

복숭아(*Prunus persica*) 수확 후 아산화질소(N₂O) 처리가 품질에 미치는 영향

나현석¹ · 배로나^{2*} · 이승구^{3,4}

¹CJ제일제당 식품연구소, ²농업기술실용화재단, ³서울대학교 식물생산과학부, ⁴서울대학교 농업생명과학연구원

Effect of Nitrous Oxide (N₂O) Treatment on Quality of Peach (*Prunus persica*) Postharvest

Hyunseok Nah¹, Rona Bae^{2*}, and Seung Koo Lee^{3,4}

¹Food R&D Institute, CJ CheilJedang Corporation, Seoul 152-051, Korea

²Analysis & Certification Division, Foundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer, Suwon 411-857, Korea

³Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

⁴Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

Abstract. This experiment was conducted to find out the effects of nitrous oxide (N₂O) on the postharvest quality of 'Janghowon hwangdo' peach fruits. Fruits were harvested at commercial maturity for marketing in late September, and treated with 70% N₂O + 20% O₂ + 10% air, 80% N₂O + 20% O₂, and 90% N₂O + 10% O₂ for 48 h, and then stored at 15°C. No significant treatments for soluble sugar and titratable acidity contents were detected. However, good appearance and taste in peach fruit were maintained better in 80% N₂O treatment than in air treatment. The treatment with 90% N₂O had negative effects on weight loss and taste because of rotting by anaerobic fermentation. 80% N₂O treated fruit had significantly higher fungus (*Botrytis cinerea*) growth inhibition of saprogenic approximately than air treatment until 12 days of storage. The browning and rotting at surface of peach were also retarded when peaches were treated with 80% N₂O before they were artificially wounded. The activity of polyphenol oxidase (PPO) was inhibited about 80% in peach of 80% N₂O treatment compared with in air treatment. The result showed that 80% N₂O treatment was able to extend the shelf life of peach fruits through maintaining taste and inhibition of softening and browning by rotting and wounding during storage.

Additional key words: appearance, *Botrytis cinerea*, browning, polyphenol oxidase, saprogenic, taste

서 언

복숭아(*Prunus persica* L.)는 상온에서 빠르게 숙성되고 상처를 쉽게 받으며 부패하기 쉽기 때문에 취급과 운송에 어려움이 크다(Bonghi et al., 1999; Crisosto et al., 1999; Li and Yu, 2000; Zhou et al., 2002). 특히 상처를 받은 부위가 빠르게 변색되고 연화되므로 상품성을 크게 훼손시켜 상온에서 저장 기간은 7일 미만으로 매우 짧다(Zhou et al., 2002). 가장 대표적인 품질 저하 현상은 5-8%에 달하는 수분 손실, 물리적인 상처, 잿빛곰팡이병균이나 갈색씩음병(*Monilinia fructicola*)과 같은 곰팡이에 의한 부패이다(Crisosto

and Mitchell, 2002). 이러한 문제점을 해결하기 위해 일반적으로 냉장 저장을 하지만, 복숭아는 저온 장해를 받기 쉬운 과실이기 때문에 과육의 갈변이나 향미 손실, wooliness 현상 등이 일어나는 한계점을 가지고 있어 국내에서는 주로 완전한 숙기에 수확을 하며 이 시기에 한정적으로 소비된다. '장호원 황도' 품종은 9월 중순부터 10월 상순이 숙기인 만생종으로 특히 복숭아의 장기간 출하를 위해 수확 후 저장력을 증가시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있는 품종이다.

N₂O를 원예산물에 직접 적용한 초기 연구는 토마토에서의 곰팡이 억제 효과에 대한 것이었으며 N₂O를 단시간 처리하거나 혹은 지속적으로 처리할 때에도 전혀 독성이 없었다

*Corresponding author: ronabae@snu.ac.kr

※ Received 24 May 2011; Revised 15 September 2011; Accepted 13 October 2011.

고 하였다(Gouble et al., 1995).

이와는 다르게 N₂O의 불활성을 이용한 시도가 있었다. N₂O는 매우 안정한 기체이기 때문에 특히 대표적인 불활성 가스인 Ar과 함께 혼합하여 채소에 처리함으로써 효소의 작용을 억제하여 특히 호흡을 억제할 수 있다는 보고가 있으며(Brian, 1998; Spencer, 1995), 이와 같은 내용은 미국과 유럽에 특허로도 등록된 바 있다(Fath et al., 1992). 한편 Ozdemir et al.(2004)은 버섯과 사과에 N₂O를 비롯한 He, Ar, Ne, 및 N₂ 등을 각각 처리했을 때 혐기성 이화 작용에는 큰 영향을 미치지 못했음을 보고하는 등 N₂O의 불활성을 이용한 연구는 최근까지 진행되고 있다.

Girardon(1994)은 N₂O가 에틸렌의 길항 물질로서 성숙을 지연시키고 *Botrytis*, *Rhizopus*, 그리고 *Penicillium*을 억제시켜서, 호흡 급등형 과실에 적용했을 때 저장 기간을 2일에서 8일까지 연장시킬 수 있음을 제시했다. 이후 Gouble et al.(1995)은 N₂O를 토마토와 아보카도에 처리하여 각각 에틸렌, 에틸렌 생합성 효소인 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid(ACC), ACC 산화 효소, ACC 합성 효소 등의 변화를 측정함으로써 N₂O의 항 에틸렌 효과를 밝히고자 하였다. 이에 따르면 N₂O는 에틸렌 최대 발생 시점을 5일 정도 지연시켰으며 아보카도에서 ACC 함량과 ACC 합성 효소의 활성 증가를 억제하는 경향을 보여주었는데 이는 N₂O가 CO₂와 유사한 성질을 가지고 있기 때문이라고 하였다(Gouble et al., 1995). 즉 N₂O는 CO₂와 동일한 전자가를 가지며 세 개의 분자가 선형을 이루는 구조도 같은데, N₂O도 CO₂와 같이 원에 작물의 ACC 합성 효소 활성을 억제시켜 에틸렌 발생을 감소시키는 것으로 보고되었다(Gouble et al., 1995).

