

질소시비와 봄배추 저온저장 중 생리장해

민승기 · 하상현 · 진준영 · 박호성¹ · 한응수*
세계김치연구소 연구개발본부, ¹농업회사법인 하늘마을

Nitrogen Fertilization and Physiological Disorders of Spring Kimchi Cabbage During Cold Storage

Sung-gi Min, Sanghyun Ha, Jun young Jeon, Hoseong Park¹, and Eung Soo Han*

Research and Development Division, World Institute of Kimchi
¹Haneul Maeum, Boeun

Abstract

Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) and nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) fertilizers were spread 30 kg/10a and 60 kg/10a, respectively, as additional fertilizers in nitrogen fertilization to investigate their effects on spring kimchi cabbage's physiological disorders during cold storage. The initial weight of spring kimchi cabbage after harvesting was 3.80 kg with two-fold $\text{NO}_3\text{-N}$, whereas it was 3.22 kg with one-fold $\text{NO}_3\text{-N}$. After 90 days of cold storage, the total loss ratio became lower as the nitrogen fertilizer ratio increased. The pH increased, reducing sugar content decrease during the storage. Black speck occurrence became higher as the nitrogen fertilizer increased. Mid-rib brown stain and soft rot were observed slightly in kimchi cabbage regardless of the nitrogen fertilizer ratio. Two-fold $\text{NO}_3\text{-N}$ fertilization showed a positive effect on increasing weight and reducing kimchi cabbage loss, but it exhibited a negative effect on the black speck. The method and content of nitrogen fertilization of spring kimchi cabbage may be adjusted according to the usage and storage periods.

Key words: spring kimchi cabbage, cold storage, nitrogen fertilization, physiological disorders, black speck

서 론

배추(*Brassica campestris* L. spp. *Pekinensis*)는 한국에서 연중 재배되며 대부분 김치원료로 사용된다(Choi et al., 2015; Lee, 2020). 배추는 재배 초기에 고온에서 후기에는 서늘한 기후에서 생육 및 결구되는 호냉성 채소이기 때문에 가을재배가 적당한 작물이지만(Lee et al., 2012), 작형 분화가 뚜렷하고 다양한 형태로 재배되므로 사계절 재배가 가능한 품종들이 개발되었다(Lee et al., 2008). 배추 수확량은 계절과 기후변화에 좌우되는데(Bang et al., 2017) 한국의 배추 생산량은 봄배추 34만 톤, 여름배추 23만 톤, 가을배추 106만 톤, 겨울배추 23만 톤이다(KOSIS, 2019). 이상기후는 배추가격 폭등으로 이어지므로(Lee et al., 2012), 기후 변화를 예측하고 저장물량을 확보하여 대비할 필요가 있다. 기상이변에 따른 봄배추의 생육량 추정을 위해 정식시기와 질소시비량을 달리하여 생육인자 간 상관관계

수를 도출하였지만 농업 현장에서 적용은 어려운 실정이다(Lee et al., 2012; Lee, 2020).

그 동안 배추 장기저장을 위해 저온도를 달리하거나 포장방법에 따른 저장성 연장효과를 시험하였고(Kim et al., 2000; Kim et al., 2001b), 배추의 품질변화 속도를 줄이기 위해 CA (Controlled atmosphere) 저장법도 연구되었다(Kim et al., 2018; Choi et al., 2019; Chun et al., 2020). 그리고 Bang et al. (2017)과 Cho et al. (2017)은 봄배추의 활용도를 높이기 위해 HDPE (High density polyethylene) 필름포장, 예냉, 예건, 플라즈마를 동시에 적용해 저장성을 향상시키고자 하였다. 또 고랭지배추의 품종 간 비교 및 최적 저장온도(Eum et al., 2013b), 수확 후 저장 전 전처리 방법에 따른 배추의 품질변화(Eum et al., 2013a; Bae et al., 2015) 등 다각도로 연구가 수행되었다.

질소질 비료는 농작물의 생장을 촉진하고 수확량을 증대시키기 위해 사용되며, 배추도 질소질 비료의 시비량이 많을수록 비대가 촉진되고 유리당의 함량이 증가한다(Park & Kim, 2016). Lee et al. (2012)은 봄배추 재배에서 질소 비료를 추천량의 절반과 2배 수준으로 처리하였지만 토양에 남아있는 질산태 질소함량이 투입 대비 낮았는데, 이는 기비투입 후 빗물에 의한 용탈과 탈질 작용에 의한 것으로

*Corresponding author: Eung Soo Han, Research and Development Division, World Institute of kimchi, Gwangju 61775, Korea
Tel: +82-62-610-1732; Fax: +82-62-610-1711
E-mail: hanakimchi@wikim.re.kr
Received December 1, 2020; revised February 5, 2021; accepted February 3, 2021

보고하였다. 그리하여 봄배추는 생육과 결구를 촉진시켜 장마기를 대비해 미리 수확할 목적으로 질소질 비료를 추천량의 1.5-2.4배까지 많이 시비하고 있다(Hong et al., 2017). 적절한 질소시비는 배추의 생육과 생산성 증대에 효과적이지만 부적절한 사용은 생리장해 발생으로 저장성이 악화되며, 특히 배추의 깨씨무늬 발병을 유발하여 품질과 상품성을 떨어뜨린다고 알려져 있다 (Hong et al., 2017). 현재까지 깨씨무늬 장해는 정확한 원인이 명확히 밝혀져 있지 않고 억제방안도 마련되어 있지 않다. 다만, 그 동안의 여러 보고를 기준으로 병충해 저항성이 강한 품종을 재배하고 재배 초기나 후기에 질소질 비료를 부족하거나 과다하지 않게 하며, 수확 후 저장환경 관리를 잘 하도록 권장하고 있다(Jung, 2013).

본 연구는 질소시비 방법을 달리하여 재배한 봄배추의 품질특성 변화를 분석하여 질소시비 방법이 봄배추 장기 저온저장 중에 깨씨무늬를 포함한 배추 생리장해에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

배추의 재배

봄배추는 충청북도 보은 밭에서 대통배추(Nongwoo Bio, Korea)를 질소시비를 달리하여 재배하였다. 배추는 2020년 3월에 정식하였으며 기비량은 유박(Organic yard gold, Taerim, Korea) 80 kg/10a, 질산태 비료(DO-PRO, Yara, Norway) 20 kg/10a 를 포함해 관행재배법에 따라 처리하였다. 추비는 1차로 질산태 비료와 암모니아태 비료(Chobi21complex, Chobi, Korea)를 구분하여 2020년 4월에 30 kg/10a을 기준으로 암모니아태 1배(A1), 질산태 1배(N1) 비료와 기존 시비량의 2배로 암모니아태 2배 (A2), 질산태 2배(N2) 비료를 배추 밭고랑에 각각 살포하였다 (Table 1). 그리고 2차 추비는 2020년 5월에 처리구 구분 없이 NK비료(EutteumNK804, Chobi, Seoul, Korea)를 60 kg/10a 수준으로 살포하였다.

