

동치미의 발효중 CO₂ 발생특성

이동선[†] · 이영순

경남대학교 식품공학과

CO₂ Production in Fermentation of *Dongchimi*(Pickled Radish Roots, Watery Radish Kimchi)

Dong-Sun Lee[†] and Young-Soon Lee

Dept. of Food Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

Abstract

CO₂ production in fermentation of *dongchimi* was measured and interrelated with changes in pH and titratable acidity. The effects of salt content and temperature on CO₂ production rate were analysed. Fermentation of *dongchimi* showed drastic pH decrease in early stage and subsequent levelling off around 3.9, with linearly increased acidity up to 0.3~0.4% of optimum quality. CO₂ production of *dongchimi* could be analysed to consist of two consecutive stages of constant rate. The first stage CO₂ production of higher rate moved to the second stage of lower rate when acidity rose beyond 0.3%. When compared to those of 1 and 2% salt content, *dongchimi* of 3% salt showed lower CO₂ production rate in the 1st stage and slower acidity change through the whole fermentation period. However, it resulted in the product of highest CO₂ accumulation at optimal ripeness because of consistent CO₂ production of longer 1st stage period and relatively high CO₂ production rate in 2nd stage. CO₂ production depended on temperature less compared to acidity change(activation energy: 57.3 and 44.3kJ/mol for CO₂ production of 1st and 2nd stages, respectively; 79.3kJ/mol for acidity change), which means higher ratio of CO₂ production rate relative to acidity increase at lower temperature. Slower increase in acidity at low temperature also was shown to extend the period of 1st stage CO₂ production. Therefore, low temperature fermentation was effective in producing the high CO₂ content *dongchimi* at adequate acidity, which is desirable organoleptically.

Key words: carbon dioxide, lactic acid fermentation, salt content, temperature, *dongchimi*

서 론

동치미는 액즙을 주로 섭취하는 물김치의 일종으로서 무, 소금, 파, 고추, 생강, 마늘을 주재료로 하여 겨울철에 주로 담고 소비되어 왔다. 근래에는 냉장고의 보급으로 계절에 관계없이 겨울철 뿐만 아니라, 여름철에도 동치미를 담가 즐기고 있으며, 그 형태도 여러가지로 다양해지고 있다. 동치미는 그 신선한 신맛과 짠맛 그리고 조식감으로 우리 식단에 중요한 위치를 차지하여 왔으며, 액즙에 생성된 젖산을 비롯한 유기산이 독특한 신선미를 준다. 동치미는 무를 씻어 무 표면에 소금을 묻혀 땅에 묻은 항아리에 담고 여기에 부재료로 마늘, 생강, 고추, 파, 배 등을 넣어 소금물을 받쳐 가득히 부어 잘 봉하여 저온에서 발효시키는 것이 일반적이다.

또한 동치미는 배추김치와는 달리 부재료를 적게 사용하고, 고춧가루를 쓰지 않으면서 국물을 많이 넣어 담그는 점에 그 특징이 있다(1)

김치류의 발효에서는 생성되는 이산화탄소(CO₂)는 젖산 등의 유기산과 함께 시원하고 상쾌한 독특한 맛을 내게 된다. 즉, 이산화탄소는 액즙에 녹아 탄산이 되어 상쾌한 탄산미를 내므로(2), 액즙의 시원한 맛을 목적으로 섭취하게 되는 동치미에서는 맛을 결정하는 중요한 인자이다. 동치미의 발효공정 및 품질을 최적화하기 위해서는 공정변수에 따른 CO₂의 발생과 저장조건에 따른 CO₂의 유지상태에 대한 정보가 필요하다 하지만 동치미의 CO₂생성에 미치는 인자나 그 영향에 대해서는 거의 보고된 바가 없다.

현재까지 동치미에 대한 연구는 발효과정 중의 변화

[†]To whom all correspondence should be addressed

를 관찰하고, 이로부터 최적의 발효조건을 찾는 문제를 중심으로 이루어져 왔다. 그리고 일부의 연구는 동치미의 저장성 향상을 위한 몇 가지 방법을 보고하고 있다. 강 등(3)에 의하면 동치미는 발효과정에서 pH가 감소하고 총산은 증가하며 그 변화과정에 세개의 변곡점이 존재하는 것으로 관찰되었다. 그리고 동치미의 발효 중 액즙에서의 소금함량은 시간에 따라 감소하고, 환원당은 익을 때까지 상승하다가 다시 감소하는 경향을 나타낸다(3,4). 이러한 변화는 동치미의 발효에서는 소금용액과 무 사이의 물질전달과 함께 젖산발효가 함께 진행되는 데 따른 변화로 생각된다. 정(5)은 동치미의 발효기간 중 산화환원전위를 측정하여 초기에서 발효전성기까지는 그 값이 감소하고 있음을 보여서 발효과정을 통하여 액즙의 상태는 호기적인 조건에서 혐기적인 조건으로 변화됨을 시사하고 있다. 이(6)는 동치미의 숙성의 최적조건은 염도 2.4%, 숙성온도 4°C, 무와 물의 비 1:1.5로 제시하고 최적숙성조건에서의 동치미의 pH는 3.9부근이라고 보고하였다. 문 등(7)은 4°C에서 동치미의 발효숙성에 미치는 소금농도의 영향을 연구하여 평형소금농도 20%의 경우가 가장 좋은 관능적인 특성을 보인 것으로 보고하였다. 동치미의 발효지연 및 저장성 향상을 위하여 열처리와 염침가(8), 열수담금과 염혼합물의 병용처리(9) 등이 시도된 바 있다. 이와는 반대로 동치미액의 숙성제조를 위하여 당, 효소, 동치미액의 첨가를 시도한 연구가 있다(10).