이후 양파를 이용한 N₂O 효과 연구에서 맹아 발생 억제에는 효과가 없었으나 부패 억제는 뚜렷한 효과를 나타내었다는 보고가 된 바 있다(Benkeblia et al., 2001, 2003). 그러나 과실의 품질과 관련한 연구는 이루어지지 않아 N₂O의 작용에 대한 설명이 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 N₂O를 ‘장호원 황도’ 복숭아에 처리하여 품질에 미치는 영향, 부패균 및 효소의 활성을 조사하여 N₂O를 이용한 복숭아 과실의 장기 저장 가능성을 알아보려고 실시하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험은 2009년 9월말 경에 경기도 이천시 장호원 지역에서 생산된 ‘장호원 황도’ 복숭아를 이용하였다. 이 시기의 대기 평균기온은 15°C였으며, N₂O의 농도 별 처리와 일반적인 유통시의 품질 변화를 관찰하기 위해 저장 온도는 15°C

상대 습도는 75-80%에서 저장하였다.

N₂O 처리

복숭아를 20L 용기에 넣고 유량계를 사용하여 N₂O와 O₂를 혼합하여 주입한 후 밀폐시키고 다시 저장고에 저장하였다. N₂O의 농도에 따른 품질을 조사하기 위하여 대조구로는 상업적으로 판매되는 air를 사용하였고, N₂O는 70% N₂O + 20% O₂ + 10% air, 80% N₂O + 20% O₂, 및 90% N₂O + 10% O₂의 3처리구로 설정하여 48 시간 동안 처리하였고, 처리 후 15°C에서 저장하였다.

각 처리구의 기체 조성은 가스 크로마토그래피(GC; 3900, Varian Corp., Palo Alto, CA, USA)를 이용하여 확인하였다(Qadir and Hashinaga, 2001a). Detector는 thermal conductivity detector(TCD)를 사용하였고, 칼럼은 Porapak Q 30m × 25mm을 사용하였으며, oven 온도는 100°C, injector 온도는 120°C, detector 온도는 120°C로 설정하였다.

품질 조사

중량 손실율은 처리 직전의 중량을 측정하여 이에 대한 처리 후 저장 기간 동안의 변화량을 백분율로 나타내었다. 경도 측정에는 TA-XT2 texture analyzer(TA plus, Lloyd Instruments™, Hants, UK)를 사용하였다. 과피를 일부 제거하고 5mm의 flat probe를 2.0mm·s⁻¹ 속도로 10mm 침투시켜서 경도를 측정하였다. 당도는 과육에서 얻은 과즙을 굴절당도계(RA-520, Kyoto Electronic, Kyoto, Japan)를 사용하여 가용성 고형분을 24°C에서 측정하여 °Brix 값으로 나타내었다. 산도는 과즙 4g을 20mL 2차 증류수에 희석하고 0.1N NaOH로 pH 8.1까지 적정할 값을 malic acid의 백분율로 나타내었다(Wright and Kader, 1997). 복숭아의 외관 조사는 외관을 5단계로 나누어 점수화(5 = 매우 좋음, 4 = 좋음, 3 = 보통, 2 = 나쁨, 1 = 매우 나쁨)하고 관능적으로 평가하였다(Kim and Klieber, 1997). 3점까지를 상품과, 2점까지는 비상품과로 구분하였다. 외관의 평가 기준은 Table 1과 같다. 식미 평가는 전체적인 맛에 대하여 5단계(5 = 매우 좋음, 4 = 좋음, 3 = 보통, 2 = 나쁨, 1 = 매우 나쁨)로 나누어 평가하였다. 단맛의 감소 정도, 물러짐의 심화, 이취 발생 여부 등을 평가 요소로 보았다.

곰팡이 발생

복숭아에서 가장 많이 발생하는 잿빛곰팡이를 복숭아 과실에서 직접 분리 배양하여 이용하였다(Crisosto and Mitchell, 2002). 이 곰팡이는 감자 한천 배지(PDA)에서 20°C로 배양하였으며, 2차 분리 시 페트리 접시에 직접 air와 70%, 80%,

Table 1. Evaluation criteria for peach fruit appearance.

Characteristics	Score				
	5	4	3	2	1
Surface browning	none	trace	1-2 specks	3-5 specks	> 6 specks
Microbial spoilage	none	none	trace	1-2 lesions	spoilage
Overall acceptance	very fresh, no deterioration	fresh	marketable	edible, non-marketable	not edible

및 90%의 N₂O를 5분간 흘려 준 후 밀봉하여 같은 온도의 성장상에 두고 16일 동안 균집수의 지름을 측정하였다. 곰팡이의 성장 억제 정도는 대조구인 air 처리구의 지름에 대한 백분율로 표시하였다.