수확과 저장

봄배추는 2020년 6월 새벽에 수확하였으며 플라스틱 상자(520×370×320 mm)에 4-5포기씩 배추 뿌리가 아래로 향

Table 1. Additional nitrogen fertilization of spring kimchi cabbage

Treatment	Fertilization	Amount of nitrogen fertilization (kg/10a)		
		N	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
A1	Ammonium nitrogen ×1	-	-	6.30
A2	Ammonium nitrogen ×2	-	-	12.60
N1	Nitrate nitrogen ×1	3.81	2.06	1.75
N2	Nitrate nitrogen ×2	7.62	4.13	3.49

하게 담았다. 상자는 팔레트에 6개씩 5단으로 쌓아 14 mm 직경으로 48개를 타공한 LDPE (Low density polyethylene) 필름으로 씌워 10평 저온저장고에서 90일간 저장하였다. 저장고 온도는 15°C로 냉각한 상태에서 배추 입고 후 냉해를 방지하기 위해 2°C/day의 속도로 온도를 조절하여 최종 2°C로 유지하였다.

온습도와 기체조성 측정

최적 냉각속도를 구명하기 위해 저장고 바닥에 실시간 온습도기록계(Saveris 2-H1, Testo, Lenzkirch, Germany)와 복합가스측정기(GasAlert Micro5, Honeywell, Charlotte, NC, USA)를 설치하여 저장기간 동안 저장고의 온도와 습도 그리고 산소와 이산화탄소 농도 변화를 측정하였다.

배추구중 측정

배추구중은 시비구별로 2상자(8-10개)씩 쏟아 걸쭉 등을 제거하지 않고 배추 포기당 중량을 측정하였다.

손실률 측정

중량감소율은 배추 시료의 저장 전과 저장 후의 배추상자 무게를 측정하여 다음 식으로 구하였다.

$$\text{중량감소율}(\%) = \frac{\text{저장 전 중량} - \text{저장 후 중량}}{\text{초기중량}} \times 100$$

정선손실률은 저장하면서 건조되거나 부패된 비가식 부위의 배춧잎을 제거한 뒤 배추 구중의 무게를 측정하여 다음 식으로 구하였다.

$$\text{정선손실률}(\%) = \frac{\text{정선 전중량} - \text{정선 후 중량}}{\text{정선 전 중량}} \times 100$$

총 저장손실률은 중량감소율과 정선손실률을 고려하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{총 저장손실률}(\%) &= \left(1 - \left(1 - \frac{\text{중량감소율}}{100}\right) \times \left(1 - \frac{\text{정선손실률}}{100}\right)\right) \times 100 \end{aligned}$$

순저장손실률은 중량감소율과 순정선손실률을 합산하여 계산하였는데 순정선손실률은 저장 후 정선손실률에서 저장 전(초기) 정선손실률(7.2%)을 차감하여 저장 중에 발생한 정선손실률 변화만을 나타낸 것이다.

생리장해 측정

깨씨무늬는 정선 후 배추 외엽을 5잎 떼어 5점 척도로 깨씨무늬 발생정도를 측정하였다(1점: 없음, 2점: 다소 있음, 3점: 보통, 4점: 많음, 5점: 매우 많음). 곰팡이가 발생한 상자 내 배추포기 수 대비 곰팡이가 발생한 배추포기

수를 백분율로 나타내었다. 괴사반점은 정선 후 내엽의 괴사반점 여부를, 중륵갈변은 중륵부분의 갈변 여부를, 무름병은 배추 뿌리 부분의 무름병 발생을 가부로 판단하여 백분율로 계산하였다. 외부품질은 정선 후 배추 표면을 육안으로 관찰 후 김치원료로 사용가능을 가부로 판단하여 백분율로 계산하였다

이화학 분석

이화학 분석은 수집한 배추의 1/8쪽을 취하여 블렌더 (Hand Blender HHM-630, Hanil Co., Koryong, Korea)로 마쇄하여 멸균거즈(Sterile gauze No. 3, Soosung, Yangsan, Korea)로 여과한 시료액을 pH, 가용성 고형분 함량, 유리당 분석에 사용하였다. pH는 자동적정장치(Titroline easy, Schott Instruments, Mainz, Germany)를 사용하여 측정하였고, 가용성 고형분 함량은 굴절당도계(PR-1, Atago, Saitama, Japan)로 측정하여 Brix(%)로 표시하였다. 유리당은 시료액 10 μ L를 Dionex Ultimate 3000 HPLC-system (Dionex Corp., Sunnyvale, CA, USA)에 주입하여 Sugarpak column (300 \times 6.5 mm, Waters, Milford, MA, USA)과 Shodex RI-101 Detector (Showa Denko, Tokyo, Japan)를 이용해 분석하였다.

대사체 분석

배추 대사체는 gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) 질량분석기를 사용하여 Kim et al. (2020) 방법으로 분석하였다. 시료는 동결건조 후 *O*-methoxyamine hydrochloride in pyridine 용액(20 mg/mL)에 담가 30°C에서 90분 어두운 곳에 방치한 뒤에 1% trimethylchlorosilane이 함유된 *N*-methyl-*N*-trimethylsilyl-trifluoroacetamide 30 μ L를 첨가하여 실릴화시켰다. 표준용액으로 10 μ L ribitol (0.5 mg/L)을 첨가하여 13,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 분석에 사용하였다. GC-MS 분석조건은 Table 2와 같고, Shimadzu GC 표준품(Shimadzu, Kyoto, Japan)을 사용하여 분자량을 확인하고 정성분석하였다. 분석결과는 MetaboAnalyst (GNU software, Provo, UT, USA)와 SIMCA-P 15.0 (Umetrics, Umea, Sweden)을 사용하여 분석하였고, 교차 검증은 200회 반복된 순열테스트를 실행하였으며, VIP (Variable Important in Projection) > 1.0 및

Table 2. GC-MS conditions of metabolic analysis in spring kimchi cabbage

GC-MS condition	
Instrument	Shimadzu QP2020, Mass spectrometer
Column	Silica capillary column (30 m \times 0.25 mm)
Inlet temperature	230°C
Oven temperature	80°C 2 min, 80-230°C (15°C/min)
Ionization voltage	70 eV
Carrier gas	He

$p < 0.05$ 인 성분을 대사체 그룹을 구분할 수 있는 성분으로 간주하였다.