본 논문에서는 동치미에서 상쾌한 맛을 주는 CO₂의 발효 중 발생특성을 분석하고 이에 미치는 염도 및 온도의 영향을 살펴보고자 하였다. 그리고 pH의 감소와 총산의 증가로 나타나는 동치미의 발효속도와 CO₂ 발생특성을 함께 연관시켜 보고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

동치미를 담기 위한 무는 마산 농수산물 도매시장에서 대형 봄무(*Raphanus sativus* L.)로 구입하여 사용하였다. 무의 무게는 1.8~2.5kg의 범위에 있었고 평균 크기는 32cm(길이)×11cm(지름)이었다. 부재료로 마늘, 파, 생강 등의 재료는 마산의 시장에서 동치미를 담는 당일 구입하였다. 소금은 정제염(한주소금)을 사용하였다. 그리고 분석에 사용된 시약 중에서 적정 시약인 0.1N NaOH 용액은 제조된 용액(Duksan Pharmaceutical Co., Ltd., 용인)을 구입하여 사용하였고 다른 시약은 특급시약을 사용하였다.

동치미의 제조

동치미는 문 등(7)의 방법을 약간 수정하여 제조하였다. 무는 흠이나 상처난 부분을 도려내고 깨끗이 씻은 후 양끝을 4cm씩 잘라내고 5×2×2cm 크기의 직육면체로 절단하여 다른 부재료와 혼합하였다. 부재료인 마늘, 생강은 박피 후 잘게 마쇄하고, 파는 가늘게 썰어서 사용하였다. 먼저 절단한 무에 같은 양의 물을 첨가한 후, 부재료인 양념을 첨가하였다. 양념의 첨가량은 무 100g당 마늘 1g, 파 3g, 생강 0.5g을 첨가하였다. 그리고 염도의 조절을 위하여 전체 동치미량에 대해서 1%, 2%, 3%의 염을 첨가하였다. 이렇게 된 경우 평형에 이르렀을 때 최종 평형 염농도는 각각 1%, 2%, 3%에 이르게 된다.

동치미의 발효 숙성

제조된 동치미는 유리병 용기에 밀봉하여 포장한 후 3, 10, 15, 28°C의 항온기나 냉장고에 저장하면서 시간에 따라 pH, 총산, 헤드스페이스의 CO₂ 농도를 측정하였다. 밀봉 포장용기로는 용적이 약 850ml인 유리병에 동치미 515g을 담고 lug cap((주) 두산제관, 이천)으로 밀봉하였다. 이러한 조건에서 병의 자유용적은 315ml로 측정되었다. Lug cap의 뚜껑에는 구멍을 내고 silicone으로 밀봉하여 sampling port를 만들어서 헤드스페이스의 가스를 gas tight syringe로 sampling할 수 있도록 하였다.

동치미의 발효중 CO₂발생량, pH, 총산의 측정

동치미를 저장하면서 pH와 총산을 측정하고, 헤드스페이스의 CO₂ 농도를 측정하여 발효에 의해서 발생된 CO₂량을 얻었다. 모든 측정 결과는 2회 이상의 반복 실험치의 평균값으로 나타내었다. 각 측정시점에서 병에 밀봉되어 숙성된 동치미에 대하여 먼저 헤드스페이스(head space)의 가스 1ml를 취하여 이산화탄소 농도를 gas chromatograph(Hitachi Ltd., Tokyo, 일본)에 의하여 측정하고 유리병을 개봉하여 동치미 액즙의 pH 및 총산을 측정하였다.

Gas chromatograph에 의한 CO₂ 가스농도의 측정조건으로는 He를 carrier gas로 하여 Alltech CTR I column(Alltech Associate Inc., Deerfield, IL, 미국)을 통과시킨 후 열전도도 검출기(TCD)에 의하여 정량하였다. 헤드스페이스의 CO₂ 농도로부터 동치미에 의하여 발생된 CO₂ 발생량은 다음 식(1)에 의하여 구하였다.

$$\text{발효로부터 생성된 CO}_2\text{의 양} = C_g V_g + C_l V_l \quad (1)$$

여기서 C_g는 헤드스페이스의 CO₂의 농도(mg/ml), C_l은 동치미 액즙의 CO₂의 농도(mg/ml), V_g는 헤드스페이스의 부피(ml), V_l은 액즙의 부피이다.

