.29	1.23 ±0.83	1.78 ±0.05	NS	1.24 ±0.18	1.21 ±0.49	1.83 ±0.99	NS
Anserine	11.88 ±3.97	12.30 ±1.28	10.95 ±4.93	NS	10.68 ±4.21	11.36 ±0.16	9.49 ±4.21	NS	9.23 ±3.80	10.19 ±0.13	8.09 ±3.75	NS	8.22 ±2.27	11.87 ±0.37	9.44 ±1.09	NS	6.57 ±2.95	14.10 ±1.56	10.37 ±3.77	NS
Carnosine	58.85 ±0.57	58.18 ±2.46	63.23 ±1.39	NS	49.24 ±3.17	47.89 ±3.33	52.92 ±2.45	NS	42.38 ±5.33	42.22 ±3.39	43.64 ±2.64	NS	39.44 ±2.16	51.49 ±0.29	57.15 ±17.3 2	NS	34.16 ^b ±6.16	56.90 ^a ±6.02	55.52 ^a ±3.13	*
Arginine	0.98 ±0.16	0.88 ±0.03	0.83 ±0.18	NS	1.66 ±0.42	1.50 ±0.17	1.62 ±0.10	NS	2.14 ±0.47	1.60 ±0.16	2.10 ±0.03	NS	0.47 ±0.66	0.05 ±0.06	0.00 ±0.00	NS	0.00 ±0.00	0.04 ±0.05	0.08 ±0.11	NS
Proline	0.36 ±0.04	0.40 ±0.06	0.38 ±0.08	NS	0.60 ±0.11	0.59 ±0.05	0.59 ±0.07	NS	0.92 ±0.21	0.70 ±0.15	0.91 ±0.15	NS	1.51 ±0.21	0.11 ±0.15	0.93 ±1.31	NS	1.30 ^a ±0.28	0.05 ^b ±0.07	0.00 ^b ±0.00	**

Result presented Means ± SD.

^{a-b} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p < 0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant.; ⁺ $p < 0.1$ * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Table 9, 10은 숙성방법과 숙성기간에 따른 각 아미노산 그룹의 함량과 비율을 나타낸 표이다. 아미노산의 그룹은 Table 8과 같이 sweet(단맛), savory(감칠맛), bitter(쓴맛), functional(기능성)로 분류되며, 분류된 유리아미노산 함량과 비율을 숙성기간 및 숙성방법에 따라 결과를 비교 분석하였다. 습식 숙성방법에서 sweet 그룹 항목의 함량과 비율은 숙성기간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 함량의 경우 유의적으로 증가했다. 건식 숙성은 45일 차에 유의적으로 감소하였으며 0일 차와 60일 차를 비교했을 때 3배 이상 감소하였다. Savory 그룹 항목에서 습식 숙성의 함량과 비율은 숙성기간에 따라 안정적으로 증가하는 경향을 보였고, 건식 숙성, 건식포장 숙성 또한 증가하였으나 건식 숙성은 통계적으로 유의적인 차이는 보이지 않았다. Bitter 그룹에서 습식 숙성은 숙성기간이 지남에 따라 함량이 안정적으로 증가하였다. 반면, 건식 숙성과 건식포장 숙성의 함량은 숙성 45일까지 증가하다가 60일 차에 감소하였고, 세 가지 숙성방법 모두 0일 차와 비교했을 때 증가하는 경향을 보였다. 습식 숙성에서 모든 아미노산 그룹의 함량은 숙성기간이 지남에 따라 안정적으로 증가하는 경향을 보였고, 숙성방법 간 비교했을 때 숙성 45일 차 이후부터 functional 그룹을 제외한 아미노산 그룹에서 습식 숙성이 다른 숙성방법보다 높은 함량과 비율이 나타났으며, 60일 차에서는 습식 숙성이 유의적으로 높은 함량 차이를 보였다. 또한, 모든 유리아미노산 그룹에서 건식 숙성과 건식포장 숙성 간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Hanagasaki 등(2018)의 연구 결과 건식, 습식 숙성방법에 상관없이 sweet, savory 아미노산 그룹의 수준은 숙성기간이 지남에 따라 증가하였으며, functional 아미노산 그룹은 숙성기간에 따른 차이를 보이지 않았다.

Table 8. Classification of free amino acid according to function

Sweet	Savory	Bitter	Functional
Alanine	Aspartic acid	Arginine	Ammonia
Asparagine	Glutamic acid	Cysteine	Anserine
Glutamine		Histidine	β -Alanine
Glycine		Isoleucine	γ -amino butyric acid
Proline		Leucine	Carnosine
Serine		Lysine	Ethanolamine
Threonine		Methionine	Ornithine
		Phenylalanine	Phospho ethanolamine
		Tyrosine	Taurine
		Tryptophan	Urea
		Valine	

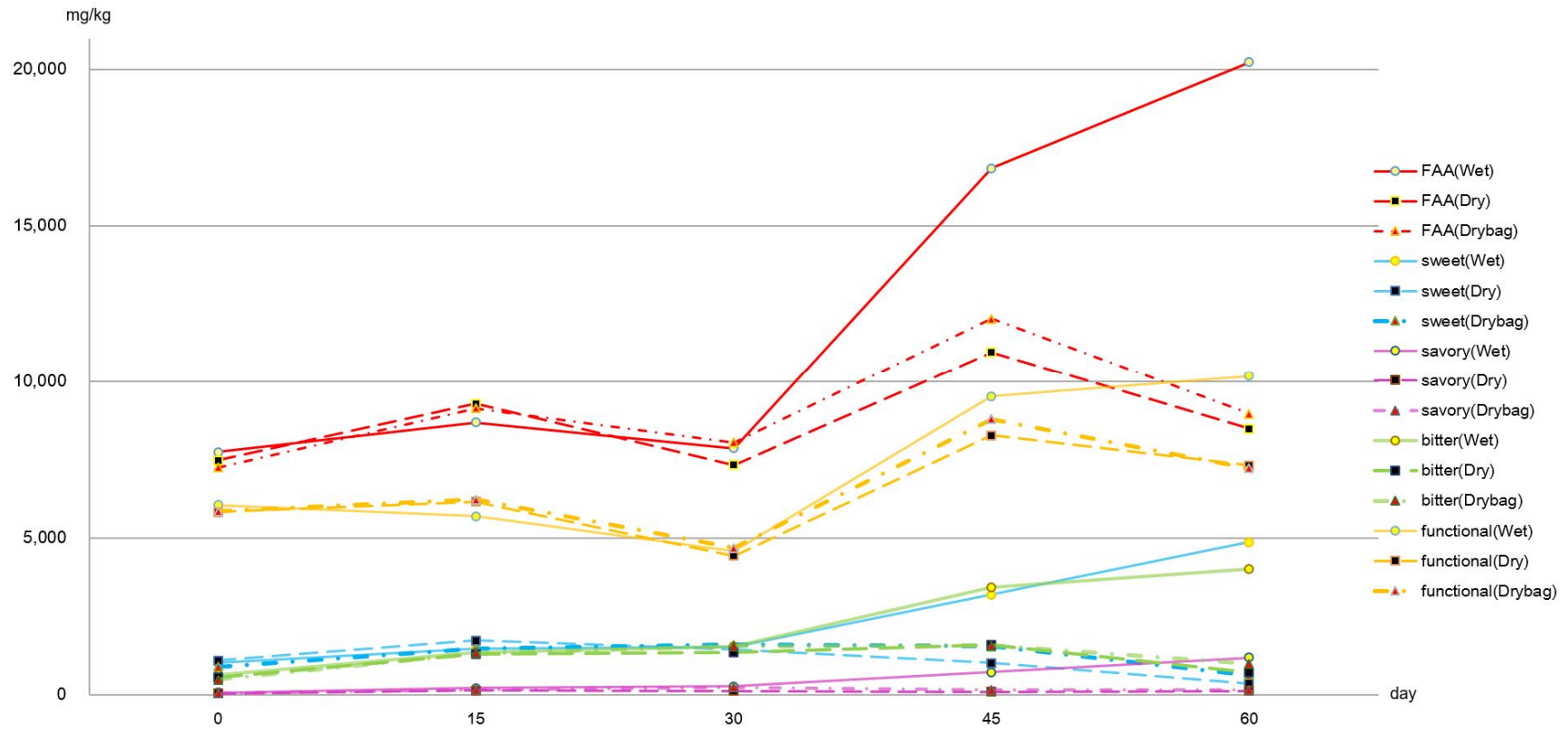


Figure 10. Changes in the content of amino acid groups according to the aging methods and periods.

Table 9. Changes in the content of free amino acid groups by classification according to the aging methods and periods

Content (mg/kg)	Aging Time(d)	Aging Method			Sig
		Wet	Dry	Drybag	
Sweet	0	1005.95 ^C ±181.17	1086.02 ^{AB} ±21.69	890.84±45.40	NS
	15	1455.19 ^C ±708.32	1718.19 ^A ±113.50	1452.74±25.31	NS
	30	1511.48 ^C ±416.21	1436.56 ^{AB} ±302.54	1593.20±19.40	NS
	45	3190.75 ^B ±231.09	1000.45 ^{BC} ±239.51	1540.16±2030.99	NS
	60	4870.51 ^{Aa} ±1021.59	354.01 ^{Cb} ±439.73	620.60 ^b ±146.32	*
	<i>Sig</i>	**	*	NS	
Savory	0	63.59 ^B ±14.41	33.10±14.39	27.23 ^B ±5.15	NS
	15	200.51 ^B ±105.88	121.63±31.49	147.10 ^A ±34.10	NS
	30	259.25 ^B ±88.88	118.09±66.17	231.97 ^A ±57.23	NS
	45	718.04 ^{AB} ±598.86	83.03±32.85	142.72 ^A ±73.34	NS
	60	1175.34 ^{Aa} ±400.31	108.73 ^b ±61.89	145.96 ^{Ab} ±2.37	*
	<i>Sig</i>	+	NS	*	
Bitter	0	617.66 ^B ±71.20	534.90 ^B ±0.84	479.12±94.67	NS
	15	1335.70 ^B ±703.63	1282.39 ^{AB} ±6.25	1306.96±88.12	NS
	30	1519.82 ^B ±457.74	1353.61 ^{AB} ±399.73	1543.71±110.21	NS
	45	3411.48 ^A ±298.13	1591.09 ^A ±231.43	1561.28±1761.10	NS
	60	4014.56 ^{Aa} ±1122.44	708.76 ^{Bb} ±569.33	977.00 ^b ±426.03	*
	<i>Sig</i>	**	+	NS	
Functional	0	6054.77 ^B ±868.07	5824.15 ^{BC} ±101.60	5853.02±780.45	NS
	15	5686.48 ^B ±809.25	6154.19 ^{ABC} ±832.36	6228.41±153.38	NS
	30	4573.58 ^B ±578.10	4420.35 ^C ±530.61	4677.36±250.61	NS
	45	9524.46 ^A ±815.02	8270.06 ^A ±719.85	8785.11±2591.75	NS
	60	10177.05 ^A ±1560.63	7318.99 ^{AB} ±1509.19	7217.74±825.64	NS
	<i>Sig</i>	**	*	NS	

Result presented Means ± SD.

