KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 54, No. 4, pp. 437~444 (2022)
https://doi.org/10.9721/KJFST.2022.54.4.437

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

저장기간에 따른 소금 농도별 sauerkraut의 미생물 및 품질 특성 변화

지혜인[1] · 김다미[1,*]
[1]덕성여자대학교 식품영양학과

Changes in the microorganisms and quality characteristics of sauerkraut by salt concentration based on the storage period

Hye-In Ji[1] and Da-Mee Kim[1,*]
[1]*Department of Food and nutrition, Duksung Women's university*

Abstract This study investigated the optimal quality characteristics of sauerkraut made by adding 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5% (w/w) sea salt to cabbage according to the storage period. The results showed that the pH and salinity of 0.5-2.5% sauerkraut decreased, while its total acidity increased during storage. After 20 d of storage, 1.5% or less sauerkraut showed low yellowness, but high brightness and hardness. Moreover, the lactic acid bacteria in 0.5-2.5% sauerkraut maintained at least 7.06 log CFU/mL until 28 d of storage, suggesting that the lower the salt concentration, the higher were the amount of lactic acid bacteria. The coliform group was not detected after 4 d of storage. In conclusion, the quality characteristics of sauerkraut with a salt concentration of 1.5% or less were excellent until 20 d of storage at 4°C. This study provides valuable data for the safe and high-quality assessment of low-salt sauerkraut in the future.

Keywords: sauerkraut, low-salted, storage stability, quality characteristics, microorganisms

서 론

Sauerkraut는 독일어 'sauer (신맛)'와 'kraut (양배추)'의 합성어로 새콤한 맛이 특징인 독일의 전통 양배추 발효식품이다(Ji와 Kim, 2022; Thakur 등, 2020). 발효식품은 장내 미생물 항상성 유지, 정장작용, 혈중 콜레스테롤 수치 감소, 알러지 방지, 항암 효과, 면역력 증가 등 건강에 유익한 효과를 나타낸다(Encyclopedia of Korean culture, 2010; Tamang과 Kailasapathy, 2010). 발효식품인 sauerkraut는 중부 및 동유럽, 미국 및 아시아를 포함한 세계 여러 지역에서 널리 소비되어 왔으며(Hallmann 등, 2017), 최근 COVID-19 상황에 국내에서도 면역력에 대한 관심과 더불어 가정에서 만들어 먹는 경우가 증가하고 있다.

Sauerkraut는 100 g 당 19 kcal로 수분 92.5%, 탄수화물 4.28%, 단백질 0.91%, 지방 0.14%, 총 식이섬유 2.9%, 비타민 C 14.7 mg이 함유되어 있으며, 이외에도 나트륨, 칼륨, 칼슘, 인, 마그네슘 등이 함유되어 있다(USDA, 2021). 그러나 sauerkraut는 100 g 당 나트륨 함량이 661 mg으로 높아서 저염의 sauerkraut 제조가 필요하다(USDA, 2021). 발효식품의 나트륨 수준을 낮추기 위한 해결책은 나트륨을 적게 첨가하거나 염화나트륨을 다른 소금 혼합물로 대체하는 것이다. 하지만 염농도가 너무 낮을 경우에는 유해 미생물이 번식하여 지나치게 시어지고 식감이 물러지는 등 품질 저하가 발생되며(Yu와 Hwang, 2011), 염화나트륨 대신 염화칼륨, 염화칼슘, 황산마그네슘, 황산칼륨과 같은 대체염을 사용하면 식품의 맛을 떨어뜨리고 조직이 물러지게 되어 선호도가 낮다(Moon 등, 2014). 그러므로 발효식품에 적절한 소금의 양을 첨가하는 것이 나트륨 함량은 낮추면서 품질을 보존하고 선호도를 유지하는 방법이다. Sauerkraut도 마찬가지로 나트륨 함량을 지나치게 적게 첨가하여 제조하면 부패 미생물의 번식으로 저장성이 떨어지는 문제점이 있어 소금 함량에 따른 저장성에 관한 연구가 필요하다.

현재까지 국내 sauerkraut의 저장성 관련 선행연구는 없으며, 국외의 연구에서도 양배추의 원산지 및 부재료 첨가 등 제조조건을 달리한 sauerkraut의 발효 특성과 미생물 군집 조사 등 발효과정의 변화를 살펴본 연구가 대부분으로, 양배추를 이용한 sauerkraut의 저장성에 관한 논문은 미비한 실정이다(Ghosh, 2021; He 등, 2021; Liu 등, 2021; Majcherczyk과 Surówka, 2019; Premakumar 등, 2021). 본 저자의 선행연구(Ji와 Kim, 2022)에서 소금 농도 0.5, 1.0, 1.5, 2.0과 2.5%의 sauerkraut를 제조하여 20°C에서 7일간 발효시킨 결과, 소금 농도 1.0과 1.5%의 sauerkraut가 0.5, 2.0과 2.5%에 비해 유산균이 8.85 log CFU/mL 이상으로 풍부하였고 관능적인 면에서도 외관, 냄새, 맛, 식감 등 전반적인 선호도가 우수한 저염의 sauerkraut를 제조하였다. 그러나 발효 4일 이후에 색도와 경도의 품질특성이 악화되었고 유산균도 크게 감소하였다. 따라서 본 연구에서는 최적의 품질특성을 유지하는 sauerkraut의 염농도와 저장기간을 알아보고자, 품질이 우수한 발효 4일의 소금 농도별 sauerkraut를 냉장온도(4°C)에서 저장하여 미생물 군집 및 품질 특성의 변화를 측정하였다. 추후 저장성 및 기호성이 우수한 저염 sauerkraut 개발의 기초자료로 제시하고자 한다.

*Corresponding author: Da-Mee Kim, Department of Food and Nutrition, Duksung Women's University, Seoul 01369, Korea
Tel: +82-2-901-8374
Fax: +82-2-901-8372
E-mail: dmkim1@duksung.ac.kr
Received May 27, 2022; revised June 21, 2022;
accepted June 24, 2022