통계분석

실험은 3회 반복하였으며 유의성 검증을 위해 각 항목의 측정값은 ANOVA 분석을 실시한 후 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 모든 통계분석은 미니탭(Minitab19 statistical software, Minitab Inc., State College, PA, USA) 통계프로그램을 이용하여 처리하였다.

결과 및 고찰

온습도와 기체조성 변화

저장고는 미리 15°C로 냉각한 다음 배추 시료를 입고하고 냉해 방지를 위해 2°C/day의 속도로 냉각하였다. Fig. 1과 같이 초기 저장고 온도는 17°C에서 시작되어 저장 7일차에 6.9°C까지 냉각되었고 배추 호흡열로 인해 3일간 8°C 부근에서 지체되었으나 13일차에는 냉각 목표온도인 2°C에 도달하였다. 상대습도는 1일차 81%에서 시작하여 8일차에 냉각기 작동에 따른 제습으로 64%까지 낮아졌고 이후 70-

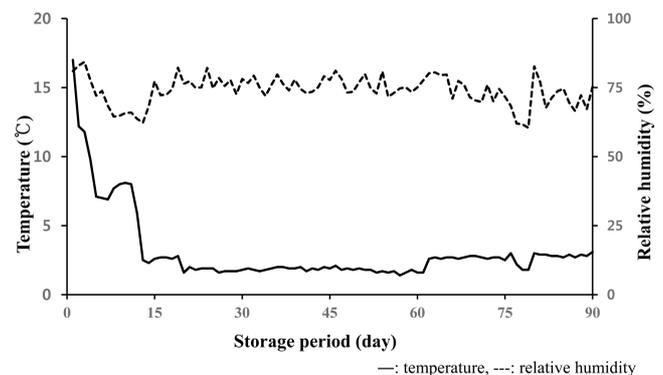


Fig. 1. Changes of temperature and relative humidity during cold storage.

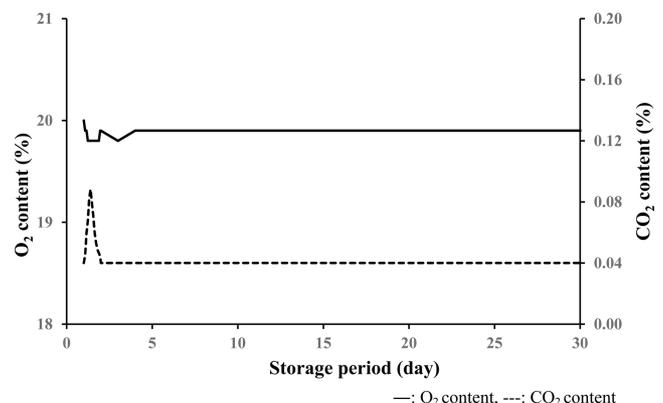


Fig. 2. Changes of O₂ and CO₂ content during cold storage

80% 수준을 유지하였다. 저장고 내부의 O₂ 농도는 초기 19.9%에서 배추 입고 후 19.8%로 약간 낮아졌다가 이 후 19.9 % 수준으로 90일차까지 유지하였고, CO₂ 농도는 초기 0.04%에서 배추 입고 후 호흡으로 인해 점차 증가하여 0.09% 수준까지 증가하였다가 이 후 0.04%로 90일차까지 유지되었다(Fig. 2).

배추 구중

배추 구중은 2배 시비구가 기준 시비구보다 무거운 경향이 며 결과는 Fig. 3에 나타내었다. N2의 구중은 평균 3,802 g으로 N1의 구중인 3,217 g에 비해 18% 증가하였고 A1와 A2의 구중은 모두 3,275 g과 3,280 g으로 비슷하였다. 추비를 모두 암모니아태 비료로 살포한 A 배추는 시비량에 따라 구중의 차이가 없었으며, 질산태와 암모니아태 비료를 번갈아 살포한 N 배추는 시비량에 따라 구중 차이가 있었다. Hong et al. (2017)은 질소비료를 2배 살포했을 때 봄배추의 무게가 7.0-12.9% 증가하였다고 보고하였다. 토양 중 질산태 질소와 암모니아태 질소 모두 일반적으로 식물에서 사용가능한 질소형태이고 영양원으로 흡수된 질소는 아미노산이나 단백질 등으로 동화된다. Kim et al. (2009)은 질소성분들의 조절여부가 속효성 과 완효성 질소비료의 시비를 결정하게 되는 요인으로 보고하였는데, 본 연구에서는 질산태 질소비료가 암모니아태 질소

비료 시비구보다 배추 성장에 더 효과적인 질소비료로 판단된다.

손실률

질소시비에 따른 90일 저장 후 중량감소율, 정선손실률 및 총 손실률은 Table 3에 나타내었다. 중량감소율은 A1과 N1이 모두 10.6% 수준이고 비료종류에 따른 차이는 없었고 시비량을 두 배로 처리한 배추의 중량감소율은 A2와 N2가 각각 7.1%와 9.3%로 기준시비량보다 낮았다. 2배 시비구 배추는 기준시비구 배추보다 저장 전 구중이 무거웠지만 저온저장 중 수분손실은 모두 배추의 겉잎에서만 한정적으로 일어나기 때문에 중량감소 비율이 낮았을 것으로 판단된다. 정선손실률은 비료종류와 시비량에 따라 모두 차이가 발생하였다. N1 배추는 19.2%로 A1 배추의 21.2%와 비교해 10% 정도 정선손실률이 낮았고, N2 배추는 11.8%로 N1 배추 보다 39% 높았다. 이는 봄배추 저장기간을 연장하기 위해 플라즈마, 광촉매, 나노가습, 예냉, 예건, HDPE 필름 등을 복합처리하고 0.5°C에서 저온 저장한 6주차 봄배추의 정선손실률은 19.6%였고 저장 12주차에 39.7%로 손실률이 크게 증가하였다는 Bang et al. (2017) 과 Cho et al. (2017)의 연구보다 양호한 결과이다. 하지만 이는 재배방법과 저장고 입고 시 배추 상태의 차이가 있을 수 있어 본 질소시비 연구와 다른 연구 간의 직접적인 수치를 비교하는 데는 한계가 있다. 배추 구중이 커진 것과 함께 겉잎은 저장 중에 일정한 비가식 부분만 정선되므로 정선손실률도 배추 구중이 무거워서 낮아진 것이라고 보여진다. 총 저장손실률은 A1 배추와 A2 배추가 각각 29.3%와 22.7%이고 N1 배추와 N2 배추는 각각 30.3%와 20.0%로 나타나 시비량 2배 처리구에서 총 손실률이 낮았으며 A2 배추는 A1 배추 대비 29.0%, N2배추는 N1 배추 대비 51.5% 향상되었다.