^{a-b} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p < 0.1$).

^{A-C} Means with different superscripts in the same column significantly differ ($p < 0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant; + $p < 0.1$ * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Table 10. Changes in the percentage of free amino acid groups by classification according to the aging methods and periods

Percentage (%)	Aging Time(d)	Aging Mehtod			Sig
		Wet	Dry	Drybag	
Sweet	0	13.13±3.36	14.53 ^A ±0.02	12.32±0.61	NS
	15	16.26±3.80	18.56 ^A ±0.62	15.91±0.40	NS
	30	19.11±4.36	19.54 ^A ±0.66	19.82±0.83	NS
	45	18.95±0.14	9.08 ^B ±1.22	9.66±11.70	NS
	60	23.98 ^a ±3.88	3.55 ^{Cb} ±4.10	6.88 ^b ±0.57	*
	<i>Sig</i>	NS	**	NS	
Savory	0	0.83 ^B ±0.25	0.44±0.18	0.38 ^C ±0.11	NS
	15	2.23 ^{AB} ±0.62	1.34±0.47	1.61 ^B ±0.36	NS
	30	3.28 ^{AB} ±0.97	1.56±0.63	2.87 ^A ±0.55	NS
	45	4.13 ^{AB} ±3.22	0.78±0.38	1.20 ^{BC} ±0.04	NS
	60	5.77 ^{Aa} ±1.70	1.23 ^b ±0.36	1.65 ^{Bb} ±0.28	*
	<i>Sig</i>	NS	NS	**	
Bitter	0	8.04 ^B ±1.54	7.15 ^B ±0.14	6.71±1.98	NS
	15	14.84 ^{AB} ±4.13	13.89 ^A ±1.32	14.32±1.08	NS
	30	19.21 ^A ±4.88	18.28 ^A ±2.21	19.18±0.33	NS
	45	20.39 ^A ±3.40	14.51 ^A ±0.58	10.57±8.97	NS
	60	19.73 ^A ±4.59	7.68 ^B ±4.37	10.66±3.10	NS
	<i>Sig</i>	+	**	NS	
Functional	0	78.01 ^A ±5.15	77.89 ^{AB} ±0.06	80.60±2.69	NS
	15	66.68 ^{AB} ±8.55	66.23 ^{BC} ±2.40	68.18±1.12	NS
	30	58.41 ^{AB} ±10.21	60.63 ^C ±3.51	58.13±0.04	NS
	45	56.53 ^B ±0.33	75.64 ^B ±1.43	78.57±20.63	NS
	60	50.54 ^{Bb} ±10.17	87.55 ^{Aa} ±8.83	80.81 ^a ±3.37	*
	<i>Sig</i>	+	*	NS	

Result presented Means ± SD.

^{a-b} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p < 0.1$).

^{A-C} Means with different superscripts in the same column significantly differ ($p < 0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant; + $p < 0.1$ * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

2. 숙성방법 및 숙성기간에 따른 전자혀 센서 변화

Table 11은 숙성방법 및 숙성기간에 따른 전자혀를 분석한 결과이다. Sourness는 신맛을 나타내는 센서이며, 건식 숙성과 건식포장 숙성은 숙성기간 숙성이 진행되면서 유의적으로 감소했으며, 습식 숙성이 다른 숙성방법 보다 sourness의 수준이 높게 나타나는 경향을 보였고 숙성 15일, 30일, 45일에서 통계적으로 유의적인 차이가 나타났다. 일반적으로 습식 숙성 소고기는 강한 신맛과 금속성 맛, 핏빛의 풍미를 가지고 있다고 알려져 있으며 신맛은 혐기성 조건에서 축적된 젖산의 영향을 받을 수 있다(Warren 등, 1992). Foraker 등(2020)의 연구 결과 49일 또는 63일 동안 습식 숙성한 소고기는 독특한 신맛과 퀴퀴한 향이 났으며, 건식 숙성은 신맛을 감소시켰다고 보고하였다. 신맛은 펩타이드의 수가 proteinases(calpain-1, -2 및 cathepsins B, L)로 인해 증가하여 감소할 수 있다(Terjung 등, 2021). Umami는 감칠맛을 나타내는 센서이며, 세 가지 숙성방법 모두 숙성기간이 경과 함에 따라 umami의 수준이 증가하였다. 숙성 30일 이후 건식 숙성, 건식포장 숙성이 습식 숙성보다 유의적으로 높은 수준을 나타냈으며, 60일 차에는 건식 숙성, 건식포장 숙성, 습식 숙성의 순으로 높게 나타났다. Li 등(2014)에 따르면 소고기의 감칠맛 화합물은 숙성 시간에 따라 증가하며, 건식 숙성 소고기는 습식 숙성 소고기에 보다 umami 점수가 더 높다고 보고하였다. Bitterness는 쓴맛(고기의 진함)을 나타내는 센서이며, 모든 숙성방법에서 숙성기간의 경과에 따라 bitterness의 수준이 증가했지만, 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 숙성방법 간 비교했을 때 30일 차에 습식 숙성이 건식 숙성보다 유의적으로 높게 나타났다. Glutamic acid 및 감칠맛 관련 활성 화합물의 축적으로 쓴맛이 완화될 수 있으며(Zhao 등, 2016), 소고기를 숙성하게 되면 지질 산화에 의한 휘발성 물질 증가로 인해 쓴맛이 날 수 있다(Dashdorj 등, 2015). 또한, Terjung 등(2021)에 따르면 숙성 중 지방산의 증가는 바람직하지 않은 뒷맛을 유발할 수 있기에 적당한 조절이 이루어져야 한다고 보고하였다. Richness는 umami의 지속성(풍부한 맛)을 나타내는 센서이며, 건식 숙성의 경우 숙성을 진행한 후 감소를 보였다가 45일 차에 유의적으로 증가하였다. 또한, 숙성 45일 차에는 건식 숙성이 습식 숙성보다 유의적으로 높은 수준을 나타냈다. Zhao 등(2016)에 따르면 ric

hness의 증가는 단백질 분해 과정에서 유리아미노산과 같은 다양한 풍미 물질의 형성으로 인한 것이라고 보고하였다. Saltiness는 짠맛을 나타내는 센서이며, 숙성 30일 차, 45일 차에 건식 숙성방법이 습식 숙성보다 유의적으로 높은 수준을 보였고, 모든 숙성방법에서 숙성 0일 차, 60일 차와 비교했을 때 증가하였지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다. Li 등(2014)의 연구 결과 숙성 시간이 길어질수록 건식 숙성방법이 습식 숙성방법의 짠맛보다 더 높게 나타났으며, Harada 등(2021)에 따르면 감칠맛 성분이 나트륨 수치를 낮추고 짠맛을 유지하는 대체물로 사용될 수 있음을 보고하였다. Kim 등(2017, 2019)의 연구 결과 건조 숙성육은 습식 숙성육보다 sourness가 유의적으로 낮게 나타났지만 bitterness, astringency, umami, saltiness는 유의적으로 높게 나타났다. 이는 더 높은 농도의 glutamic acid 및 aspartic acid와 관련된 것이라 보고하였다. 건식 및 습식 숙성 소고기 사이의 풍미 활성 화합물인 유리아미노산, IMP 및 환원당 등 농도의 차이로 풍미에 영향을 미칠 수 있으며, 유리아미노산 자체로 감칠맛과 쓴맛에 영향을 줄 수 있고, 산 및 무기/나트륨 염과 함께 짠맛과 신맛에도 영향을 줄 수 있다(Shahidi 등, 1994; Lee 등, 2019). 또한, 건식 숙성과 건식포장 숙성은 60일 차 umami, 45일 차 saltiness를 제외하고 모든항목에서 두 방법 간 유사한 수치를 보였으며 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 선행 연구 결과에서 건식 숙성육과 건식포장 숙성육 사이에 향미 차이를 발견하지 못했고 동일한 풍미를 생성한다고 알려져 있다(Ahnström 등, 2006; Degeer 등, 2009). 또한, Lee 등(2017)에 따르면 건식포장 숙성과 일반 건식 숙성에서 IMP와 대부분의 유리아미노산 함량 모두에서 유의한 변화가 나타나지 않았으며, 건식포장 숙성이 건식 숙성을 대체할 수 있음을 보고하였다.