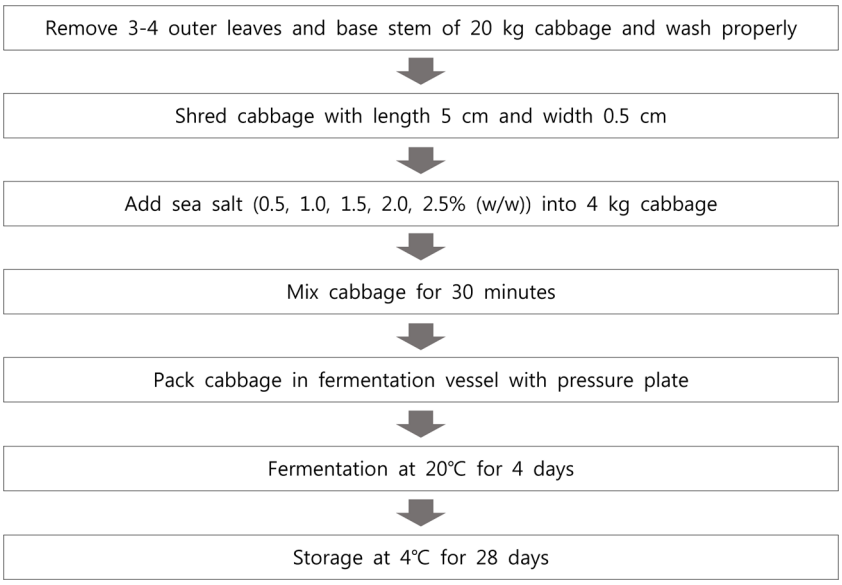

Fig. 1. Preparation of sauerkraut

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에서 사용된 양배추(*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)는 1.5 kg의 무농약 양배추(Yeoju-si, Kyunggi-do, Korea)로 천일염(Beksul; CJ Cheiljedang, Korea)과 함께 창동 소재의 농협에서 구입하였다. Sauerkraut 발효에 사용된 용기는 내부의 발효 가스를 배출하고 외부 공기를 차단하는 에어밸브가 부착된 뚜껑과 별도의 누름판이 있는 1.3 L 인터락 발효용기(INL 412, LocknLock, Korea)를 사용하였다.

Sauerkraut 제조

Yang 등(2020) 연구의 sauerkraut 제조 방법을 수정하여 사용하였으며, 제조 과정은 Fig. 1과 같다. 총 20 kg 양배추의 겉껍질과 심지를 제거하고 세척한 후 길이 5 cm, 두께 0.5 cm로 채썰어 각 볼에 4 kg씩 넣었다. 양배추 무게의 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5% (w/w)의 소금과 각 농도의 소금물 100 mL를 넣고 시료 국물의 최종 염도가 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5%가 되도록 총 30분간 주물렀다. 완성된 시료를 농도별로 용기에 넣은 후 양배추가 액체에 잠기도록 누름판으로 완전히 눌러 밀봉하였다. 20°C의 저온 배양기(J-IB02, JISICO, Korea)에서 4일간 발효시킨 시료를 바로 꺼내어 4°C의 저온 배양기에서 28일간 저장하였다. 소금 농도별 시료를 저장 0일부터 28일까지 96시간마다 샘플링하여 사용하였다. Sauerkraut 제조 과정에서 발생할 수 있는 편차를 줄이고자 총 3번 반복 제조하여 분석하였다.

pH 및 총 산도(total acidity)

pH 및 총 산도는 각 소금 농도별 100 g의 시료를 멸균적으로 취하여 믹서기(MCH-308, SK Magic, Korea)로 1분간 마쇄 후 여과하여 사용하였다. pH meter (HI 5221, HANNA, USA)를 사용하여 측정하였고, 산도적정기(SG.285225830, SI Analytics, Germany)로 pH 8.3이 될 때까지 소비된 0.1 N NaOH (Daejung, Korea)의 용량(mL)을 측정하여 다음 식에 따라 젖산 함량(%)으로 표시하였다. Sauerkraut 1회 제조 시 10회 반복 측정하여, 각 시료 당 30회 측정하였다.

$$\text{Total Acidity (lactic acid, \%)} = \frac{\text{mL of 0.1 N NaOH} \times F \times 0.009}{\text{Weight of sample (g)}} \times 100$$

F: Factor of 0.1 N NaOH

염도(salinity)

소금 농도별 sauerkraut 제조 시 최종 염농도를 시료 국물로 측정하여 확인하였다. 이에 저장기간 별 염도의 변화를 확인하기 위해 시료 국물을 취하여 사용하였다. 각 소금 농도별 1 mL의 시료 국물을 멸균적으로 취하여 디지털 염도계(GMK-525N, G-won Hitech Co., Ltd., Korea)로 측정하였다. Sauerkraut 1회 제조 시 10회 반복 측정하여, 각 시료 당 30회 측정하였다.

색도(chromaticity)

색도는 각 소금 농도별 시료를 취하여 색차계(Colorimeter, Minolta CR-400, Japan)로 명도(L-value, darkness to lightness), 적색도(a-value, greenness to redness), 황색도(b-value, blueness to yellowness)를 측정하였다. 양배추 겉잎은 녹색을 띠고 있으며, 속으로 갈수록 연한 녹색에서 백색을 띤다. 소금 농도별 sauerkraut의 저장기간 동안 색도 변화 측정조건을 유지하기 위해 시료는 양배추 겉에서 3-4번째 잎을 제외한 백색의 줄기 부분을 선택하였다. 시료 측정 전에 사용한 표준 백색판(standard plate)의 L값은 92.49, a값은 −0.35, b값은 3.70이다. Sauerkraut 1회 제조 시 10회 반복 측정하여, 각 시료 당 30회 측정하였다.

경도(hardness)

경도는 각 소금 농도별 시료를 취하여 물성분석기(LLOYD instrument, Ametek Inc, UK)를 사용하여 측정하였다. 시료를 주입시켰을 때 얻어지는 힘-시간 곡선으로부터 경도를 측정하였다. Sauerkraut 1회 제조 시 12회 반복 측정하였으며 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 30회 측정값을 분석에 사용하였다. 이때의 분석 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Analysis conditions of texture analyzer for hardness

Caption	Conditions
Probe	Ø 5.0 mm
Pre-test speed	1.0 mm/s
Test speed	1.0 mm/s
Distance	10.0 mm
Trigger type	Auto
Trigger force	3.0 N

미생물 군집

Sauerkraut 연구(Liu 등, 2019; Yang 등, 2021) 방법을 참고하여 유산균(lactic acid bacteria), 효모(yeast)와 대장균군(coliform group)은 멸균적으로 취한 1 mL의 시료 국물과 9 mL의 0.1% 멸균 펩톤수(Bacto Peptone, BD Difco Lab., USA)를 10진 희석법에 따라 단계별로 희석한 후 연속한 2단계 희석배율 평판을 각 2개씩 배양하였다. 유산균은 MRS agar (BD Difco Lab., USA)에 37°C에서 48시간, 효모는 PD agar (BD Difco Lab., USA)에 27°C에서 48시간, 대장균군은 VRB agar (BD Difco Lab., USA)에 35°C에서 24시간 배양하였다. 소금 농도별 sauerkraut는 총 3회 제조하여 총 12개의 값 중 유산균과 효모는 colony 수가 30-300개인 평판을 선택하였고, 대장균군은 자주색의 집락수를 확인하여 log CFU/mL로 나타내었다.

통계 분석

통계 분석은 SPSS 25.0 statistics (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하였다. 시료를 제조하고 취하는 과정에서의 편차를 고려하여 sauerkraut 3번 반복 제조하고 반복 수를 늘려 측정하였으며, 각 측정값을 분석에 사용하였다. 실험 결과는 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었으며, 시료 간 평균치 차이 유무와 유의성을 검증하기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고 소금 농도와 저장기간에 따른 pH, 총 산도, 염도, 색도, 경도, 미생물 군집을 분석하였다. 시료 간 차이 검증은 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 사용하였으며, 가설검증 수준은 $p<0.05$로 하였다.

