

김치의 생화학적 특성

최 흥 식

부산대학교 식품영양학과 및 김치연구소

Critical Review on Biochemical Characteristics of Kimchi (Korean Fermented Vegetable Products)

Hong-Sik Cheigh

Department of Food Science and Nutrition, and Kimchi Research Institute
Pusan National University, 609-735, Pusan Korea

Abstract

Kimchi is a fermented Korean vegetable product prepared using major raw materials (oriental cabbage and radish) and other ingredients through a series of processes of grading, brining, blending, and fermentation. Kimchi fermentation is initiated by various microorganisms originally present in the raw materials, but the fermentation is gradually dominated by lactic acid bacteria. Thus, the complex biochemical activities obviously occur during, before and after kimchi fermentation and their biochemical characteristics greatly differ, depending on the raw materials and processes used. This review covers in detail the numerous biochemical characteristics of sugars, organic acids, amino acids, vitamins(B complex, carotene and ascorbic acid), pectic substances, flavor components and others during preparation and preservation of kimchi.

Key Word : Kimchi, fermented food, Korean vegetable product, biochemical characteristics.

서 론

김치는 한국 고유의 채소발효식품이다. 주재료 외에 다양한 재료 (특히, 향신료, 곡물류, 젓갈 등 동물성 식품재료)를 사용하고 또, 이들 재료에서 유래된 미생물에 의하여 발효된 식품이다. 따라서 김치의 생화학적 영양학적 특성은 다양한 재료, 복잡한 발효작용 그리고 여러가지 형태의 생화학적 반응들에 의하여 이루된 것이

다. 그리고 이러한 속성 때문에 김치의 생화학적 특성을 체계적으로 규명한다는 것은 대단히 어려우며 지금까지도 이에 대한 내용은 부분적으로만 알려져 있다. 그리고 앞으로도 계속 추구 해야 할 과제라고 생각된다.

김치의 특징은 우선 다양한 재료의 사용에 있다. 그러므로 이러한 재료 자체는 여러가지 영양성분들의 공급원이자 생화학적 반응의 기본 물질(미생물, 효소, 기타 반응에 필요한 성분 등)

이 된다. 그리하여 영양성분과 그리고 다른 기본물질들은 김치제조과정중 발효과정을 겪게 되고 또 상호 반응하게 된다. 발효는 주로 젖산균에 의한 젖산발효이지만, 호기성 세균, 효모, 곰팡이들이 관여한 다른 발효과정도 동시에 진행되고 있다. 젖산균에 의한 heterofermentation과 homofermentation에 의하여 초기에 젖산, 초산 등의 유기산들과, ethanol, 탄산가스가 생성되며 후기에 젖산이 더욱 왕성하게 생성된다¹⁴⁾. 그리고 발효 초기의 호기적 조건이 차츰 혐기적 상태로 바뀌어 지며, 산화 환원 전위는 발효 전반부의 기간에서 더 높고 차츰 낮아지는 경향을 나타낸다⁵⁾. 또한 발효성 당류가 유기산 등 다른 물질로 전환되므로 점차 감소하며, 부분적으로 탄수화물 가수분해 효소에 의하여 전분 또는 기타 다당류가 저급 분자로 분해 되기도 한다. 아미노산들은 젖갈 및 다른 동물성 재료의 첨가에 따라 다양한 양상을 나타내며, 발효과정 중 미생물에 의하여 일부 이용되고 또 단백질의 가수분해에 의하여 생성되기도 한다. 그리고 amylase와 protease의 활성을 발효가 진행함에 따라 증가하다가 후기에 낮아지는 현상을 보이고 있다⁶⁻⁸⁾. 김치가 발효가 진행되면서 여러가지 향기성분 및 맛성분이 형성되고 알맞은 조직감이 이루어나, 발효가 계속되면 산패 및 조직의 연부현상이 일어난다. 김치의 연부현상에 깊이 관여하는 polygalacturonase는 발효 후기에 그 활성이 높으며, 주로 산막 미생물로 부터 분비되는 것으로 추정하고 있다. 그리고 pectin질, chlorophyll 등의 물질이 변화되고 물리적 성상에도 변화가 일어난다⁶⁻⁹⁾.

본 총론에서는 김치가 갖는 이와 같은 일련의 생화학적 특성을 김치의 영양성분, 관능적 특성에 영향을 주는 생화학적 성분 그리고 김치의 발효 및 저장과정중의 주요 생화학적 변화 등 몇개의 단원으로 나누어 살펴 보고자 한다.

김치의 영양성분

김치는 영양학적으로 비타민 B군, β-carotene, ascorbic acid의 중요한 급원이 된다. 비타민 B

군과 ascorbic acid는 원래 재료에도 함유되어 있으나 발효과정 중 생합성(?)되고 있다. β-Carotene은 고추가루, 당근, 갓, 파 등 채소류의 사용량에 따라 그 함량이 달라진다. 그리고 김치는 무기질 및 식이성 섬유질의 중요한 공급원이기도 하다. 또한 동물성 재료의 첨가 정도에 따라 단백질 및 아미노산도 상당량 함유하고 있다. 이와 같이 김치는 영양소의 공급원이면서도 또 다른 다양한 식품영양학적 기능을 갖고 있다. 즉, 김치의 각종 기능성 성분들은 소화작용증진, 변비 예방, 항돌연변이 및 항암작용, 장내 유해균들의 성장 억제와 기타 약리작용이 있다고 알려져 있다¹⁰⁾. 다음에서 김치의 영양성분을 일반성분과 당성분, 아미노산과 지방질 성분 그리고 비타민 및 미네랄 성분에 대하여 살펴 보고자 한다.

가. 일반성분 및 당성분

대표적인 김치에 해당되는 통배추김치, 각두기, 동치미의 영양성분 조성을 살펴 보면 Table 1과 같다¹⁰⁾. 통배추김치와 각두기는 단백질 2.0, 2.7%, 당질 1.3, 3.2%, 지방질 0.7% 내외, 섬유질 7.2, 5.6% 그리고 회분이 0.5, 0.7% 각각 함유하고 있다. 그러나 동치미의 경우는 앞의 두종류에 비하면 수분함량이 높은 반면에 단백질, 지방질 그리고 섬유질 함량이 낮다. 동치미의 단백질과

Table 1. Nutritional Composition of Typical Kimchi(per 100G of Edible Portion)¹⁰⁾

Components	Baechu Kimchi	Kaktugi	Dongchimi
Moisture (g)	88.4	87.0	93.6
Crude protein (g)	2.0	2.7	0.7
Total Sugar (g)	1.3	3.2	1.1
Crude fiber (g)	7.2	5.6	4.2
Crude ash (g)	0.5	0.7	0.2
Calcium (mg)	28	5	1
Iron (mg)	Trace	Trace	Trace
Vitamin A (IU)	492	946	Trace
Vitamin B ₁ (mg)	0.03	0.03	0.01
Vitamin B ₂ (mg)	0.06	0.06	0.03
Niacin (mg)	2.1	5.8	1.0
Vitamin C (mg)	12	10	7

지방질의 함량이 낮은 것은 담금시 물을 첨가하고 젓갈, 생선 등의 동물성 재료를 사용하지 않는 까닭으로 생각된다.