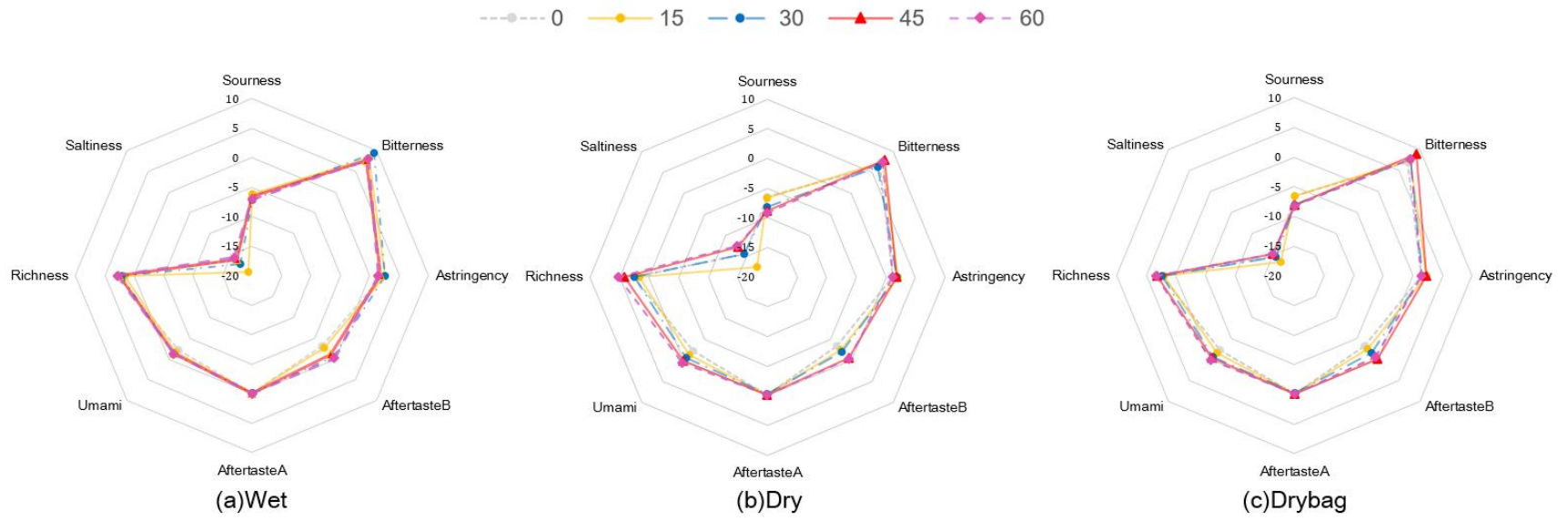


Figure 11. Measurement results of electronic tongue sensor according to aging periods

Table 11. Measurement results of electronic tongue sensor according to aging methods and periods

	Aging Time(d)	Aging Method			Sig
		Wet	Dry	Drybag	
Sourness	0	-6.51±0.57	-6.57±0.25 ^A	-6.52±0.13 ^A	NS
	15	-6.23±0.13 ^a	-6.62±0.01 ^{Ab}	-6.58±0.02 ^{Ab}	*
	30	-7.19±0.28 ^a	-8.17±0.01 ^{Bb}	-8.14±0.40 ^{Bb}	+
	45	-6.62±0.82 ^a	-8.81±0.56 ^{Bb}	-8.02±0.28 ^{Bab}	+
	60	-7.09±1.17	-9.28±0.78 ^B	-8.28±0.16 ^B	NS
	Sig	NS	**	**	
Bitterness	0	7.23±0.48	6.80±0.30	6.99±0.59	NS
	15	8.18±0.28	7.54±0.71	7.61±1.28	NS
	30	9.38±0.62 ^a	6.35±0.78 ^b	7.75±1.05 ^{ab}	+
	45	7.65±1.29	8.00±0.16	9.09±0.69	NS
	60	7.91±2.09	7.45±1.07	7.71±0.69	NS
	Sig	NS	NS	NS	
Astringency	0	2.10±0.31	1.14±1.11	1.49±0.63	NS
	15	2.59±1.36	2.01±0.68	2.33±0.30	NS
	30	2.62±0.13 ^a	1.87±0.16 ^{ab}	1.69±0.37 ^b	+
	45	1.87±1.08	1.91±0.33	2.33±0.78	NS
	60	1.49±0.43	1.24±0.25	1.47±1.56	NS
	Sig	NS	NS	NS	
Aftertaste-B	0	-3.01±0.59 ^B	-3.47±0.06 ^C	-3.34±0.87 ^D	NS
	15	-2.75±0.18 ^B	-2.49±0.13 ^B	-2.54±0.34 ^{CD}	NS
	30	-0.51±0.45 ^{Aa}	-2.11±0.38 ^{Bb}	-1.52±0.57 ^{BCab}	+
	45	-0.97±0.34 ^A	-0.60±0.16 ^A	-0.06±0.34 ^A	NS
	60	-0.16±1.19 ^A	-0.53±0.28 ^A	-0.69±0.22 ^{AB}	NS
	Sig	*	**	***	
Aftertaste-A	0	-0.06±0.13	-0.11±0.00 ^A	-0.14±0.14	NS
	15	-0.09±0.05	-0.01±0.04 ^A	-0.10±0.04	NS
	30	-0.12±0.02 ^a	-0.25±0.04 ^{Bb}	-0.22±0.01 ^b	*
	45	-0.02±0.07	-0.10±0.05 ^A	-0.10±0.01	NS
	60	0.00±0.11	-0.11±0.08 ^A	-0.10±0.01	NS
	Sig	NS	+	NS	
Umami	0	-2.26±0.30 ^B	-2.27±0.25 ^D	-2.33±0.13 ^E	NS
	15	-1.60±0.05 ^A	-1.40±0.11 ^C	-1.59±0.16 ^D	NS
	30	-1.21±0.01 ^{Ab}	-0.68±0.18 ^{Ba}	-0.65±0.08 ^{Ca}	*
	45	-1.26±0.41 ^{Ab}	0.04±0.20 ^{Aa}	-0.31±0.05 ^{Ba}	*
	60	-1.23±0.10 ^{Ac}	0.46±0.12 ^{Aa}	0.04±0.01 ^{Ab}	***
	Sig	*	***	***	
Richness	0	2.78±0.04	2.71±0.37 ^{AB}	2.36±0.08	NS
	15	1.64±1.31	1.59±0.27 ^B	2.07±0.23	NS
	30	2.12±0.04	2.50±0.43 ^B	2.32±0.41	NS
	45	2.56±0.08 ^b	4.20±0.02 ^{Aa}	3.24±0.49 ^{ab}	*
	60	2.85±0.52	5.15±2.09 ^A	3.38±1.35	NS
	Sig	NS	+	NS	
Saltiness	0	-16.17±0.26	-14.54±2.17 ^{AB}	-15.26±1.00	NS
	15	-19.11±2.20	-17.62±0.29 ^B	-16.65±0.81	NS
	30	-17.20±0.33 ^b	-14.42±1.12 ^{ABa}	-15.59±0.51 ^{ab}	+
	45	-16.27±0.72 ^c	-12.93±0.22 ^{Aa}	-14.74±0.23 ^b	*
	60	-15.79±0.40	-12.70±1.55 ^A	-14.80±1.15	NS
	Sig	NS	+	NS	

Result presented Means ± SD.

^{a-c} Means with different superscripts in the same row significantly differ ($p<0.1$).

^{A-E} Means with different superscripts in the same column significantly differ ($p<0.1$).

Sig, Significance.; NS, Not significant.; + $p<0.1$ * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$.

3. 상관관계 분석

Table 12는 육질 특성 간의 상관관계를 나타내는 표이며, 육질 분석 항목으로는 pH, 숙성 감량(aging loss), 육색(Lightness, Redness, Yellowness), 토리 미터(Torry meter), 가열감량(Cooking loss), 전단력 및 조직감, TBA(Thiobarbituric acid reactive substance), VBN(Volatile basic nitrogen), 수분 활성도(Water activity)를 분석하였다. 숙성기간(aging time)은 pH, 숙성 감량, TBA 및 VBN과 정(+)의 상관관계가 나타났으며, 토리 미터, 가열감량, 전단력(Shear force) 및 경도(Hardness)와는 부(-)의 상관관계가 나타났다. pH는 육색, 토리 미터 및 가열감량과 부(-)의 상관관계가 나타났으며, 물성 측정 항목에서 전단력, 탄력성(Springness)을 제외하고 모두 부(-)의 상관관계가 나타났고, TBA 및 VBN과는 정(+)의 상관관계가 나타났다. 식육을 숙성 시 숙성기간이 경과 함에 따라 단백질이 분해되어 생성되는 염기성을 가진 암모니아 및 아민류(dimethylamine, trimethylamine 등)가 증가하여 VBN의 수치도 증가하며, 지질의 산화로 인해 malondialdehyde가 생성되어 TBA의 수치도 증가한다. 또한, 질소화합물의 생성으로 pH가 증가하게 된다(Obuz 등, 2014; 이 등, 2018; Utama 등, 2020). 숙성은 연도가 좋은 식육을 얻기 위한 중요한 과정으로 숙성기간의 증가가 근육 내 효소에 의한 근원섬유 단백질의 분해로 식육 연화의 원인이 되고, 전단력 및 조직감이 감소하며, 일반적으로 사후 pH가 근육의 최종 연도에 영향을 미친다고 알려져 있다(Yates 등, 1983; Smith 등, 1978; Savell 등, 2005). Bruce 등(2004)의 연구에 따르면 숙성된 소고기의 pH는 육색 측정값과 부(-)의 상관관계를 갖고 있고, 가열감량과 육색은 정(+)의 상관관계를 갖고 있는 것으로 보고하였으며, 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다.

Table 13은 유리아미노산 그룹 및 육질 분석 항목 간 상관관계를 나타낸 표이다. 숙성기간은 총 유리아미노산($r=0.520^{**}$)과 정(+)의 상관관계를 나타내었으며, savory, bitter, functional의 함량과도 정(+)의 상관관계를 나타내었다(각각 $r=0.445^*$; $r=0.481^{**}$; $r=0.563^{**}$). pH는 sweet 그룹($r=-0.563^*$)의 비율과 부(-)의 상관관계를 나타냈다. 숙성감량은 functional 그룹($r=0.696^{**}$)의 비율과 고도로 정(+)의 상관관계를 나타내었고, sweet($r=-0.609^{**}$; $r=-0.708^{**}$), savory($r=-0.522^*$; $r=-0.612$

), bitter($r = -0.524^{}$; $r = -0.577^{**}$) 그룹의 함량과 비율은 고도로 부(-)의 상관관계를 나타내었다. 토리 미터는 bitter 그룹($r = -0.437^*$; $r = -0.473^{**}$)의 함량 및 비율과 부(-)의 상관관계를 나타내었다. 가열감량은 sweet 그룹($r = 0.428^*$; $r = 0.515^*$)의 함량 및 비율, savory 그룹($r = 0.371^*$)의 함량과 정(+)의 상관관계가 나타났고, functional 그룹($r = -0.390^*$)의 비율과 부(-)의 상관관계가 나타났다.