즉, 식 (1)에 의하면 발효로부터 발생된 CO₂의 양은 헤드스페이스의 CO₂(C_gV_g)와 액즙에 녹아있는 CO₂(C_lV_l)의 합으로 나타나게 된다. 그런데 헤드스페이스의 CO₂의 양과 액즙에 녹아있는 CO₂의 사이에는 다음 (2)식의 Henry의 법칙관계가 성립되므로 헤드스페이스의 CO₂의 분압을 알면 액즙의 CO₂의 농도를 알 수 있고, 따라서 발효로부터 생성된 CO₂의 전체량을 얻을 수 있다. 김치에 대해서 이러한 관계는 잘 성립되는 것이 Lee 등(11)에 의하여 이미 확인된 바 있다.

$$C_l = k_{CO_2} P_{CO_2} \quad (2)$$

여기서 k_{CO₂}는 Henry의 상수(mg ml⁻¹ bar⁻¹), P_{CO₂}는 헤드스페이스의 CO₂분압(bar)인데 헤드스페이스의 CO₂의 농도로부터 이상기체상태 방정식에 의하여 다음식 (3)에 의하여 얻어질 수 있다.

$$P_{CO_2} = \frac{C_g RT}{100000 M} \quad (3)$$

여기서 R은 기체상수(8.314 J/K mol), T는 절대온도(K), M은 CO₂의 분자량(kg/mol)이다

식 (2)의 Henry의 상수, k_{CO₂}는 Rammert와 Pader-son(12)에 의하여 보고된 식 (4)의 관계를 이용하였다.

$$k_{CO_2} = 3.36764 + 0.07(1 - C_{O_2}/9) - (0.014 - 0.00044C_{O_2})P_{CO_2} - 0.127230 + 2.8256 \times 10^{-3}\theta^2 - 3.3597 \times 10^{-5}\theta^3 + 1.5933 \times 10^{-7}\theta^4 - (0.47231 - 0.029880 + 1.1605 \times 10^{-3}\theta^2 - 2.2510 \times 10^{-5}\theta^3 + 1.5933 \times 10^{-7}\theta^4) (C_w/128 + C_e/43 + C_{NaCl}/27 + C_f/50) \quad (4)$$

여기서 C_{O₂}는 용존산소 농도(mg/L), θ는 온도(°C), C_s는 당의 농도(g/L), C_e는 알코올 농도(%), C_{NaCl}은 염도 및 총산의 농도(g/L), C_f는 과즙 농도(%)이다.

동치미 액의 pH는 Orion Model 230A pH meter(Orion Research Inc., Boston, 미국)로 측정하였고, 총산은 동치미액 5g을 취하여 증류수 100ml를 더한 다음 pH meter로 측정하여 pH 8.1이 될 때까지 0.1N NaOH로 적정하여 젯산함량의 적정산도로 나타내었다(13)

결과 및 고찰

동치미의 발효 및 CO₂ 발생 특성

염도 2%의 동치미 액이 15°C에서 발효숙성될 때 나타난 pH, 총산 및 헤드스페이스의 CO₂분압의 변화를

Fig. 1에서 보여주고 있다 동치미도 다른 김치류과 마찬가지로 발효숙성과정에서 pH가 감소하고 총산이 증가함을 보이고 있으며, 관능적으로 볼 때 총산함량이 0.1%을 넘는 발효 2일부터 익은 맛이 들기 시작하여 적당히 숙성되어 가장 맛이 좋은 시기는 총산 0.34%에 도달한 발효 5일경으로 나타났다. pH는 초기에 6.9로부터 급격히 감소한 후 발효 4일째인 pH 3.9 부근에 이르러 거의 변화가 없음을 보이고 있으며 맛이 적당한 발효 5일경의 동치미의 pH는 3.8 이었다 이러한 pH의 변화 경향은 배추김치에 비하여 아주 급격하고 그 변화량이 많은데(14,15) 이는 배추김치와 같은 고형물 위주의 김치에 비해, 동치미와 같은 물이 많은 담백한 액즙위주의 김치는 발효액의 완충작용이 크지 않기 때문인 것으로 생각된다. 즉 발효로 인하여 생성된 젯산 등의 유기산에 의하여 액즙의 pH가 좌우되므로 pH의 변화는 생성된 총산에 의하여 지배되는 것으로 판단된다. 아울러 무나 다른 부재료로부터 가용성 고형물이 액즙으로 용출되는 과정도 발효 후반부의 pH변화가 완만해지는 현상을 설명하는 이유 중의 하나로 생각된다. 이와 비슷한 결과가 강 등(3)에 의하여 관찰되고 고찰된 바 있다.