타박상 발생

N₂O 처리에 의한 복숭아의 타박상의 갈변 억제 효과를 알아보기 위하여 지름 2.54cm의 쇠구슬을 30cm 높이에서 떨어 뜨려 타박상을 내고 그 크기의 변화를 측정하였다(Mitchell and Kader, 1989). 대조구는 타박상을 내지 않은 air 처리하였고, 처리구는 타박상을 낸 후 air를 처리한 구와 타박상을 내기 전에 N₂O를 먼저 처리한 것, 그리고 타박상을 낸 후에 N₂O를 처리한 것으로 나누었으며, 처리 농도는 80% N₂O + 20% O₂였고, 처리 시간은 48시간이었다. 처리를 한 후에는 15°C의 저장고에서 저장하면서 2일 간격으로 타박상의 지름을 측정하였다.

Polyphenol oxidase(PPO)의 활성

PPO 활성의 측정은 Cheng and Crisosto(1995)의 방법에 따라 실시하였다. 시료는 액체 질소로 동결 건조 후 마쇄하여 분석 전까지 -40°C에 보관해 두었다. 시료 분말 300mg을 저온(4°C)에서 보관한 0.2M phosphate 완충 용액(pH 6.2)으로 homogenizer(F-25, IKA Laboratechnik, USA)를 이용하여 균질화시키고 5% polyvinylpyrrolidone(w/v), 2% wet Amberlite XAD-4(w/v), 그리고 2% Triton X-100을 균질화한 것에 혼합 후, 얼음 수조에 5분간 두었다. 이후 여과지(Whatman No. 1)로 거른 후 4°C, 12,000g에서 20분간 원심 분리하여 상정액을 얻었다. PPO 추출물 0.5mL에 2.3mL 0.1M phosphate 완충용액과 복숭아 과실에 가장 많은 페놀산인 1mM chlorogenic acid 0.2mL을 혼합한 후(Macheix et al., 1990) air, 100% N₂O 및 100% N₂를 각각 10, 20, 30, 40, 50, 및 60분 동안 불어 넣은 후 25°C에서 흡광분광 분석기(8453 UV-Vis, Agilent, USA)로 420nm에서 흡광도를 측정하여 air 처리구에 대한 백분율로 N₂O의 처리와 N₂의 처리에 의한 PPO 억제율을 나타내었다.

통계처리

하나의 처리구에는 5개의 개체를 사용하였으며, 외관 평가와 식미 평가시에는 10개의 개체를 사용하였고 모든 처리구는 3반복하였으며, 결과는 반복의 평균과 표준 오차로 나타내었고, Duncan의 다중검정으로 $P \leq 0.05$ 수준에서 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

품질

N₂O의 농도를 70%, 80%, 및 90%로 처리하여 15°C에서 저장하면서 중량 감소량을 측정했을 때, N₂O의 농도가 70%와 80%일 때에는 air 처리구와 큰 차이가 없어 중량감소에는 효과가 없음을 나타내었다(Fig. 1). N₂O 90% 처리구에서는 오히려 훨씬 더 많은 중량감소가 있었다. 이는 N₂O가 90%일 때 O₂가 10%로, O₂ 부족에 의한 발효가 일어나면서 스트레스를 받았기 때문인 것으로 보고되었다(Shellie, 2002). 복숭아 과실에서 수분 손실은 과피를 주름지게 하고 품질 저하를 촉진할 수 있기 때문에 수확 후 수분 손실을 방지하는 것이 매우 중요하다고 하였다(Crisosto and Mitchell, 2002).

수확 당시의 경도는 $23 \pm 2.8N$ 이었고, 15°C에서 48시간

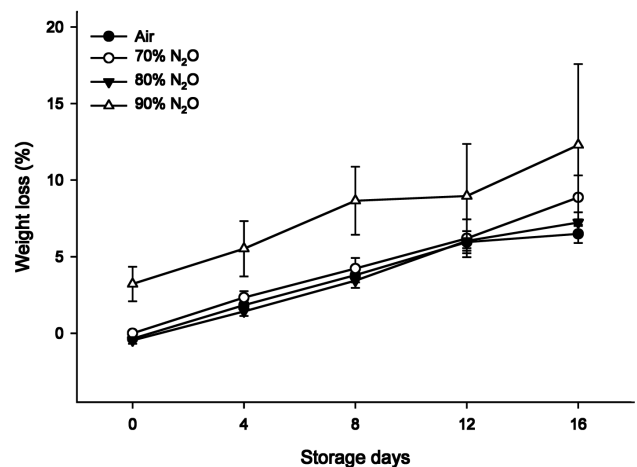


Fig. 1. Effect of N₂O treatment for 48 h on weight loss of peach fruits stored at 15°C. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

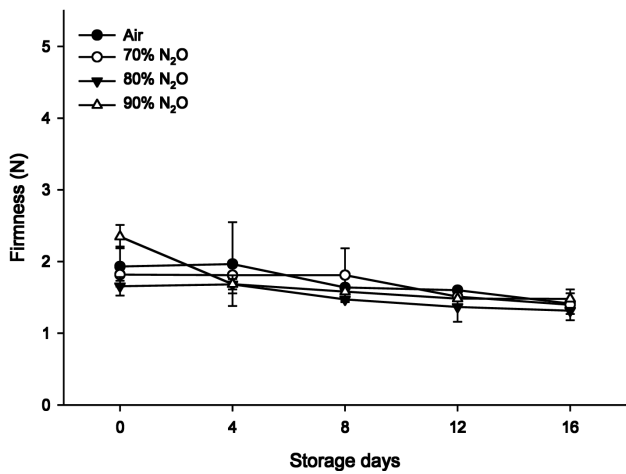


Fig. 2. Effect of N₂O treatment for 48 h on firmness of peach fruits stored at 15°C. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