결과 및 고찰

pH, 총 산도(total acidity) 및 염도(salinity)

소금 농도 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5% (w/w)로 달리하여 제조한 sauerkraut의 발효기간에 따른 품질특성을 연구한 선행연구(Ji와 Kim, 2022) 결과, 가장 적숙기인 발효 4일째의 sauerkraut를 4°C incubator에 저장하여 저장기간(0-28 days)에 따른 pH, 총 산도와 염도의 변화를 Table 2에 나타내었다.

pH는 발효 4일째 즉, 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 pH 4.100, 4.090, 4.105, 4.136, 4.166으로 소금 농도가 낮을수록 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.001$). 이는 선행연구(Ji와 Kim, 2022)에서 발효 4일째 0.5-2.5%의 sauerkraut가 pH 4.11, 4.08, 4.09, 4.14, 4.16으로 나온 결과와 유사하였다. 또한 0.5와 1.0%의 sauerkraut가 독일의 sauerkraut 적숙기인 pH 4.1 이하(Montaño 등, 2016)에 부합하였다. 20°C에서 15일 발효 후 4°C에서 30일 저장한 저염 Chinese sauerkraut 연구(He 등, 2021)에서 0.5와 1.0%의 Chinese sauerkraut가 저장 0일 pH 3.59와 3.44에서 저장 30일 pH 3.30와 3.31로 가파르게 감소하였다고 보고하였다. 본 연구의 0.5-2.5%의 sauerkraut는 저장 0일 pH 4.100, 4.090, 4.105, 4.136, 4.166에서 저장 28일 pH 4.020, 4.042, 4.071, 4.083, 4.107로 감소하였다($p<0.001$). 또한 김치의 품질변화에 관한 연구(Ku 등, 1988)에 따르면 김치의 pH는 섭취하기에 적당한 신맛을 가진 pH 4.0-4.2의 중간 발효단계와 pH 4.0 이하로 감소하는 최종 발효단계로 구분할 수 있다고 보고하였는데 본 연구의 sauerkraut의 경우 모든 시료가 저장 28일까지 섭취하기에 적당한 단계인 pH 4.0-4.2를 유지하였으므로 본 연구의 sauerkraut 품질이 장기간 잘 유지되었음을 알 수 있다.

저장 0일에 0.5-2.5% sauerkraut의 총 산도는 0.748, 0.728, 0.689, 0.589, 0.487%로 pH와 같은 경향으로 소금 농도가 낮을수록 총 산도가 유의적으로 높게 나타났다($p<0.001$). 0.5-2.5% sauerkraut의 총 산도는 각각 저장 0일 0.748, 0.728, 0.689, 0.589, 0.487%에서 저장 28일에 0.788, 0.751, 0.732, 0.644, 0.576% ($p<0.001$)로 측정되었다. 김치의 품질 수명을 예측한 연구(Lee 등, 1991)에서 김치를 7°C에서 저장하였을 때 김치가 맛있다고 느끼는 총 산도 0.4-0.8%를 유지하는 저장 18일까지를 가식 기간으로 보고하였다. 본 연구에서 제조한 sauerkraut는 저장 0일에서 저장 28일까지 총 산도 0.487-0.788%로 저장 전체기간이 최적 가식 기간 내에 포함되었음을 알 수 있다. 이와 같이 발효 중에 총 산도가 증가하는 현상은 유기산에 의한 것이며, 그 중에서도 양배추 김치의 주요 유기산인 lactic acid, malic acid와 citric acid 등이 생성된 것으로 추측한다(You 등, 2017).

염도는 0.5-2.5%의 sauerkraut가 저장 0일 0.817, 1.229, 1.557, 1.971, 2.333%에서 저장 28일 0.750, 1.162, 1.516, 1.888, 2.247%로 저장 전 기간에서 미미한 감소를 보여주었다($p<0.001$). Moon 등(2014)의 스타터를 첨가한 저염 김치 연구에서 발효 4주 동안 저염 김치의 염도가 2.00-2.17% 범위를 유지하며 큰 변화를 보이지 않아 본 연구 결과와 유사하였다. 이는 발효 초기에 삼투압 현상으로 인해 염도가 급격히 감소하지만 이후 조직 내·외부의 염도가 같아져 염도가 일정하게 유지되는 것이다(Yang 등, 2020).

색도(chromaticity)

소금 농도 및 저장기간에 따른 sauerkraut의 색도를 Table 3에 나타내었다. 명도를 나타내는 L값은 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 73.341, 72.805, 72.522, 72.244, 72.194로 소금 농도가 낮을수록 L값이 유의적으로 높게 나타났다($p<0.001$). 황색도를 나타내는 b값은 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 10.330, 10.446, 10.663, 10.776, 10.865으로 소금 농도가 낮을수록 b값이 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.001$). Sauerkraut 제조 시 첨가하는 소금은 삼투압 현상을 일으키고, 이때 생성된 양배추의 수분이 유산균 성장 기질로 작용하여 유산균 증식 및 젖산 생성에 영향을 미친다(Yang 등, 2020; Zubaidah 등, 2020). Chlorophyll은 산에 불안정한 화합물로 산성에서 쉽게 분해되어 녹갈색을 띠게 된다(Gnanasekharan 등, 1992). 따라서 본 연구에서 저장 초기에 소금의 농도가 높을수록 유산균의 젖산 생성이 활발해지며, 양배추의 chlorophyll이 분해되어 녹갈색으로 변함에 따라 더 낮은 L값과 더 높은 b값을 보이는 것으로 판단된다. 적색도를 나타내는 a값은 저장 전 기간에서 소금 농도에 따른 비례적인 감소를 보여주지 않았다.

0.5-2.5% sauerkraut의 L값은 저장 0일 73.341, 72.805, 72.522, 72.244, 72.194에서 저장 20일 이후 유의적으로 감소하여 저장 28일에 72.782, 72.241, 71.895, 71.534, 71.372로 측정되었다 ($p<0.001$). 이러한 결과는 발효가 진행됨에 따라 미생물의 작용으로 가용성 물질들이 빛의 투과를 방해하여 명도가 낮아진 것으

Table 2. pH, total acidity, and salinity of sauerkraut by salt concentration according to storage period