가장 기호성이 높은 배추김치의 당질함량은 배추품종에 따라 크게 달라진다. 그리고 배추에 함유된 환원당은 김치 담금과정에서 행하는 소금절임과정에서 조직 외부로 용출되어 6~17% 정도가 손실된다¹¹⁾. 그리고 발효과정에서도 고형물 조직으로 부터 김치국물 쪽으로 용출되어 나간다. 배추김치에 함유되어 있는 당류는 glucose, mannose, fructose, galactose, arabinose들이며, 무우김치인 깍두기의 중요한 당류는 glucose, mannose, fructose, mannositol이다^{12,13)}. 이들 당류는 영양학적 성분이기도 하지만 맛성분이기도 하고 또 김치발효에 관계하는 미생물들의 생육에 필요한 중요한 탄소원이기도 하다.

나. 아미노산 및 지방질 성분

배추김치의 아미노산은 상당량이 유리형태로 존재하며 김치재료중 젓갈, 어류, 육류 등의 첨가량에 따라 각 아미노산의 함량은 더 많아진다. 젓갈을 첨가한 배추김치와 첨가하지 않은 배추김치의 유리아미노산 함량을 살펴보면¹⁴⁾, 젓갈을 넣은 김치에서 유리아미노산의 총량이 더 많으며 함량이 높은 것들로는 glutamic acid, arginine, lysine, aspartic acid 및 alanine들이다. 그리고 무우김치의 하나인 총각김치의 유리아미노산 조성은 배추김치와 비슷하며, proline, arginine, glutamic acid, alanine, lysine 등의 함량이 많다. 특히, 젓갈을 첨가한 김치가 첨가하지 않은 것 보다 lysine과 leucine의 함량이 약 4배 이상 더 많다¹⁵⁾. 무우잎과 뿌리를 다 함께 이용하여 담근 다른 종류의 무우김치에서도 여러가지 유리아미노산이 함유되어 있으며 고형물 외에 김치국물에도 threonine, glutamic acid, alanine, cysteine, leucine 등의 함량이 많다¹⁶⁾. 이들 유리아미노산들은 영양학적 의미 외에도 미생물의 질소원 그리고 김치의 감칠맛에 기여하고 있다.

김치의 지방질은 상대적으로 그 함량이 낮으며, 젓갈 등을 첨가하지 않는 동치미 등의 김

치종류는 지방질 함량이 더 낮다(Table 1 참조). 총각김치의 경우 조지방의 함량은 0.15~0.18%이고 구성하고 있는 지방질류는 triglycerides, polar lipids, free fatty acids, monoglycerides, hydrocarbons, sterols류들이다. 그리고 18가지 종류의 지방산이 존재하고 있으며 필수지방산인 linoleic acid와 linolenic acid가 전체의 44~60%를 차지 한다¹⁵⁾. 이와 같은 무우김치의 지방질 조성은, 무우재료 외에도 첨가한 젓갈, 향신료 등으로 부터 유래된 것이기 때문에 양배추를 원료로 하여 발효시켜 만든 sauerkraut와는 다소 다른 결과를 보이고 있다³⁾.

다. 비타민 및 미네랄 성분

한편, 비타민 성분들은 Table 1에서와 같이 비타민 A는 통배추김치의 경우 492 IU, 깍두기 946 IU 함유되어 있으나 동치미는 거의 함유되어 있지 않다. 그리고 B₁은 0.01~0.03mg%, B₂는 0.03~0.06mg%, niacin 1.0~5.8mg%, 그리고 C는 7~12mg% 각각 함유하고 있다¹⁰⁾. 이들 비타민 성분들은 주재료 및 부재료의 이용량에 따라 그 함량이 크게 달라진다. 그러나 비타민 함량은 재료에 영향을 받기도 하지만, 제조 및 저장과정 중 (특히 발효과정)의 환경조건에 따라서 파괴되기도 하고 생합성되기도 한다. 주요 비타민의 발효과정 중의 변화에 대하여서는 뒤에서 다시 자세히 논하고자 한다. 한편 한국인의 식단에 있어서 김치의 섭취량을 고려할 때, 김치는 비타민의 중요한 급원이 되고 있다. 또한, 무기질 성분으로는 칼슘이 함유되어 있으며 인이나 철분은 거의 함유되어 있지 않다. Table 1에서와 같이 칼슘은 총배추김치에서 28mg%, 깍두기에서 5mg%, 동치미에서 1mg% 각각 함유하고 있으며, 무기질 성분은 재료의 조합량에 따라 그 함량이 달라질 것으로 생각된다.

관능적 특성에 영향을 주는 생화학적 성분

가. 김치의 관능적 특성

김치의 관능적 특성의 주요 요소는 맛, 냄새, 조작감 그리고 색깔이라고 할 수 있다. 김치의 맛은 신맛, 감칠맛, 짠맛, 단맛, 상쾌한 맛 등이 조화를 이루고 있으며 덜 익었을 때는 약간 짜며 과숙한 것은 신내와 군더내가 난다. 그리고 김치의 조작감은 적당한 경도와 아삭아삭하는 씹히는 특징을 주며 과숙한 것은 물리자는 현상을 나타낸다. 색은 김치 종류에 따라 다르며, 예를 들면 배추김치와 깍두기는 붉은 고추 색깔을 나타내지만 동치미나 백김치는 특별한 색깔이 없고 국물은 투명하거나 옅은 우유색을 나타낸다.

김치의 관능검사를 행함에 있어서 김치의 맛을 나타내는 묘사는 신맛, 짠맛, 상큼한 맛, 군더내 맛 등이, 냄새로는 새콤한 냄새, 풋내, 신내, 군더내 등이 그리고 조작감은 아삭아삭함, 질감, 경도 등으로 선정되고 있다^{17,18)}. 그리고 색깔은 맛, 냄새, 조작감 보다는 상대적으로 중요성이 덜 강조되고 있다. 통배추김치 세종류(생김치 : pH 6.2, 숙성된 김치 : 4.6, 과숙김치 : 3.8)에 대하여 관능검사를 행한 후 평가된 각각의 향미묘사 척도를 QDA (quantitative Descriptive Analysis) 방법으로 고찰한 바, 완숙김치에서 상큼한 맛, 상큼한 냄새 그리고 아삭아삭한 조작감이 높은 값을 가지는 반면에 과숙한 것은 신맛, 신내, 군더내에서 높은 값을 가지고 있다¹⁷⁾.

한편 배추김치의 경우 원료배추의 계절별 품종별 이화학적 특성(특히 가공적성 및 조작감)은 결과적으로 배추김치의 관능적 특성에 직접 간접으로 영향을 주기 때문에, 배추 재료의 중요성을 특히 강조한 연구결과들이 있다^{48,49)}.