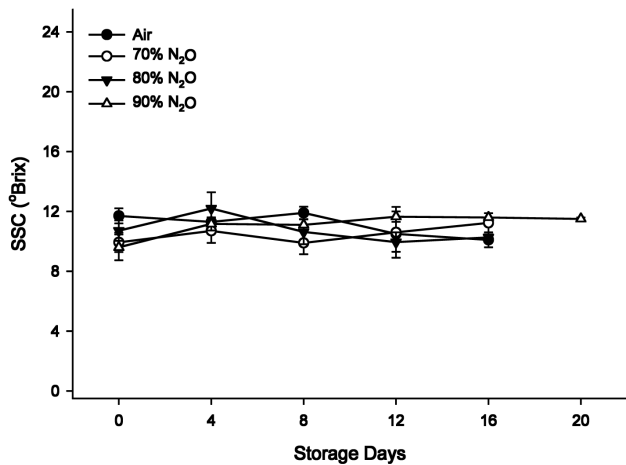


Fig. 3. Effect of N₂O treatment for 48 h on soluble solids contents of peach fruits stored at 15°C. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

동안 N₂O 가스를 처리한 직후에는 경도가 1.5-2.5 정도 저하되었다. 처리 직후에는 90% N₂O를 처리구가 다소 높은 경도 값을 나타내었지만, 5°C에서 저장한 4일 이후에는 처리간 큰 차이가 없었고 저장기간이 지남에 따라 아주 미미하게 감소하였다(Fig. 2). ‘장호원 황도’ 복숭아는 숙성 시 당도가 약 9-12°Brix 정도로 높은 품종이나 15°C에서 저장한 후 N₂O 처리 농도간 차이를 나타내지는 않았으며 거의 일정하게 당도를 유지하였다(Fig. 3). ‘장호원 황도’ 복숭아는 산도가 비교적 낮은 품종인데 15°C에서 N₂O를 처리하였을 때 air 처리구가 N₂O 처리구들에 비해서 다소 높은 값을 유지하면서 미미하게 감소하였으나 그 차이는 크지 않았고, 80% N₂O의 처리시 70% N₂O와 90% N₂O 처리보다 다소 높은 산도를 유지하였으나 처리 농도 간 차이는 크지 않았다(Fig. 4). Cocci et al.(2006)은 이러한 산도 유지 효과가

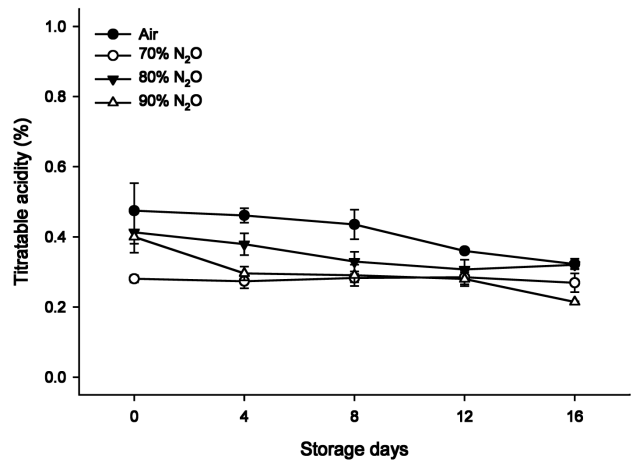


Fig. 4. Effect of N₂O treatment on titratable acidity of peach fruits stored at 15°C. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

N₂O의 에틸렌 저해 작용 때문이라고 하였다. 그러나 반대로 딸기와 그린빈스를 100kPa N₂O 환경하에서 저장하였을 때에는 산도 감소가 air에서 저장하였을 때에 비해 오히려 크다는 연구 결과(Al-Jamali, 2007; Bani-Hani, 2009)가 있어 N₂O가 climacteric 작물의 산도에 영향을 주지만 처리농도 및 작물의 생육 단계에 따라서 다양하게 반응하는 것으로 생각된다.

외관

복숭아는 과피가 약하고 과육 경도가 낮은 편이어서 약간의 충격에도 쉽게 타박상을 입으며 타박상을 입은 부위는 즉시 변색되는 등 외관적인 상품성이 급격히 떨어진다. 복숭아의 저장기간 동안 외관의 변화는 15°C에서 N₂O를 농도별로 처리하였을 때, 80% N₂O 처리 시 변색이 적고, 부패가 적어 가장 좋은 외관을 나타내었다(Table 2). 상품성의 기준을 3으로 보았을 때에, 80% N₂O 처리구에서 최장 20일까지 외관 유지가 가능했으며 12일까지 약 3.0 ± 0.3으로 상품성을 유지하였다. 이에 비해 70%와 90% N₂O를 처리한 것은 8일까지 각각 3.0 ± 0.3과 2.9 ± 0.9로 상품성을 유지하였다. 그러나 90% N₂O 처리구는 N₂O 48시간 처리 직후 3.9 ± 0.3로써 air 처리구보다는 높으나 다른 N₂O 처리구들보다 낮은 수치를 나타내었다. Shellie(2002)에 의하면 저농도의 O₂와 고농도의 N₂O 처리는 O₂ 부족으로 인한 발효로 이취가 발생하고 과즙액이 유출되는 등으로 처리 후부터 상품성이 급격히 저하되었기 때문이라고 하였다.

식미

N₂O 처리에 따른 식미는 80% N₂O 처리 시 저장 12일까지 3.9 ± 0.1로 air 처리보다 4일 이상 식미가 유지되었다

Table 2. Effect of N₂O treatment on appearance of peach fruits stored at 15°C for 48 h.