Table 14는 전자혀 분석 및 육질 분석 항목 간 상관관계를 나타낸 표이다. Souretness는 숙성기간, pH, 숙성감량, TBA 및 VBN과 고도로 부(-)의 상관관계가 나타나고, 육색, 토리 미터, 가열감량 및 경도와 정(+)의 상관관계가 나타났다. 이와 반대로 감칠맛을 나타내는 umami, richness의 감각 센서는 숙성기간, pH, 숙성감량, TBA 및 VBN과 고도로 정(+)의 상관관계가 나타났으며, 가열감량 및 경도와는 고도로 부(-)의 상관관계가 나타났다. Saltiness 또한 숙성기간, pH, 숙성감량, TBA 및 VBN과 정(+)의 상관관계가 나타났으며, 그 외에 육색, 가열감량 및 수분 활성도와 부(-)의 상관관계가 나타났다. Bitterness는 소고기의 육질 특성 항목과 상관관계가 나타나지 않았으며, astringency는 수분활성도 항목을 제외하고 상관관계가 나타나지 않았다. Calkins 등(1982)에 따르면 숙성 중 식육 내 고분자 핵산 물질 및 당 성분들이 분해되어 풍미 전구물질들의 함량이 증가하며, glutamic acid와 함께 감칠맛 발현에 상승작용을 한다고 보고하였다. 또한, 과도한 숙성은 IMP의 분해로 쓴맛을 낸다고 알려져 있는 hypoxanthine의 함량이 증가할 수 있으며, 지질의 산화(TBA) 및 휘발성 아민(VBN)의 생성 또한 식육 품질 저하의 주요 요인 중 하나로 식육에 쓴맛, 이미 및 이취가 발생하여 풍미에 좋지 않은 변화를 초래한다(Gray 등, 1996; Morrissey 등, 1998; 이 등, 2015b).

Table 12. Correlation coefficient between meat quality analysis

	Aging Time	pH	Aging Loss	Lightness	Redness	Yellowness	Torrymeter	Cooking loss	Shear force	Hardness	Adhesiveness	Resilience	Cohesiveness	Springiness	Gumminess	Chewiness	TBA	VBN	Water activity
pH	.766 ¹⁾	1	.820**	-.646**	-.773**	-.727**	-.629**	-.767**	-.221	-.586**	-.699**	-.428*	-.432*	.339	-.626**	-.382*	.573**	.874**	-.581*
AgingLoss	.432*	.820**	1	-.849**	-.973**	-.924**	-.333	-.964**	.604**	-.326	-.531**	-.439*	-.266	.340	-.348	-.156	.594**	.812**	-.497*
Lightness	-.287	-.646**	-.849**	1	.888**	.866**	.329	.873**	.017	.218	.340	.425*	.157	-.234	.224	.070	-.387*	-.555**	.374
Redness	-.476**	-.773**	-.973**	.888**	1	.941**	.454*	.952**	-.060	.339	.498**	.443*	.322	-.361	.411*	.190	-.572**	-.750**	.429
Yellowness	-.519**	-.727**	-.924**	.866**	.941**	1	.471**	.882**	-.031	.343	.537**	.438*	.354	-.197	.433*	.266	-.499**	-.744**	.425
Torrymeter	-.814**	-.629**	-.333	.329	.454*	.471**	1	.439*	.584**	.422*	.686**	.283	.465*	-.119	.545**	.399*	-.275	-.610**	-.137
Cookingloss	-.458*	-.767**	-.964**	.873**	.952**	.882**	.439*	1	.017	.358	.438*	.469**	.279	-.306	.400*	.200	-.516**	-.724**	.450
Shearforce	-.424*	-.221	.604**	.017	-.060	-.031	.584**	.017	1	.322	.375*	-.012	.160	.064	.311	.260	-.002	-.127	-.282
Hardness	-.603**	-.586**	-.326	.218	.339	.343	.422*	.358	.322	1	.782**	-.066	.158	-.211	.753**	.606**	-.458*	-.575**	.488*
Adhesiveness	-.839**	-.699**	-.531**	.340	.498**	.537**	.686**	.438*	.375*	.782**	1	.105	.325	-.350	.703**	.495**	-.462*	-.748**	.705**
Resilience	-.229	-.428*	-.439*	.425*	.443*	.438*	.283	.469**	-.012	-.066	.105	1	.326	.011	.137	.082	-.262	-.408*	.565*
Cohesiveness	-.545**	-.432*	-.266	.157	.322	.354	.465*	.279	.160	.158	.325	.326	1	.243	.746**	.734**	-.406*	-.468**	.242
Springiness	.259	.339	.340	-.234	-.361	-.197	-.119	-.306	.064	-.211	-.350	.011	.243	1	.015	.375*	.264	.325	-.176
Gumminess	-.733**	-.626**	-.348	.224	.411*	.433*	.545**	.400*	.311	.753**	.703**	.137	.746**	.015	1	.909**	-.550**	-.651**	.434
Chewiness	-.512**	-.382*	-.156	.070	.190	.266	.399*	.200	.260	.606**	.495**	.082	.734**	.375*	.909**	1	-.409*	-.431*	.312
TBA	.407*	.573**	.594**	-.387*	-.572**	-.499**	-.275	-.516**	-.002	-.458*	-.462*	-.262	-.406*	.264	-.550**	-.409*	1	.731**	-.205
VBN	.799**	.874**	.812**	-.555**	-.750**	-.744**	-.610**	-.724**	-.127	-.575**	-.748**	-.408*	-.468**	.325	-.651**	-.431*	.731**	1	-.604**

¹⁾Pearson's correlation coefficient.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Table 13. Correlation coefficients of free amino acid group and meat quality analysis

	Aging Time	pH	Aging Loss	Lightness	Redness	Yellowness	Torry meter	Cooking loss	Shear force	Hardness	Adhesiveness	Resilience	Cohesiveness	Springness	Gumminess	Chewiness	TBA	VBN	Water activity	
Total FAA ¹⁾	.520** ²⁾	.146	-.366	.280	.272	.203	-.363	.218	-.367*	-.206	-.311	.062	-.265	-.118	-.298	-.320	-.055	.147	.094	
mg / kg	Sweet	.276	-.106	-.609**	.416*	.474**	.395*	-.257	.428*	-.391*	-.078	-.116	.090	-.136	-.237	-.136	-.229	-.267	-.133	.251
	Savory	.445*	.044	-.522**	.423*	.377*	.328	-.285	.371*	-.392*	-.206	-.238	.254	-.261	-.102	-.311	-.314	-.173	-.005	.284
	Bitter	.481**	.095	-.524**	.266	.293	.213	-.437*	.276	-.498**	-.211	-.315	.054	-.266	-.160	-.307	-.347	-.099	.081	.169
	Functional	.563**	.308	-.005	.101	.042	.000	-.300	-.031	-.172	-.225	-.356	.000	-.271	.009	-.309	-.274	.138	.344	-.106
%	Sweet	-.188	-.411*	-.708**	.382*	.534**	.467**	-.052	.515**	-.291	.123	.205	.121	.039	-.375*	.108	-.076	-.420*	-.471**	.382
	Savory	.435*	.038	-.612**	.374*	.334	.291	-.344	.357	-.470**	-.247	-.250	.273	-.299	-.090	-.361*	-.333	-.206	-.061	.392
	Bitter	.302	.051	-.577**	.081	.148	.088	-.473**	.177	-.555**	-.199	-.248	-.004	-.266	-.182	-.296	-.341	-.081	-.009	.236
	Functional	-.101	.180	.696**	-.281	-.383*	-.316	.284	-.390*	.463**	.061	.043	-.096	.142	.285	.129	.238	.277	.251	-.349

¹⁾Total free amino acid.

²⁾Pearson's correlation coefficient.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Table 14. Correlation coefficients of electronic tongue sensor and meat quality analysis

	Sourness	Bitterness	Astringency	Umami	Richness	Saltiness
AgingTime	-.658 ^{**1)}	.258	-.126	.838 ^{**}	.522 ^{**}	.385 [*]
pH	-.767 ^{**}	.038	-.035	.881 ^{**}	.603 ^{**}	.486 ^{**}
AgingLoss	-.826 ^{**}	-.223	-.319	.890 ^{**}	.644 ^{**}	.777 ^{**}
Lightness	.604 ^{**}	.140	.054	-.656 ^{**}	-.287	-.417 [*]
Redness	.822 ^{**}	.029	.094	-.823 ^{**}	-.496 ^{**}	-.577 ^{**}
Yellowness	.824 ^{**}	.074	.176	-.804 ^{**}	-.502 ^{**}	-.606 ^{**}
Torrymeter	.588 ^{**}	-.235	-.087	-.739 ^{**}	-.249	-.266
Cookingloss	.765 ^{**}	.054	.113	-.763 ^{**}	-.481 ^{**}	-.531 ^{**}
Shearforce	.059	-.221	-.270	-.255	.180	.253
Hardness	.565 ^{**}	-.180	.190	-.613 ^{**}	-.440 [*]	-.343
Adhesiveness	.686 ^{**}	-.211	.191	-.816 ^{**}	-.491 ^{**}	-.450 [*]
Resilience	.311	.148	.109	-.294	-.217	-.245
Cohesiveness	.431 [*]	-.092	.045	-.492 ^{**}	-.317	-.164
Springness	-.333	.243	.084	.407 [*]	.238	.178
Gumminess	.621 ^{**}	-.191	.192	-.695 ^{**}	-.469 ^{**}	-.337
Chewiness	.395 [*]	-.023	.296	-.422 [*]	-.319	-.272
TBA	-.691 ^{**}	-.088	-.181	.642 ^{**}	.619 ^{**}	.565 ^{**}
VBN	-.819 ^{**}	-.098	-.284	.872 ^{**}	.763 ^{**}	.697 ^{**}
Water activity	.319	.277	.576 [*]	-.423	-.526 [*]	-.603 ^{**}

¹⁾Pearson's correlation coefficient.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Table 15는 아미노산 그룹의 함량 및 비율과 전자혀 센서 간 상관관계를 분석한 표이다. 총 유리아미노산 및 아미노산 그룹의 함량과 전자혀는 연관성이 나타나지 않았으나, 그중 functional과 richness는 정(+)의 상관관계가 나타났다($r=0.427^*$). Sweet 그룹의 비율은 sourness와 정(+)의 상관관계를 나타내었고, umami, richness, saltiness와 부(-)의 상관관계가 나타났다(각각 $r=-0.393^*$, $r=-0.524^{**}$, $r=-0.459^*$). 또한, functional 그룹의 비율은 richness, saltiness와 정(+)의 상관관계가 나타났다(각각 $r=0.393^*$, $r=0.385^*$).