	Days[1]	Salt Concentration (%)					*F*-value
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
pH	0[2]	4.100±0.006$^{dA3)4)}$	4.090±0.008^{eA}	4.105±0.006^{cAB}	4.136±0.007^{bA}	4.166±0.007^{aA}	622.72***[5]
	4	4.077±0.011^{eB}	4.084±0.015^{dABC}	4.109±0.007^{cA}	4.129±0.008^{bBC}	4.159±0.008^{aB}	335.26***
	8	4.072±0.014^{eBC}	4.086±0.021^{dAB}	4.101±0.009^{cBC}	4.133±0.012^{bAB}	4.158±0.010^{aBC}	192.13***
	12	4.074±0.011^{eB}	4.081±0.012^{dBC}	4.098±0.007^{cC}	4.130±0.009^{bBC}	4.158±0.009^{aBC}	389.90***
	16	4.074±0.016^{dB}	4.079±0.011^{dBC}	4.105±0.009^{cAB}	4.126±0.010^{bC}	4.153±0.012^{aCD}	223.33***
	20	4.065±0.015^{eC}	4.076±0.015^{dC}	4.104±0.011^{cBC}	4.132±0.015^{bAB}	4.148±0.012^{aD}	199.79***
	24	4.046±0.016^{eD}	4.060±0.012^{dD}	4.083±0.010^{cD}	4.107±0.011^{bD}	4.127±0.012^{aE}	223.78***
	28	4.020±0.031^{eE}	4.042±0.024^{dE}	4.071±0.017^{cE}	4.083±0.008^{bE}	4.107±0.009^{aF}	87.65***
	F-value	63.38***	30.82***	50.07***	94.13***	117.63***	
Total acidity (%)	0	0.748±0.003^{aEF}	0.728±0.006^{bF}	0.689±0.010^{cE}	0.589±0.005^{dD}	0.487±0.006^{eF}	8,840.93***
	4	0.752±0.005^{aC}	0.732±0.006^{bDE}	0.691±0.006^{cDE}	0.589±0.006^{dD}	0.495±0.009^{eE}	8,135.46***
	8	0.747±0.003^{aF}	0.730±0.004^{bEF}	0.691±0.003^{cDE}	0.592±0.003^{dCD}	0.495±0.009^{eE}	13,494.69***
	12	0.750±0.003^{aDE}	0.731±0.005^{bDE}	0.694±0.005^{cCD}	0.591±0.006^{dD}	0.497±0.006^{eE}	12,269.60***
	16	0.749±0.003^{aDEF}	0.735±0.005^{bC}	0.695±0.004^{cC}	0.590±0.008^{dD}	0.503±0.007^{eD}	10,295.62***
	20	0.751±0.003^{aCD}	0.734±0.005^{bCD}	0.694±0.006^{cCD}	0.595±0.008^{dC}	0.510±0.009^{eC}	7,770.31***
	24	0.772±0.006^{aB}	0.747±0.005^{bB}	0.722±0.007^{cB}	0.618±0.012^{dB}	0.551±0.003^{eB}	5,032.22***
	28	0.788±0.006^{aA}	0.751±0.005^{bA}	0.732±0.003^{cA}	0.644±0.008^{dA}	0.576±0.010^{eA}	4,776.00***
	F-value	372.71***	77.23***	235.57***	218.26***	514.26***	
Salinity (%)	0	0.817±0.013^{eA}	1.229±0.026^{dA}	1.557±0.015^{cA}	1.971±0.017^{bA}	2.333±0.015^{aA}	34,650.47***
	4	0.807±0.011^{eB}	1.213±0.011^{dB}	1.545±0.015^{cB}	1.959±0.024^{bB}	2.324±0.016^{aB}	42,487.93***
	8	0.805±0.014^{eB}	1.207±0.008^{dBC}	1.544±0.013^{cB}	1.942±0.021^{bC}	2.313±0.015^{aC}	49,010.29***
	12	0.792±0.010^{eC}	1.201±0.006^{dCD}	1.541±0.010^{cBC}	1.939±0.012^{bC}	2.310±0.008^{aC}	120,747.39***
	16	0.787±0.013^{eCD}	1.204±0.012^{dC}	1.545±0.026^{cB}	1.943±0.021^{bC}	2.300±0.010^{aD}	34,475.83***
	20	0.785±0.011^{eD}	1.196±0.014^{dD}	1.533±0.015^{cCD}	1.943±0.010^{bC}	2.308±0.018^{aC}	56,241.17***
	24	0.767±0.010^{eE}	1.174±0.015^{dE}	1.528±0.016^{cD}	1.910±0.013^{bD}	2.263±0.018^{aE}	47,691.89***
	28	0.750±0.010^{eF}	1.162±0.013^{dF}	1.516±0.016^{cE}	1.888±0.015^{bE}	2.247±0.012^{aF}	60,492.16***
	F-value	109.79***	69.10***	18.05***	70.42***	128.19***	

[1]Store at 4°C and measure every 96 hours.
[2]Storage 0 days, fermentation 4 days at 20°C.
[3]Mean±SD.
[4]Different letters in the same row ($^{a-e}$) and column ($^{A-F}$) are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).
[5]***$p<0.001$.

로 보고되었다(Jang과 Moon, 1995). a값은 저장 0일 −1.652, −1.637, −1.619, −1.661, −1.645에서 저장 28일 −1.753, −1.739, −1.724, −1.749, −1.743로 저장 전 기간에서 크게 감소하지 않았음을 알 수 있다($p<0.001$). b값은 저장 0일 10.330, 10.446, 10.663, 10.776, 10.865에서 저장 20일 이후 유의적으로 증가하여 저장 28일에 10.698, 10.777, 10.956, 11.305, 11.456으로 측정되었다($p<0.001$). Park 등(2010)의 연근 즙을 첨가한 백김치 연구 및 Kang 등(1997)의 온도 및 소금 농도에 따른 백김치의 특성 연구에서 저장기간에 따른 L값과 a값은 감소하여 본 연구 결과와 유사하였지만, b값은 증가하다 감소하는 경향을 보여 본 연구와 다른 결과를 보였다. 이는 백김치 제조 시 첨가되는 부재료 및 저장 방법 등의 차이에 의한 것으로 생각한다. 선행연구(Ji와 Kim, 2022)에서 저장 초기의 sauerkraut 기호도 검사 결과, L값이 높고 b값이 낮은 0.5, 1.0과 1.5% sauerkraut의 외관 기호도가 높게 나타났다. 이러한 결과를 비추어 볼 때, 저장 28일 이후에도 2.0% 이상의 sauerkraut보다 1.5% 이하의 sauerkraut가 L값은 높고 b값은 낮아 소비자의 선호도가 높을 것으로 예상된다.

경도(hardness)

소금 농도 및 저장기간에 따른 sauerkraut의 경도를 Table 4에 나타내었다. 경도는 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 3.50, 3.47, 3.35, 3.30, 3.17 kgf로 소금 농도가 낮을수록 경도가 유의적으로 높게 나타났다($p<0.001$). 이는 소금 첨가량에 따라 삼투압 현상이 비례적으로 발생하여 소금 농도가 높을수록 조직의 연부 현상이 빠르게 일어나 경도가 낮게 나타나는 것이다(Yang 등, 2020). 0.5-2.5% sauerkraut의 경도는 저장 0일 3.50, 3.47, 3.35, 3.30, 3.17 kgf에서 저장 20일 이후 유의적으로 감소하여 저장 28일에 2.94, 2.89, 2.80, 2.66, 2.60 kgf로 측정되었다($p<0.001$).