나. 향미에 영향을 주는 중요한 생화학적 성분

김치의 관능적 특성을 나타내는 김치의 기본적인 화학적 성분은 김치의 다양성과 직접 관계가 있으며 김치의 종류, 제조방법, 저장방법에

따라 달라진다. 결국 김치의 향미는 각종 재료 중의 물질, 효소, 미생물 그리고 그 미생물이 분비하는 효소들의 작용으로 형성된 것이다. 그러므로 향미물질은 대단히 복잡하고 다양할 것으로 생각되나, 기본을 이루는 것은 유기산, 아미노산, 당, 소금, 휘발성화합물 기타 성분들이다.

유기산 성분

유기산은 발효과정중 당류의 전환에 의하여 생성된 것으로, 재료의 당성분과 관련 미생물의 생리적 특성에 영향을 받게 된다^{19,20)}. 김치에 사용되는 재료를 달리하여 담근 배추김치의 비휘발성 유기산으로는 lactic acid 및 succinic acid의 함량이 많으며, 향신료 특히, 고추가루 및 마늘의 첨가는 발효과정에서 유기산의 생성을 촉진시킨다. 그리고 휘발성 유기산으로는 acetic acid가 주축을 이루고 있으며 그외 몇가지 휘발성 유기산이 존재하고 있다. Acetic acid 역시 고추가루, 마늘, 생강 등의 첨가로 그 생성량이 더 증가하는 경향이나 다른 휘발성 유기산의 경우는 일정하지가 않다²¹⁾. 한편, 모든 재료를 함께 사용한 대표적인 배추김치의 비휘발성 유기산으로는 malic, fumaric, lactic, succinic, malonic, oxalic, glycolic, citric, tataric acids들이 있다. 그리고 lactic acid와 succinic acid가 주요 비휘발성 유기산이고 이들 두 유기산은 저온(6°C)에서 발효한 것이 상온(22°C)의 것보다 더 많은 경향을 보이고 있다²²⁾. 따라서 김치의 신맛과 감칠맛은 lactic acid, succinic acid가 주역 할을 담당하고 기타 다른 유기산들이 부분적으로 관여할 것으로 생각된다. 배추김치의 휘발성 유기산은 formic, acetic, propionic, butyric, valeric, caproic, heptanoic acids들이며 이들 가운데 acetic acid의 함량이 상대적으로 높다²³⁾. 결국 김치의 신내는 주로 acetic acid가 많이 관여할 것으로 생각된다. 한편, 깍두기의 비휘발성 유기산으로는 Table 2에서와 같이 lactic, succinic, citric acids들이 많고, 이들의 생성량은 소금의 농도와 발효기간에 영향을 받는다. 즉, 소금의 농도가 낮을수록 그리고 발효기간이 길수록 유기산 생성량이 많다¹⁸⁾. 동치미에서도 lactic acid 등 여러가지 종류의 유

기산들이 존재하고 이들의 함량은 소금의 농도가 낮은 동치미에서 그리고 동치미의 고형물보다 국물에 더 많다²⁴⁾. 동치미는 고형물 외에 국물을 즐겨 먹는 것을 고려할 때, 국물에 함유되어 있는 유기산이 다른 수용성 성분들과 함께 동치미 국물 맛의 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

Table 2. Nonvolatile Organic Acid Content of Kaktugi With Various Salt Concentrations and Fermentation Periods (mg/100g Kaktugi)¹⁸⁾

Organic acids	Salt concentration			
	2%		3%	
	4 days	8 days	4 days	8 days
lactic acid	24.42	40.94	19.52	31.58
Oxalic acid	0.28	0.28	0.32	0.22
Malonic acid	ND	0.02	ND	0.04
Fumaric acid	0.02	0.18	ND	0.14
Succinic acid	3.12	6.24	2.82	4.88
Maleic acid	0.02	0.04	0.02	0.04
Malic acid	0.04	3.16	0.04	3.26
Citric acid	5.78	9.06	4.34	4.81
Total	33.68	59.92	27.06	44.98

Note : ND = not detectable.

기타 맛성분

유기산을 제외한 여러가지 물질들 즉, 유리아미노산, 당, 소금, 핵산물질들 역시 김치의 향미에 크게 기여하고 있으며 감칠맛, 단맛, 짠맛을 나타내고 있다. 김치에 함유된 여러가지 유리아미노산 중에서 glutamic acid, aspartic acid, lysine 등은 독특한 맛을 내는 아미노산들이다. 그리고 젓갈 등을 첨가할 때 이러한 성분들은 더 강화되어 김치의 맛이 증진된다^{14,15)}. 김치 단맛에 기여하는 당류는 여러가지가 있으나 glucose, fructose, mannitol이 가장 주요한 역할을 한다^{12,13)}. 그러나 과잉으로 존재하는 당류는 발효과정중 유기산을 과다하게 생성시키는 원인이 된다²⁵⁾. 또한 김치 국물에 함유된 당분은 유기산 및 소금성분과 함께 국물 맛을 결정하는 중요한 요인이 된다. 짠맛을 내는 소금의 함량은 배추김치에서 약 3% 내외로 함유하는 것이 좋다고 알려져 있으나

김치의 종류, 김치의 고형물 및 국물 등에 따라서 적합한 농도는 일정하지 않다. 그리고 김치에도 inosine, hypoxanthine 등의 핵산관련물질이 함유되어 있어서 특유한 맛을 내는 바, 이는 젓갈 등 동물성 재료에서 유래된 듯 하다.

기타 휘발성 향기성분

휘발성 성분들은 극히 미량으로도 독특한 향기를 결정해 주는 중요한 기능을 지니고 있다. 김치 제조에 사용되는 여러가지 재료들이 개별적으로 지니고 있는 향기 성분 특히, 향신료들의 휘발성 향기성분은 이미 세계적으로 연구된 바 있고 많이 알려져 있다. 물론, 김치의 향기는 주재료, 부재료(특히 향신료 등), 발효 등으로부터 이루어진 극히 복잡하고 다양한 것이 특징이다. 따라서 김치 향기에 대한 부분적인 연구만으로는 김치 전체의 향기를 이해하기란 대단히 어려운 일이라고 생각된다. 그러나 앞으로 김치 향기의 유효성분, 생성 메카니즘, 전구물질의 해명 등에 대한 많은 연구가 기대된다. 김치의 휘발성 향기성분으로는 휘발성 유기산, 에탄올, 메탄올, allyl alcohol, n-hexanol, acetaldehyde, methyl ethyl ketone, acetone, propionaldehyde, methyl sulfide, ethyl sulfide, methyl ethyl sulfide, allyl sulfide, methyl disulfide, allyl disulfide, allyl cyanide, allyl isothiocyanate, dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, dipropyl disulfide, 1-butane-1-isothiocyanate, diallyl disulfide들을 역시 분리 확인한 바 있다^{22,24,26,27)}. 그리고 깍두기의 독특한 자극성의 향미는 4-methylthio-3-butetyl isothiocyanate이며 이의 생성에 관여하는 thioglucoside glucohydrolase의 활성이 중요함을 보고하고 있다²⁸⁾.

김치 발효 및 저장과정중의 주요 생화학적 변화

가. 주요특성 변화

배추 등 각종 재료를 이용하여 만드는 김치류는 제조과정 및 저장과정에서 여러가지 종류의 이화학적 변화 특히, 생화학적 변화가 일어난다.