Table 16, 17은 유리아미노산의 함량 및 비율과 전자혀 센서 간의 상관관계를 분석한 표이다. Sourness의 감각 점수는 phosphoethanolamine($r=0.552^{**}$; $r=0.492^*$), glutamine($r=0.587^{**}$; $r=0.614^{**}$), tryptophan($r=0.391^*$; $r=0.386^*$), arginine($r=0.428^*$; $r=0.368^*$)의 함량 및 비율과 정(+)의 상관관계가 나타났으며, taurine($r=-0.471^{**}$; $r=-0.677^{**}$), β -alanine($r=-0.508^{**}$; $r=-0.690^{**}$), γ -aminobutyric acid($r=-0.412^*$; $r=-0.487^{**}$), ethanolamine($r=-0.630^{**}$; $r=-0.619^{**}$), ammonia($r=-0.575^{**}$; $r=-0.676^{**}$)의 함량 및 비율과는 부(-)의 상관관계가 나타났다. 또한, asparagine($r=0.372^*$)의 비율과 정(+)의 상관관계, lysine($r=-0.447^{**}$), histidine($r=-0.482^{**}$)의 비율과는 부(-)의 상관관계가 나타났다. 유리아미노산은 산의 한 종류로 숙성 소고기의 신맛에 기여할 수 있으며(Hanagasaki 등, 2018), Nishimura 등(1998a)에 따르면 histidine, asparagine이 신맛을 내는데 기여한다고 보고하였다. Foraker 등(2020)의 연구에 따르면 신맛과 유리아미노산 aspartic acid($r=0.78$), asparagine($r=0.78$), glutamic acid($r=0.77$), ornitine($r=0.75$), phenylalanine($r=0.75$), lysine($r=0.74$), tyrosine($r=0.70$), cysteine($r=0.67$), 총 유리아미노산($r=0.72$)이 고도로 정(+)의 상관관계가 있다고 보고하였다. Bitterness의 감각 점수는 유리아미노산과 상관관계가 나타나지 않았으며, arginine, histidine, isoleucine, leucine, methionine, phenylalanine, tyrosine, tryptophan 및 valine은 쓴맛을 낸다고 알려져 있으나 본 연구 결과에서는 유리아미노산과 쓴맛 간 상관관계가 나타나지 않았다. AstriGENCY는 tyrosine($r=0.376^*$)의 함량과 정(+)의 상관관계가 나타났고, umami의 감각 점수는 taurine($r=0.528^{**}$; $r=0.663^{**}$), β -alanine($r=0.620^{**}$; $r=0.721^{**}$), γ -aminobutyric acid($r=0.405^*$; $r=0.466^{**}$), ethanolamine($r=0.732^{**}$; $r=0.712^{**}$), ammonia($r=0.730^{**}$; $r=0.769^{**}$), lysine($r=0.380^*$; $r=0.535^{**}$), histidine($r=0.423^*$; $r=0.660^{**}$)의 함

량 및 비율과 정(+)의 상관관계가 나타났으며, phosphoethanolamine($r = -0.622^{**}$; $r = -0.635^{**}$), glutamine($r = -0.541^{**}$; $r = -0.710^{**}$), arginine($r = -0.393^{*}$; $r = -0.400^{*}$)과 부(-)의 상관관계가 나타났다. 감칠맛을 낸다고 알려져 있는 glutamic acid와 aspartic acid는 umami와 상관관계가 나타나지 않았다(각각 $r = 0.024$; $r = 0.078$). Sabikun 등(2021)의 연구에 따르면 lysine($r = 0.565$), arginine($r = 0.758$), 페닐알라닌($r = 0.870$)이 정(+)의 상관관계를 보였고, histidine($r = 0.531$), threonine($r = -0.553$), glycine($r = -0.721$), isoleucine($r = -0.842$), tyrosine($r = -0.805$), proline($r = 0.863$), methionine($r = -0.824$), serine($r = -0.816$) 및 cysteine($r = -0.846$)은 umami 감각 점수와 부(-)의 상관관계를 보였으며, glycine($r = 0.486^{*}$) 및 valine($r = 0.402^{*}$)의 비율과 정(+)의 상관관계가 나타났다. 또한, glutamic acid($r = 0.277$) 및 aspartic acid($r = -0.087$)는 umami와 상관관계가 나타나지 않았다고 보고하였으며 본 연구와 유사한 결과가 나타났다. Richness의 감각 점수는 taurine($r = 0.590^{**}$; $r = 0.648^{**}$), β -alanine($r = 0.638^{**}$; $r = 0.682^{**}$), γ -aminobutyric acid($r = 0.510^{**}$; $r = 0.593^{**}$), ethanolamine($r = 0.668^{**}$; $r = 0.581^{**}$), ammonia($r = 0.615^{**}$; $r = 0.565^{**}$)와 고도로 정(+)의 상관관계가 나타나고, phosphoethanolamine($r = -0.623^{**}$; $r = -0.566^{**}$), glutamine($r = -0.555^{**}$; $r = -0.663^{**}$), tyrosine($r = -0.640^{**}$; $r = -0.609^{**}$), tryptophan($r = -0.538^{**}$; $r = -0.631^{**}$), arginine($r = -0.673^{**}$; $r = -0.648^{**}$)과 고도로 부(-)의 상관관계가 나타났으며, serine($r = -0.578^{**}$), asparagine($r = -0.500^{**}$), phenylalanine($r = -0.411^{**}$)의 비율과 부(-)의 상관관계가 나타났다. Saltiness 감각 점수는 taurine($r = 0.370^{*}$; $r = 0.525^{**}$), β -alanine($r = 0.476^{**}$; $r = 0.569^{**}$), γ -aminobutyric acid($r = 0.368^{*}$; $r = 0.469^{**}$), ethanolamine($r = 0.528^{**}$; $r = 0.482^{**}$), ammonia($r = 0.517^{**}$; $r = 0.542^{**}$)와 정(+)의 상관관계가 나타나고, phosphoethanolamine($r = -0.514^{**}$; $r = -0.421^{*}$), glutamine($r = -0.487^{**}$; $r = -0.503^{**}$), tyrosine($r = -0.568^{**}$; $r = -0.494^{**}$), tryptophan($r = -0.538^{**}$; $r = -0.565^{**}$), arginine($r = -0.609^{**}$; $r = -0.550^{**}$)과 고도로 부(-)의 상관관계가 나타났으며, serine($r = -0.523^{**}$), asparagine($r = -0.462^{*}$), phenylalanine($r = -0.383^{**}$)의 비율과 부(-)의 상관관계가 나타나, richness 감각 점수 및 유리아미노산의 상관관계와 유사한 결과를 보여주었다. Wang 등(2022)에 따르면 aspartic acid, glutamic, glycine, threonine, arginine, alanine, cysteine, valine, methionine, tryptophan, phenylalanine, isoleucine, leucine 유리아미노산의 함량은 saltiness 값과 정(+)의 상관관계를 가졌으며, 감칠

맛 아미노산 함량이 높을수록 전자 혀로 측정되는 감칠맛과 짠맛 값이 높을 수 있다고 보고하였다. 또한, Tian 등(2022)에 따르면 유리아미노산은 전자혀의 감각 점수($r=0.875$)와 높은 상관관계가 있다고 보고하였다.

Table 15. Correlation coefficients of free amino acid group and electronic tongue sensor

	Sourness	Bitterness	Astringency	Umami	Richness	Saltiness
TotalFAA ¹⁾	.060 ²⁾	.102	-.058	.121	.128	-.028
mg / kg	Sweet	.293	-.013	-.023	-.131	-.198
	Savory	.129	.122	.026	.035	-.076
	Bitter	.118	.023	-.048	.108	-.045
	Functional	-.146	.186	-.084	.265	.427*
%	Sweet	.447*	-.157	.087	-.393*	-.524**
	Savory	.083	.255	.155	.094	-.184
	Bitter	.043	-.002	.075	.143	-.225
	Functional	-.257	.046	-.099	.121	.393*

¹⁾Total free amino acid.

²⁾Pearson's correlation coefficient.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Table 16. Correlation coefficients of free amino acid content and electronic tongue sensor

mg/kg	Sourness	Bitterness	Astringency	Umami	Richness	Saltiness
Taurine	-.471 ^{**1)}	.218	-.140	.528 ^{**}	.590 ^{**}	.370 [*]
Phospho ethanolamine	.522 ^{**}	-.227	.219	-.622 ^{**}	-.623 ^{**}	-.514 ^{**}
Urea	.014	.183	.061	.059	.089	-.083
Aspartic acid	.033	.144	-.022	.078	-.007	-.104
Threonine	.063	.048	-.105	.141	.062	-.015
Serine	.284	.021	.095	-.182	-.339	-.360
Asparagine	.291	-.017	.022	-.161	-.260	-.287
Glutamic acid	.154	.115	.039	.024	-.094	-.201
Glutamine	.587 ^{**}	-.236	.050	-.541 ^{**}	-.555 ^{**}	-.487 ^{**}
Glycine	-.120	.038	-.148	.322	.267	.132
Alanine	.184	.074	-.037	-.030	-.065	-.145
Valine	-.037	.064	-.155	.241	.179	.079
Cystein	.183	-.122	-.139	-.022	-.036	-.030
Methionine	.041	.038	-.080	.190	.051	-.047
Isoleucine	.213	-.004	-.055	-.002	-.122	-.157
Leucine	.192	.000	-.077	.020	-.079	-.130
Tyrosine	.297	-.028	.376 [*]	-.286	-.640 ^{**}	-.568 ^{**}
Phenylalanine	.253	.014	-.019	-.044	-.172	-.208
β-Alanine	-.508 ^{**}	.044	-.165	.620 ^{**}	.638 ^{**}	.476 ^{**}
γ-aminobutyric acid	-.412 [*]	.250	-.064	.405 [*]	.510 ^{**}	.368 [*]
Tryptophan	.391 [*]	.050	.327	-.257	-.538 ^{**}	-.538 ^{**}
Ethanolamine	-.630 ^{**}	.172	-.226	.732 ^{**}	.668 ^{**}	.528 ^{**}
Ammonia	-.575 ^{**}	.137	-.179	.730 ^{**}	.615 ^{**}	.517 ^{**}
Ornithine	.045	-.013	-.106	.062	.119	.016
Lysine	-.222	.018	-.043	.380 [*]	.249	.074
Histidine	-.210	.094	-.165	.423 [*]	.349	.194
Anserine	-.146	.272	-.086	.224	.443 [*]	.134
Carnosine	-.024	.145	-.050	.136	.328	.134
Arginine	.428 [*]	-.063	.297	-.393 [*]	-.673 ^{**}	-.609 ^{**}
Proline	.245	.059	-.044	-.052	-.116	-.169