동치미 발효숙성 중 총산함량의 변화경향을 보면, 적절히 숙성되는 총산 0.3~0.4%의 범위에 이르기까지는 직선적으로 증가하다가 그 이후에는 그 증가가 비교적 완만하였다. 민과 권(14)의 배추김치에서의 총산 증가 실험수치를 분석한 Lee와 Lee(16)에 의하면 배추김치의 발효에서는 총산함량 1.15%까지 총산의 증가가 시간에 대해서 직선적이었고 그 이후 점차 감소함을 나타낸 것에 비하면, 동치미에서의 총산의 증가는 배추

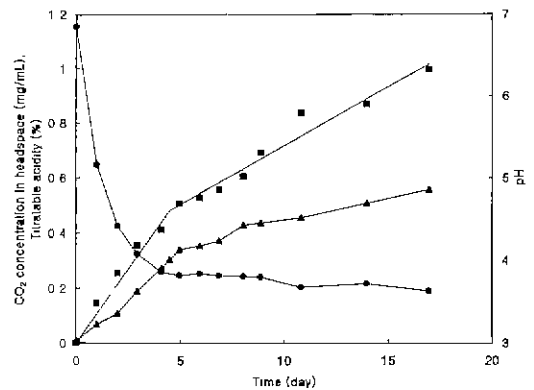


Fig. 1. Change of pH, total acidity and headspace CO₂ concentration during fermentation of *dongchimi* at 15°C. Salt content: 2%, weight of kunchi: 515 g, free volume of the jar: 315ml
●: pH, ▲: acidity, ■: CO₂ concentration of headspace.

김치에 비하여 그 속도도 낮고, 총산함량이 0.3% 부근에서 그 속도가 감소하기 시작함을 보여준다. 동치미는 배추김치에 비하여 고형물이 적으므로 젖산발효에 필요한 기질의 농도와 양이 상대적으로 낮고 적기 때문에 나타난 현상으로 이해된다.

동치미 발효로 인해 생성된 헤드스페이스에서의 CO₂ 농도의 변화를 보면 총산 0.3% 정도에 해당하는 발효 5일까지는 비교적 급격 증가하다가 그 이후 약간 감소된 증가속도를 보여주고 있다(Fig. 1). 발효 5일에 CO₂의 농도는 약 0.5mg/ml이고 이를 분압으로 환산하면 0.3bar 정도이며 이때 동치미는 상쾌한 냄새와 탄산미를 갖고 가장 맛이 있는 시기로 판단되었다. 이러한 헤드스페이스의 CO₂농도의 증가경향은 동치미 발효에서 미생물군의 성장유형과 관계가 있는 것으로 생각된다. 김치류의 발효에서는 발효초기에 절대이상젖산발효균(obhgate heterolactic fermentative)인 *Leuconostoc*

*mesenteroides*가 자라다가 발효중기에는 그 수가 감소하고 정상젖산발효균(homolactic fermentative)인 *Streptococcus*와 *Pediococcus*가 성장하고, 산생성이 어느 정도 이루어진 후에는 통성정상젖산발효균(facultative homolactic fermentative)인 *Lactobacillus plantarum*이 성장하는 것으로 알려져 있다(14,17-19). 그리고 김치 발효에서 맛을 들게 하는 미생물은 발효초기에 급격히 자라는 *Leuconostoc mesenteroides*로 알려져 있으므로(14) 동치미 발효에서 맛이 들기까지 빠른 속도로 발생되는 CO₂는 *Leuconostoc mesenteroides*에 기인하는 것으로 생각되고 그 이후의 CO₂생성은 *Lactobacillus plantarum*에 의한 것으로 평가된다. 이러한 추론과 가정은 문헌(14,17-19)에서 발표된 일반적인 김치발효과정에서의 미생물군의 변화에 기초한 것이고, 동치미에서의 미생물군과 CO₂생성간의 분명한 관계를 알기 위해서는 보다 구체적인 실험이 필요하며, 이는 본연구의 범위밖이다

Fig. 1에 대한 앞에서의 분석의 결과로부터 동치미 발효에서의 CO₂발생은 총산 0.3% 부근까지의 1차단계와 그 이후의 2차단계로 분리하여 분석하는 것이 적절한 것으로 생각되며, 각 단계의 CO₂발생은 시간에 대해서 직선적인 것으로 가정할 수 있었다. 염도 1% 및 3%인 동치미에 대해서도 발효와 CO₂생산에서 비슷한 경향을 보였다(Fig. 2). 따라서 본 연구에서 동치미 발효속성 중 CO₂발생의 분석은 일정한 속도를 갖는 두단계의 값을 계산하여 염도 및 온도의 영향을 살펴보고자 하였다. 이러한 직선적인 두단계의 CO₂발생은 배추김치의 발효에서도 확인된 바가 있다(11).

