

CO₂ 흡수제 함유 김치포장에서 CO₂ 농도와 제품 숙성도의 상호관련성

정수연 · 이동선 · 안덕순*

경남대학교 바이오융합학부

Interrelationship between Kimchi Ripening and CO₂ Concentration of the Headspace in Flexible Packages Included with CO₂ Absorber

Soo Yeon Jung, Dong Sun Lee, and Duck Soon An*

School of Bioconvergence, Kyungnam University, Changwon, 631-701 Korea

Abstract CO₂ concentration in kimchi package has emerged recently as a potential index of product ripening to be monitored or sensed in intelligent packaging. Considering that addition of CO₂ absorber into the flexible kimchi package changes behavior of its CO₂ concentration, ripening of kimchi in total acidity, package CO₂ concentration in partial pressure (P_{CO_2}) and package volume at 10°C were estimated by mathematical model for two size packages included with different CO₂ absorbers. In small size package containing 0.5 kg of kimchi, relatively less gas permeable low density polyethylene (LDPE) sachet of the absorber was found to give rise of P_{CO_2} linearly correlated with acidity at acceptable conditions of absorber amount and size. The levels of P_{CO_2} at optimum ripening were different with absorber amount. However, highly gas permeable microporous spunbonded film (Tyvek) sachet did not show the linear relationship except a condition of 1.5 g of CO₂ absorbent. In large size package containing 2.0 kg, absorber sachets of LDPE and Tyvek could give the linear relationship between product acidity and package P_{CO_2} but at different levels (P_{CO_2} of package with LDPE sachet: 0.46~0.79 bar, P_{CO_2} of package with Tyvek sachet: 0.00~0.75 bar). The P_{CO_2} at optimal ripening was found to be less variable with LDPE sachets than with Tyvek ones. Use of package CO₂ concentration as an indicator of kimchi ripening was shown to be possible on the limited conditions where the linear relationship between them is established or confirmed.

Keywords CO₂ absorber, CO₂ pressure, Package volume, Ripening, Titratable acidity

서 론

시중에 판매되고 있는 유연성 김치 포장재의 형태는 불투과성 포장재로 포장된 김치 포장 내부에 CO₂ 흡수제를 부착¹⁾하거나 고 CO₂ 투과성 필름을 활용한 포장방법²⁾, 투과성 포장재와 클립 밀봉의 포장방법 등이 있다. 포장 형태는 김치의 발효 과정 중에 발생하는 CO₂ 농도 증가에 의한 포장재 터짐을 방지하는 목적으로 덜 익은 김치, 적당히 숙성된 김치, 잘 익은 김치 등으로 기호에 따라 다양하게 선택하고자 하는 소비자의 요구를 만족하지 못하고 있다.

소비자는 포장된 김치 그대로 포장 외부에서 적정 숙성 정도를 확인하고 싶어하며, 제조업자나 판매자는 김치 숙성 정도를 파악하여 제품의 품질 및 재고관리를 쉽게 파악하기를 원한다. 이러한 관점에서 김치의 숙성 정도를 확인할 수 있는 발색지시계 연구가 활발히 진행되고 있다³⁻⁹⁾. 지시계는 pH 범위에 따라 다양한 색변화를 나타내는데, 김치의 경우 숙성이 진행되면서 휘발성 유기산과 CO₂ 생성으로 pH가 감소되므로 지시계의 색변화를 확인할 수 있다. 이러한 발색지시계는 김치의 숙성 진행에 따라 pH 감소와 총산 증가로 생성된 휘발성 유기산과 김치 포장 내 축적된 CO₂의 영향을 받아 지시계 혼합물의 색깔 변화가 나타난다. 지시계의 색변화를 단계별로 확인하기 위해서는 김치의 숙성 정도에 따라 총산 증가로 인한 휘발성 유기산과 CO₂ 농도의 상호 관련성을 파악하는게 중요하다.

*Corresponding Author : Duck Soon An
School of Bioconvergence, Kyungnam University, 7 Kyungnam-daehak-ro, Changwon 51767, South Korea
Tel : +82-55-249-2360
E-mail : ads2004@kyungnam.ac.kr