먼저 소금 절임 및 발효과정중 재료들의 조직에서 수분과 함께 염용성 또는 수용성 물질이 용출되어 나간다. 따라서 김치국물은 대부분이 조직액이며(백김치, 동치미 등의 물김치류는 제외) 용출된 조직성분이 김치국물에 축적된다¹⁷⁾. 이와같이 생화학적 성분들의 이동과 함께, 발효과정이 진행되며 그 결과 가장 주목할만한 변화인 당성분의 감소, 유기산의 증가 그리고 pH의 저하현상이 일어난다. Fig. 1은 배추김치의 발효과정(소금농도 3%, 온도 20°C)중에 일어나는 이들의 변화를 살펴 본 것이다²⁹⁾.

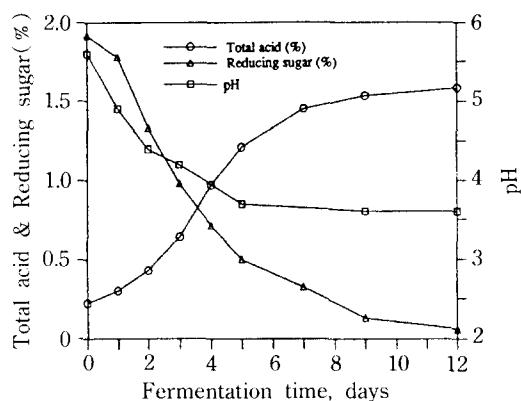


Fig. 1. Changes in total acids, reducing sugars and pH in kimchi during fermentation at 20°C (salt : 3%)²⁹⁾.

총산의 함량(젖산%)은 초기에 서서히 증가하다가 일정시간이 경과하면 급격히 증가하고 1.2% 수준에서 다시 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 반면에 pH는 초기에 많이 낮아지고 3.5 내외의 범위가 되면 거의 변화가 없다. 그리고 환원당은 초기에 급격히 감소되고 (1.9%에서 0.5% 수준까지) 그 이후에 서서히 감소하다가 후기에는 거의 존재하지 않는다²⁹⁾. 그러나 곰풀류, 전분 등을 첨가한 김치류에서는 발효 초기에 이들의 가수분해 현상으로 당의 함량이 증가하다가 계속되는 발효과정에서 미생물의 이용으로 다시 감소하게 된다⁹⁾. 총산 함량의 증가나 pH의 저하 현상은 미생물, 당함량, 소금농도, 온도 등에 크게 영향을 받고 있다. 일반적으로 pH 저하는

총산의 증가에 비하여 완만한 감소 경향을 보이고 있는데 이것은 김치에 함유하는 단백질, 아미노산 등의 완충작용으로 해석되고 있다. 그리고 향미가 가장 좋은 pH 범위와 총산의 함량은 김치 종류에 따라 다양하나 4.0~5.2 및 0.6% 내외로 보고되고 있다^{17,24,29,30)}.

당류중에서도 mannose, glucose, galactose 등을 발효가 진행되면서 점차 감소하는 반면, mannitol은 오히려 후기에 생성되다가 서서히 감소하고 있다. 그리고 초기의 환원당의 감소는 주로 전세의 50%를 차지하는 glucose의 감소에 의한 것이다^{13,31)}. 이러한 당류 성분의 감소는 미생물의 영양원으로 이용되면서 유기산 등의 물질로 전환된 것으로 판단되고 있다^{3,9,33)}. 그리고 mannitol 생성에 관한 것은 sauerkraut 발효에서도 이미 상세히 규명된 바 있다^{3,9,33)}. 한편, 재료에 함유된 유리아미노산 총량은 발효가 진행되면서 차츰 감소하며, 특히 glutamic acid, alanine, threonine, arginine 등의 아미노산이 더 감소하고 있다. 그러나 다른 경우에는 젤갈류 단백질의 분해 또는 생합성으로 유리아미노산이 증가하기도 한다^{14,15)}.

한편, 김치국물중의 탄산가스는 발효가 시작된 후 서서히 증가하다가 일정 수준(35~70mg/100ml)에 이를 후 거의 변화가 없다. 탄산가스의 용존량은 저염김치에서 또한 저온에서 발효시킨 김치에서 상대적으로 더 많은 경향을 보이고 있다^{21,23)}. 이러한 탄산가스는 발효초기에 hetero-fermentative lactic acid bacteria들에 의하여 생성된 것으로 여겨진다^{20,32,34)}. 그리고 김치국물의 탄산가스는 온도가 낮을 때 용존량이 더 높으며, 이러한 경우 탄산가스는 다른 맛성분과 함께 김치의 상쾌한 느낌에 기여하고 있다³⁾.

나. Ascorbic Acid 및 기타 비타민 성분의 변화

Ascorbic Acid의 변화

여러가지 종류의 재료에 함유되어 있는 비타민 성분들은 김치제조과정 또는 저장과정중 다양하게 변화하고 있다. 특히, 발효 환경에 따라

미생물의 이용에 의한 감소, 발효숙성과정중의 생합성 그리고 타물질로의 전환 등 여러가지 과정을 겪을 것으로 생각된다. 그러나 이러한 변화 양상에 대한 것은 아직 분명하게 알려지지 않고 있다. 비타민 성분중에서도 ascorbic acid는 김치에 가장 많이 함유되어 있는 비타민이기도 하지만, 가장 흥미 있는 연구의 대상이 되고 있다.

배추김치 발효과정(소금농도 3.5%, 온도 7°C) 중 ascorbic acid 함량 변화의 한 예를 살펴보면 Fig. 2와 같다³⁵⁾. 재료에 함유된 ascorbic acid의 평균 함량은 15.2mg %이나 발효가 진행되면서 서서히 감소하고 12일 경에서부터 다시 증가하여 거의 18mg %에 이르고 있다. 그리고 발효 18일 경에 다시 감소하고 있다. 즉, 초기에 유산균 증가 속도가 완만한 시기(김치가 숙성된 시기)인 12~18일(pH는 4.2 이하를 유지)에 증가하고 또 최고 수준의 함량을 유지하고 있다³⁵⁾. 한편, 무우김치인 깍두기의 발효과정(소금농도 : 5%, 온도 : 20°C) 중에 일어나는 ascorbic acid의 변화를 보면, 재료에서 27.5mg % 함유하던 것이 발효가 진행되면서 점차 감소하는 경향을 나타내며, 숙성기에 다시 증가하여 16~19mg %을 함유하다가 산폐가 일어나는 시기에는 계속 감소하고 있다²⁸⁾. 김치의 발효 과정중 이와같은 ascorbic acid의 변화 양상은 김치의 제조 조건 특히, 재료와 발효조건에 따라 다르다. 앞에서 언급한 바와 같이 배추김치와 무우김치의 ascorbic acid 함량은 재료 자체에 함유하는 그 양이 다르며 발효 조건 역시 서로 달리하고 있다. 그리고 김치제조 조건에 따라서는 발효 초기부터 ascorbic acid 함량이 증가하다가 완숙기 및 그 이후부터 계속 감소하기도 하며³⁶⁾, 발효초기부터 계속 저하되기도 한다^{30,36)}. 김치 고형물 외에 김치 국물에도 상당량 함유하고 있으며 열무김치의 경우 발효 후기에 이르며 김치 고형물이나 김치국물의 함량이 거의 비슷한 수준이 된다.