Storage time (Days)	Fruit appearance			
	N ₂ O concentration (%)			
	Air	70	80	90
0	4.2 ± 0.0 ^z d ^y	4.5 ± 0.1 b	4.9 ± 0.0 a	3.9 ± 0.3 c
4	3.8 ± 0.3 b	3.8 ± 0.0 b	4.5 ± 0.2 a	3.3 ± 0.4 c
8	2.3 ± 0.2 c	3.0 ± 0.3 b	3.9 ± 0.2 a	2.9 ± 0.9 b
12	1.0 ± 0.0 b	1.3 ± 0.0 b	3.0 ± 0.3 a	1.7 ± 0.3 b
16	1.0 ± 0.0 b	1.0 ± 0.0	2.6 ± 0.1 a	1.0 ± 0.0 b
20	-	-	1.8 ± 0.1	-

^zValues are means of three replicates ± SE.

^yDuncan's multiple test among treatments: significance at $p \leq 0.05$.

Table 3. Effect of N₂O treatment on taste of peach fruits stored at 15°C for 48 h.

Storage time (Days)	Taste			
	N ₂ O concentration (%)			
	Air	70	80	90
0	5.0 ± 0.0 ^z a ^y	5.0 ± 0.0 a	5.0 ± 0.0 a	4.4 ± 0.1 b
4	4.0 ± 0.0 c	4.3 ± 0.1 b	4.8 ± 0.0 a	2.9 ± 0.1 d
8	3.2 ± 0.1 c	3.9 ± 0.1 b	4.4 ± 0.1 a	2.6 ± 0.2 d
12	1.0 ± 0.0 d	2.7 ± 0.1 b	3.9 ± 0.1 a	1.7 ± 0.0 c
16	1.0 ± 0.0 b	1.0 ± 0.0 b	2.7 ± 0.1 a	1.0 ± 0.0 b
20	-	-	1.5 ± 0.1	-

^zValues are means of three replicates ± SE.

^yDuncan's multiple test among treatments: significance at $p \leq 0.05$.

(Table 3). 이보다 낮은 70% N₂O의 농도에서는 저장 8일까지 3.9 ± 0.1로 식미를 유지했으나 12일째에는 2.7 ± 0.1로 급격히 떨어졌다. 90% N₂O를 처리하였을 경우도 O₂ 부족에 따른 혐기 호흡으로 이취가 발생하여 식미가 급격히 감소하였다.

부패

무처리구의 곰팡이 성장 정도를 100%로 보았을 때 N₂O 처리구는 모두 잿빛곰팡이의 성장이 크게 억제되었다(Fig. 5). 80% N₂O를 처리하였을 경우 균집수의 크기가 저장 12일 째에 무처리구의 4.1%였다. 그리고 90% N₂O를 처리하였을 때에는 12일 째에 무처리구의 4.6%였다. 이러한 곰팡이 억제 현상은 시간이 지날수록 농도의 영향을 많이 받았다. 저장 8일 째까지는 농도에 따른 억제 정도의 차이가 거의 없었으나 12일 째에 70% N₂O 처리는 80%와 90% N₂O 처리보다 균집수의 성장이 커졌다(Table 2). 그리고 저장 16일 째에는 농도에 따른 억제 정도의 차이가 뚜렷해서 N₂O의 농도가 높을수록 잿빛곰팡이의 성장은 더 억제되었음을 보여주었다. N₂O는 곰팡이의 성장을 억제하는 것으로 알려져 있는 CO₂와 마찬가지로 3개의 원자가 선형을 이루는 구조

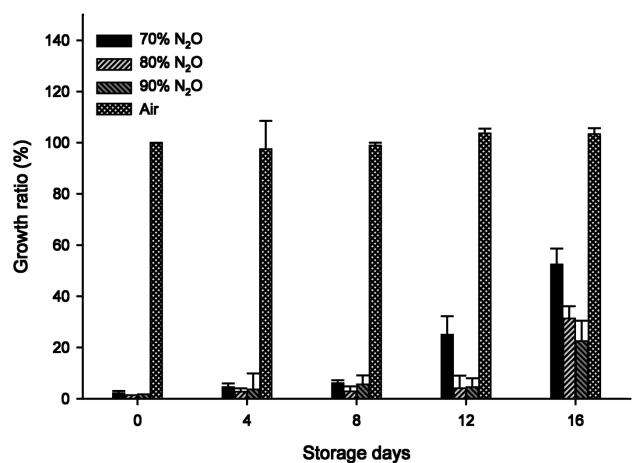


Fig. 5. Effect of N₂O on growth of *B. cinerea* isolated from peach fruits with 80% N₂O + 20% O₂ treatment at 20°C. Vertical bars represent the mean of three independent experiments. Error bars represent standard errors.

이기 때문에 분자량, 녹는점, 용해도 등 생·물리학적 특성이 CO₂와 유사하여(Iota et al., 2004; Qadir and Hashinaga, 2001a), N₂O 역시 비슷한 효과를 나타낸 보고가 있었고(Gouble et al., 1995), 본 실험에서도 N₂O를 복숭아 과실에 처리한 결과 N₂O를 처리하지 않았을 때보다 부패 정도가 크게 적어

서 외관이 오래 유지되었다(Table 2).