김치 발효로 생성되는 휘발성 유기산과 CO₂ 농도는 저장 온도, 초기 김치의 품질 상태, 포장되는 김치의 양과 포장 내부의 자유용적 크기, 김치 포장재의 가스 투과도, 김치 포장 내 부착되는 CO₂ 흡수제의 종류와 양, CO₂ 흡수제 포장 재질과 크기 등의 영향을 받는다. 통상적으로 김치의 적숙기 기준은 총산 함량 0.6~0.8%의 범위로 보고되어 있으며³⁾, CO₂ 발생 농도에 관계없이 일정한 온도에서 일정한 기간 내 적숙기에 도달한다. 즉, 김치 포장 내 부착되는 CO₂ 흡수제의 역할로 인해 발효로 생성된 CO₂를 흡수함으로써 포장 내 존재하는 CO₂ 농도는 낮지만, 일정한 기간 동안 김치는 적숙기 상태로 숙성되어 있거나 발효가 더 진행되어 후숙기의 잘 익은 김치로 진행되어 있다. Baek 등⁹⁾의 연구에서는 CO₂ 흡수제가 부착되지 않은 조건에서 저장기간에 따른 총산 증가와 함께 포장 내 CO₂ 농도와 휘발성 산의 비례적 상관관계로 숙성 정도에 따라 지시계 색 변화를 확인할 수 있다. 그러나, 김치 포장 내 CO₂ 흡수제가 부착될 경우에는 CO₂ 흡수제의 작용으로 김치 포장 내 CO₂ 농도 변화가 일정하지 않을 수 있다. 김치 포장 내 지시계를 활용한 김치의 숙성 정도를 정확하게 판단하기 위해서는 김치의 총산 증가에 따라 CO₂ 흡수제의 역할과 함께 CO₂ 농도의 증가가 직선적인 관계로 형성됨으로써 지시계의 색깔 변화를 뚜렷하게 구분할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 예측 프로그램을 활용하여 김치의 숙성 정도에 따른 총산 증가와 CO₂ 농도 및 부피 증가의 직선성에 영향을 미치는 CO₂ 흡수제의 양, 흡수제 재질의 종류, 흡수제 봉지의 크기 중에서 주된 변수를 파악하고자 한다. 예측 변수를 통해 김치의 숙성에 따른 총산 증가와 CO₂ 농도의 상관관계를 확인하면 CO₂ 발생지시계의 역할에 필요한 기본 정보를 제공할 수 있을 것이다.

예측 프로그램

Jaisan 등¹⁰⁾이 확립한 CO₂ 흡수제 함유 김치포장의 거동에 대한 수학적 model을 활용하여 CO₂ 흡수제 양과 흡수제 봉지의 조건에 따른 김치의 총산 생성, 포장 내 부피변화, 포장 내 CO₂ 압력변화를 예측하고 변수들의 상호관련성을 검토하였다.

김치의 총산 생성은 식 (1)의 미분방정식으로 표현하였다.

$$\frac{dA_t}{dt} = \frac{\mu_{max} \left\{ 1 - \frac{\exp(A_t)}{\exp(A_{tmax})} \right\}}{1 + \exp\{-25(t - \lambda)\}} \quad (1)$$

여기서 A_t 는 총산도(%), t 는 저장기간(d), A_{tmax} 는 최대 총산도(%), λ 는 유도기(d), μ_{max} 는 최대산생성속도(d⁻¹)이다.

흡수제로부터 CO₂의 흡수제거속도는 흡수제 봉지의 내부 CO₂ 분압을 0으로 가정하고 식 (2)로 표현하였다¹¹⁾:

$$S_{CO_2} = \frac{\bar{P}_{CO_2} A_{ab} (P_{CO_2} - 0)}{L} \quad (2)$$

여기서 S_{CO_2} 는 흡수제 능력 범위 내에서 봉지로의 CO₂ 흡수속도(mol d⁻¹), $\bar{P}_{CO_2}$ 는 흡수제 봉지 필름의 CO₂ 투과도(mol $\mu\text{m m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ bar}^{-1}$), A_{ab} 는 흡수제 봉지의 필름 표면적(m²), P_{CO_2} 는 김치 포장 내의 CO₂ 분압(bar)이고, L 은 필름의 두께(μm)이다.

시간에 따른 포장 내 부피변화와 CO₂ 압력변화는 식(3)과 식(4)를 통해 얻을 수 있다.

$$\frac{dV_h}{dt} = \frac{n_g R_g T}{(1.013 - P_{CO_2})^2} \left(\frac{dP_{CO_2}}{dt} \right) \quad (3)$$

$$\frac{dP_{CO_2}}{dt} = \frac{(WR_{CO_2} - S_{CO_2})}{\left(\frac{V_h}{R_g T} + \frac{n_g P_{CO_2}}{(1.013 - P_{CO_2})^2} + H_{CO_2} W \right)} \quad (4)$$

여기서 V_h 는 포장 내 헤드스페이스의 부피(L), n_g 는 CO₂ 이외 기체들의 mol수로서 초기 포장 조건에서의 자유 용적과 그 분압으로부터 계산 가능, R_g 는 기체상수(0.08314 bar L K⁻¹ mol⁻¹), T 는 온도(K), WR_{CO_2} 는 김치로부터 발생된 CO₂, H_{CO_2} 는 김치에의 CO₂ 용해도(mol kg⁻¹ bar⁻¹)이다.

위에서 제시된 미분방정식 (1), (3), (4)를 사용하여 저장 중 김치의 총산(A_t), 포장 내 CO₂ 압력(P_{CO_2}) 변화, 포장 내 부피(free volume) 변화를 얻을 수 있다¹⁰⁾. 미분방정식의 전체적인 풀이과정은 4차 Runge-Kutta 방법을 사용하여 Matlab 언어 프로그램으로 작성하여 결과를 얻었다.