한편, 무우김치 모델의 총 비타민 C 함량은 발효 초기에 일단 감소하다가 다시 증가하여 처음 수준 이상으로 되었다가 다시 서서히 감소한다³⁸⁾. 이 모델에 있어서 발효과정중 초기에 감소되었다가 다시 증가할 때의 ascorbic acid

절대적 생합성량은 52.1%가 되며, galacturonic acid의 첨가는 ascorbic acid의 생합성을 촉진시키는 효과가 있다. 여기에서 galacturonic acid는 ascorbic acid의 전구물질로 작용하고 있으며, D-galacturonic acid는 무우 조작내 또는 김치 국물내에 존재하는 관련 효소들의 작용으로 L-galactono- γ -lactone으로 그리고 이것이 L-ascorbic acid로 전환할 것이라고 추정하고 있다. 그리고 초기적 발효조건의 총비타민 C 함량은 galacturonic acid를 첨가하지 않은 혼기적 조건에서 보다 낮다. 이것은 공기 접촉을 통한 총비타민 C의 파괴량이 galacturonic acid 첨가에 의한 총비타민 C의 증가된 합성량보다 더 크기 때문으로 해석하고 있다. 또한 김치 모델에 있어서 ascorbic acid의 생합성 및 안정성에는 pH 4.0~4.5의 범위가 유리하다고 한다³⁸⁾. 일반적으로 galacturonic acid는 김치 발효과정중에 배추나 무우에 함유된 glucose나 pectin에서 생성될 수 있는 물질이다. 또한, 식물조작내에서나 김치에서 ascorbic acid는 관련 효소들에 의하여 glucose나 galactose로도 생합성된다고 보고되고 있다^{30,39)}.

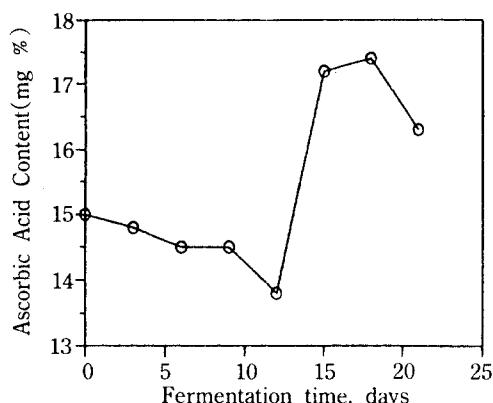


Fig. 2. Changes in ascorbic acid content in kimchi during fermentation at 7°C (salt : 3.5%)³⁵⁾.

그러나 김치제조 및 저장과정중의 ascorbic acid의 변화는 재료의 종류와 조합, 주재료의 품종, 발효 및 저장의 환경조건에 따라서 다양한 양상으로 나타난다. 각종 김치발효과정중 단백질(쇠고기 추출물, 생선단백질, 우유단백질, 콩단백

질분리물)과 당류(glucose, lactose, sucrose)들은 이의 안정성에 영향을 미치지 않으며, citric acid 및 sodium citrate의 혼합물(1:9)은 그의 안정성에 기여한다.^{36,39)} 그리고 재료에 존재하는 ascorbic acid oxidase에 의하여 파괴될 수도 있고 또 소금절임에 의하여서도 감소된다.^{40,41)} 또한 김치통조림할 때 ascorbic acid는 일부 파괴되며, 통조림김치의 저장과정에서도 서서히 감소된다.⁹⁾ 그외, 김치에 함유된 ascorbic acid의 안정성은 김치의 pH와 산소량, 온도, 마늘, 보존제(sodium sorbate)들의 영향을 받는다.^{9,31,37,38)}

한편, 배추김치를 대포장 용기에 담아 발효시키는 경우 ascorbic acid가 국물 쪽으로 용출되어 국물에서는 이의 함량이 증가되는 경향을 보이긴 하였으나 병포장하여 내용물 전체를 기준으로 그 함량을 측정하였을 때 전체적으로 발효기간의 경과에 따라 감소하는 경향을 보였다고 한다.³⁰⁾

기타 비타민

김치는 ascorbic acid 외에 여러가지 종류의 비타민 B 물질들을 함유하고 있다. 배추김치 발효과정(소금농도: 3.25%, 온도: 2~7°C) 중 이들 비타민 B군의 함량변화를 보면, Fig. 3과 같다.³⁰⁾ 즉, 비타민 B₁, B₂, B₁₂ 및 niacin 모두가 발효초기부터 서서히 증가하여 김치의 완숙기에 이르는 21일에 최고의 함량에 달한 다음 그후에 다시 급격하게 감소하고 있다. 김치의 숙성기에 이들 함량이 높은 수준에 있고, 이때의 B₁과 B₂의 함량은 초기의 2배에 달하고 있다. 그리고 산도의 증가와 산폐의 현상이 나타나는 시기에 이들의 함량은 급격히 감소한다. 이러한 후기의 감소경향은 각 성분마다 다르고 B₁과 niacin이 더 급격하게 일어나고 있다.³⁰⁾ 그러나 김치 발효과정중의 비타민 B군의 변화는 발효초기에 증가하다가 감소하기도 하며, 반대로 온도 10°C에서 발효시킨 다른 종류의 김치에서는 비타민 B₂가 초기의 함량보다 무려 156~173%나 증가되고 숙성 말기에도 거의 초기와 같은 수준의 함량을 지니고 있다.³⁷⁾

이와같은 김치발효 초기의 비타민 B군의 증가현상은 미생물에 의한 생합성에 의한 것으로

여겨지며, 따라서 관련미생물의 종류와 발효조건에 따라서 생합성의 정도는 달라질 것이다. 배추김치를 제조할 때, 비타민 B₁₂ 생산균주로 알려진 *Propionibacterium freudenreichii* ss. *shermani*균주를 접종시켜서 4°C에서 발효시키면 최고 4배까지 그 함량을 증대시킨 사례가 있다.⁴²⁾

한편, 비타민 A의 전구물질인 carotene은 고추가루, 갓, 무우청 등의 부재료에 영향을 많이 받으며⁷⁾, 발효진행과 함께 감소하고 말기의 과숙시기에는 처음의 50% 수준이 된다. 그러나 후기의 감소율은 다른 비타민에 비하여 완만한 경향을 나타낸다.

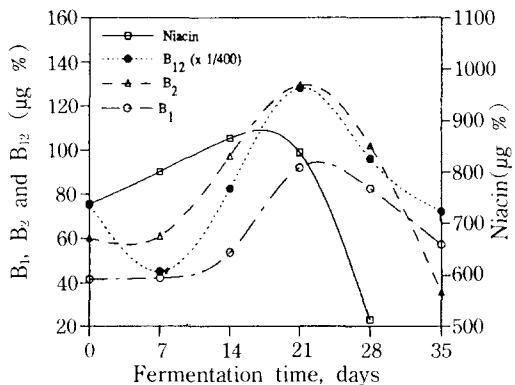


Fig. 3. Changes in the B vitamin content in kimchi during fermentation at 2 to 7°C (salt: 3.25%)³⁰⁾.

