

저장기간에 따른 팽이버섯 자실체의 유기산 함량 변화

전창성*, 윤형식, 임훈태, 공원식, 이강효, 이찬중, 성기호, 조재한
농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 버섯과

The change on organic acid of fruiting body of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) by storage period

Chang-Sung Jhune*, hyung-sik yun, Hoon-Tae Leem, Won-Sik Kong, Kang-Hyo Lee,
Chan-Jung Lee, Gi-Ho Sung and Jae-Han Cho

Mushroom research Division, Department of Herbal Crop Research, National Institute of Horticultural & Herbal
Science, RDA, Suwon 441-707, Korea.

(Received June 12, 2012, Revised June 19, 2012, Accepted June 21, 2012)

ABSTRACT: To provide a basis for the variation of fruit bodies of winter mushroom (*Flammulina velutipes*), the organic acid composition of its fruit bodies was investigated with several varieties of winter mushroom indifferent temperature and storage period. In the fruit bodies of winter mushroom, a total of 10 organic acids including acetic acid, butyric acid, citric acid, fumaric acid, DL-isocitric acid, L(+)-lactic acid, D-malic acid, propionic acid, succinic acid, and D-tartaric acid were detected. In the most of the winter mushroom, acetic acid was the main organic acid component and fumaric acid was the least included component. Acetic acid, which is a mono-carboxyl group of organic acid, is contained in different levels according to different varieties and different storage temperature. Butyric acid is extremely variable in its quantity, depending on variety and different storage temperature. In contrast, fumaric acid, which is a di-carboxyl group of organic acid, decreased in its quantity during storage with 1.5 mg/g. Especially, ASI 4149, 4166 varieties tend to differ in their quantity. Besides, malic acid is extremely variable in its quantity according to variety and storage temperature. Citric acid, a tri-carboxyl group of organic acid, increased in its quantity according to storage period, which enables us to efficiently manage storage period. Isocitric acid is also extremely variable in its quantity according to variety, storage temperature and storage period.

KEYWORDS : Winter mushroom, Organic acid, Fruiting body

서론

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 분류학적으로 담자균류 주름버섯목 송이과(Tricholomataceae)에 속하며 winter mushroom 혹은 golden mushroom이라 하고 우리나라와 일본을 비롯한 아시아 지역에서 인기가 높은 저온성 버섯이다(Chang과 Miles, 1989; Tonomura, 1978). 재배 초기에는 독특한 맛과 향, 조직감을 갖고 있어 고급요리의 재료로만 사용되어 왔으나, 근래에는 보편화되면서 다양한 요리에 사용되고 있다. 또한 생버섯 상태로 외국에 활발히 수출되고 있다. 팽이버섯은 일반적으로 자연에서 겨울에 발생하는 것을 사용하였으나, 현재에는 연중생산되면서 주로 생버섯으로 이용하고 있으며, 버섯의 선도유지 및 보존기간 연장, 영양 성분 손실의 최소화, 기능성(이, 1993; Komatsu 등, 1963; Sadashive 등, 1996)등에 관한 연구가 수행되어 왔다.

팽이버섯은 수분함량 및 온도, 공기조성, 포장조건에 따

라 품질 변화가 나타나며, 품질변화를 최소화하기 위해서는 수확 즉시 품온을 강제로 낮추어 호흡작용, 효소작용, 추열, 대사 작용, 미생물의 번식 등을 억제하는 예냉처리가 효과적인 것으로 알려져 있다.(Ansari와 Afaq, 1986; Flikiin, 1983; Gaffney 등, 1985; Sadashive 등, 1996).

버섯의 저장에 관해 선행 연구에서 일반적인 shelflife는 1℃에서 14~20일, 6℃에서 10일, 20℃에서 2~3일로서 저장온도가 낮을수록 버섯의 shelf-life가 연장되었다(Minamide 등, 1980). 팽이버섯의 경우 갓이 개열되고 자루가 신장하거나 부패가 대 내부에 약간이라도 나타난 시점을 상품성의 한계로 보았다. 또한 포장 방법에 따라 트레이에 랩포장을 하여 1℃에 저장하는 경우 15일까지 선도가 유지된다고 하였고(송 등, 1993), 방담필름 포장 후 0~2℃ 저장시 28일(지 등, 1995), 진공포장한 팽이버섯은 10℃에서 9일간 품질보존이 가능한 것으로 보고되었다(황, 1995). 버섯 자실체의 유기산 함량은 느타리버섯이 2.4~4.0%, 표고버섯은 1.7~3.6%, 양송이는 1.9~3.1%였으며, 느타리버섯에는 oxalic과 pyroglutamic acid, 표고는 malic과 citric

* Corresponding author (lchanj@korea.kr)

acid, 양송이는 fumaric acid가 특히 많았다고 하였고(홍 등, 1988), 표고버섯의 유기산은 균사체에는 0.8~3.1%, 대에는 1.4~1.5%와 갓에는 2.7~2.9%가 분포하였고, 주성분은 Pyroglutamic, malic, citric and fumaric acids 이라고 하였다(Yoshida 등, 1987)