순저장손실률도 총 저장손실률과 동일한 경향을 보이는 데 봄배추 90일 저장에 따른 순저장손실률은 N2 배추가 가장 낮은 수치인 13.4%로 분석되었다.

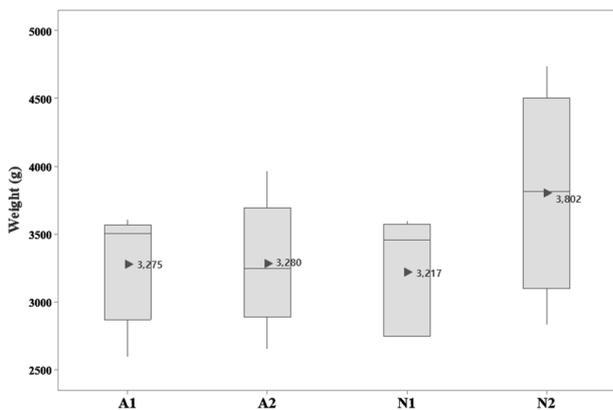


Fig. 3. Box plot of weight changes on spring kimchi cabbage with nitrogen fertilization. ► mean weight.

Table 3. Loss ratio of spring kimchi cabbage after 90 days cold storage with nitrogen fertilization

	Weight loss (%)	Trimming loss (%)	Total loss (%)	Total net loss (%)
A1	10.6±0.8 a ¹⁾	21.2±8.3 a	29.3±4.0 a	22.8±4.0 a
A2	7.1±2.7 a	16.4±6.7 a	22.7±5.4 ab	16.1±5.6 ab
N1	10.6±4.7 a	19.2±6.1 a	30.3±2.6 a	23.9±2.5 a
N2	9.3±1.2 a	11.8±3.2 b	20.0±2.0 b	13.4±2.1 b

All values are the mean±SD.

¹⁾ Value within a column with different superscript letters are significantly different (*p*<0.05).

생리장해

깨씨무늬 발생정도는 Fig. 4와 같이 시비량에 따라 영향을 받는 것으로 확인되었다. 깨씨무늬 발생이 질소시비의 영향을 보이지 않았다는 Hong et al. (2017)의 보고와 달리 기준 시비구인 A1과 N1에서 각각 1.92와 2.20 수준의 깨씨무늬가 발생한 반면 2배 시비구인 A2와 N2는 모두 2.82로 증가하였고 이는 Table 4에 나타내었다. 봄배추의 생육과 결구를 촉진시키기 위해 질소질 비료를 시비하고 있으나 질소질 비료의 오남용은 다양한 생리장해 및 품질 저하를 일으키는데, 그 중 깨씨무늬의 발생원인으로 질소질 비료의 부족 혹은 과다 공급이 보고되었다(Park & Kim, 2016). 깨씨무늬를 제외한 생리장해는 Table 4 결과

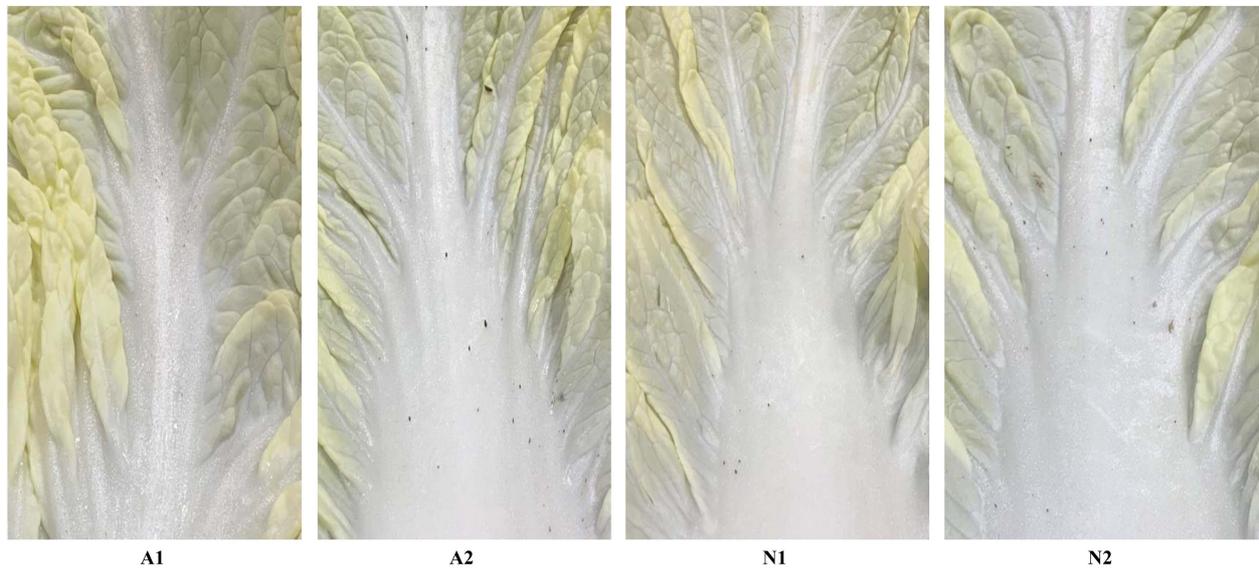


Fig. 4. Black speck of spring kimchi cabbage with nitrogen fertilization after 90 days cold storage.