김치 포장과 저장 조건, CO₂ 흡수제 봉지 조건에 대해 기술된 내용은 실제 실험을 수행한 부분이 아니고, 현실 조건을 감안하여 예측 프로그램에 적용된 데이터 조건이다. 저장된 김치의 총산(A_t), 포장 내 CO₂ 압력(P_{CO_2}) 변화, 포장 내 부피(free volume) 변화를 예측하는 구체적 조건으로서 온도는 10°C, 포장되는 김치의 양은 소용량 0.5 kg과 대용량 2.0 kg으로 구분하고, 염도 2.8%, 초기 산도 0.33%, 초기 자유 용적은 0.5 kg 김치에 대해 0.6 dL, 2.0 kg 김치에 대해 3 dL로 진행하였다. 시중에서 판매되고 있는 동일한 크기의 김치 포장 조건에서 측정한 자유용적 값을 입력

Table 1. CO₂ absorber factors considered for prediction of A_t , P_{CO_2} and free volume.

Kimchi weight (kg)	Sachet material	CO ₂ absorber (g)	Sachet area (m ²)
0.5	LDPE Tyvek	1.5	0.0008, 0.0032, 0.0072
		3.5	0.0032, 0.0050, 0.0072
		4.5	0.0072, 0.0098, 0.0128
2.0	LDPE Tyvek	3.0	0.0050, 0.0072, 0.0098
		5.0	0.0072, 0.0098, 0.0128
		7.0	0.0098, 0.0128, 0.0162

하였다. 통상적으로 유통되고 있는 김치 포장재는 알루미늄 적층 플라스틱 필름(폴리에틸렌 테레프탈레이트/Al/선형 저밀도폴리에틸렌)의 불투과성 포장재질로써 유통되고 있는 동일한 조건이라는 가정하에 예측 프로그램을 사용하였다. CO₂ 흡수제는 시중에서 김치 포장에 적용하여 판매되고 있는 수산화칼슘으로 정하고, 흡수제 봉지 재질은 가장 많이 사용되는 LDPE (cleanwrap, Gyeongsangnam-do, Korea, CO₂ 투과도 0.96 mol d⁻¹m⁻² bar⁻¹, 10°C)와 Tyvek (1059B, DuPont, Wilmington, DE, USA, CO₂ 투과도 2,115 mol d⁻¹m⁻² bar⁻¹, 10°C)을 선택하였다. 김치의 양이 0.5 kg인 경우에는 흡수제 양을 1.5, 3.5, 4.5 g으로 정하고 2.0 kg인 경우에는 흡수제 양을 3.0, 5.0, 7.0 g으로 하였다. 김치 0.5 kg에 사용된 흡수제 양과 김치 2.0 kg에 사용된 흡수제의 양은 김치 포장 내 장착 가능한 흡수제 봉지의 크기를 고려하여 결정하였다. 포장용 김치의 양, 흡수제 봉지 재질에 따른 CO₂ 흡수제 사용량, 흡수제 봉지의 면적은 Table 1에 정리하여 제시하였다.

결과 및 고찰

1. CO₂ 흡수제 작용에 따른 김치 포장 내 총산, P_{CO_2} , 부피 변화

불투과성 포장 재질에 포장된 소용량 김치 0.5 kg에 대해

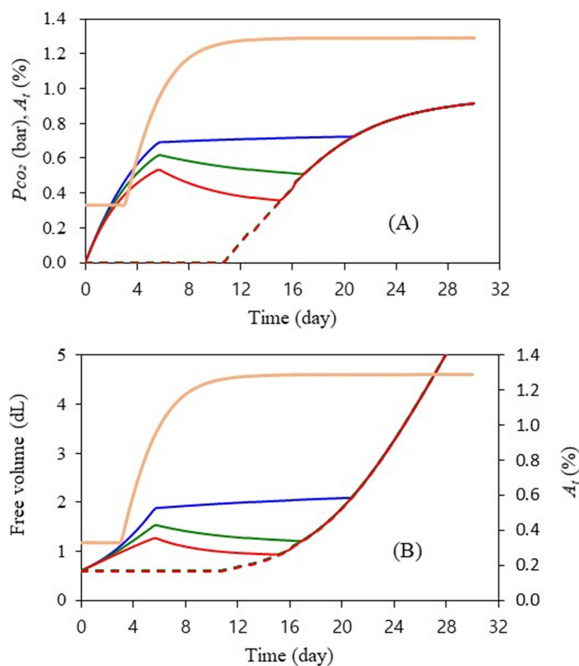


Fig. 1. CO₂ pressure (A) and free volume (B) changes of 0.5 kg kimchi packages with 3.5 g CO₂ absorber in different sachets at 10°C. —: A_r (%); —: 0.0032 m² LDPE; —: 0.0050 m² LDPE; —: 0.0072 m² LDPE; ---: 0.0032 m² Tyvek; ---: 0.0050 m² Tyvek; ---: 0.0072 m² Tyvek.