느타리버섯 수확 후 저장과정에서 유기산 주성분인 Malic, pyroglutamic, fumaric, succinic and citric acid는 저장기간이 증가함에 따라 같이 증가된다고 하였다(Yoshida 등, 1986). 팽이버섯은 농·임산 부산물을 생산 및 가공과정에서 발생하는 유기물질을 기반으로 영양을 섭취하여 자실체를 발생 성장시키며, 수확 후에는 자실체 내에 함유하고 있는 영양 성분을 이용하여 생육 및 호흡작용이 진행되므로 저장조건에 따라 성분의 변화가 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 시중에서 수요가 많은 식용버섯 중 팽이버섯을 대상으로 수확 후 저장 및 유통단계에서 발생하는 자실체 내 유기산 성분의 변화에 대해 조사하여 저장기간 연장 및 품질 유지를 위한 기초자료로 사용할 목적으로 버섯의 저장기간과 저장온도에 따른 유기산 함량을 HPLC로 분석·정량하여 변화를 검토하였다.

재료 및 방법

공시균주

실험에 사용된 팽이버섯은 Table 1과 같이 농촌진흥청 국립원예특작과학원 버섯과에 보존되어 있는 ASI(Agricultural Sciences Institute, Suwon, Korea) 균주 중 8종으로 경기도 수원에 위치한 농촌진흥청 버섯과 재배사에서 팽이버섯

의 표준재배법(차 등, 1989))에 따라 재배하여 수확한 후 저장시험에 사용 하였다.

수확 후 저장

수확 후 포장을 위해 진공포장필름(PE film)과 진공포장기(Zeropack Premium IS-500)를 이용하였다. 포장 후 무게를 측정하여, 각각 4℃와 -1℃의 저장고에 저장하면서 형태적 특성과 성분분석을 위해 7일마다 시료를 취하였다.

HPLC에 의한 유기산 분석

7일 간격으로 형태적 특성 검정이 끝난 버섯은 동결건조 후 시료분쇄기로 분쇄하여 powder 형태의 시료를 얻었다. 동결건조 분말시료 0.5g는 shaking incubator에서 48시간동안 85% EtOH 25ml에 추출한 후 원심분리하고 상등액 1 ml를 취해 speed-vacuum (Hanil, KR/AUTOSPIN 4080C)으로 농축한 다음 3차 증류수 200 μ l에 용해하였다. 이 용액을 0.0085N H₂SO₄ 800 μ l를 혼합하여 잘 섞은 후 원심분리한 다음 상등액을 주사기에 취해 syringe filter(Whatman PVDF syringe filter 13mm, 0.3 μ m)로 여과하여 HPLC 분석의 시료로 사용하였다.

유기산 분석에 이용된 HPLC의 구성은 Waters 515 HPLC pump, Waters 717plus auto-sampler, Waters 486 Tunable Absorbance detector, Empower pro software 였다. 유기산은 Grace Prevail Organic Acid 5 μ (150 \times 4.6mm) 분석용 column을 사용하여 분리하였으며, 이동상은 25mM Potassium phosphate(pH=2.5) 용액을 사용하였다. 시료는 10 μ l를 사용하였고 검출기는 UV detector(λ =210nm, 25℃)를 사용하였다(Table 2).

Table 1. Tested variety and strains

| Color of pilus | Number of strains | Name | Color of pilus | Number of strains | Name |
|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|--------|
| White line | ASI 4021 | Paengi-1 | Brown line | ASI 4065 | — |
| | ASI 4031 | Paengi-2 | | ASI 4103 | — |
| | ASI 4153 | Baengno | | ASI 4149 | — |
| | ASI 4166 | Paengi(Jinju) | | ASI 4151 | Galmoe |

Table 2. Analysis condition of HPLC for organic acid

| | |
|------------------|---|
| Instrument | : Waters 515 HPLC pump, Waters 717plus auto-sampler |
| Column | : Grace Prevail Organic Acid 5 μ (150 \times 4.6 mm) |
| Mobile phase | : 25 mM Potassium Phosphate (pH=2.5) |
| Detection | : Waters 486 Tunable Absorbance detector (λ =210 nm) |
| Flow rate | : 1 ml/min (isocratic mode) |
| Injection volume | : 10 μ l |
| Oven temperature | : 25℃ |
| Software | : Empower pro. |