El-Goorani and Sommer(1981)에 의하면 유사한 분자구조를 가진 CO₂를 처리하면 배지가 산성화되어 곰팡이의 성장을 억제할 수 있는데 특히 가장 심각한 수확 후 병원균인 잣빛곰팡이(*Botrytis cinerea*)의 경우 CO₂를 약 30%의 농도로 처리하면 이를 완전히 억제시킬 수 있다는 보고가 있다. 한편 딸기에 잣빛곰팡이를 감염시키고 N₂O를 처리한 결과 10일 이상 병 발생을 억제시킬 수 있었으며 이는 N₂O의 처리 농도가 높고 처리 기간이 길수록 효과가 크다고 보고되었다(Qadir and Hashinaga, 2001a). 또한 곰팡이를 배양하여 직접 N₂O를 처리하였을 때에도 유사한 결과를 얻었으며, 곰팡이의 종에 따라 N₂O의 감응 정도가 다르게 나타난다는 사실이 보고되었다(Qadir and Hashinaga, 2001b). 이에 따라 CO₂와 유사한 생리학적 특성을 가진 N₂O 역시 원예작물에 대해 같은 효과를 나타낸 것으로 생각된다.

그러나 N₂O가 모든 곰팡이에 억제 효과를 나타내는 것은 아니라는 보고도 있었다. 복숭아에 주로 병을 일으키는 *Monilinia fruticola*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium expansum*, *Cladosporium herbarum* 등의 곰팡이는(Sommer et al., 2002) N₂O에 민감하게 반응하므로(Qadir and Hashinaga, 2001b) 복숭아 과실에 N₂O를 처리하였을 경우 일관되게 부패를 억제하였지만, 키위 과실에 N₂O를 처리하였을 경우에는 부패 억제 효과가 거의 없었다. *Phoma* 썩음병에 감염된 키위 과실에서 *Phoma* sp.를 분리 배양하여 직접 N₂O를 처리한 결과 잣빛곰팡이 병균과 달리 균집수의 성장을 억제하지 못하였다(Nah, 2005). Qadir and Hashinaga(2001b)는 이러한 결과가 에틸렌에 관계한 억제 효과라고 하였으나 에틸렌에 감수성이 낮은 *Alternaria alternata*도 에틸렌에 관해서는 감수성이 높은 잣빛곰팡이병균과 N₂O에 대해서 유사성을 나타내므로(Kepczynska, 1994) 명확하지는 않았다.

타박상

복숭아 타박상에 대한 N₂O 효과는 80% N₂O + 20% O₂를 48시간 동안 처리하고 타박상을 입힌 처리구가 다른 처리구들에 비해 타박상 크기가 가장 뚜렷하게 억제되었다(Fig. 6). 이 처리구는 저장 14일까지 타박상의 크기가 5mm로 가장 작았다. 타박상을 입은 후 80% N₂O + 20% O₂의 농도로 48시간 동안 처리한 경우에는 저장 10일째까지 타박상 크기를 억제하였으나 그 이후에는 타박상 크기가 급격히 발전하여 air를 처리한 처리구와 비슷한 양상을 보였다. 타박상을 입기 전에 N₂O를 처리한 경우 N₂O가 식물 조직 속에 흡수되어 있다가 연화 및 변색을 일으키는 기질과 효소간의 반응을 초기에 억제하여 변색을 방지했던 것으로 보인다.

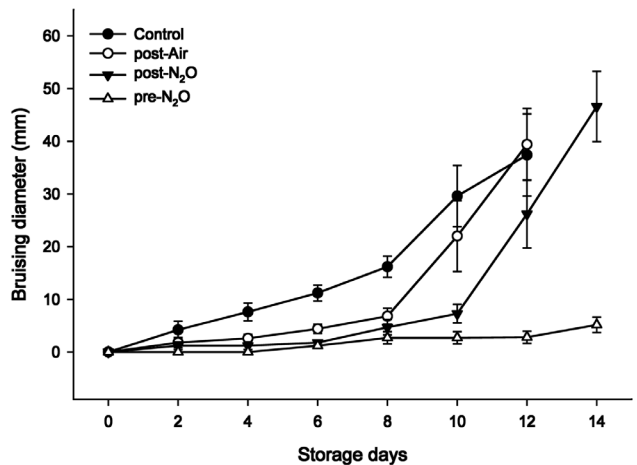


Fig. 6. Effect of N₂O treatment on impact bruising of peach fruits stored at 15°C. Pre-N₂O: treated with N₂O after impact; post-N₂O: treated with N₂O before impact; post-air: treated with air after impact; control: without treatment. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

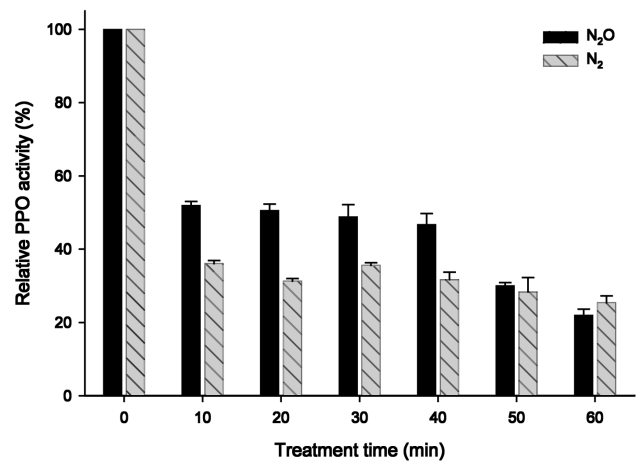


Fig. 7. Inhibition of PPO activity by 100% N₂O and N₂. The substrate was 1 mM chlorogenic acid (pH 6.5). Vertical bars represent the mean of three independent experiments. Error bars represent standard errors.