Table 4. Physiological disorder incidence of spring kimchi cabbage after 90 days cold storage

	Black speck ¹⁾	Midrib brown stain (%)	Soft rot (%)	Mold incidence (%)	Necrotic spot (%)	Usability incidence (%) of kimchi
A1	1.92±0.51** ²⁾	25.0	33.3	100	0	100
A2	2.82±0.60	45.4	0	100	0	100
N1	2.20±0.79*	40.0	0	83.3	0	100
N2	2.82±0.60	9.1	0	91.7	0	100

All values are the mean ± SD.

¹⁾ Black speck evaluation scale: 1, none; 2, little 3, a little; 4, much; 5, very much.

²⁾ Indicate significant differences (* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$).

와 같이 질소시비 방법에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. Kim et al. (2007)과 Yang et al. (1993)은 봄배추의 수분 손실, 경도 변화, 무름병 발생을 보고하였고, Lee (2020)는 실증 시험에서 겉잎의 부패가 중요하고 깨씨무늬와 갈변현상 등도 배추의 상품성을 감소시킨다고 보고하였다. 중륵갈변은 A2에서 45.4%로 높게, N2에서 9.1%로 낮게 발생하였다. 배추 중륵부 갈변은 석회 또는 붕소결핍이 원인으로 알려져 있는데 사용된 비료 종류와 함량에 따라 차이를 나타내는 것으로 보인다. 무름병은 A1에서만 33.3%로 발생하였으며 피사반점은 모든 처리구에서 발견되지 않았다. 저장 중 LDPE 필름포장 내부의 높은 상대습도로 인해 배추 표면에 곰팡이가 83.3-100%까지 발생하였다. Kim et al. (2001a)은 겨울배추 저장 3개월 차에 부패율이 17-23%로 상품성과 경제성이 없었고, Bang et al. (2017)은 봄배추가 저장 12주차에 상업적 가치가 크게 저하되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 정선 후 배추 외엽의 비가식부위를 제거한 외관품질과 배추시료를 반절하여 내부품질을 조사한 결과 중륵과 추대부분의 갈변현상과 뿌리부분의 무름현상이 약간 관측되었으나 정도가 매우 미미하여 모두 김치원료로 사용 가능하였다. Lee (2020)는 저장배추의 상품

성 저하는 외엽에만 해당되고 내엽은 이상이 없어, 저장 8주 후에 정선하여 가공하는데 어려움이 없었다고 보고하였는데, 이번 연구에서도 90일간 저온저장한 배추를 김치원료로 사용하는데 문제가 없었다.

이화학 특성

봄배추의 저장 중 pH는 Fig. 5와 같이 질소시비 조건에 관계없이 점차 증가하는 경향으로, 초기 6.16에서 90일차에 6.63-6.96으로 증가하였다. 가용성 고형분함량은 질소시비에 따른 차이가 분명하지 않았다는 보고(Hong et al., 2017)와 같이 질소시비 조건과 상관없이 저장초기 3.35%에서 90일차에 2.07-2.30%로 저장 기간에 따라 감소하는 경향이고 이는 Fig. 5에 나타내었다. 가용성 고형분함량 변화는 저장 중의 당류의 감소가 원인으로 보여진다. 저장 전 봄배추의 유리당은 Lee et al. (2013) 연구와 같이 sucrose가 검출되지 않았고 glucose, fructose, galactose만 검출되었고, 총 유리당 함량은 Table 5와 같이 평균 1.615%이며 glucose, fructose, galactose 순으로 분석되었다. Glucose는 저장 초기 평균 0.835%에서 저장 90일차에 0.373%로 감소하였으며 fructose는 저장 초기 0.763%에서 저장 90일차

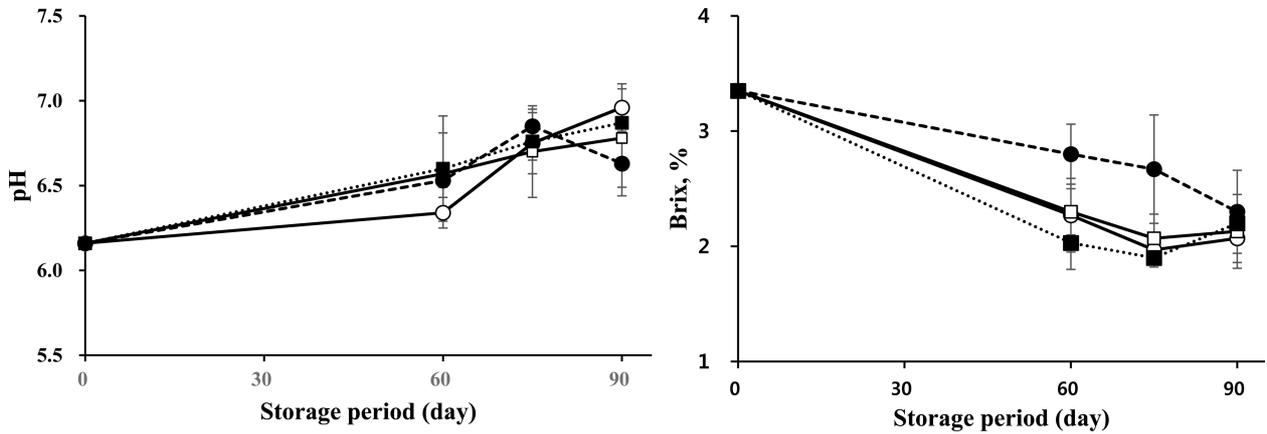


Fig. 5. pH and brix changes of spring kimchi cabbage during cold storage with nitrogen fertilization (○: A1, □: A2, ●: N1, ■: N2).

Table 5. Change of free sugar content of spring kimchi cabbage during cold storage with nitrogen fertilization (%)

Storage period		0	60	90
A1	Glucose	0.903±0.023 a ¹⁾	0.585±0.045 b	0.368±0.090 c
	Fructose	0.800±0.001 a	0.579±0.052 b	0.387±0.060 c
	Galactose	0.014±0.006 a	0.024±0.006 a	0.017±0.003 a
A2	Glucose	0.742±0.021 a	0.511±0.058 b	0.385±0.137 b
	Fructose	0.698±0.009 a	0.532±0.030 b	0.407±0.147 b
	Galactose	0.019±0.006 a	0.037±0.011 a	0.039±0.011 a
N1	Glucose	0.835±0.008 a	0.521±0.105 b	0.440±0.059 b
	Fructose	0.774±0.009 a	0.552±0.090 b	0.494±0.052 b
	Galactose	0.020±0.007 a	0.026±0.004 a	0.021±0.010 a
N2	Glucose	0.866±0.006 a	0.431±0.071 b	0.300±0.053 c
	Fructose	0.779±0.002 a	0.498±0.068 b	0.363±0.047 b
	Galactose	0.009±0.001 a	0.010±0.001 a	0.022±0.006 a
Mean ³⁾	Glucose	0.835±0.015 a	0.512±0.070 b	0.373±0.085 c
	Fructose	0.763±0.005 a	0.540±0.060 b	0.413±0.077 c
	Galactose	0.016±0.005 a	0.024±0.006 a	0.025±0.008 a
	Total	1.615±0.022 a	1.077±0.130 b	0.811±0.159 c

All values are the mean ± SD.