Table 3. Hunter's color value of sauerkraut by salt concentration according to storage period

	Days[1]	Salt Concentration (%)					*F*-value
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
L[2]	0[3]	73.341±0.054$^{aA4)5)}$	72.805±0.055^{bA}	72.522±0.076^{cA}	72.244±0.048^{dB}	72.194±0.037^{eA}	2,157.38***[6]
	4	73.323±0.053^{aA}	72.742±0.046^{bB}	72.508±0.059^{cA}	72.277±0.046^{dA}	72.171±0.071^{eA}	2,019.72***
	8	73.270±0.046^{aB}	72.725±0.024^{bB}	72.451±0.053^{cB}	72.242±0.036^{dB}	72.184±0.057^{eA}	2,949.65***
	12	73.258±0.048^{aB}	72.670±0.082^{bC}	72.462±0.069^{cB}	72.189±0.044^{dC}	72.140±0.076^{eB}	1,425.21***
	16	73.226±0.041^{aC}	72.620±0.051^{bD}	72.349±0.038^{cC}	72.102±0.046^{dD}	71.950±0.030^{eC}	4,377.00***
	20	73.110±0.062^{aD}	72.493±0.061^{bE}	72.284±0.070^{cD}	71.993±0.042^{dE}	71.849±0.034^{eD}	2,382.91***
	24	72.998±0.068^{aE}	72.358±0.087^{bF}	72.009±0.046^{cE}	71.738±0.055^{dF}	71.568±0.042^{eE}	2,526.63***
	28	72.782±0.091^{aF}	72.241±0.099^{bG}	71.895±0.058^{cF}	71.534±0.043^{dG}	71.372±0.043^{eF}	1,921.67***
	F-value	307.58***	265.76***	468.52***	1,078.57***	1,113.11***	
a[2]	0	-1.652±0.026^{bcA}	-1.637±0.042^{bA}	-1.619±0.030^{aA}	-1.661±0.031^{cA}	-1.645±0.025^{bcA}	7.91***
	4	-1.685±0.035^{cB}	-1.684±0.056^{cBC}	-1.647±0.028^{aB}	-1.670±0.026^{bcA}	-1.652±0.024^{abA}	7.29***
	8	-1.709±0.043^{bC}	-1.679±0.039^{aB}	-1.694±0.035^{abD}	-1.689±0.041^{abB}	-1.706±0.034^{bB}	3.17*
	12	-1.739±0.030^{dDE}	-1.705±0.044^{bcCD}	-1.673±0.032^{aC}	-1.687±0.040^{abB}	-1.711±0.032^{cBC}	14.53***
	16	-1.729±0.026^{bcD}	-1.699±0.043^{aBCD}	-1.717±0.035^{abEF}	-1.706±0.033^{aC}	-1.737±0.027^{cDE}	6.55***
	20	-1.739±0.031^{bDE}	-1.738±0.031^{bE}	-1.700±0.038^{aDE}	-1.734±0.026^{bD}	-1.725±0.033^{bCD}	7.39***
	24	-1.747±0.030^{bcE}	-1.714±0.033^{aD}	-1.736±0.024^{bG}	-1.758±0.024^{cE}	-1.721±0.031^{aBC}	11.72***
	28	-1.753±0.034^{bE}	-1.739±0.025^{abE}	-1.724±0.046^{aFG}	-1.749±0.034^{bDE}	-1.743±0.023^{bE}	3.57**
	F-value	35.03***	20.73***	41.79***	37.70***	49.35***	
b[2]	0	10.330±0.039^{eF}	10.446±0.043^{dF}	10.663±0.043^{cD}	10.776±0.057^{bF}	10.865±0.058^{aF}	636.38***
	4	10.349±0.033^{eEF}	10.500±0.045^{dE}	10.656±0.037^{cD}	10.831±0.049^{bE}	10.886±0.057^{aEF}	739.52***
	8	10.372±0.049^{eDE}	10.535±0.057^{dD}	10.662±0.042^{cD}	10.835±0.057^{bE}	10.903±0.063^{aE}	480.91***
	12	10.354±0.063^{eDEF}	10.544±0.077^{dD}	10.653±0.049^{cD}	10.840±0.046^{bE}	10.914±0.063^{aE}	413.48***
	16	10.385±0.088^{eD}	10.523±0.051^{dDE}	10.668±0.050^{cD}	10.890±0.060^{bD}	11.029±0.049^{aD}	550.44***
	20	10.422±0.050^{eC}	10.585±0.068^{dC}	10.740±0.052^{cC}	11.000±0.067^{bC}	11.193±0.054^{aC}	842.66***
	24	10.559±0.076^{eB}	10.668±0.043^{dB}	10.837±0.031^{cB}	11.164±0.062^{bB}	11.293±0.058^{aB}	947.13***
	28	10.698±0.046^{eA}	10.777±0.081^{dA}	10.956±0.078^{cA}	11.305±0.061^{bA}	11.456±0.052^{aA}	773.37***
	F-value	146.75***	91.86***	152.92***	317.61***	452.34***	

[1] Store at 4°C and measure every 96 hours.
[2] L: darkness to lightness, a: greenness to redness, b: blueness to yellowness.
[3] Storage 0 days, fermentation 4 days at 20°C.
[4] Mean±SD.
[5] Different letters in the same row ($^{a-e}$) and column ($^{A-G}$) are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).
[6] *$p<0.05$, **$p<0.01$, ***$p<0.001$.

Moon 등(2014)의 스타터를 첨가한 저염 김치 연구에서 발효 4주 후 경도가 증가하여 본 연구와 반대되는 결과를 보였다. 저장기간 중 경도의 변화는 펙틴분해효소 작용이 증가하여 세포벽과 펙틴 물질의 분해가 가속화되어 조직의 연화가 일어나는 것이다(Lee와 Rhee, 1996). 선행연구(Ji와 Kim, 2022)에서 저장 초기의 sauerkraut 기호도 검사 결과, 경도가 높은 0.5, 1.0과 1.5% sauerkraut의 조직감 기호도가 높게 나타났다. 본 연구에서도 발효 초기 및 저장 24일 이후의 경도는 1.5% 이하의 sauerkraut가 2.0% 이상의 sauerkraut보다 높아 더 아삭한 식감을 가질 것으로 생각한다.