염도가 동치미의 발효와 CO₂ 발생에 미치는 영향

소금농도가 1%, 2%, 3%인 동치미의 15°C에서의 pH의 감소와 총산의 증가는 Fig. 2에 나타나 있다. 동치미의 발효초기에는 염도 1%와 2%의 경우는 염도 3%에 비해 발효속도가 현저히 빨라서 pH의 감소가 빠르고 총산의 생성속도가 빨랐다. 비록 염도 1%의 동치미가 2%에 비해서 약간의 빠른 pH 감소와 총산의 증가를 보이지만 그 차이는 아주 작았다. 반면에 염도 3%에서는 현저히 발효속도가 낮아져서 익은 맛에 도달하는 총산 0.3%까지의 발효시간을 기준으로 볼 때 염도 1%, 2%의 4~5일보다 긴 7일이 소요되는 것으로 나타났다. 그리고 발효 11일 이후의 과숙기에서는 염도에 따른 pH의 차이는 거의 없었으며 총산은 염도 1%, 2%의 동치미가 약간 높은 값을 보여주고 있다. 염도에 따른 이러한 pH 및 총산의 변화는 문 등(7)의 실험결과와는 약간의 차이를 보이고 있는데 이들의 실험이 4°C의 저온에서

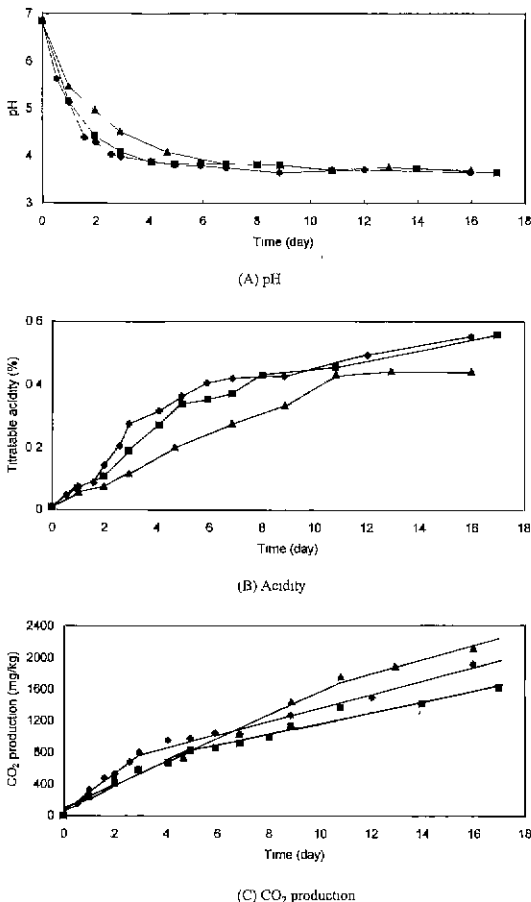


Fig. 2. Effect of salt content on pH, total acidity and CO₂ production during fermentation of *dongchimi* at 15°C.

◆: 1% salt, ■: 2% salt, ▲: 3% salt.

Table 1. CO₂ production rate of *dongchimi* for different salt contents and temperatures

Temperature (°C)	Salt content (%)	CO ₂ production rate (mg/kg day)	
		1st stage	2nd stage
3	2	50.5	33.5
10	2	109.0	45.4
15	1	239.3	86.6
15	2	159.7	69.9
15	3	148.1	91.0
28	2	414.3	159.3

의 실험결과로 액즙과 무간의 평형이 늦어졌음에 기인하는 것으로 생각된다.

염도 1%, 2%, 3%인 동치미의 15°C에서의 CO₂발생도 Fig. 2에 함께 나타내었으며 1차단계 및 2차단계로 분석된 CO₂발생속도는 Table 1에 제시되어 있다. 저염인 1%의 경우가 1차단계인 초기의 CO₂발생속도는 높으나 2차단계인 발효 후반부에서는 그 속도가 현저히 떨어지고 있음을 보이고 있다. 반면에 3% 염도의 동치미는 비록 초기에는 CO₂발생이 낮으나 고발생속도의 1차단계가 오래 지속되고 2차단계의 후반부 CO₂생성속도도 상대적으로 높아서, 발효 7일이후부터는 1% 및 2% 염도의 동치미보다 많은 CO₂축적량을 보이고 있다. 그리고 2%의 동치미는 초기에는 3% 동치미와 비슷한 CO₂발생을 보였지만 저속도의 2차단계의 CO₂발생이 빨리 개시되는 관계로 발효 6일 이후부터는 가장 낮은 CO₂축적을 보이고 있었다.