¹⁾ Value within a row with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).

²⁾ Mean of A1, A2, N1, and N2.

에 0.413%로 감소하였다. 저장 전 봄배추의 glucose 함량은 fructose보다 높았으나 저장 중 fructose보다 glucose 소모량이 많아서 저장 90일차에 glucose가 fructose보다 적게 검출되었다. Galactose는 소량 검출되었으며 저장기간에 따른 차이를 보이지 않았다. 질소 시비량이 많을수록 환원당 함량이 낮았다는 보고(Hong et al., 2017)와 같이 암모니아태 질소를 2배 시비한 경우 초기 환원당 함량이 낮았으나 질산태 질소를 2배 시비한 배추는 차이가 없었다. 유리당 감소는 배추의 장기 저장 중 수분이 손실됨과 동시에 배추의 호흡작용으로 당이 소비되었기 때문으로 판단되며(Yang et al., 1993), glucose는 fructose보다 호흡기질로 먼저 소모되는 것으로 보인다.

대사체 분석

질소시비를 달리한 봄배추의 대사체와 저장기간별 대사체 변화를 분석하였다. 다변량 통계방법(Partial Least Squares Discriminant Analysis)으로 질소시비와 저장기간별 대사체를 분석한 결과 Fig. 6과 같이 질소시비에 따른 대사체 변화(A)는 그룹이 중첩되어 시비구 간 차이가 크지 않았다. 저장기간에 따른 대사체 변화(B)는 그룹이 분리되어 저장기간별 차이를 나타냈는데 질소시비를 달리한 시비구 간의 차이는 작았고 저장초기에 상대적으로 다른 경향을 보였다. 질소비료 종류에 따른 차이는 Table 6과 같이 암모니아태 질소시비구(A)가 질산태 질소시비구(N) 보다 proglutamic acid, malic acid, aspartic acid가 높았다. 질소시비량에 따른 차이는 A2가 A1에 비해 aspartic acid,

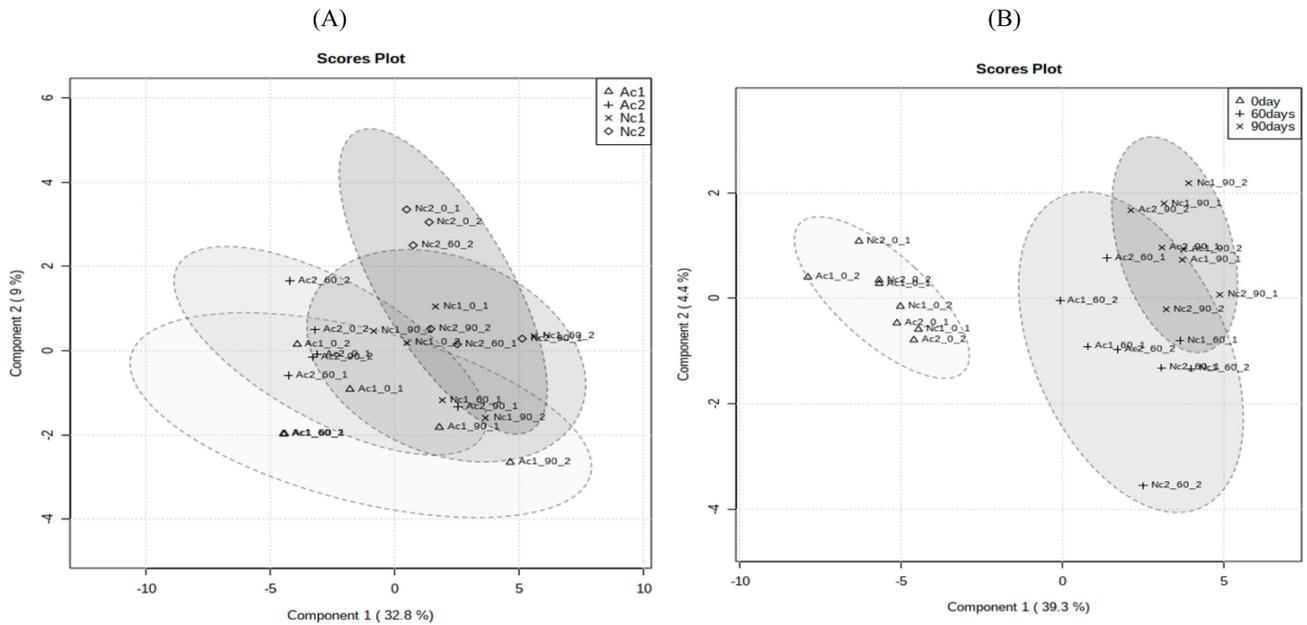


Fig. 6 Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) plots derived from the GC-MS profile on nitrogen fertilization (A) and storage period (B).

Table 6. Metabolite composition of spring kimchi cabbage with different nitrogen fertilization