서는 3.5 g CO₂ 흡수제 봉지, 대용량 김치 2.0 kg에 대해서는 5.0 g CO₂ 흡수제 봉지를 부착하여 30일 저장 기간 동안 총산 변화, P_{CO_2} 변화, 포장 내 부피 변화를 예측하여 제시하였다(Fig. 1과 2). 온도 10°C에서 불투과성 포장 재질에 포장되는 김치의 양과 포장내 부착된 흡수제 양에 상관없이 산 생성은 일정한 기간 동안 초기 0.3%에서 꾸준히 증가하여 저장 8.5일 이후 1.2~1.3%로 평형을 이루었다. 적숙기 0.6~0.8%의 총산 함량은 약 4~5일 사이에 도달되는 것으로 예측되어 Hong 등³⁾이 제시한 총산 0.75% 도달 시간이 10°C에서 7일과 비교하면 다소 차이가 있으나, 이는 계절적인 부분과 김치의 제조 배합 비 등에서의 차이로 생각된다.

Fig. 1의 소용량 김치 0.5 kg 포장에서 LDPE 재질 흡수제 봉지의 P_{CO_2} 는 저장 6일까지 직선적으로 증가하고 저장 6일 이후 흡수제 봉지의 면적에 따라 P_{CO_2} 변화가 다르게 나타났다. 0.0032 m² LDPE 재질의 흡수제 봉지를 부착한 김치 포장 내에서 P_{CO_2} 는 저장 6~21일까지 약 0.7 bar로 평형에 이른 후 21일 이후 흡수제의 흡수 능력 소실로 지속적인 증가를 보이고 있다. 0.0050 m² LDPE 재질 흡수제 봉지를 부착한 포장에서 P_{CO_2} 는 저장 6~17일까지 0.61 bar에서 0.51 bar로 감소하다가 17일 이후 증가하였고, 0.0072 m² LDPE 재질 흡수제 포장에서 P_{CO_2} 는 저장 6~15일까지 0.52 bar에서 0.35 bar로 감소하다가 15일 이후 증가하였다. LDPE 필름 봉지의 면적이 클수록 흡수할

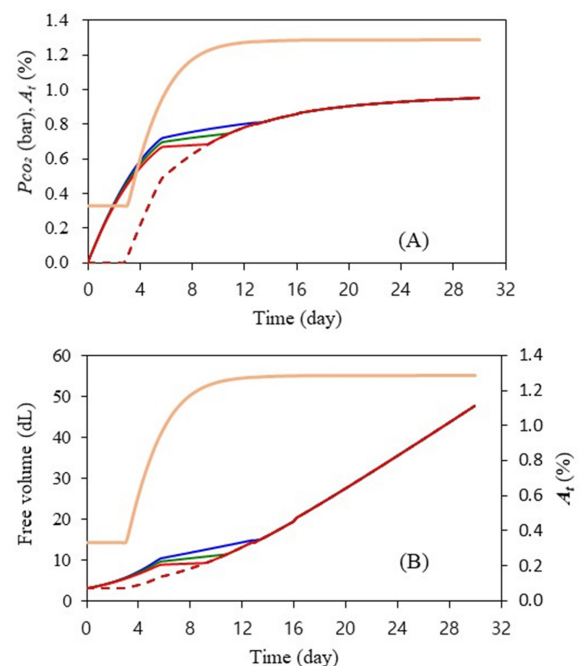


Fig. 2. CO₂ pressure (A) and free volume (B) changes in 2.0 kg kimchi packages with 5.0 g CO₂ absorber in different sachets at 10°C. —: A_r (%); —: 0.0072 m² LDPE; —: 0.0098 m² LDPE; —: 0.0128 m² LDPE; ---: 0.0072 m² Tyvek; ---: 0.0098 m² Tyvek; ---: 0.0128 m² Tyvek.

수 있는 투과 면적이 증가하여 P_{CO_2} 가 낮게 유지되는 반면에 흡수제의 CO_2 흡수 능력이 잘 발휘되어 흡수 능력 소실로 인한 P_{CO_2} 증가 시작 시점이 짧아지고 있다. Tyvek 재질 흡수제 봉지에서는 흡수제 면적에 상관없이 Tyvek 재질 자체의 투과도가 높아 CO_2 를 흡수하여 P_{CO_2} 는 저장 11일까지 0 bar로 유지되다가 저장 11일 이후 흡수제 능력이 소진되어 포장내 CO_2 축적으로 흡수제 면적 크기에 상관없이 P_{CO_2} 증가를 보였다. 즉, 투과도가 낮은 LDPE 필름 봉지는 흡수제 봉지의 면적에 따라 CO_2 투과 속도가 P_{CO_2} 의 변화에 영향을 미치지만, 투과도가 높은 Tyvek 필름 봉지는 면적에 따라 P_{CO_2} 변화에 영향을 미치지 않는다. 김치 포장 내 부피 증가는 포장 내 CO_2 축적에 의해 이루어지므로 김치 포장내 부피 변화는 P_{CO_2} 의 변화와 동일한 경향을 보이고 있다. 저장 30일 동안 LDPE 재질의 흡수제 봉지 사용조건에서는 필름의 면적에 따라 부피가 다르게 증가하지만, Tyvek 재질의 흡수제 봉지 사용조건에서는 면적에 따른 부피 차이가 없었다.