다. 유기산의 생성

김치 특유의 향미와 조직감은 김치 제조과정 중에 형성된 것이며 산미와 조직감은 여러가지 활동적 특성 가운데 대표적인 요인이다. 그러나 발효과정이 계속 진행됨에 따라 여러가지 성분변화 역시 지속적으로 일어나며, 식용하기에 알맞는 완숙기가 지나면 과도한 신맛과 신내가 나며 조직의 연부현상이 일어난다. 이러한 현상을 과숙현상이라 하고 과숙김치의 기호성은 상대적으로 크게 떨어지며, 김치의 저장성을 어렵게 하는 원인이 되고 있다. 김치의 과숙현상은 식염농도가 낮을 때, 김치 담금 및 저장온도가 높을 때, 장기간 저장했을 때 그리고 김치 표면에

산막 미생물에 의한 피막이 형성되었을 때 흔히 일어난다.

김치 발효과정 중 유기산의 생성에 의한 유기산 함량의 증가 및 pH 저하 현상은 김치발효의 특징적인 현상이다(Fig. 1 참조). 유기산은 발효에 관련되는 미생물 특히, heterofermentative lactic acid bacteria 및 homofermentative lactic acid bacteria들에 의하여 당류로 부터 전환된다고 알려져 있다^{4,7,32,34)}. 따라서 김치재료, 관련 미생물, 발효조건(특히 소금농도와 온도)에 따라서 생성되는 유기산의 종류와 그 양도 달라지게 된다. 뿐만 아니라 발효 시기에 따라 김치에 함유되어 있는 유기산의 구성도 달라지게 된다.

배추김치 모델의 발효과정 (재료: 배추, 고추 가루 및 소금, 소금농도: 3%, 온도: 12~16°C) 중 발효 1일, 발효 4일 그리고 발효 7일 김치들의 유기산 함량을 살펴보면 비휘발성 유기산으로 lactic, succinic, fumaric, malic acids들이 주성분이며, 발효기간의 경과에 따라 이들의 함량과 구성은 변하고 있다. 주요 유기산인 lactic acid는 발효 초기부터 지속적으로 생성되어 후기에 까지 많은 함량을 보이고 있다. 그러나 이와는 반대로 malic acid는 발효 초기에 상대적으로 많이 생성되었다가 발효 4일 이후 거의 없어지고 있다. 그리고 succinic acid는 발효 4일에 많이 함유하고 있다가 7일째에는 약간 감소하고 있다. 한편, 휘발성 유기산으로는 acetic acid가 대표적인 산이며, acetic acid 외에 propionic, butyric, valeric, caproic, heptanoic acids들이 있고 이들은 거의 발효기간 경과에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다²¹⁾. 그러므로 과숙기의 신맛과 신내는 주로 lactic acid와 acetic acid에 의한다고 할 수 있으며, 이들의 생성은 김치의 주산균으로 알려진 *Lactobacillus plantarum*이 중요한 역할을 한다⁴⁾. 유기산은 김치의 재료 자체에도 함유하고 있으나 이들은 유기산염의 형태로 주로 존재하고 있으며 발효과정 중 유리상태로 전환된다고 한다²²⁾.

한편, 동치미 모델(재료는 무우(300), 소금(8), 물(450)임, 온도 2°C)에 있어서 발효과정 중의 산도는 저암 김치인 관계로 발효 2일부터 급격히 증가하고, 이때 김치 고형물의 산도 증가와 함께

김치 국물 역시 같은 경향으로 증가한다. 그리고 발효과정 중 비휘발성 유기산의 구성 비율의 변화를 보면 주된 유기산인 lactic acid는 발효 기간 경과에 따라 증가하는 경향이며 특히, 숙성 5일에 많은 비율로 늘어나고 있다. 그러나 succinic acid는 발효 3일째를 고비로 많은 비율을 차지했다가 다시 감소하고 있다²⁴⁾. 발효의 진행에 따른 이와같은 유기산의 함유 비율은 김치의 산미에 결정적인 특징을 주게 되는 요인이다. 또한 과숙한 김치의 신맛과 신내의 원인이 된다.

라. 펩틴질 성분의 변화 및 연화 현상

김치의 조직감은 여러가지 물성학적 특성이 함께 어울려서 이루어진 것이 특징이다. 배추 재료는 소금절임에 의하여 절단력과 유연성이 증가하나 씹을 때 아삭아삭 깨어지는 성질이 줄어진다. 이러한 현상은 소금절임과 처리에 의하여 조직 내부의 공기가 탈기되고 수분이 용출됨에 따라 세포벽이 쭈글어 지면서 포개지기 때문으로 생각되고 있다⁴³⁾. 그뿐만 아니라 pectin 성분들의 결합상태의 변화에도 원인을 두고 있다. 즉, pectin chain 사이의 가교결합 상태로 존재하는 Ca^{++} , Mg^{++} 이 소금용액의 Na^+ 과 부분적으로 치환되거나, pectin의 carboxyl radical에 Na^+ 이 결합하고, 아울러 Na^+ 이 pectin과 cellulose 사이의 수소결합을 해체하기 때문에 생각되고 있다⁴⁴⁾. 소금절임 과정에 이어 발효과정에서도 배추김치의 조직감 변화는 계속되며 완숙되었을 때 김치의 유연성과 조직감은 관능적으로 가장 좋은 상태를 유지하게 된다. 그러나 과숙하게 되면 조직이 부드러워지고 심하면 연부 현상이 일어나게 된다^{12,17)}. 소금농도에 따라 차이는 있으나, 각두기의 발효과정에서도 배추김치에서와 같은 조직감의 변화가 일어나며 과숙하게 되면 연부현상이 일어나 김치의 품질을 크게 손상시키게 된다. 김치 고형물 조직의 연부현상은 소금 농도, 발효 및 저장온도, 산막미생물 등의 영향을 받는다고 알려져 있다^{7,11,13)}.

대체로 김치의 연부현상은 발효 후기에 많이

일어나고 있으므로 재료 자체가 지니고 있는 효소보다는 미생물 효소들에 의하여 조직이 연화된다고 생각된다. Sauerkraut의 연부현상에 관여하는 미생물과 관련 효소들에 대하여서는 이미 잘 알려져 있으며^{32,33)} 김치에서도 상당히 많이 밝혀지고 있다. 그러나 김치의 연부에 직접 관련이 있는 세포벽의 성분과 구조, 이들의 붕괴에 관여하는 여러가지 효소와 기능적 역할, 해당 효소들을 분비하는 미생물 그리고 연부방지에 대한 체계적인 규명이 더 필요하다고 생각된다.