미생물 군집

소금 농도 및 저장기간에 따른 sauerkraut의 유산균(lactic acid bacteria), 효모(yeast) 및 대장균군(coliform group)을 Table 5에 나타내었다. 유산균은 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 8.53, 8.29, 7.83, 7.76, 7.74 log CFU/mL로 소금 농도가 낮을수록 유산균이 유의적으로 높았다($p<0.001$). 0.5-2.5%의 sauerkraut는 각각 저장 0일에 유산균이 8.53, 8.29, 7.83, 7.76, 7.74 log CFU/mL에서 저장 24일 이후 유의적으로 감소하여 저장 28일에 8.36, 8.08, 7.45, 7.28, 7.06 log CFU/mL로 측정되었다. Sauerkraut 연구에서 저장 1달 후 유산균을 7.00 log CFU/mL로(Peñas 등, 2015), 유산균 스타터를 첨가한 sauerkraut 연구에서 저장 1달 후의 유산균을 7.90 log CFU/mL로 보고하였다(Peñas 등, 2010). 본 연구에서 저장 28일 후의 유산균은 7.06-8.36 log CFU/mL이었고 특히, 0.5와 1.0% sauerkraut의 유산균이 각각 8.08, 8.36 log CFU/mL로 높게 확인되었다. 발효식품에서 분리된 유산균은 항염증(Romeo 등, 2018), 지방 분해 억제(Lavefve 등, 2019), 항돌연변이(Kuszniere-wicz 등, 2010), 면역증진(Zubaidah 등, 2020) 등에 대한 효과가

Table 4. Hardness of sauerkraut by salt concentration according to storage period

	Days[1)]	Salt Concentration (%)					*F*-value
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Hardness (kgf)	0[2)]	3.50±0.19$^{aA3)4)}$	3.47±0.21^{aA}	3.35±0.17^{bA}	3.30±0.19^{bA}	3.17±0.12^{cA}	17.00***[5)]
	4	3.44±0.14^{aA}	3.39±0.13^{aB}	3.32±0.11^{bA}	3.20±0.14^{cB}	3.17±0.13^{cA}	24.31***
	8	3.35±0.17^{aB}	3.30±0.16^{aC}	3.29±0.12^{aA}	3.12±0.15^{bC}	3.09±0.11^{bB}	18.80***
	12	3.33±0.12^{aBC}	3.24±0.11^{bC}	3.16±0.19^{cB}	3.05±0.16^{dD}	3.01±0.14^{dC}	25.61***
	16	3.26±0.05^{aC}	3.11±0.14^{bD}	2.99±0.10^{cC}	2.94±0.11^{cdE}	2.90±0.09^{dD}	60.05***
	20	3.09±0.17^{aD}	3.02±0.12^{bE}	2.94±0.14^{cCD}	2.88±0.12^{cdE}	2.84±0.14^{dD}	16.01***
	24	3.01±0.16^{aE}	2.98±0.14^{aE}	2.86±0.17^{bDE}	2.76±0.15^{cF}	2.72±0.12^{cE}	22.79***
	28	2.94±0.16^{aE}	2.89±0.16^{aF}	2.80±0.16^{bE}	2.66±0.10^{cG}	2.60±0.16^{cF}	28.60***
	F-value	55.95***	58.56***	66.73***	70.86***	79.07***	

[1)]Store at 4°C and measure every 96 hours.
[2)]Storage 0 days, fermentation 4 days at 20°C.
[3)]Mean±SD.
[4)]Different letters in the same row ($^{a-d}$) and column ($^{A-G}$) are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).
[5)]***$p<0.001$.

있는 것으로 보고되었으나, sauerkraut 유산균의 건강기능성 연구는 미미하다. 따라서 sauerkraut에서 분리된 유산균을 활용하여 건강기능성 및 프로바이오틱스 활성 연구가 필요할 것으로 생각한다.

효모는 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 8.46, 8.17, 7.72, 7.67, 7.65 log CFU/mL로 소금 농도가 낮을수록 효모가 유의적으로 높았다($p<0.001$). 0.5, 1.0, 2.0와 2.5%의 sauerkraut는 저장 0일 8.46, 8.17, 7.67, 7.65 log CFU/mL에서 저장 24일 이후 유의적으로 감소하여 저장 28일에 8.31, 8.01, 7.33, 7.07, 7.01 log CFU/mL로 측정되었고, 1.5%의 sauerkraut는 저장 0일 7.72 log CFU/mL에서 저장 20일 이후 유의적으로 감소하여 저장 28일에 7.33 log CFU/mL로 측정되었다($p<0.001$). 일부 내산성과 내염성을 가지는 효모는 김치 발효과정에서 알코올과 향기성분을 생성시켜 풍미를 향상시키며, 김치의 산패를 지연시켜 품질향상 및 품질유지에 기여한다(Kang 등, 2019). Peñas 등(2010)의 스타터를 첨가한 sauerkraut 연구에서 저장 1달 후 효모는 검출되지 않았다. 그러나, 본 연구의 sauerkraut 내 효모는 저장 28일 후 7.01 log CFU/mL 이상 존재하여 이는 sauerkraut의 풍미를 유지하는데 기여할 것으로 판단된다.

대장균군은 저장 0일에 0.5-2.5%의 sauerkraut가 0.17, 0.13, 0.08, 0.08, 0.04 log CFU/mL로 검출되었으나 시료 간 유의차는 나타나지 않았다. Sauerkraut는 양배추 잎의 착생 미생물에 의해 자연 발효가 진행되며(Zubaidah 등, 2020), 발효 초기에는 *Enterobacter* spp. 등 유해 미생물이 4-6 log CFU/mL, 유산균이 2-3 log CFU/mL 존재하지만(Breidt, 2012; Peñas 등, 2010) 발효가 진행되면 유산균이 8-9 log CFU/mL로 증가하고(Kwon 등, 2014) 유해 미생물은 사멸한다. 이는 유산균이 생성한 박테리오신, phenyllactic acid 등 항균성 생물항생제가 대장균군을 억제하기 때문이다(Tamang 등, 2016). 또한 선행연구(Ji와 Kim, 2022)에서 발효 4일째 즉, 본 연구의 저장 0일째에 동정된 유산균 중 하나인 *Lactobacillus sakei*가 대장균군의 성장을 저해하는 것으로 보고하였다(Kim, 2011). 이처럼 저장기간 동안 미생물상은 계속적으로 변화하여 풍미와 안전성 등에 영향을 주는 중요 요소로 작용하기 때문에 sauerkraut 저장 시 미생물의 변화가 중요하다. 본 연구에서 저장 전 기간 동안 유산균은 적정 수준으로 유지되었고 대장균군은 검출되지 않아 sauerkraut의 안전성이 적합하다고 판단된다.