Fig. 2의 대용량 김치 2.0 kg 포장에서는 LDPE 재질 흡수제 봉지의 P_{CO_2} 는 저장 6일까지 0.67~0.72 bar 범위 내에서 직선적으로 증가하고 저장 6일 이후 완만하게 소폭 증가하다가 그 이후 흡수제 봉지 면적에 따라 다른 시점에서 크게 증가하고 있다. 즉, 0.0072 m² LDPE 재질의 봉지는 저장 14일, 0.0098 m² LDPE 재질의 봉지는 12일, 0.0128 m² LDPE 재질의 봉지는 9일 이후 크게 증가하고 있다. P_{CO_2} 변화는 소용량 0.5 kg 김치 포장과 비슷한 경향을 보이거나 LDPE 재질 흡수제 봉지의 면적에 따른 상대적인 차이는 크지 않았다. Tyvek 재질 흡수제 봉지의 P_{CO_2} 는 소용량 0.5 kg 포장과 동일한 경향으로 흡수제 면적에 상관없이 저장 3일까지 0 bar로 유지되다가 저장 3일 이후 P_{CO_2} 증가를 보였으며, 포장되는 김치 양과 흡수제 양에 따라 CO_2 를 흡수하는 능력의 차이로 P_{CO_2} 증가 시점이 달라질 수는 있다.

김치 포장 내 P_{CO_2} 증가는 사용되는 흡수제 사용 조건에 따라 CO_2 축적과 연관되어 포장 내 부피 변화에 영향을 준다. CO_2 흡수제가 저장기간 동안 김치 발효로 생성된 CO_2 를 전부 흡수한다면 김치 포장 내 부피 팽창 억제에는 도움이 될 수 있으나, 김치의 관능적 특성에는 좋지 못한 영향을 줄 수 있다. 그래서, 저장 유통기한 동안 허용 가능한 부피 팽창의 범위에서 P_{CO_2} 의 변화를 살펴볼 필요가 있는데, 문헌²⁾에서 시각적으로 허용 가능한 부피 팽창 기준은 8 dL/kg의 정도로 보고되어 있다. 0.5 kg 김치 포장에서 CO_2 흡수제를 1.5~4.5 g 사용하면 저장 12일 동안 허용 가능한 범위 내 부피가 팽창하였고, 2.0 kg 김치 포장에서 CO_2 흡수제를 3.0~7.0 g 사용하면 저장 13일 동안 허용 가능한 범위 내 부피가 팽창하였다(구체적인 예측 데이터 생략). 본 연구에서는 적숙기 범위 내에서 허용 가능한 부피를 기준으로 하여 위에서 제시한 0.5 kg 김치와 2.0 kg

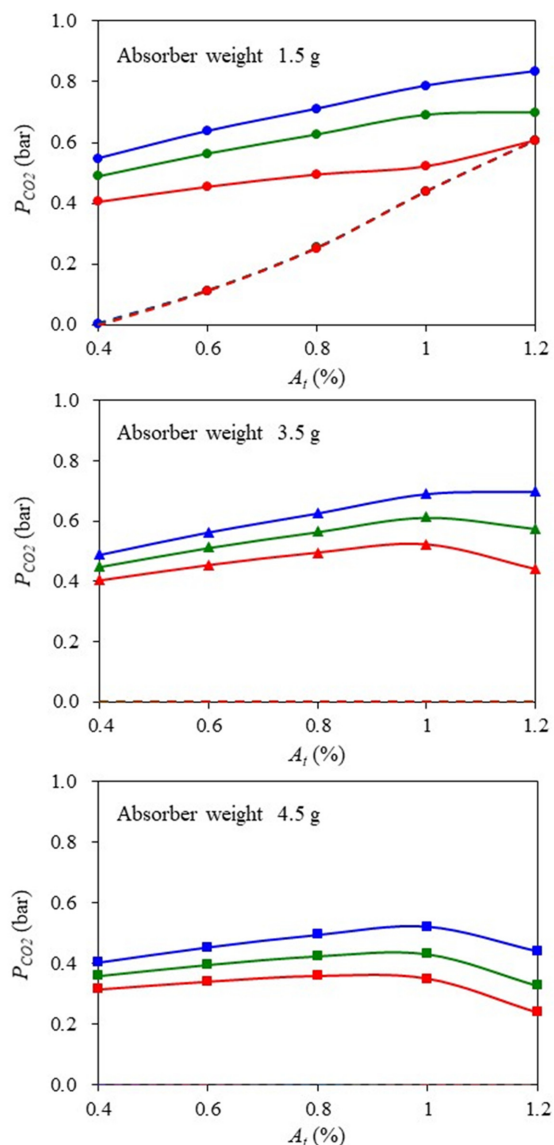


Fig. 3. CO_2 partial pressure change (P_{CO_2}) of 0.5 kg kimchi packages progressing along with acidity change (A_t) for different absorber amount and sachet conditions. Full lines: LDPE; dotted lines: Tyvek; ●: 0.0008 m²; ●: 0.0032 m²; ●: 0.0072 m²; ▲: 0.0032 m²; ▲: 0.0050 m²; ▲: 0.0072 m²; ■: 0.0072 m²; ■: 0.0098 m²; ■: 0.0128 m².