이러한 염도에 따른 동치미의 CO₂발생은 발효속도의 염도에 대한 의존성과는 다른 결과이며(Fig. 2), Lee 등(11)에 의해 보고된 배추김치에서의 CO₂발생과도 다르다. 동치미에서는 담을 때 소금물에 무를 담구어 놓게되며, 발효속성과정에서 소금물과 무사이에 소금성분과 무의 가용성 고형물의 물질이동이 이루어지면서 젖산발효가 진행되게 된다는 점에서 배추김치와는 다르다. 그리고 이러한 점과 함께 발효자체가 액즙에서 주로 이루어지는 점이 발효과정에서 미생물군의 동적변화와 CO₂발생에 미치는 염도의 영향을 다르게 한 것으로 추정되나 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 시원한 액즙을 주로 섭취하는 동치미에서 3%의 염도에서 발효완속기에 총산의 생성이 늦으면서 CO₂발생이 높은 것은 동치미의 관능적인 특성에 바람직한 영향을 주는 것으로 생각된다. 특히 장기 저장용의 동치미인 경우 3%의 고염도가 늦은 총산증가와 높은 CO₂축적으로 저장성과 관능성의 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

동치미의 발효와 CO₂발생의 온도의존성

염도 2%의 동치미를 3, 10, 15, 28°C의 온도에서 발

효시킬 때의 pH, 총산, CO₂발생의 변화를 Fig. 3에서 보여주고 있다. 일반적으로 모든 김치류에 나타나는 것처럼 온도가 높을수록 총산의 생성이 빠르고 pH의 하강이 급격하였으며 아울러 CO₂생성도 빠른 것으로 나타났다. 하지만 저온에서 완만한 총산증가로 1차단계의 CO₂생산이 오래 지속되어서 적숙상태의 총산 0.3% 수준에 도달한 이후에는 높은 CO₂의 축적을 보여주고 있다. 따라서 고농도의 CO₂를 축적시키기 위해서는 저온발효가 적절한 것으로 판단된다. 또한 CO₂는 저온에서 수용액에서의 용해도가 높으므로(12,20), 액즙에 녹는 CO₂의 양이 증가하게 되므로 관능적인 품질면에서는 더욱 좋을 것으로 생각된다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 총산 0.3~0.4%에 이를 때까지의 총산의 증가는 시간에 대해 직선적이므로 시간

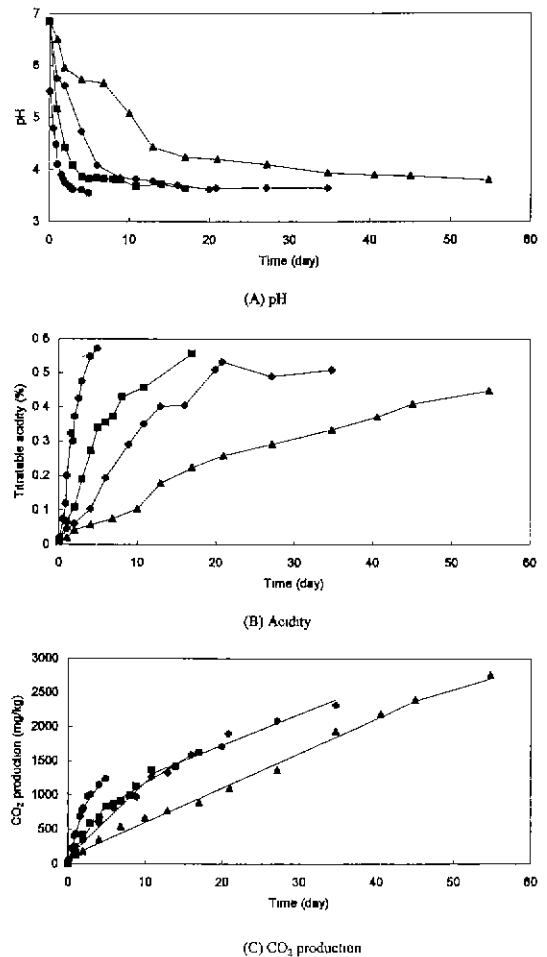


Fig. 3. Effect of temperature on pH, total acidity and CO₂ production during fermentation of *dongchimi* of 2% salt content. ●: 28°C, ■: 15°C, ◆: 10°C, ▲: 3°C

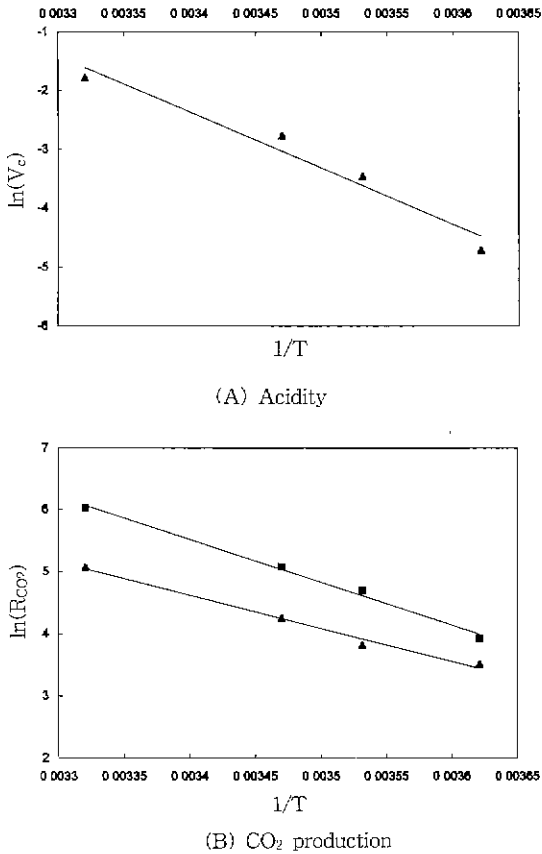


Fig. 4. Arrhenius plot of fermentation rate(V_c) and CO₂ production rate(R_{CO_2}) of *dongchimi* of 2% salt content.