다. 그러나 타박상을 입은 후에 N₂O를 처리한 경우는 기질과 효소 간의 반응이 이미 일어나서, 변색 반응의 속도를 늦추기는 하나 완전히 억제하지는 못했던 것으로 생각되며, 이에 대한 결과는 다른 연구에서도 유사하게 나타났다(Benkeblia et al., 2001; Chervin and Thibaud, 1992; Einarsdottir and Caughey, 1988; Gouble et al., 1995; Sowa et al., 1987).

PPO 활성

N₂O가 갈변에 직접적으로 영향을 미치는지 알아보기 위하여 복숭아에서 분리한 PPO에 80%의 N₂O를 처리하고 기질과의 반응을 측정하였다. 그 결과 air 처리를 100%로 보았을 때 N₂O는 PPO의 활성을 50% 이상 억제하는 것으로

나타났다(Fig. 7). 10분 동안 N₂O를 처리했을 때 약 52%로 PPO 활성이 감소하였고, 처리 시간이 길어질수록 PPO 활성은 계속 감소하여 60분간 처리하였을 때에는 약 22%까지 활성이 떨어졌다. 따라서 N₂O가 페놀화합물의 산화 반응에 직접적으로 관여하여 갈변을 억제한다는 사실을 알 수 있었다. 이러한 타박상이나 압상으로 인한 과실의 갈변은 페놀 화합물들과 PPO 효소의 산화 반응 때문이라는 보고가 있었다(Cheng and Crisosto, 1995).

N₂ 역시 PPO의 활성을 N₂O보다 더 많이 감소시키는 결과를 나타내었으나 처리 시간에 따른 영향은 없었다. 이는 N₂를 비롯한 Ar, He 등의 불활성 기체가 물에 녹아 효소의 산화 작용 부위에서 그 작용을 방해하기 때문일 것으로 보고되었다(Behnke et al., 1969; Caussette et al., 1998; Zhang et al., 2001).

N₂O 역시 불활성 기체처럼 매우 안정한 기체로, 이와 유사한 방식으로 효소의 작용을 방해하는 것으로 해석한 보고들이 있다(Behnke et al., 1969; Ozdemir et al., 2004; Spencer, 1995). 처리 직후 PPO 활성이 급감한 후 일정하게 유지되는 N₂의 결과와 다르게 N₂O는 처리 시간이 길어질수록 더 낮은 활성을 보이는 차이가 있었다(Fig. 7). 이러한 결과는 tyrosinase에 N₂와 Ar을 처리한 Zhang et al.(2001)의 보고와는 다르게 나타났다. 따라서 N₂O는 갈변을 일으키는 페놀화합물과 PPO의 반응에 대해 단순한 방해 이상의 다른 작용을 할 가능성도 제시되었다.

초 록

아산화질소(N₂O)가 원예 작물의 저장 중 품질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 9월 하순에 수확된 '장호원 황도' 복숭아를 대상으로 연구를 수행하였다. N₂O 처리는 70% N₂O + 20% O₂ + 10% air, 80% N₂O + 20% O₂, 그리고 90% N₂O + 10% O₂의 3가지 농도로 48시간 동안 처리하였으며 처리 후 15°C에서 저장하였다. 경도와 당도의 변화는 air(대조구) 및 N₂O 처리간 뚜렷한 차이가 없었으나, 외관 변화 및 식미에 있어서는 80% N₂O를 48시간 동안 처리한 것이 처리하지 않았을 때보다 뚜렷한 품질 유지 효과를 보였다. 90% N₂O를 처리하였을 때에는 산소 부족으로 인한 발효로 중량 감소와 식미가 오히려 악화되는 양상을 나타내었다. 복숭아의 주된 부패 원인이 되는 잣빛곰팡이(*Botrytis cinerea*)를 분리하여 80% N₂O를 처리하였을 때 air에 비해 곰팡이 성장이 12일까지 약 80% 억제되었다. 복숭아의 타박상이 생긴 부분의 갈변 방지 억제 효과를 알아보기 위해 80% N₂O를 처리하고 타박상을 입혔을 때, 타박상 부분의 갈

변이 air에 비해 억제되었으며, 과실로부터 추출한 polyphenol oxidase(PPO)에 80% N₂O를 처리한 결과 PPO의 활성이 80% 이상 억제되었다. 80% N₂O 처리는 복숭아 저장 중 식미를 유지시키고, 부패와 타박상에 의한 연화 및 갈변을 억제하는 것으로 품질을 유지시켜 저장 기간을 연장시킬 수 있었다.