김치의 CO_2 흡수제 사용 범위 내에서 김치 포장내 P_{CO_2} 와 김치 숙성의 상관성을 검토하였다.

2. CO_2 흡수제 조건에 따른 김치의 숙성도와 P_{CO_2} 상관성

Fig. 3과 4는 저장 기간 8.5일 동안 총산 함량 0.4~1.2% 범위 내에서 CO_2 흡수제 사용량과 CO_2 흡수제 봉지의 면적을 기준으로 총산 증가에 따른 P_{CO_2} 변화과정을 보여주고 있다. Fig. 3에서, 소용량 0.5 kg 김치 포장 내 흡

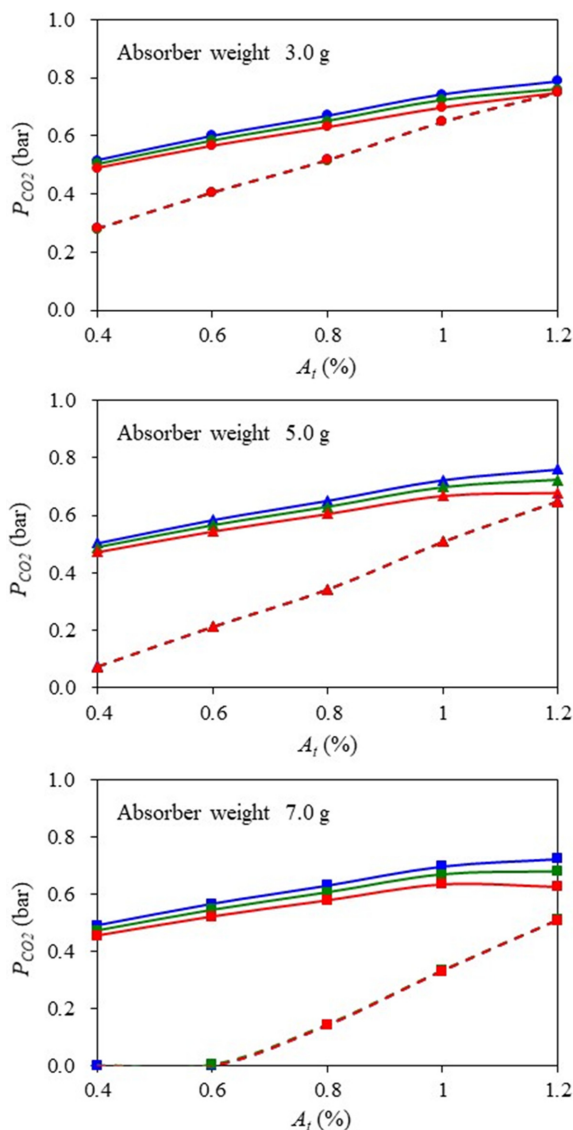


Fig. 4. CO₂ partial pressure change (P_{CO_2}) of 2.0 kg kimchi packages progressing along with acidity change (A_t) for different absorber amount and sachet conditions. Full lines: LDPE; dotted lines: Tyvek; ●: 0.0050 m²; ○: 0.0072 m²; ●: 0.0098 m²; ▲: 0.0072 m²; ▲: 0.0098 m²; ▲: 0.0128 m²; ■: 0.0098 m²; ■: 0.0128 m²; ■: 0.0162 m².

수제 1.5 g이 들어있는 LDPE 재질의 봉지를 부착하면 CO₂ 흡수와 포장 내 일부 CO₂ 축적으로 P_{CO_2} 가 직선적으로 증가하였다. LDPE 봉지의 면적이 0.0008 m²으로 적은 경우에는 뚜렷한 직선성을 보이나, 0.0032 m²과 0.0072 m²의 큰 면적에서는 직선성이 떨어진다. 흡수제 양을 3.5 g 이상으로 증가시키면, CO₂의 흡수와 축적의 적절한 관계로 총산 함량 1.0%까지 P_{CO_2} 가 직선적으로 증가하다가 이후 감소하였다. 적숙기 총산 함량 0.6~0.8%의 기준에서 흡수제 양을 증가시키면 총산에 따라 P_{CO_2} 가 직선적으로 증가

하여 총산 증가와 P_{CO_2} 의 증가를 설명할 수 있으며, LDPE 재질의 면적에 따른 P_{CO_2} 증가의 범위는 달라질 수 있다. 소용량 0.5 kg 김치 포장 내 흡수제 1.5 g이 들어있는 Tyvek 재질의 봉지를 부착하면 총산 증가에 따라 흡수제 내로 CO₂가 흡수되고 일부 포장 내로 CO₂ 축적이 이루어져 Tyvek 재질 봉지의 면적에 관계없이 P_{CO_2} 가 직선적으로 증가하였다. 흡수제 양을 3.5 g 이상으로 증가시키면 Tyvek 재질의 높은 투과도로 포장 내 CO₂ 축적없이 생성된 CO₂가 전부 흡수되어 총산 증가에 따른 P_{CO_2} 증가 없이 0의 값으로 유지되고 있어 총산 증가에 따른 P_{CO_2} 변화를 보여주지 못하였다.