¹⁾Pearson's correlation coefficient.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Table 17. Correlation coefficients of free amino acid percentage content and electronic tongue sensor

%	Sourness	Bitterness	Astringency	Umami	Richness	Saltiness
Taurine	-.677** ¹⁾	.184	-.153	.663**	.648**	.525**
Phospho ethanolamine	.492**	-.260	.138	-.635**	-.566**	-.421*
Urea	-.009	.080	.166	-.077	-.063	-.066
Aspartic acid	-.095	.238	.034	.217	-.037	-.131
Threonine	-.044	.021	-.063	.231	.016	-.013
Serine	.340	-.008	.218	-.312	-.578**	-.523**
Asparagine	.372*	-.047	.144	-.303	-.500**	-.462*
Glutamic acid	.130	.255	.186	.058	-.221	-.359
Glutamine	.614**	-.321	.089	-.710**	-.663**	-.503**
Glycine	-.328	-.019	-.111	.486**	.327	.216
Alanine	.299	-.036	.052	-.219	-.308	-.306
Valine	-.211	.052	-.175	.402*	.229	.151
Cystein	.180	-.110	-.131	-.021	-.035	-.035
Methionine	-.135	.046	.010	.379*	-.022	-.086
Isoleucine	.233	-.035	.052	-.067	-.324	-.292
Leucine	.204	-.030	.010	-.022	-.253	-.251
Tyrosine	.257	-.058	.319	-.300	-.609**	-.494**
Phenylalanine	.299	.013	.125	-.123	-.411*	-.383*
β-Alanine	-.690**	.036	-.116	.721**	.682**	.569**
γ-aminobutyric acid	-.487**	.165	-.082	.466**	.593**	.469**
Tryptophan	.386*	-.004	.338	-.356	-.631**	-.565**
Ethanolamine	-.619**	.203	-.170	.712**	.581**	.482**
Ammonia	-.676**	.141	-.136	.769**	.565**	.542**
Ornithine	-.071	-.048	-.108	.150	.233	.103
Lysine	-.447*	-.015	.048	.535**	.245	.130
Histidine	-.482**	.139	-.133	.660**	.459*	.323
Anserine	-.114	.124	-.152	.055	.353	.179
Carnosine	-.039	-.043	-.038	-.139	.169	.247
Arginine	.368*	-.058	.278	-.400*	-.648**	-.550**
Proline	.323	.041	.039	-.171	-.302	-.308

¹⁾Pearson's correlation coefficient.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

V. 국문 요약

본 연구는 숙성기간 및 숙성방법에 따른 소고기 풍미의 변화와 건식 숙성, 건식 포장 숙성방법 간의 풍미 차이를 알아보기 위해 연구를 진행하였다. 숙성은 소의 채끝 등심을 습식 숙성, 건식 숙성, 건식포장 숙성방법으로 총 60일간 숙성하였다.

실험 항목으로는 유리아미노산 분석 및 전자혀 감각 센서를 측정하였고 15일간격(0일, 15일, 30일, 45일, 60일)으로 실험을 진행하였다. 실험 결과는 SAS program(2001)을 이용하여 분산분석과 Duncan(1955)의 다중검정으로 각 요인 간의 유의성($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$)을 비교 분석하였으며, 육질 분석 항목과 유리아미노산 및 전자혀 센서 간 상관관계를 알아보기 위해 Pearson's correlation coefficient를 측정하였다.

유리아미노산 분석 결과 총 유리아미노산의 함량은 숙성기간의 경과에 따라 증가하였으며, 감칠맛을 내는 glutamic acid, aspartic acid는 숙성 60일 동안 각각 약 9배, 200배가 증가하였으나 통계적으로 유의적 차이는 나타나지 않았다. 또한, carnosine의 숙성기간 중 함량 변화를 살펴보면 유의적으로 30일까지 감소하였다가 이후 증가하는 것으로 나타났다. Taurine, glycine, β -alanine, γ -aminobutyric acid, histidine ethanolamine, ammonia의 함량은 숙성 45일 차에 유의적으로 증가하였으며, tyrosine, tryptophan, arginine은 숙성 30일까지 증가하는 경향을 보이다가 45일 차에 유의적으로 감소하였다. 숙성방법에 따른 유리아미노산 분석 비교 결과 습식 숙성에서 높은 함량을 보였으며, 건식 숙성과 건식포장 숙성의 유리아미노산 함량 및 비율은 유사한 결과를 나타내었다.

유리아미노산을 그룹으로 분류해 비교한 결과로 습식 숙성은 0일 차와 비교해 모든 항목에서 함량이 증가하였으며 숙성 60일에 다른 숙성방법보다 sweet, savory, bitter, functional이 유의적으로 높게 나타났다. 건식 숙성 및 건식포장 숙성의 sweet는 0일 차와 비교해 감소했으며 savory, bitter, functional은 증가하고, 건식 숙성과 건식포장 숙성은 통계적으로 유사한 결과가 나타났다.

전자혀 센서 측정 결과 건식포장 숙성과 건식 숙성의 sourness는 숙성기간이

경과함에 따라 유의적으로 감소하였으며, umami는 유의적으로 증가하였다. Richness도 증가하였으나 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. 숙성방법별로 비교하였을 때 sourness는 습식 숙성에서 높은 경향을 보였고 bitterness는 30일 차에 습식 숙성이 건식 숙성보다 유의적으로 높게 나타났다. Umami는 숙성 30일 차부터 건식 숙성, 건식포장 숙성이 습식 숙성보다 유의적으로 높게 나타났고 숙성 60일 차에는 건식 숙성이 가장 높게 나타났다. Richness는 건식 숙성이 높은 경향을 보였으며 숙성 45일 차에는 습식 숙성보다 유의적으로 높은 결과가 나타났다. 또한, 건식 숙성과 건식포장 숙성은 60일 차 umami, 45일 차 satiness를 제외하고 모든항목에서 유사한 결과를 보였으며 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

육질 분석, 유리아미노산, 전자혀 센서와 상관관계를 분석한 결과 savory, bitter, functional 그룹 및 총 유리아미노산의 함량은 숙성기간과 정(+)¹의 상관관계가 나타났으며, 전자혀 항목 중 sourness는 숙성기간과 부(-)¹의 상관관계가 나타나고, umami, richness, saltiness는 숙성기간과 정(+)¹의 상관관계가 나타났다. 또한, glutamic acid, aspartic acid의 함량과 비율 모두 감칠맛을 나타내는 센서 umami, richness와 상관관계가 나타나지 않았다. umami의 감각 점수는 taurine, β -alanine, γ -aminobutyric acid, ethanolamine, ammonia, lysine, histidine의 함량 및 비율과 정(+)¹의 상관관계가 나타났으며, phosphoethanolamine, glutamine, arginine과 부(-)¹의 상관관계가 나타났다.

이상으로 본 연구의 결과를 종합해 보면, 숙성기간이 경과 함에 따라 유리아미노산의 함량은 증가했으며 습식 숙성의 유리아미노산이 더 풍부했다. 또한, 전자혀 측정 결과 건식 숙성과 건식포장 숙성은 습식 숙성방법보다 umami, richness, saltiness를 향상시켰으며, 건식 숙성과 건식포장 숙성은 유리아미노산 분석과 전자혀 측정 결과가 거의 동일하게 나타났다. 이는 두 숙성방법이 동일한 풍미를 제공하는 것으로 보여지며, 건식포장 숙성방법이 다른 숙성방법을 대안할 수 있는 가능성을 확인하였다. 향후 유리아미노산 이외에 지방산 및 핵산 물질과 같은 풍미 물질의 차이를 규명하고 소고기 품질향상을 위한 추가연구가 필요하다.

VI. 인용 문헌

- Ahnström, M. L., Seyfert, M., Hunt, M. C., Johnson, D. E. (2006). Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Science*, 73 (4), 674-679.
- Aoki, Y., Tani, H., Shimizu, N., Yamaguchi, S., Iwamoto, E., Fuzita, K. (2009). Influence of the formula feed which contained mainly full-fat rice bran, barley bran, rough ground barley and broken rice on the productivity and meat quality in fattening Japanese Black cows. *Bulletin of Beef Cattle Science*, 87, 19-28.
- Baldwin, E. A., Bai, J., Plotto, A., Dea, S. (2011). Electronic noses and tongues: applications for the food and pharmaceutical industries. *Sensors*, 11 (5).
- Bartoshuk, L. M. (2000). Comparing sensory experiences across individuals: recent psychophysical advances illuminate genetic variation in taste perception. *Chemical Senses*, 25(4), 447-460.
- Brewer M. S. (2006). The chemistry of beef flavor: executive summary. *Department of food science and human nutrition*, 1-16.
- Bruce, H., Stark, J., Beilken, S. (2004). The effects of finishing diet and post mortem ageing on the eating quality of the *M. longissimus thoracis* of electrically stimulated Brahman steer carcasses. *Meat Science*, 67(2), 261-268.

- Calkins, C., Dutson, T., Smith, G., Carpenter, Z. (1982). Concentration of creatine phosphate, adenine nucleotides and their derivatives in electrically stimulated and nonstimulated beef muscle. *Journal of food science*, 47(4), 1350-1353.
- Calkins, C. R., Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 77(1), 63-80.
- Cameron, N. D., Enser, M. B. (1991). Fatty acid composition of lipid in *longissimus dorsi* muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Science*, 29(4), 295-307.
- Campbell, R., Hunt, M., Levis, P., Chambers Iv, E. (2001). Dry aging effects on palatability of beef *longissimus* muscle. *Journal of food science*, 66(2), 196-199.
- Cho, S. H., Kim, J., Park, B. Y., Seong, P. N., Kang, G. H., Kim, J. H., Kim, D. H. (2010). Assessment of meat quality properties and development of a palatability prediction model for Korean Hanwoo steer beef. *Meat Science*, 86(1), 236-242.
- Chou, U. D. (1995). Use and development sensation sensor. *Bulletin food technology*, 8, 122-131
- Chung K. Y, Lee, S. H, Chang, S. S. (2018). The effect of genomic estimated breeding value and feeding condition to performance, carcass characteristics, and fatty acid composition of Hanwoo steer. *Proceeding of Annual Congress of KSAST*, 120

- Dashdorj, D., Amna, T., Hwang, I. (2015). Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview. *European Food Research and Technology*, 241(2), 157-171.
- Degeer, S. L., Hunt, M. C., Bratcher, C. L., Crozier-Dodson, B. A., Johnson, D. E., Stika, J. F. (2009). Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Science*, 83(4), 768-774.
- Feidt, C., Petit, A., Bruas-Reignier, F., & Brun-Bellut, J. (1996). Release of free amino-acids during ageing in bovine meat. *Meat Science*, 44(1), 19-25.
- Foraker, B. A., Gredell, D. A., Legako, J. F., Stevens, R. D., Tatum, J. D., Belk, K. E., Woerner, D. R. (2020). Flavor, tenderness, and related chemical changes of aged beef strip loins. *Meat and Muscle Biology*, 4(1), 1-18.
- Gray, J., Gomma, E., Buckley, D. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, 111-123.
- Hanagasaki, T., Asato, N. (2018). Changes in free amino acids and hardness in round of Okinawan delivered cow beef during dry-and wet-aging processes. *Journal of Animal Science and Technology*, 60(1), 1-9.