요 약

본 연구에서는 국내산 양배추에 0.5, 1.0, 1.5, 2.0와 2.5% (w/w)의 천일염을 첨가하여 제조한 sauerkraut의 발효기간(0-7 days)에 따른 품질특성을 연구한 선행연구(Ji와 Kim, 2022) 결과, 가장 적숙기인 발효 4일째의 sauerkraut를 4°C incubator에 저장하여 소금농도 및 저장기간(0-28 days)에 따른 품질특성과 미생물 군집을 조사하였다. 연구 결과, 저장기간 동안 0.5-2.5% sauerkraut의 pH 및 염도는 감소하고 총 산도는 증가하는 경향을 보이며 적숙기 범위를 유지하였다($p<0.001$). 0.5-2.5%의 sauerkraut 색도 측정 결과, 명도를 나타내는 L값은 저장 20일 이후 유의적으로 감소하였고($p<0.001$), 황색도를 나타내는 b값이 저장 20일 이후 유의적으로 증가하여($p<0.001$) 외관의 상태가 저장 20일까지 유지되었음을 알 수 있다. 0.5-2.5%의 sauerkraut 경도는 색도와 마찬가지로 저장 20일 이후 유의적으로 감소하여($p<0.001$) 식감이 저장 20일 이후 크게 감소하였음을 알 수 있다. 저장 20일 이후의 소금 농도에 따른 색도 및 경도의 차이를 보았을 때, 1.5% 이하 sauerkraut가 낮은 황색도와 높은 명도 및 경도를 보여 외관 및 조직감의 선호도가 높을 것으로 예상한다. 0.5-2.5%의 sauerkraut의 유산균은 저장 24일 이후 유의적으로 감소하였으나($p<0.001$), 저장 28일까지 7.06 log CFU/mL 이상을 유지하고 있었다. 또한 소금 농도가 낮을수록 유산균이 높게 유지되었다. 효모는 저장 0일부터 28일까지 유산균과 비슷한 경향으로 감소하였음을 알 수 있다. 대장균군은 0.5-2.5%의 sauerkaut가 저장 0일에 각각 0.17, 0.13, 0.08, 0.08, 0.04 log CFU/mL로 측정되어 검출되었지만 저장 4일 이후 검출되지 않아 본 연구의 sauerkraut는 저장기간 동안 안전성이 높다고 판단된다. 따라서 본 연구의 이화학적 품질특성과 미생물 군집 결과, 4°C에서 저장한 sauerkraut가 저장 20일까지 품질특성이 우수하였으므로 sauerkraut 발효 후 저장 20일까지 냉장 보관하는 것이 가장 적절하다고 판단된다. 또한 외관의 품질, 식감과 유산균을 고려할 때, 소금 농도 1.5% 이하의 sauerkraut가 더 우수한 저장 능력을 보여주었음을 알 수 있다. 이상의 결과로 안전하고 우수한 품질의 저염 sauerkraut 제조 및 연구의 기초자료를 제공하는데 의미가 있을 것으로 사료된다. 그러나 향후 sauerkraut의 저장성 향상을 위한 바이오제닉아민 함량

Table 5. Microorganisms of sauerkraut by salt concentration according to storage period

	Days[1]	Salt Concentration (%)					*F*-value
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Lactic acid bacteria (log CFU/mL)	0[2]	8.53±0.05^{aA}[3][4]	8.29±0.06^{bA}	7.83±0.05^{cA}	7.76±0.05^{dA}	7.74±0.06^{dA}	1,300.71***[5]
	4	8.53±0.03^{aA}	8.30±0.09^{bA}	7.83±0.05^{cA}	7.78±0.05^{dA}	7.74±0.06^{eA}	1,141.19***
	8	8.50±0.03^{aB}	8.28±0.09^{bA}	7.80±0.05^{cB}	7.76±0.05^{dA}	7.71±0.05^{eAB}	1,284.24***
	12	8.48±0.02^{aC}	8.28±0.08^{bA}	7.77±0.04^{cB}	7.74±0.04^{dA}	7.67±0.04^{eB}	1,679.27***
	16	8.45±0.04^{aD}	8.24±0.05^{bB}	7.73±0.07^{cC}	7.66±0.05^{dB}	7.63±0.06^{eC}	1,476.58***
	20	8.44±0.04^{aD}	8.21±0.03^{bB}	7.72±0.05^{cC}	7.59±0.06^{dC}	7.56±0.09^{dD}	1,372.92***
	24	8.42±0.04^{aE}	8.15±0.03^{bC}	7.61±0.06^{cD}	7.46±0.10^{dD}	7.35±0.14^{eE}	877.27***
	28	8.36±0.04^{aF}	8.08±0.03^{bD}	7.45±0.08^{cE}	7.28±0.12^{dE}	7.06±0.08^{eF}	1,498.43***
	F-value	75.05***	47.55***	151.22***	188.41***	270.65***	
Yeast (log CFU/mL)	0	8.46±0.03^{aA}	8.17±0.02^{bA}	7.72±0.04^{cA}	7.67±0.04^{dA}	7.65±0.04^{eA}	3,309.15***
	4	8.45±0.03^{aAB}	8.15±0.02^{bB}	7.71±0.03^{cA}	7.65±0.04^{dAB}	7.63±0.03^{eAB}	4,376.63***
	8	8.44±0.03^{aB}	8.15±0.02^{bB}	7.69±0.04^{cB}	7.63±0.03^{dBC}	7.61±0.02^{eBC}	5,333.74***
	12	8.42±0.02^{aC}	8.14±0.02^{bB}	7.66±0.04^{cC}	7.62±0.02^{dC}	7.59±0.04^{eC}	5,018.19***
	16	8.42±0.03^{aC}	8.11±0.02^{bC}	7.62±0.02^{cD}	7.57±0.05^{dD}	7.53±0.05^{eD}	3,770.07***
	20	8.39±0.01^{aD}	8.09±0.02^{bD}	7.54±0.05^{cE}	7.45±0.06^{dE}	7.38±0.07^{eE}	2,486.72***
	24	8.36±0.01^{aE}	8.05±0.03^{bE}	7.45±0.06^{cF}	7.32±0.03^{dF}	7.24±0.09^{eF}	2,624.08***
	28	8.31±0.01^{aF}	8.01±0.02^{bF}	7.33±0.03^{cG}	7.07±0.08^{dG}	7.01±0.02^{eG}	6,352.81***
	F-value	158.37***	235.24***	381.81***	586.05***	582.39***	
Coliform group (log CFU/mL)	0	0.17±0.38^{A}	0.13±0.34^{A}	0.08±0.28^{A}	0.08±0.28^{A}	0.04±0.20	0.59^{NS}[6]
	4	ND[7]	ND	ND	ND	ND	-
	8	ND	ND	ND	ND	ND	-
	12	ND	ND	ND	ND	ND	-
	16	ND	ND	ND	ND	ND	-
	20	ND	ND	ND	ND	ND	-
	24	ND	ND	ND	ND	ND	-
	28	ND	ND	ND	ND	ND	-
	F-value	5.79***	4.14***	2.63*	2.63*	1.26^{NS}	

[1]Store at 4°C and measure every 96 hours.
[2]Storage 0 days, fermentation 4 days at 20°C.
[3]Mean±SD.
[4]Different letters in the same row ($^{a-e}$) and column ($^{A-G}$) are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).
[5]*$p<0.05$, ***$p<0.001$.
[6]^{NS}Not significant.
[7]Not detected.

분석과 관능적 특성을 향상시키기 위한 추가적인 연구도 필요할 것으로 판단된다.

References

Breidt F, McFeeters RF, Perez-Diaz I, Lee CH. Food Microbiology: fundamentals and frontiers: Fermented vegetables. ASM Press, United States. pp. 841-855 (2012)

Encyclopedia of Korean culture. Fermented food. Available from: http://encykorea.aks.ac.kr/Contents/SearchNavi?keyword=%EB%B0%9C%ED%9A%A8&ridx=19&tot=27. Accessed Nov. 09, 2021.