Fig. 4에서 대용량 2.0 kg 김치 포장 내에서는 부착된 CO₂ 흡수제 봉지의 재질, 사용된 CO₂ 흡수제의 양, 흡수제 봉지의 면적에 관계없이 총산 증가에 따른 P_{CO_2} 증가가 직선적으로 증가하여 높은 상관성을 나타내고 있다. LDPE 재질의 흡수제 봉지는 면적에 따른 P_{CO_2} 증가 범위에서 차이가 조금 보이지만, Tyvek 재질의 흡수제 봉지를 사용한 포장에서는 그 면적에 따른 차이가 거의 없이 P_{CO_2} 가 총산 증가에 비례적으로 일정하게 증가한다. 반면에 흡수제 양의 영향으로서 적숙기 총산 함량 0.6~0.8% 기준 흡수제 양에 따른 P_{CO_2} 의 범위를 살펴보면, LDPE 재질의 봉지는 흡수제 양이 증가하더라도 P_{CO_2} 가 0.52~0.67 bar의 값으로 비교적 유사한 범위로 유지되었다. 이와달리, Tyvek 재질의 경우 흡수제 3.0 g에서는 P_{CO_2} 0.40~0.52 bar, 흡수제 5.0 g에서는 P_{CO_2} 0.21~0.34 bar, 흡수제 7.0 g에서는 P_{CO_2} 0.00~0.14 bar로 큰 차이가 있다. 이는 총산 증가와 P_{CO_2} 증가에 있어 직선적인 상관성은 뚜렷하지만, P_{CO_2} 증가에 따른 CO₂ 발색지시계의 색 변화 기준을 설정하는 부분에 있어 고려되어야 한다.

총산 증가에 따른 P_{CO_2} 의 직선적인 관계는 김치 포장 내 부착되는 CO₂ 흡수제의 조건에 따라 영향을 받으며, 김치의 숙성도를 확인하기 위해 총산 증가에 따라 P_{CO_2} 의 직선적인 관계가 형성되어야 CO₂ 지시계에 의한 색 변화를 정확하게 구분할 수 있다. Baek 등⁹⁾은 CO₂ 흡수제가 부착되지 않은 김치 포장에서 김치의 숙성도를 3단계로 구분하여 포장내 CO₂ 농도와 휘발성 acetic acid의 농도에 따른 지시계 색변화를 연구하였는데, 초기 발효와 최적 발효 단계에서 저장 기간에 따른 CO₂가 직선적으로 증가하고 이에 따른 지시계의 색변화가 뚜렷하게 나타났다. 하지만, 이들 연구에서는 CO₂ 흡수제가 부착된 김치 포장에서 흡수제 사용에 의한 영향을 확인하지는 않았다. 본 연구는 CO₂ 흡수제가 부착된 김치 포장 내 총산 증가에 따른 P_{CO_2} 의 증가를 예측한 결과로, 적숙기를 기준으로 소용량 김치 0.5 kg에서는 투과도가 낮은 LDPE 흡수제 재질을 사용할 경우 0.0008 m²의 흡수제 봉지에 1.5 g CO₂ 흡수제를 넣으면 P_{CO_2} 가 직선적으로 증가하고 포장내 적절한 CO₂ 농도가 유

지되었다. CO₂ 흡수제를 3.5 g 이상으로 사용하면 총산 함량 1.0%까지는 뚜렷한 직선성을 보이지만, 흡수제 봉지의 면적에 따른 P_{CO_2} 의 증가 범위가 넓게 형성되는 것이 한계이다. 투과도가 높은 흡수제 재질은 흡수제 봉지의 면적에 상관없이 1.5 g CO₂ 흡수제를 넣으면 P_{CO_2} 증가가 직선적이었으며, 흡수제 양을 3.5 g 이상으로 증가시킬 경우 P_{CO_2} 의 증가에 대한 직선성은 없으며 김치 포장 내 CO₂ 농도도 적절하게 유지되지 않았다. 2.0 kg 김치포장에서는 LDPE와 Tyvek 흡수제 봉지 둘다 CO₂ 흡수제 사용량에 관계없이 뚜렷한 직선성을 보인다. 흡수제 봉지의 면적에 따라 LDPE 흡수제는 P_{CO_2} 의 증가 범위가 약간 넓게 형성되었고, Tyvek 흡수제 봉지는 P_{CO_2} 의 증가 범위가 일치하였다. 흡수제 양에 따라서는 LDPE 흡수제의 P_{CO_2} 가 비슷한 범위에서 직선성을 보이고, Tyvek 흡수제의 P_{CO_2} 는 넓은 범위에서 직선성을 나타내고 있다. 김치의 발효에 의한 CO₂ 생성 정도는 온도에 의한 영향을 많이 받는데, 본 연구의 예측은 10°C에서 이루어졌으며 저장 온도가 변경되거나 유통 조건에서 온도 범위가 달라질 경우 위에서 제시한 결과와 일치하지 않을 수 있다. 또한, 예측에 의한 결과로써 실제 실험 시 실험값과 다소 차이가 있을 수 있으나 김치의 숙성도를 확인하기 위해 알맞은 조건을 선택한다면 지시계를 통한 색변화를 단계별로 구분할 수 있음을 보여주었다.