Solid lines represent regression values
 \triangle : rate of acidity increase ($r^2=0.96$), \blacksquare : 1st stage CO₂ production ($r^2=0.99$), \blacktriangle : 2nd stage CO₂ production ($r^2=0.99$).

에 따른 총산 증가의 기울기를 구하여 절대온도의 역수의 함수관계로 Arrhenius 방정식의 관계로 도식한 바가 Fig. 4(A)에 제시되어 있다. 이러한 방법으로 김치 발효속도의 온도의존성을 분석한 예는 구 등(15), 및 Lee와 Lee(16)의 연구를 들 수 있다. Fig. 4로부터 Arrhenius 방정식(식(5))에 의해 동치미 발효속성의 활성화 에너지를 구하였을 때, 79.3kJ/mol로서 배추김치에 대한 구 등(15)의 79.5kJ/mol과는 비슷하고 Lee와 Lee(16)의 95.6kJ/mol보다는 낮았다.

$$V_c = V_{c0} \exp\left(\frac{-E_{av}}{RT}\right) \quad (5)$$

여기서 V_c 는 절대온도 T에서의 총산의 증가속도(%/day)이고, V_{c0} 는 상수(%/day), E_{av} 는 총산증가의 활성화 에너지(J/mol)이다.

Fig 1에서 제시한 바와 같이 CO₂의 발생을 1차단계 및 2차단계로 나누어 단위시간에 발생하는 CO₂ 발생 속도로 정리한 결과를 각 온도에 대해서 Table 1에 나타내었고, 이의 온도의존성의 관계를 Arrhenius 방정식(식(6))의 관계로 도식하면 Fig. 4(B)와 같았다.

$$R_{CO_2} = A_{CO_2} \exp\left(\frac{-E_{ac}}{RT}\right) \quad (6)$$

여기서 R_{CO_2} 는 절대온도 T에서의 CO₂의 생산속도(mg/kg day)이고, A_{CO_2} 는 상수(mg/kg day), E_{ac} 는 CO₂ 생산의 활성화에너지(J/mol)이다.

이러한 관계로부터 CO₂발생의 활성화 에너지를 구하면 1차단계 및 2차단계에 대해서 각각 57.3, 44.3kJ/mol의 값을 얻을 수 있었다. 이는 앞에서 얻은 동치미에서 총산증가의 활성화에너지 79.3kJ/mol보다는 작은 값으로, 저온에서 총산증가에 비해서 상대적으로 많은 CO₂가 발생되고 있음을 나타내고 있다. 이는 동치미가 주로 저온에서 발효속성되어서 총산의 증가는 낮지만 상대적으로 많은 CO₂를 생성시켜서 시원하고 상쾌한 탄산가스의 맛을 많이 내는 김치류가 되게 하는 이유가 되기도 한다.

이상에서 동치미 발효속성 중의 CO₂발생특성을 살펴본 결과 일정한 속도를 갖는 두단계로 나누어 분석할 수 있었고, 총산 0.3%에 이르기까지는 비교적 고속의 CO₂발생을 보이고, 그 이후에는 낮은 2차단계를 보였다. 1~3%의 범위에서 염도의 영향을 살펴본 결과 3% 수준에서 낮은 1차단계의 CO₂발생을 보이지만, 긴 1차단계를 지속시키고 상대적으로 높은 CO₂발생의 2차단계를 가지게 되어서, 장기저장용의 동치미에서 저장성과 관능적 품질의 향상에 바람직한 것으로 나타났다. 동치미에서 CO₂발생의 온도의존성은 총산증가에 비해서 상대적으로 작아서, 저온에서의 발효가 총산증가를 고려할 때 상대적으로 충분한 CO₂의 발생과 축적을 이룰수 있는 특성으로 갖는 것으로 평가된다. 또 저온발효는 1차단계의 CO₂의 발생이 오래 지속되어 적숙상태의 동치미에 다량의 CO₂를 축적시킬 수 있어서 바람직하였다.