Metabolites	Intensity				Mean ²⁾
	A1	A2	N1	N2	
Fructose	1.035 ^{bc1)}	0.932 ^{ab}	0.908 ^a	1.048 ^c	0.981
Mannose	0.788 ^b	0.681 ^a	0.675 ^a	0.793 ^b	0.734
Glucose	0.142 ^b	0.120 ^a	0.119 ^a	0.144 ^b	0.131
Pyroglutamic acid	0.125 ^b	0.131 ^b	0.071 ^a	0.074 ^a	0.100
Valine	0.029 ^b	0.025 ^b	0.020 ^a	0.026 ^b	0.025
Alanine	0.029 ^b	0.033 ^b	0.020 ^a	0.027 ^b	0.027
Glycerol	0.023 ^b	0.024 ^b	0.014 ^a	0.016 ^a	0.019
Malic acid	0.023 ^b	0.023 ^b	0.013 ^a	0.014 ^a	0.018
Aspartic acid	0.021 ^a	0.046 ^b	0.016 ^a	0.018 ^a	0.025
Inositol	0.019 ^{b1)}	0.015 ^a	0.013 ^a	0.021 ^b	0.017
Isoleucine	0.014 ^b	0.012 ^b	0.009 ^a	0.012 ^b	0.012
Ribose	0.014 ^a	0.019 ^b	0.013 ^a	0.012 ^a	0.015
Glycine	0.012 ^{bc}	0.013 ^c	0.011 ^{ab}	0.010 ^a	0.012
Maleic acid	0.011 ^a	0.014 ^b	0.010 ^a	0.010 ^a	0.011
Leucine	0.010 ^b	0.009 ^{ab}	0.007 ^a	0.008 ^{ab}	0.009
Glutamic acid	0.009 ^a	0.028 ^b	0.010 ^a	0.009 ^a	0.014
Citric acid	0.005 ^b	0.006 ^b	0.004 ^a	0.007 ^c	0.006
Fumaric acid	0.004 ^b	0.004 ^b	0.002 ^a	0.002 ^a	0.003
Succinic acid	0.003 ^b	0.003 ^c	0.002 ^a	0.002 ^a	0.003
Putrescine	0.002 ^a	0.003 ^c	0.002 ^b	0.002 ^a	0.002
Uracil	0.001 ^b	0.002 ^c	0.001 ^b	0.000 ^a	0.001
Lactitol	0.001 ^b	0.001 ^b	0.001 ^c	0.001 ^a	0.001

¹⁾ Value within a row with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).

²⁾ Mean of A1, A2, N1, and N2.

ribose, maleic acid, glutamic acid, putrescine이 증가하였고, N2는 N1에 비해 fructose, mannose, glucose 등의 유리당과 alanine, valine, isoleucine 등의 아미노산이 유의

적으로 증가하였다. 질소시비량에 따른 대사체 변화는 질산태질소 비료가 암모니아태 질소비료보다 큰 영향을 주었는데 이는 질소질 비료종류와 시비량이 배추에 흡수되

Table 7. Metabolites and their changes of spring kimchi cabbage during cold storage

Metabolites	0 d	60 d		90 d			
	Intensity	Intensity	0 d → 60 d ↑ / ↓ ¹⁾	VIP value	Intensity	60 d → 90 d ↑ / ↓	VIP value
Ornithine	0.0005	0.0104	↑ *** ²⁾	1.56	0.0066	↓ *	1.09
Phosphate	0.1213	0.0556	↓ ***	1.48	0.0307	↑ **	1.30
Melibiose	0.0009	0.0002	↓ ***	1.46	0.0001	NS ³⁾	-
Glyceric acid	0.0038	0.0019	↓ ***	1.46	0.0012	↓ **	1.20
Threonic acid	0.0020	0.0005	↓ ***	1.46	0.0002	NS	-
2-Dehydro-D-gluconate	0.6310	0.3495	↓ ***	1.41	0.3012	NS	-
Maleic acid	0.0114	0.0304	↑ ***	1.39	0.0179	↓ **	1.27
Glucose	0.1312	0.0710	↓ ***	1.39	0.0596	NS	-
Pyruvate	0.0002	0.0008	↑ ***	1.37	0.0005	NS	-
Asparagine	0.0012	0.0001	↓ ***	1.37	0.0001	NS	-
Glutamine	0.0079	0.0013	↓ ***	1.34	0.0010	NS	-
Malic acid	0.0820	0.0474	↓ ***	1.33	0.0396	NS	-
Glutamic acid	0.0140	0.0362	↑ ***	1.32	0.0244	NS	-
Fructose	0.9810	0.6093	↓ ***	1.32	0.5048	NS	-
Uracil	0.0008	0.0020	↑ ***	1.27	0.0016	NS	-
Malonic acid	0.0008	0.0012	↑ **	1.22	0.0011	NS	-
Inositol	0.0172	0.0115	↓ **	1.20	0.0089	↓ *	1.01
Glycyl-Glycine	0.0000	0.0015	↑ **	1.17	0.0010	NS	-
Pipecolic acid	0.0046	0.0033	↓ **	1.15	0.0024	NS	-
Tyramine	0.0005	0.0028	↑ **	1.15	0.0020	NS	-
Phenylalanine	0.0025	0.0034	↑ *	1.09	0.0029	NS	-
Glycolic acid	0.0155	0.0125	↓ **	1.04	0.0088	↓ **	1.24

¹⁾ The vertical arrow (↓ and ↑) represent a decrease or increase in metabolic levels .

²⁾ * indicate significant differences (**p*<0.05; ***p*<0.01; ****p*<0.001).

³⁾ NS, not significant different.

는 질소량과 대사에 영향을 주는 것으로 생각된다. 봄배추 저장기간에 따른 대사체 함량은 Table 7과 같이 감소하는 경향으로, 저장 60일까지의 변화가 60일에서 90일까지의 변화보다 컸는데 이는 봄배추 저장초기에 대사가 활발했기 때문으로 보인다. 90일 저장기간 중에 당류는 glucose 54.6%, fructose 48.5%가 감소되었는데 이는 유리당 분석결과와 비슷한 경향이였다. 유기산은, citric acid 60.3% malic acid 51.7%, glycolic acid 43.2%가 감소하였고, 아미노산은 asparagine 91.6%와 serine 27.7%가 감소하였다. 저장기간 중에 증가된 성분은 ornithine, pyruvate, maleic acid, uracil, glycyl-glycine, tyramine, phenylalanine 이였다. 봄배추는 저온저장 중에도 대사작용이 일어나 대사체의 변화가 수반되는 것을 확인하였다. 하지만 이번 대사체 분석에 활용된 GC-MS는 주요성분을 선별하는데 효과적이지만 저분자 극성물질만을 분석할 수 있어서 봄배추 저온저장 중 모든 대사체의 변화를 정확하게 확인하기에는 한계가 있었다.