지금까지 가장 널리 알려진 김치 연화의 가장 큰 요인은 pectin질의 붕괴에 있다고 하며, 여러가지 효소중에서도 polygalacturonase가 중요한 역할을 맡고 있다고 한다³⁴⁾. 생배추 종의 총 pectin질 함량은 1.132% 이었고 소금절임이나 열처리에 의하여 조직중의 총 pectin함량은 감소한다고 하였다⁵¹⁾. 저염배추김치의 발효과정(소금농도: 2%, 온도: 20°C) 중 배추조직의 alcohol insoluble solid, protopectin, pectic acid, water soluble pectin 등의 변화를 보면 Table 3과 같다⁴⁵⁾. 즉, alcohol insoluble solid과 protopectin은 발효가 진행됨에 따라 감소하고 pectic acid와 water soluble pectin은 반대로 증가하고 있다. 또한 무우조직의 연화현상을 억제하기 위하여 pH 조정제(예: sodium malate buffer)를 사용하거나, 예비열처리 및 CaCl₂ 처리에 의하여 polygalacturonase와 pectinesterase의 특성을 조정한 시도가 있다^{44,46)}.

한편 pectin질의 연화관련 효소를 분리하고 이들의 효소학적 특성을 규명하여 배추 및 오이등의 연화 방지를 위한 효소활성 조정에 대한 시도도 발표된 바 있다⁵²⁾.

마. 김치 발효중 NO₂ 및 니트로사민 성분들

김치내에 니트로사민의 생성 가능성 때문에 김치재료의 NO₂, NO₃ 및 니트로사민의 함량 변화를 연구한 결과들이 많이 있다^{53,54)}. 일반적으로 산성 조건에서 아질산염과 제2급 아민이 반응하면 발암성의 니트로사민이 생성된다고 알려져 있다.

Table 3. Changes in Pectic Substances in Kimchi during Fermentation with 2% Salt Concentration at 20°C⁴⁵⁾

Pectic substances	Fermentation period (days)		
	0	3	7
Alcohol-insoluble solid(%)	2.7	2.0	1.5
Protopectin(mg%)	140.4	110.5	54.0
Pectic acid(mg%)	159.3	157.5	208.5
Water-soluble pectin(mg%)	189.0	657.0	433.5

주재료인 배추의 NO₃ 함량은 속부분 보다는 겉 부분이 그리고 잎보다는 줄기 부분에 더 많이 함유되어 있다. 그리고 다른 부재료들에도 함유되어 있으나 NO₃의 주공급원은 배추라고 보고되고 있다. 그러나 NO₂의 함량은 매우 낮아 0~0.5ppm 또는 검출되지 않았다는 보고가 많다. 그리고 니트로사민 역시 검출한계 미만 또는 흔적 정도이었다고 보고하고 있다. 결국 김치체계에서 존재하는 여러가지 다른 물질이 직접 아질산염과 반응하여 N-nitroso화 반응이 저지되는 것으로 생각된다. 특히 아질산염과 phenol류와의 반응, 아질산염과 ascorbic acid와의 반응 그리고 아질산염과 다른 환원성 물질과의 반응 등이 그러한 역할을 할 것으로 기대 되며, 따라서 니트로사민류의 생성량이나 그 수준은 거의 없거나 우려되는 범위 이하라고 사료되고 있다^{53,54)}.

결 론

김치에 관한 연구는 1934년부터 시작되었으므로 그 연구 역사도 60여년이 되었다. 그리고 그간에 발표된 여러가지 연구 논문 수는 상당수에 달하는 것으로 알려지고 있다. 그러나 산발적으로 이루어진 이러한 기초 및 응용연구들은 많은 부분에서 미흡한 수준에 있으며 김치의 생화학적 특성에 관한 연구 역시 예외는 아니라고 판단된다. 그러므로 이제 김치에 관한 기초 연구는 다시 체계적으로 수행하여야 할 시점에 와 있는 것 같다.

김치의 생화학적 특성에 관한 기초 연구는 앞으로 많은 세부 분야로 나누어서 보다 체계적으로 그리고 유관분야끼리 협동적으로 이루

어져야 할 것으로 생각된다. 특히, 발효 메카니즘, 젖산균군의 특성, 효모의 역할, 유기산 생성과 산폐작용, 향미 성분의 특성과 생성메카니즘, 바람직하지 않은 회발성 성분, 조직감의 변화와 그 메카니즘, 영양 성분 분석 및 생성 메카니즘, 영양생리 특성, 산화와 항산화 특성 등의 분야에서 전문적인 연구가 이루어져야 하겠다. 그리고 이러한 분야 내의 세부과제는 연구가 계속 진행되면서 다른 기회에 세부 내용별 더 자세히 논할 기회가 있기를 빈다.

감사의 말

본 논문은 한국학술진흥재단 '94 자유공모 학술연구조성비 및 부산대학교 '94 학술연구조성비의 지원에 의하여 이루어진 '기초 연구' 결과의 일부이며, 이에 깊히 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Cheigh, H. S. and Park, K.Y., Biochemical, microbiological and nutritional aspects of kimchi(Korean fermented vegetables products), *Critical Review in Food Sci. and Nutr.*, 34(2), 175~203, 1994.
- 신동화, 구영조. 김치산업의 현황과 전망, 식품과학, 21(1), 4~11, 1988.
- Steinkraus, K. H., Cullen, R. E., Peterson, C. S., Nellis, L. F. and Gavitt, B. K., Eds., *Handbook of Indigenous Fermented Foods*, Marcel Dekker, New York, 99~131, 1983.
- 최선미, 전영수, 박건영, 최홍식. 김치담금을 위한 배추 절임시 수분 당, 미생물 및 질산염, 아질산염의 함량 변화, 부산대학교 가정대학 연구보고, 17, 25~37, 1991.
- 정동효. 김치성분에 관한 연구(제3보) 동치미의 산화화원 진위에 대하여, 한국식품과학회지, 2(2), 34~37, 1970.
- 최홍식, 이정민. 김치관련 연구문헌의 분류 분석 및 김치연구의 동향, 부산대학교 가정대학 연구보고, 17, 11~24, 1991.
- 이서래. 한국의 발효식품, 이화여자 대학교, 서울, 141~193, 1986.
- 김상준. 한국 전통식품의 과학적 고찰, 숙명여자 대학교, 서울, 113~131, 1985.
- Kim, M. J., *Fermentation and Preservation of Korean Kimchi*, M.S. thesis, University of Leeds, 55~76, 1967.
- 식품성분표, 동춘진홍청, 수원, 27~32, 1981.
- 김중만, 김인숙, 양희천. 김치용 간절임 배추의 저장에 관한 연구(제1보) 배추의 간절임시 일어나는 이화학적 및 미생물학적 변화, 한국영양식량학회지, 16(2), 75~82, 1987.
- 이철. 김치 숙성중 조직감과 당분의 변화, 중앙대학교 대학원 식품가공학과 석사논문, 1988.
- Ha, J. H., Hawer, W. S., Kim, Y. J. and Nam, Y. J., Changes of free sugars in kimchi during fermentation, *Korean J. Food Sci. Technol.*, 21 (5), 633~638, 1989.
- 조영, 이해수. 김치의 맛성분에 관한 연구, 한국식품과학회지, 11(1), 26~31, 1979.
- 방양선. 총각김치 숙성과정 중 맛성분 변화에 관한 연구, 동아대학교 교육대학원 석사논문, 1982.
- 강동희, 우영숙, 이영경, 정승용. 고들빼기 김치의 유기성분(1) 유리아미노산에 관하여, 한국영양식량학회지, 12(2), 225~229, 1983.
- 구경형. 김치의 물리화학적 및 관능적 성질에 관한 연구, 세종대학교 대학원 식품공학과 석사논문, 1987.
- 김소연, 김광옥. 소금농도 및 저장기간이 각 두기의 특성에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 21(3), 370~374, 1989.
- 신선영. 김장김치와 양념사용, 식품과영양, 5(4), 27~30, 1984.
- 김호식, 조식현, 이춘녕. Gas chromatography에 의한 김치의 유기산 검색, 서울대학교 논문집(생동계), 14, 1~4, 1963.
- 유재연, 이해성, 이해수. 재료에 따른 김치의 유기산 및 비휘발성 향미 성분의 변화, 한