추가 주요어 : 외관, *Botrytis cinerea*, 갈변, polyphenol oxidase, 부패, 식미

인용문헌

- Al-Jamali, A.F. and M.T. Bani-Hani. 2007. Improving postharvest strawberry fruit quality with carbon dioxide and nitrous oxide at high ambient temperatures. *Acta Hort.* 741:181-187.
- Al-Jamali, A.F. and M.T. Bani-Hani. 2009. Croplife-B with nitrous oxide or carbon dioxide extends shelf life of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at ambient temperatures. *J. Food Agr. Environ.* 7:38-43.
- Behnke, J.R., O. Fennema, and W.D. Powrie. 1969. Enzyme-catalyzed reactions as influenced by inert gases at high pressures. *J. Food Sci.* 34:370-375.
- Benkeblia, N., P. Varoquaux, and B. Gouble. 2001. Effect of nitrous oxide (N₂O) shocks on sprouting and rotting of onion bulbs (*Allium cepa* L.). *Sci. Aliments* 21:193-198.
- Bonghi, C., A. Ramina, B. Ruperti, R. Vidrih, and P. Tonutti. 1999. Peach fruit ripening and quality in relation to picking time, and hypoxic and high CO₂ short-term postharvest treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 16:213-222.
- Brian, D. 1998. Novel MAP. *Food Manufact.* 73(11):22-28.
- Caussette, M., A. Gaunand, H. Planche and B. Lindet. 1998. Enzyme inactivation by inert gas bubbling. *Stab. Stabil. Biocat.* 1998:393-398.
- Cheng, W. and C.H. Crisosto. 1995. Browning potential, phenolic composition, and polyphenoloxidase activity of buffer extracts of peach and nectarine skin tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:835-838.
- Chervin, C. and M.C. Thibaud. 1992. Inhibition of plant and animal cytochrome oxidases by nitrous oxide as a function of cytochrome c concentration. *Biochimie* 74:1125-1127.
- Cocci, E., P. Rocculi, S. Romani, and M. Dalla-Rosa. 2006. Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 39:265-271.
- Crisosto, C.H. and F.G. Mitchell. 2002. Postharvest handling systems: Stone fruits, p. 345-356. In: A.A. Kader (ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd ed. Regents of the Univ. California, Oakland, CA, USA.
- Crisosto, C.H. and F.G. Mitchell, and Z. Ju. 1999. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown on California. *HortScience* 34:1116-1118.
- El-Goorani, M.A. and N.F. Sommer. 1981. Effects of modified atmospheres on postharvest pathogens of fruits and vegetables. *Hort. Rev.* 3:412-461.

- Fath, D. and S. Pierre. 1992. Method for the preservation of fresh vegetables. US Patent No. 5128160.
- Girardon, P. 1994. Study of the effect of nitrous oxide on ethylene biosynthesis and ripening of climacteric fruits. *Le Fro. Qual. Leg. Fra.* p. 343-344. (Abstr.)
- Gouble, B., D. Fath, and P. Soudain. 1995. Nitrous oxide inhibition of ethylene production in ripening and senescing climacteric fruits. *Postharvest Biol. Technol.* 5:311-321.
- Iota, V., J.H. Park, and C.S. Yoo. 2004. Phase diagram of nitrous oxide: Analogy with carbon dioxide. *Phys. Rev. B* 69:064106.
- Kepeczynska, E. 1994. Involvement of ethylene in spore germination and mycelial growth of *Alternaria alternata*. *Mycol. Res.* 98:118-120.
- Kim, B.S. and A. Klieber. 1997. Quality maintenance of minimally processed Chinese cabbage with low temperature and citric acid dip. *J. Sci. Food. Agr.* 75:31-36.
- Li, H. and T. Yu. 2000. Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *J. Sci. Food Agr.* 81:269-274.
- Macheix, J.J., A. Fleuriet, and J. Billot. 1990. Fruit phenolics. CRC Press Inc., NY, USA.
- Mitchell, F.G. and A.A. Kader. 1989. Factors affecting deterioration rate, p. 165-178. In: J.H. LaRue and R.S. Johnson (eds.). Peaches, plums and nectarines-Growing and handling for fresh market. Publ. 3331. Univ. of California DANR, Oakland, CA, USA.
- Nah, H.S. 2005. Effect of nitrous oxide (N₂O) on the shelf life of peach (*Prunus persica*) fruits. PhD Diss., Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea. p. 32.
- Ozdemir, I.S., P.J. Varoquaux, F. Tournemelle, and F. Yildiz. 2004. Effect of noble gases, nitrous oxide and nitrogen on the anaerobic metabolism and quality attributes of mushroom (*Agaricus bisporus* L.) and sliced apple (*Malus sylvestris* Mill.). *Sci. Aliments* 24:233-245.
- Qadir, A. and F. Hashinaga. 2001a. Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide. *Postharvest Biol. Technol.* 22:279-283.
- Qadir, A. and F. Hashinaga. 2001b. Nitrous oxide inhibits in vitro growth of multiple postharvest fungi. *HortScience* 36:1302-1304.
- Shellie, K.C. 2002. Ultra-low oxygen refrigerated storage of 'rio-red' grapefruit: Fungistatic activity and fruit quality. *Postharvest Biol. Technol.* 25:73-85.
- Sommer, N.F., R.J. Fortlage, and D.C. Edwards. 2002. Postharvest diseases of selected commodities, p. 197-249. In: A.A. Kader (ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd ed. Regents of the Univ. of California, Oakland, CA, USA.
- Sowa, S., A. Dong, E.E. Roos, and W.S. Caughey. 1987. The Anesthetic nitrous oxide affects dioxygen utilization by bovine heart and bean seed mitochondrial particles. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 144:643-648.
- Spencer, K.C. 1995. The use of argon and other noble gases for the MAP of foods. *Proc. Intl. of the Conf. on MAP and Related Technol. Chipping Campden, Glos.* p. 278-285.
- Wright, K.P. and A.A. Kader. 1997. Effect of controlled-atmosphere storage on the quality and carotenoid content of sliced persimmons and peaches. *Postharvest Biol. Technol.* 10:89-97.
- Zhang, D., P.C. Quantick, J.M. Grigor, R. Wiktorowicz, J. Irvén. 2001. A comparative study of effects of nitrogen and argon on tyrosinase and malic dehydrogenase activities. *Food Chem.* 72:45-49.
- Zhou, T., S. Xu, D.W. Sun, and Z. Wang. 2002. Effects of heat treatment on postharvest quality of peaches. *J. Food. Eng.* 54:17-22.