요 약

질소시비가 봄배추 저온저장 중 생리장해에 미치는 영향

을 조사하기 위하여 질산태와 암모니아태 질소 시비량을 달리한 배추를 90일간 저온저장하였다. 질산태질소를 2배 시비(60 kg/10a)한 배추 구중이 3.80 kg으로 컸으며 90일 저장 후 손실률은 20.0%로 낮았다. 저온저장 중 pH는 6.16에서 6.63-6.96으로 증가하였으며, 가용성 고형분과 유리당 함량은 감소하였다. 깨씨무늬 발생은 질소비료의 종류에 상관없이 2배 시비일 때 발생정도가 2.82로 기준시비구의 2.20보다 증가하였다. 그외 생리장해는 모든 처리구에서 증류갈변이 약간 발생하였고 암모니아태 기준시비구에서만 무름병이 발생하였다. 저장 중 배추 겉잎에 곰팡이는 대부분 발생하였으나 정선 후 품질에는 영향을 주지 않았고 김치원료로 사용할 수 있는 수준이였다. 질산태질소 2배 시비가 배추 구중을 증가시키고 손실률을 감소시켰으나 깨씨무늬 발생은 증가되었다. 봄배추 질소시비는 사용 목적과 저장기간에 맞춰 비료종류와 시비량을 조절하는 것이 바람직하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농식품부-농협 역매칭 시험사업(과제번호: 318102-2)과 세계김치연구소 기관고유사업

(KE2002-2-2)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Bae SJ, Eum HL, Kim BS, Yoon J, Hong SJ. 2015. Comparison of the quality of highland-grown kimchi cabbage Choongwang during cold storage after pretreatments. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33: 233-241.
- Bang HY, Cho SD, Kim BS, Kim GH. 2017. Quality change in kimchi made of spring kimchi cabbage during fermentation under different storage conditions. *Korean J. Food Nutr.* 30: 378-387.
- Cho SD, Bang HY, Kim E, You SH, Kim BS, Kim GH. 2017. Quality characteristics of spring kimchi cabbage by storage conditions and period. *J. Korean Soc. Food Cult.* 32: 227-234.
- Choi EJ, Jeong MC, Gu KH. 2015. Effect of seasonal cabbage cultivar (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) on the quality characteristics of salted-kimchi cabbages during storage period. *Korean J. Food Preserv.* 22: 303-313.
- Choi EJ, Park HW, Lee JH, Kim HK, Park CW, Song KB, Kang JH, Park JB, Woo HJ, Chun HH. 2019. Effect of pallet unit-controlled atmosphere packaging in maintaining the quality of kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) harvested in the summer. *Korean J. Food Preserv.* 26: 264-273.
- Chun HH, Choi EJ, Lee JH, Son JY, Park CW. 2020. Quality prediction and change in quality of kimchi cabbages stored under a pallet unit-controlled atmosphere. *Food Eng. Prog.* 24: 191-199.
- Eum HL, Bae SJ, Kim BS, Yoon J, Kim J, Hong SJ. 2013a. Postharvest quality changes of kimchi cabbage 'Choongwang' cultivar as influenced by postharvest treatments. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31: 429-236.
- Eum HL, Kim BS, Yang YJ, Hong SJ. 2013b. Quality evaluation and optimization of storage temperature with eight cultivars of kimchi cabbage produced in summer at highland areas. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31: 211-218.
- Hong SJ, Kim BS, Park NI, Eum HL. 2017. Influence of nitrogen fertilization on storability and the occurrence of black speck in spring kimchi cabbage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 35: 727-736.
- Jung JW. 2013. Physiological disorder observed during Chinese cabbage storage. *Food Sci. Ind.* 46: 19-22.
- Kim BS, Kim MJ, Kim OW, Kim GH. 2001a. Quality changes of winter Chinese cabbage by different packing and loading during cold storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 8: 30-36.
- Kim BS, Nahmgung B, Kim MJ. 2001b. Effect of packaging and loading conditions on the quality of late autumn Chinese cabbage during cold storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 8: 23-29.
- Kim EJ, Seo SH, Park SE, Lim YW, Roh SW, Son HS. 2020. Initial storage of kimchi at room temperature alters its microbial and metabolic profiles. *LWT-Food Sci. Technol.* 134: 110160.
- Kim JK, Kim KD, Choi YS. 2007. Postharvest kimchi cabbage. Nonghyup, Seoul, Korea. pp. 4-35.
- Kim MN, Park SH, Park CW, Choi SY, Choi DS, Kim JS, Kim YH, Lee SJ. 2018. Quality estimation of winter Chinese cabbage stored in purge type of controlled atmosphere storage. *Food Eng. Prog.* 22: 59-66.
- Kim YH, Yang YJ, Chung ST, Lee CS. 2000. Effect of storage temperature and packaging methods on quality of Chinese cabbage grown in spring. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18: 688-688.
- Kim YS, Kim TS, Ham SK, Bang SW, Lee CE. 2009. The effect of compound fertilizer contained slow release nitrogen on turf-grass growth in creeping bentgrasses and on change in soil nitrogen. *Kor. Turfgrass Sci.* 23: 11-122.
- KOSIS. Korean Statistical Information Service. 2019. Statistics Korea. Cultivated area of field vegetable.
- Lee JS, Park SH, Lee YS, Lim BS, Yim SC, Chun CH. 2008. Characteristics of growth and salting of Chinese cabbage after spring culture analyzed by cultivar and cultivation method. *Korean J. Food Preserv.* 15: 43-48.
- Lee JS. 2020. Case study of winter kimchi cabbage storage with net packaging, and comparison of head growth and salting characteristics between winter and spring kimchi cabbage. *J. Agric. Life Sci.* 54: 25-35.
- Lee KH, Kuack HS, Jung JW, Lee EJ, Jeong DM, Kang KY, Chae KI, Yun SH, Jang MR, Cho SD, Kim GH, Oh JY. 2013. Comparison of the quality characteristics between spring cultivars of kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Korean J. Food Preserv.* 20: 182-190.
- Lee SG, Seo TC, Jang YA, Lee JG, Nam CW, Choi CS, Yeo KH, Um YC. 2012. Prediction of Chinese cabbage yield as affected by planting date and nitrogen fertilization for spring production. *J. Bio-Env. Con.* 21: 271-275.
- Park KW, Kim YS. 2016. Horticultural plant nutrition. Academy Book. Seoul, Korea.
- Yang YJ, Jeong JC, Chang TJ, Lee SY, Pek UH. 1993. CO₂ production and trimming loss affected by storage temperature and packaging methods in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) grown in spring. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 34: 267-272.

Author Information

민승기: 세계김치연구소 산업기술연구단 선임연구원
 하상현: 세계김치연구소 신공정발효연구단 전임연구원
 전준영: 세계김치연구소 신공정발효연구단 위촉연구원
 박호성: 농업회사법인 하늘마음 이사
 한응수: 세계김치연구소 신공정발효연구단 책임연구원