- 국식품과학회지, 16(2), 169~174, 1984.
22. 김현옥, 이해수. 속성온도에 따른 김치의 비
휘발성 유기산에 관한 연구, 한국식품과학회
지, 7(2), 74~81, 1975.
23. 천종희, 이해수. 김치의 휘발성 유기산과 이
산화탄소에 관한 연구, 한국식품과학회지, 8
(2), 90~94, 1976.
24. 지옥화. 임도를 달리한 무우김치(동치미, 짠
자)의 속성기간에 따른 비휘발성 유기산의
변화, 충남대학교 대학원 식품영양학과 석
사논문, 1987.
25. 김경제, 경규항, 명원경, 심선택, 김현구. 김
치류의 저장기간 연장을 위한 무우풀종 선
발에 있어서의 발효성 당함량의 역할, 한국
식품과학회지, 21(1), 100~108, 1989.
26. 윤진숙, 이해수. 김치의 휘발성 향미성분에
관한 연구, 한국식품과학회지, 9(2), 116~
122, 1977.
27. Hawer, W. D. S., Ha, J. H., Seog, H. M., Nam,
Y. J. and Shin, D. W., Changes in taste and
flavor compounds of kimchi during fermenta-
tion, Korean J. Food Sci. Technol., 20(4),
511~517, 1988.
28. 이경선. 무우종의 myrosinase 분리, 정제 및
각두기 속성중의 myrosinase 활성도 변화,
충남대학교 대학원 식품영양학과 박사논문,
1988.
29. 민태익, 권태완, 이철호. 한국의 발효식품에
관하여, 산업미생물학회지, 9(4), 253~261,
1981.
30. 이태영, 김점식, 정동효, 김호식. 김치성분에
관한 연구(제2보), 김치속성과정에 있어서
의 Vitamin 함량의 변화, 과연회보, 5, 43~50,
1960.
31. 이상금, 신말식, 전덕영, 홍윤호, 임현숙. 마늘
첨가량을 달리한 김치의 속성에 따른 변화,
한국식품과학회지, 21(1), 68~74, 1989.
32. Fleming, H. P., Fermented vegetables, *Fer-
mented Foods, Economic Microbiology*, Vol. 7,
Rose, A.H., Ed., Academic Press, New York,
227~258, 1982.
33. Peterson, C. S., Sauerkraut, *Adv. Food Res.*,
10, 233~291, 1960.
34. Peterson, C. S. and Luh, B. S., Pickling and
fermentation of vegetable, In *Commercial Ve-
getable Processing*, 2nd ed., Luh, B. S and
Woodroof, J. G., Eds., AVI Publishing, New
York, 475~518, 1988.
35. 이희순, 고영태, 임숙자. 단백질 급원식품이
김치의 발효와 ascorbic acid의 안정도에 미
치는 영향, 한국영양식량학회지, 17, 101~
107, 1984.
36. 김순동, 이신호. pH조정제 Sodium Malate
Buffer의 첨가가 김치의 속성에 미치는 효과,
한국영양식량학회지, 17, 358~364, 1988.
37. 이승교, 전승규. 김치의 속성에 미치는 온도
의 영향, 한국영양식량학회지, 11, 63~66,
1982.
38. 이태영, 이정원. 김치 속성중의 비타민C 함
량의 소장 및 Galactronic Acid의 첨가효과,
한국농화학회지, 24(2), 139~144, 1981.
39. 정하숙, 고영태, 임숙자. 당류가 김치의 발
효와 Ascorbic Acid의 안전도에 미치는 영향,
한국영양식량학회지, 18(1), 36~45, 1985.
40. 이승교, 김화자. 절임조건별 배추에 의한 김
치의 속성 중 riboflavin과 ascorbic acid의
안정도에 미치는 영향, 한국영양학회지, 17,
131~135, 1984.
41. 안숙자. 김치에 당근을 섞었을 때의 비타민
C의 변화, 대한가정학회지, 17, 103~108,
1972.
42. Ro, S. L. Woodburn, M. and Sandine, W. E.,
Vitamin B₁₂ and ascorbic acid in Kimchi ino-
culated with *Propionibacterium freudenreichii*
ss. shermanii, *J. Food Sci.*, 44, 873~877, 1979.
43. 이철호, 황인주, 김정교. 김치제조용 배추의
구조와 조직감 측정에 관한 연구, 한국식품
과학회지, 20(6), 742~748, 1988.
44. 윤철, 장금, 박관화, 안승요. 예비열처리에
의한 무우김치의 연화방지, 한국식품과학회
지, 17, 447~453, 1985.
45. 김순동, 이신호, 김미정, 오영애. pH조정제를

- 이용한 저염배추김치의 숙성중 Pectin질의 변화, 한국영양식량학회지, 17(3), 255~261, 1988.
46. 백경희, 이창희, 우덕현, 박관화, 백운화, 이규순, 남상봉. 펙틴분해효소를 이용한 김치 조직의 연화방지, 한국식품과학회지, 21(1), 149~153, 1989.
47. 허우덕. 김치숙성중 휘발성 향기성분 변화에 관한 연구, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 175~190, 1994.
48. 박완수, 구영조, 이명기, 이인선. 김치재료용 원료의 가공특성 및 역할, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 247~264, 1994.
49. 이철호. 김치제조과정중 배추의 조직감 변화와 그 측정 방법, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 289~300, 1995.
50. 신동화. 공장김치의 발효온도 및 포장방법별 성분과 미생물의 변화, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 82~136, 1995.
51. 변유량, 유명식, 조형용, 최동원. 염절임 및 열처리과정중 배추의 물리적 특성과 조직의 변화, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 265~288, 1995.
52. 박관화, 고영환, 육철, 백형희, 정태규, 안승요, 백운화, 이규순. Pectin 분해효소와 김치류의 연화방지 및 통조림, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 352~369, 1995.
53. 박건영. 김치의 영양학적 평가와 항돌연변이 및 항암효과, 한국영양식량학회지, 169~182, 1995.
54. 박건영, 최홍식. 김치의 항돌연변이성 및 항암성, 김치의 과학, 한국식품과학회편, 서울, 205~222, 1994.