- Harada-Paderno, S. d. S., Dias-Faceto, L. S., Selani, M. M., Conti-Silva, A. C., Vieira, T. M. F. d. S. (2021). Umami Ingredient, a newly developed flavor enhancer from shiitake byproducts, in low-sodium products: A study case of application in corn extruded snacks. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, *138*, 110806.
- Hiner, R. L., Thornton, J. W., Alsmeyer, R. H. (1965). Palatability and quantity of pork as influenced by breed and fatness. *Journal of food science*, *30*(3), 550-555.
- Hong, H. K., Shin, H. W., Park, H. S., Yun, D. H., Kwon, C. H., Lee, K. C., Kim, S. T., Moriizumi, T. (1996). Gas identification using micro gas sensor array and neural-network pattern recognition. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *33*(1-3), 68-71.
- Hwang, S. H., Lee, J., Nam, T. G., Koo, M., Cho, Y. S. (2022). Changes in physicochemical properties and bacterial communities in aged Korean native cattle beef during cold storage. *Food Science & Nutrition*. *10*(8), 2590-2600.
- Iida, F., Miyazaki, Y., Tsuyuki, R., Kato, K., Egusa, A., Ogoshi, H., Nishimura, T. (2016). Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle. *Meat Science*, *112*, 46-51.
- Inoue, K., Shirai, T., Ochiai, H., Kasao, M., Hayakawa, K., Kimura, M., Sansawa, H. (2003). Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing γ -aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. *European journal of clinical nutrition*, *57*(3), 490-495.

- Jeremiah, L. E., Gibson, L. L. (2003). The effects of postmortem product handling and aging time on beef palatability. *Food Research International*, 36(9), 929-941.
- Joo, S. T., Hwang, Y. H., Frank, D. (2017). Characteristics of Hanwoo cattle and health implications of consuming highly marbled Hanwoo beef. *Meat Science*, 132, 45-51.
- Jung, E. Y., Hwang, Y. H., Joo, S. T. (2016). The relationship between chemical compositions, meat quality, and palatability of the 10 primal cuts from Hanwoo steer. *Korean journal for food science of animal resources*, 36(2), 145.
- Jung, S., Bae, Y. S., Kim, H. J., Jayasena, D. D., Lee, J. H., Park, H. B., Kang, N. H., Jo, C. H. (2013). Carnosine, anserine, creatine, and inosine 5'-monophosphate contents in breast and thigh meats from 5 lines of Korean native chicken. *Poultry Science*, 92(12), 3275-3282.
- Warren, K. E., Kastner, C. L. (1992). A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins. *Journal of Muscle Foods*, 3(2), 151-157.
- Kim, J. H., Jeon, M. Y., Lee, C. H. (2019). Physicochemical and sensory characteristics of commercial, frozen, dry, and wet-aged Hanwoo sirloins. *Asian-Australasian Association of Animal Production Societies*, 32(10), 1621-1629.

- Kim, J. H., Kim, D. H., Ji, D. S., Lee, H. J., Yoon, D. K., Lee, C. H. (2017). Effect of aging process and time on physicochemical and sensory evaluation of raw beef top round and shank muscles using an electronic tongue. *Korean journal for food science of animal resources*, 37(6), 823.
- Kim, Y. H. B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., Hunt, M. C. (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Science*, 144, 74-90.
- Ko, Y. A., Kim, S. H., Song, H. S. (2017). Effect of salt concentration and fermentation temperature on changes in quality index of salted and fermented anchovy during fermentation. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 32(1), 27-34.
- Kobayashi, Y., Habara, M., Ikezaki, H., Chen, R., Naito, Y., Toko, K. (2010). Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores. *Sensors*, 10(4), 3411-3443.
- Koutsidis, G., Elmore, J. S., Oruna-Concha, M. J., Campo, M. M., Wood, J. D., Mottram, D. S. (2008). Water-soluble precursors of beef flavour. Part I: Effect of post-mortem conditioning. *Meat Science*, 79(2), 270-277.
- Kwak, J., Lee, J. S., Yoon, M. R., Chun, A., Lee, C. K., Kim, W. H. (2015). Evaluation of the taste of cooked rice with different rice cultivars using taste sensing system. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 27(2), 172-175.

- Lee, H. J., Choe, J. H., Kim, K. T., Oh, J. M., Lee, D. G., Kwon, K. M., Choi, Y. I., Jo, C. H. (2017). Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(12), 1733-1738.
- Lee, H. J., Choe, J., Kim, M., Kim, H. C., Yoon, J. W., Oh, S. W., Jo, C. H. (2019). Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry- and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses. *Meat Science*, 151, 82-88.
- Li, X., Babol, J., Bredie, W. L., Nielsen, B., Tománková, J., Lundström, K. (2014). A comparative study of beef quality after ageing longissimus muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing. *Meat Science*, 97(4), 433-442.
- Li, X., Babol, J., Wallby, A., Lundström, K. (2013). Meat quality, microbiological status and consumer preference of beef gluteus medius aged in a dry ageing bag or vacuum. *Meat Sci*, 95(2), 229-234.
- Macleod, G. (1986). The scientific and technological basis of meat flavours. *Developments in Food Flavors*, 191-223.
- Macleod, G. (1994). The flavour of beef. *Flavor of meat and meat products*. 4-37.
- Macleod, G., Seyyedain-Ardebili, M. (1981). Natural and simulated meat flavors (with particular reference to beef). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 14(4), 309-437.

- May, S. G., Dolezal, H. G., Gill, D. R., Ray, F. K., Buchanan, D. S. (1992). Effect of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *Journal of animal science*, 70(2), 444-453.
- Mikami, N., Toyotome, T., Yamashiro, Y., Sugo, K., Yoshitomi, K., Takaya, M., Han, H. K., Fukushima, M., Shimada, K. (2021). Dry-aged beef manufactured in Japan: Microbiota identification and their effects on product characteristics. *Food Research International*, 140, 110020.
- Monsón, F., Sañudo, C., Sierra, I. (2005). Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science*, 71(3), 471-479.
- Moody, W. G. (1983). Beef flavor—a review. *Food Technology*, 37, 227-238.
- Morrissey, P., Sheehy, P., Galvin, K., Kerry, J., Buckley, D. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49, S73-S86.
- Mottram, D. S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*, 62(4), 415-424.
- Nishimura, T., Kato, H. (1988a). Taste of free amino acids and peptides. *Food reviews international*, 4(2), 175-194.
- Nishimura, T., Ra Rhue, M., Okitani, A., Kato, H. (1988b). Components contributing to the improvement of meat taste during storage. *Agricultural and biological chemistry*, 52(9), 2323-2330.

- Nollet, L., Feng-Chen, A., Coggins, A., Hyldig, A., Kerth, C., McKee, L. (2012). Land animal products. *Handbook of Meat, Poultry, and Seafood Quality*, 1(3), 140-155.
- Obuz, E., Akkaya, L., Gök, V., Dikeman, M. E. (2014). Effects of blade tenderization, aging method and aging time on meat quality characteristics of Longissimus lumborum steaks from cull Holstein cows. *Meat Science*, 96(3), 1227-1232.
- Oh, H. M., Lee, H. J., Lee, J. Y., Jo, C. H., Yoon, Y. H. (2019). Identification of microorganisms associated with the quality improvement of dry aged beef through microbiome analysis and DNA sequencing, and evaluation of their effects on beef quality. *Journal of food science*, 84(10), 2944-2954.
- Parrish Jr, F., Boles, J., Rust, R., Olson, D. (1991). Dry and wet aging effects on palatability attributes of beef loin and rib steaks from three quality grades. *Journal of food science*, 56(3), 601-603.
- Pharmacy180. Sense of taste. <https://www.pharmacy180.com/article/sense-of-taste-3586/>
- Rhee, K. S., Davidson, T. L., Cross, H. R., Ziprin, Y. A. (1990). Characteristics of pork products from Swine Fed a high monounsaturated fat diet: Part 1—Whole muscle products. *Meat Science*, 27(4), 329-341.

- Rotola-Pukkila, M. K., Pihlajaviita, S. T., Kaimainen, M. T., Hopia, A. I. (2015). Concentration of umami compounds in pork meat and cooking juice with different cooking times and temperatures. *Journal of Food Science*, 80(12), C2711-C2716.
- Sabikun, N., Bakhsh, A., Rahman, M. S., Hwang, Y. H., Joo, S. T. (2021). Volatile and nonvolatile taste compounds and their correlation with umami and flavor characteristics of chicken nuggets added with milkfat and potato mash. *Food Chemistry*, 343, 128499.
- Savell, J. W., Mueller, S. L., Baird, B. E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70(3), 449-459.
- Savell J. W.(2008) Dry-aging of beef: executive summary. *National Cattlemen's Beef Association*. 1-16.
- Shahidi, F. (1994). Flavor of meat and meat products – an overview. *Flavor of meat and meat products*, 1-3.
- Shahidi, F., Rubin, L. J., D'Souza, L. A., Teranishi, R., Buttery, R. G. (1986). Meat flavor volatiles: A review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 24(2), 141-243.
- Sitz, B. M., Calkins, C. R., Feuz, D. M., Umberger, W. J., Eskridge, K. M. (2005). Consumer sensory acceptance and value of domestic, Canadian, and Australian grass-fed beef steaks. *Journal of Animal Science*, 83(12), 2863-2868.