요 약

동치미를 염도 및 온도 조건이 다른 조건에서 발효 속성시키면서 pH와 총산의 변화, CO₂발생을 측정하고, CO₂발생특성을 분석하였다. 동치미의 발효 중 pH는 초기에 급격히 감소한 후 3.9 부근에서는 거의 변화가 없거나 완만하였고 총산은 0.3~0.4%까지는 일정한 속도

로 증가하다가 그 이후 완만히 증가하였다. 동치미 발효 중 CO₂발생은 총산 0.3%부근에 이르기까지는 빠르고 일정한 속도를 보이다가 그 이후 낮아졌으며, 각각 시간에 대해 그 속도가 일정한 고속의 1차단계와 저속의 2차단계로 구성된 두개의 영역으로 나누어 분석할 수 있었다. 3% 수준의 고염도 동치미는 1% 및 2% 염도의 동치미에 비해 낮은 1차단계의 CO₂발생을 보이지만, 긴 1차단계를 지속시키고 상대적으로 높은 CO₂발생의 2차단계를 가지므로, 장기저장용의 동치미에서 저장성과 관능적 품질의 향상에 바람직하였다. 동치미 발효에서 총산증가의 발효속도와 CO₂발생속도의 온도의존성을 Arrhenius방정식에 의하여 표현할 때, CO₂발생의 온도의존성을 나타내는 활성화에너지는 1차단계 및 2차단계에 각각 57.3kJ/mol, 44.3kJ/mol으로 총산증가의 79.3kJ/mol에 비해서 현저히 낮아서 저온에서 발효속도는 낮지만 비교적 많은 CO₂를 발생시켰다. 또 저온발효는 1차단계의 CO₂의 발생이 오래 지속되어 저속생태의 동치미에 다량의 CO₂를 발생시키고 축적시키는데 효과적이었다.

감사의 글

본 연구는 경남대학교 부설연구소 특별연구비의 지원에 이루어진 연구로 이에 감사드립니다.

문헌

1. 조재선, 황성연 : 김치류 및 절임류의 표준화에 관한 조사연구(2). 한국식품과학회지, 3, 301(1988)
2. 천중희, 이혜수 : 김치의 휘발성 유기산과 이산화탄소에 관한 연구 한국식품과학회지, 8, 90(1976)
3. 강근욱, 손현주, 김우정 : 동치미의 발효 중 화학적 및 관능적 성질의 변화. 한국식품과학회지, 23, 267(1991)

4. 강근욱, 구경형, 이정근, 김우정 : 동치미의 발효중 물리적 성질의 변화. 한국식품과학회지, 23, 262(1991)
5. 정동효 : 김치 성분예 관한 연구, 제3보, 동치미의 산화, 환원 전위에 대하여. 한국식품과학회지, 2, 34(1970)
6. 이매리 : 동치미의 맛 성분에 대한 연구. 서울대학교 석사학위논문(1990)
7. 문성원, 조동욱, 박완수, 장명숙 : 동치미의 발효 속성에 미치는 소금농도의 영향. 한국식품과학회지, 27, 11(1995)
8. 강근욱, 김종근, 김우정 : 열처리와 염의 첨가가 동치미 발효에 미치는 영향. 한국영양식량학회지, 20, 565(1991)
9. 강근욱, 구경형, 김우정 : 동치미의 저장성 향상을 위한 열수담금 및 염혼합물의 병용효과. 한국영양식량학회지, 20, 559(1991)
10. 김동희, 진원희, 김우정 : 동치미액 제조를 위한 발효기간 단축연구. 한국식품과학회지, 26, 726(1994)
11. Lee, D. S., Kwon, H. R. and Ha. J. U. : Estimation of pressure and volume changes for packages of kimchi, a Korean fermented vegetable. *Packaging Technol. Sci.*, 10, 15(1997)
12. Rammert, M. and Paderson, M. H. P. : Die Loslichkeit von Kohlendioxid in Getranken. *Brauwelt*, 131, 488(1995)
13. Ruck, J. A. : *Chemical methods for analysis of fruits and vegetable products*. Canada Department of Agriculture, Summerland, BC, Canada, p.26(1963)
14. 민태익, 권태완 : 김치 발효에 미치는 온도 및 소금농도의 영향. 한국식품과학회지, 16, 443(1984)
15. 구경형, 강근욱, 김우정 : 김치의 발효과정 중 품질변화. 한국식품과학회지, 20, 476(1988)
16. Lee, K. S. and Lee. D. S. : A Kinetic model for lactic acid production in kimchi, a Korean fermented vegetable dish. *J. Ferment. Bioeng.*, 75, 392(1993)
17. 하덕모 : 김치의 발효경과 및 산패억제. 김치의 과학(심포지움 발표논문집), 한국식품과학회, p.43(1994)
18. 신동화 : 공장김치의 발효온도 및 포장방법별 성분과 미생물의 변화. 김치의 과학(심포지움 발표논문집), 한국식품과학회, p.82(1994)
19. Beuchat, L. R. : Application of biotechnology to indigeneous fermented foods. *Food Technol.*, 49, 97(1995)
20. Markhan, A. E. and Kobe, K. A. : The solubility of carbon dioxide and nitrous oxide in aqueous salt solutions. *J. Amer. Chem Soc.*, 63, 449(1941)

(1997년 8월 12일 접수)