Ghosh D. Studies on the changes of biochemical, microbiological and sensory parameters of sauerkraut and fermented mix vegetables. Food Res. 5(1): 78-83 (2021)

Gnanasekharan V, Shewfelt RL, Chinnan MS. Detection of color changes in green vegetables. J. Food Sci. 57: 149-154 (1992)

Hallmann E, Kazimierczak R, Marszałek K, Drela N, Kiernozek E, Toomik P, Rembiałkowska E. The nutritive value of organic and conventional white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) and anti-apoptotic activity in gastric adenocarcinoma cells of sauerkraut juice produced therof. J. Agric. Food Chem. 65: 8171-8183 (2017)

He J, Li F, Wang Y, Wu H, Yang H. Fermentation characteristics and bacterial dynamics during Chinese sauerkraut fermentation by *Lactobacillus curvatus* LC-20 under varied salt concentrations reveal its potential in low-salt suan cai production. J. Biosci. Bioeng. 132: 33-40 (2021)

Jang MS, Moon SW. Effect of licorice root (*Glycyrrhiza uralensis Fischer*) on Dongchimi fermentation. J. Korean Soc. Food Nutr. 24: 744-751 (1995)

Ji HI, Kim KH. Microbiological and physicochemical quality characteristics of low-salted Sauerkraut (fermented cabbage). J. Korean

Soc. Food Cult. 37: 61-72 (2022)
Kang SE. Kim MJ. Kim TW. Diversity and role of yeast on Kimchi fermentation. J. Korean Soc. Food Cult. 34: 201-207 (2019)
Kang KO, Kim WJ, Lim HS. Effect of temperature ans NaCl concentration on the characteristics of Baik Kimchi. Korean J. Soc. Food Sci. 13: 569-577 (1997)
Kim GE. Chacteristics & applications of *Lactobacillus* sp. from Kimchi. Korean Soc. Biotechnol. Bioeng. J. 26: 374-380 (2011)
Ku KH, Kang KO, Kim WJ. Some quality changes during fermentation of kimchi. Korean J. Food Sci. Technol. 20: 476-482 (1988)
Kusznierewicz B, Lewandowska J, Kruszyna A, Piasek A, Śmiechowska A, Namieśnik J, Bartoszek A. The antioxidative properties of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. alba) fresh and submitted to culinary processing. J. Food Biochem. 34: 262-285 (2010)
Kwon DY, Nyakudya E, Jeong YS. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems: Fermentation: Food products. Elsevier Academic Press, USA. pp. 113-123 (2014)
Lavefve L, Marasini D, Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. Adv. Food Nutr. Res. 87: 147-185 (2019)
Lee KH, Cho HY, Pyun YR. Kinetic modelling for the prediction of shelf life of kimchi based on total acidity as a quility index. Kor. J. Food Sci. Technol. 23: 306-310 (1991)
Lee YH, Rhee HS. The changes of pectic substances during the fermentation of kimchis. Korean J. Soc. Food Sci. 2: 54-58 (1996)
Liu Z, Li J, Zhou X, Wei B, Xie S, Du T, Xiong T. The lactic acid bacteria and yeast community of home-made sauerkraut from three provinces in Southwest China. Arch. Microbiol. 203: 3171-3182 (2021)
Liu Z, Peng Z, Huang T, Xiao Y, Li J, Xie M, Xiong T. Comparison of bacterial diversity in traditionally homemade paocai and Chinese spicy cabbage. Food Microbiol. 83: 141-149 (2019)
Majcherczyk J, Surówka K. Effects of onion or caraway on the formation of biogenic amines during sauerkraut fermentation and refrigerated storage. Food Chem. 298: 125083 (2019)
Montaño A, Sanchez AH, Beato VM, Lopez-Lopez A, de Castro A. Encyclopedia of Food and Health: Pickling. Elsevier Academic Press, USA. pp. 369-374 (2016)
Moon SW, Park SH, Kang BS, Lee MK. Fermentation characteristics of low-salt kimchi with starters on fermentation temperature and salt concentration. Korean J. Food Nutr. 27: 785-795 (2014)
Park BH, Choi SH, Cho HS, Kim SD, Jeon ER. Quality changes in Baik-Kimchi (pickled cabbage) added lotus root juice during fermentation. Korean J. Food Preserv. 17: 320-327 (2010)
Peñas E, Frias J, Gomez R, Vidal-Valverde C. High hydrostatic pressure can improve the microbial quality of sauerkraut during storage. Food Control. 21: 524-528 (2010)
Peñas E, Martínez-Villaluenga C, Pihlava JM, Frias J. Evaluation of refrigerated storage in nitrogen-enriched atmospheres on the microbial quality, content of bioactive compounds and antioxidant activity of sauerkrauts. LWT-Food Sci. Technol. 61: 463-470 (2015)
Premakumar K, Sahana S, Sabrana MASF. Effects of salt concentration on storage ability of sauerkraut. Int. J. Res. Stud. Agric. Sci. 7: 11-16 (2021)
Romeo L, Lori R, Rollin P, Bramanti P, Mazzon E. Isothiocyanates: An overview of their antimicrobial activity against human infections. Molecules 23: 624 (2018)
Tamang JP, Kailasapathy K. Fermented foods and beverages of the world. CRC press, USA. pp. 1-435 (2010)
Tamang JP, Shin DH, Jung SJ, Chae SW. Functional properties of microorganisms in fermented foods. Front. Microbiol. 7: 578 (2016)
Thakur P, Panja P, Kabir J, Dhua R. Studies on shelf life of sauerkraut. J. Crop Weed. 16: 204-209 (2020)
USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Available from: https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-national-nutrient-database-standard-reference-legacy-release. Accessed Dec. 09, 2021.
Yang X, Hu W, Xiu Z, Jiang A, Yang X, Saren G, Feng K. Effect of salt concentration on microbial communities, physicochemical properties and metabolite profile during spontaneous fermentation of Chinese northeast sauerkraut. J. Appl. Microbiol. 129: 1458-1471 (2020)
Yang Z, Luo F, Zhong K, Huang C, Yu Z, Peng Z, Gao H. Effect of *Bacillus subtilis* Y61 inoculation on bacterial community and metabolic profile of sichuan paocai fermentation. LWT-Food Sci. Technol. 137: 110393 (2021)
You SY, Yang JS, Kim SH, Hwang IM. Changes in the physicochemical quality characteristics of cabbage kimchi with respect to storage conditions. J. Food Qual. 2017: 1-7 (2017)
Yu KW, Hwang JH. Fermentative characteristics of low-sodium Kimchi prepared with salt replacement. Korean J. Food Nutr. 24: 753-760 (2011)
Zubaidah E, Susanti I, Yuwono SS, Rahayu AP, Srianta I, Blanc PJ. Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc mesenteroides* starter cultures in lower salt concentration fermentation on the sauerkraut quality. Food Res. 4: 1038-1044 (2020)