- Smaldone, G., Marrone, R., Vollano, L., Peruzzy, M. F., Barone, C. M. A., Ambrosio, R. L., Anastasio, A. (2019). Microbiological, rheological and physical-chemical characteristics of bovine meat subjected to a prolonged ageing period. *Italian Journal of Food Safety*, 8(3).
- Smith, G., Culp, G., Carpenter, Z. (1978). Postmortem aging of beef carcasses. *Journal of Food Science*, 43(3), 823-826.
- Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Harris, K. B., Miller, R. K., Griffin, D. B., Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat Science*, 79(4), 631-639.
- Specht, K., Baltes, W. (1994). Identification of volatile flavor compounds with high aroma values from shallow-fried beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10), 2246-2253.
- Sturdivant, C., Lunt, D., Smith, G., Smith, S. (1992). Fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular adipose tissues and *M. longissimus dorsi* of Wagyu cattle. *Meat Science*, 32(4), 449-458.
- Terjung, N., Witte, F., Heinz, V. (2021). The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging. *Meat Science*, 172, 1083-1085.
- Tian, Z., Zhu, Q., Chen, Y., Zhou, Y., Hu, K., Li, H., Lu, K., Zhou, J., Liu, Y., Chen, X. (2022). Studies on flavor compounds and free amino acid dynamic characteristics of fermented pork loin ham with a complex starter. *Foods*, 11(10), 1501.

- Tran, T. U., Suzuki, K., Okadome, H., Homma, S., Ohtsubo, K. i. (2004). Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. *Food Chemistry*, 88(4), 557-566.
- Utama, D. T., Kim, Y. J., Jeong, H. S., Kim, J., Barido, F. H., Lee, S. K. (2020). Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of dry-aged beef from Hanwoo cows slaughtered at 60 or 80 months old. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 157.
- Wang, X., Feng, T., Wang, X., Xia, S., Yu, J., Zhang, X. (2022). Microwave heating and conduction heating pork belly: Non-volatile compounds and their correlation with taste characteristics, heat transfer modes, and matrix microstructure. *Meat Science*, 192, 108899.
- Yanagihara, K., Yano, Y., Nakamura, T., Nakai, H., Tanabe, R. (1995). Changes in sensory, physical and chemical properties of beef loins during prolonged conditioning at chilled temperatures. *Animal Science and Technology*. 66(2), 160-166.
- Yates, L., Dutson, T., Caldwell, J., Carpenter, Z. (1983). Effect of temperature and pH on the post-mortem degradation of myofibrillar proteins. *Meat Science*, 9(3), 157-179.
- Younathan, M. T., Watts, B. M. (1959). Relationship of meat pigments to lipid oxidation. *Journal of Food Science*, 24(6), 728-734.

Zhang X, Z. Y., Meng Q, Li N, Ren L. (2015). Evaluation of beef by electronic tongue system TS-5000Z: Flavor assessment, recognition and chemical compositions according to its correlation with flavor. *PLoS One*, 10 (9), e0137807.

Zhao, C. J., Schieber, A., Gänzle, M. G. (2016). Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations - A review. *Food Research International*, 89, 39-47.

강선문, 강근호, 성필남, 김영춘, 박범영, 조수현. (2013). 한우고기 등심 및 우둔의 숙성 중 수용성 풍미 전구물질의 변화. *동물자원연구*, 24(2), 123-129.

강선문, 강근호, 성필남, 김현섭, 정석근, 박범영, 김동훈, 조수현. (2011). 근육 부위 및 숙성에 따른 한우 경산우육의 유리 아미노산과 향기 성분. *동물자원연구*, 22(2), 109-119.

국립축산과학원. (2014). 쇠고기 맛정보시스템 구축 및 활용 연구

권하나, 최창분. (2015). 원산지과 근내지방도에 따른 소고기의 지방 함량과 단일 불포화지방산 조성 비교. *한국식품영양과학회지*, 44, 1806-1812.

김성용, 전상곤, 이계임. (2014). 쇠고기 등급별 소비자 선호도 분석. *농촌경제*, 37 (3), 1-24.

김태성. (2009). 한우 품종특질과 브랜드 전략. 한국농촌경제연구원

농림축산식품부. (2020). 숙성육 시장 현황 조사 연구. 서울YWCA

- 농림축산식품부. (2021). 농산물 주요통계. <https://lib.mafra.go.kr/skyblueimage/30090.pdf>
- 농촌진흥청 국립축산과학원. (2019). 쇠고기 건식숙성육 생산을 위한 품질 및 위생관리 가이드. 진한엠앤비.
- 박보혜, 강동훈, 정기용. (2018). 국내 한우산업 현황과 정밀축산을 활용한 한우고기 생산전망. *식품과학과 산업*, 51(3), 238-244.
- 신철교. (2006). 한우의 개량. *종축개량*, 11(7), 22-36.
- 윤진아, 신경옥, 최경순. (2015). 사람의 체내에서 타우린의 역할에 관한 연구. *한국식품영양학회지*, 28(5), 880-893.
- 이종문, 최주희, 진현주, 김태일, 박범영, 황도연, 고경철, 김천제, 황규석. (2012). 근내지방도가 한우 도체등급 요인, 이화학적 특성 및 관능적 특성에 미치는 영향. *한국축산식품학회지*, 32(5), 659-668.
- 이주리, 김선효, 이현정, 용해인, 남기창, 조철훈. (2015a). 숙성에 따른 한우 우둔의 풍미 전구물질 및 향기성분 변화. *한국식품영양학회지*, 28(6), 1019-1025.
- 이철우, 이승호, 민예진, 이수기, 조철훈, 정사무엘. (2015b). 건조숙성에 따른 저등급 한우 채끝 등심의 품질 증진. *한국식품영양학회지*, 28(3), 415-421.
- 이춘식. (2011). 최상급 한우 건조숙성육과 습식숙성육의 이화학적 특성과 관능품질에 관한 연구. 경기대학교. 수원. (국내석사학위논문)

- 이현정, 윤요한, 조철훈. (2018). 건식숙성한 우육의 유통관리 방법. *축산식품과학과 산업*, 7(2), 2-9.
- 이희영, 김종찬. (2020). E-sensing 기술 응용 건조 숙성육 품질 평가. *축산식품과학과 산업*, 9(2), 46-52.
- 정근기, 박나영, 이신호. (2006). 고급 및 저급 한우육의 저장중 품질 특성. *한국식품과학회지*, 38(1), 10-15.
- 정슬기. (2011). 지방산, 유리아미노산 및 핵산 화합물과 쇠고기 풍미의 상관관계에 관한 연구. 영남대학교. 경산. (국내석사학위논문)
- 정연복. (2020). 쇠고기 등급기준 개정 배경과 주요 내용. *축산식품과학과 산업*, 9, 81-89.
- 정인철, 김미숙, 강세주. (1997). 저장기간에 따라 추출된 쇠고기 Actomyosin 의 생물활성 변화. *한국식품영양학회지*, 10(3), 401-406.
- 조성인. (2013). 전자혀 - 인간의 혀를 대신하는 전자혀. *The Science & Technology*, 530, 60-63.
- 조수현. (2012). 한우고기 연도(軟度) 관리 시스템. *축산식품과학과 산업*, 1(1), 51-58.
- 조수현, 서그러운달님, 김동훈, 김재희. (2009). 관능특성 및 판별함수를 이용한 한우고기 맛 등급 분석. *한국축산식품학회지*, 29(1), 132-139.

조수현, 성필남, 강근호, 박범영, 정석근, 강선문, 김영춘, 김종인, 김동훈. (2011).
한우고기와 호주산 냉장수입육의 육질 및 영양성분 비교. *한국축산식품학
회지*, 31(5), 772-781.

조수현, 성필남, 김진형, 박범영, 백봉현, 이연정, 인태식, 이종문, 김동훈, 안종남.
(2008). 1등급 거세한우의 부위별 칼로리, 콜레스테롤, 콜라겐, 유리아미노
산, 핵산관련물질 및 지방산조성. *한국축산식품학회지*, 28(3), 333-343..

조수현, 이은미, 강선문, 김윤석, 서현우, 화반바, 김영춘, 성필남, 김진형, 박범영.
(2018). 건조숙성조건이 한우 설도육의 이화학적 및 관능특성에 미치는 영
향. *농업생명과학연구*, 52(4), 97-108

최성호. (2020) 쇠고기 등급제 보완 및 개선 방안 연구. 충북대학교, 축산물품질
평가원

최주희, 김학연. (2017). 건조숙성에 따른 육우 등심의 이화학적 특성에 미치는
영향. *한국식품과학회지*, 49(2), 158-161.

축산물품질평가원. (2022). 2021 축산물등급판정 통계연보, 농림축산식품부

축산물품질평가원 홈페이지 www.ekape.or.kr

축산물품질평가원, 서울대학교. (2016). 한우고기 건식숙성 방법 설정 연구. 한우
자조금 위원회.

통계청, 축산물품질평가원, 「가축동향조사」, 2022 3/4, 2022.11.18, 한우 시도/사
육규모별 농장수 및 마리수 https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EO221&conn_path=I2

한국식육과학연구회. (2018). 식육과학. 선진문화사.

한국육류유통수출협회. 2021년 소고기 수입 현황. http://www.kmta.or.kr/kr/data/stats_import_beef_mon.php

하윤경, 황인호, 최주희, 강선문, 김윤석, 설국환, 서현우, 김진형, 조수현. (2019). 건식숙성과 습식숙성조건에 따른 저등급 한우 압소 등심, 보섭 및 우둔육의 육질특성 비교. *동물자원연구*, 30(3), 121-132.

한기동, 김대곤, 김수민, 안동현, 성삼경. (1996). 축산물 및 가공 : 등급에 따른 한우육의 숙성중 이화학 및 형태학적 특성변화. *한국축산학회지*, 38(6), 589-596.

한우자조금관리위원회. (2018). 2018년 한우고기 소비 유통 모니터링.

황인호. (2018). 너는 누구니? 포장육·숙성육·건조숙성육. *축산식품과학과 산업*, 7(2), 68-73.

황대성. (2022). 쇠고기 등급제 개편 전후의 비육한우 경영성과 비교 연구. 전북대학교. 전주. (국내석사학위논문)