결 론

포장의 CO₂ 농도에 의하여 포장김치의 숙성도를 예측하는 가능성과 한계를 살펴보고자 수학적 모델 식을 활용하여 소용량 김치 0.5 kg과 대용량 김치 2.0 kg으로 구분하고, 유연성 김치 포장내 CO₂ 흡수제 사용 조건에 따른 10°C 저장 중 총산 함량, P_{CO_2} , 부피 변화를 예측해 보았다. 김치의 숙성도를 포장의 CO₂ 농도에 의해서 확인하기 위하여 필요한 김치의 총산 증가에 따른 P_{CO_2} 의 직선적인 관계는 포장 내 부착되는 CO₂ 흡수제의 조건에 따라 영향을 크게 받는 것으로 확인되었다. 0.5 kg 단위의 포장에서는 상대적으로 낮은 투과도의 LDPE 필름의 흡수제 봉지가 가능한 사용범위의 흡수제 양의 범위에서 P_{CO_2} 와 총산증가의 직선적 관계가 얻어졌으나 고투과성의 Tyvek 봉지에서는 특정 조건이외에는 그렇지 못하였다. LDPE 필름 봉지의 경우 최적 숙성 단계에서 P_{CO_2} 의 수준은 흡수제 양에 따라서 달라졌다. 2.0 kg 단위의 포장에서는 LDPE 및 Tyvek 필름으로 구성된 흡수제 봉지의 사용조건에서 제품 총산도와 포장 P_{CO_2} 의 직선적 관계가 얻어질 수 있었고, LDPE 봉지의 경우가 적숙기에서 상대적으로 일정한 P_{CO_2} 범위를 보였다. 포장의 CO₂ 농도를 김치 숙성도의 지표로 사용하는 것은 이들 사이의 직선적 관계가 성립되는 제한적 조건에서 가능한 것으로 제시되었다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 융복합연구센터지원사업에 의하여 이루어졌으며, 지원에 감사드립니다(Project #710013-03).

참고문헌

1. Lee, J.W., Cha, D.S., Hwang, K.T. and Park, H.J. 2003. Effects of CO₂ absorbent and high-pressure treatment on the shelf-life of packaged kimchi products. *Int. J. Food Sci. Tech.* 38: 519-524.
2. Lim, J.W., Park, E.S., Cheigh, H.S. and Lee, D.S. 2001. Effect of package size and temperature on the volume expansion of flexible permeable packages of kimchi, a korean fermented vegetable. *Packag. Technol. Sci.* 15: 41-48.
3. Hong, S.I. and Park, W.S. 1997. Sensitivity of color indicators to fermentation products of kimchi at various temperature. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29(1): 21-26.
4. Hong, S.I. and Park, W.S. 2000. Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *J. Food Eng.* 46:67-72.
5. Jung, J.H., Puligundla, P. and Ko, S.H. 2012. Proof-of concept study of chitosan-based carbon dioxide indicator for food packaging applications. *Food Chem.* 135: 2170-2174.
6. Jung, J.H., Lee, K.H., Puligundla, P. and Ko, S.H. 2013. Chitosan-based carbon dioxide indicator to communicate the onset of kimchi ripening. *Food Sci. Technol.* 54:101-106.
7. Meng, X., Lee, K.H., Kang, T.Y. and Ko, S.H. 2015. An irreversible ripeness indicator to monitor the CO₂ concentration in the headspace of packaged kimchi during storage. *Food Sci. Biotechnol.* 24(1): 91-97.
8. Baek, S.H., Maruthupandy, M., Lee, K.E., Kim, D.W. and Seo, J.C. 2018. Preparation and characterization of a poly(ether-block-amide) film-based CO₂ indicator for monitoring kimchi quality. *React. Funct. Polym.* 131: 75-83.
9. Baek, S.H., Maruthupandy, M., Lee, K.E., Kim, D.W. and Seo, J.C. 2020. Freshness indicator for monitoring changes in quality of packaged kimchi during storage. *Food Packag. Shelf Life.* 25: Article 100528.
10. Jaisan, C., An, D.S. and Lee, D.S. 2019. Modeling volume change for active flexible package of CO₂-producing kimchi. *Food Packag. Shelf Life.* 20: Article 100303.
11. Chinnan, M.S. and Yang, C.C. 1989. Modeling the use of chemical adsorbents in controlling relative humidity and CO₂ for horticultural crops stored in polymeric films. In Ghee, A.H., Lodge, N. and Lian, O.K. (Eds.), *Trends in Food Processing II* (pp. 240-243). Singapore: Singapore Institute of Food Science and Technology.

투고: 2020.07.24 / 심사완료: 2020.08.11 / 게재확정: 2020.08.13