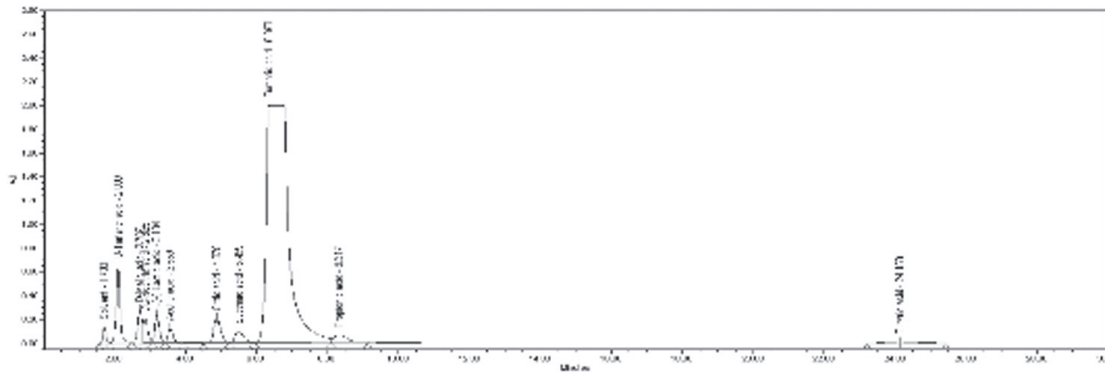


Fig. 1. Spectrum of standard organic acid.

팽이버섯 자실체 및 저장기간 동안에 생성되는 유기산의 변화를 확인하기 위하여 시료와 표준용액의 spectrum을 비교하여 Fig. 1과 같이 acetic acid, butyric acid, citric acid, fumaric acid, DL-isocitric acid, L(+)-lactic acid, D-malic acid, propionic acid, succinic acid, D-tartaric acid 등 총 10종류의 유기산을 분리하였다.

표준용액은 Supelco사의 Organic Acids kit를 사용하였으며, 그 중 버섯 자실체에 포함되어있는 총 10종류의 유기산을 사용하였다. 유기산 표준용액은 3차 증류수에 용해시켜 각 농도별 표준용액을 조제하여 HPLC 분석을 실시하고 peak area로부터 검량선을 작성하여 시료 내 유기산을 정량하였다. 10종류의 유기산에 대한 결과는 mono-carboxyl group인 acetic acid, butyric acid, L(+)-lactic acid, propionic acid, di-carboxyl group인 fumaric acid, D-malic acid, succinic acid, D-tartaric acid, tri-carboxyl group인 DL-isocitric acid, citric acid로 구분하였다(Table 3).

결과 및 고찰

팽이버섯 자실체의 mono-carboxyl group 유기산

Mono-carboxyl group 유기산의 경우 Fig. 2 및 3과 같이 4℃ 와 -1℃에서 저장하였을 때 품종에 따라 유기산 종류와 농도차이가 높게 나타났다. 대부분의 품종에서 acetic acid 함량이 가장 높게 나타났으며, 가장 낮은 함량의 유기산은 propionic acid였으며, 전체적으로는 fumaric acid 함량이 가장 낮았다. 백색계열에서 acetic acid 함량은 저장온도 4℃ 처리구보다는 -1℃ 처리구에서 높은 편이며, 품종간의 유기산 함량의 차이는 크지 않았다.

하지만 butyric acid, L(+)-lactic acid 함량은 저장온도 4℃ 처리구보다 -1℃ 처리구에서 낮았고, 저장온도 4℃ 처리구에서는 품종 및 저장기간에 따른 유기산 함량의 증감 차이가 높게 나타나며, 그 중에 ASI 4153 균주에서는 저장기간에 따라 유기산 함량이 증가하고, ASI 4021 균주에서는 유

Table 3. Standard curve of organic acid

| Component | Equation | R2 | Standard Error |
|-------------------|--|--------|------------------------|
| Acetic acid | $Y = (1.32 \times 10^2 \times X) - (4.04 \times 10^4)$ | 0.9937 | 6.665413×10^4 |
| Butyric acid | $Y = (8.07 \times 10 \times X) - (4.50 \times 10^4)$ | 0.9904 | 5.068368×10^4 |
| Citric acid | $Y = (2.92 \times 10^2 \times X) - (5.86 \times 10^4)$ | 0.9914 | 1.738689×10^5 |
| Fumaric acid | $Y = (1.14 \times 10^4 \times X) - (5.54 \times 10^4)$ | 0.9999 | 5.121327×10^4 |
| DL-Isocitric acid | $Y = (1.74 \times 10^2 \times X) - (2.80 \times 10^4)$ | 0.9941 | 8.525440×10^4 |
| L(+)-Lactic acid | $Y = (2.15 \times 10^2 \times X) - (5.04 \times 10^4)$ | 0.9905 | 1.340884×10^5 |
| D-Malic acid | $Y = (2.42 \times 10^2 \times X) - (7.13 \times 10^4)$ | 0.9869 | 1.779972×10^5 |
| Propionic acid | $Y = (1.63 \times 10^2 \times X) - (7.02 \times 10^4)$ | 0.9974 | 5.289086×10^4 |
| Succinic acid | $Y = (1.69 \times 10^2 \times X) - (2.76 \times 10^4)$ | 0.9942 | 8.233706×10^4 |
| D-Tartaric acid | $Y = (4.89 \times 10^2 \times X) - (8.35 \times 10^4)$ | 0.9914 | 2.903685×10^5 |

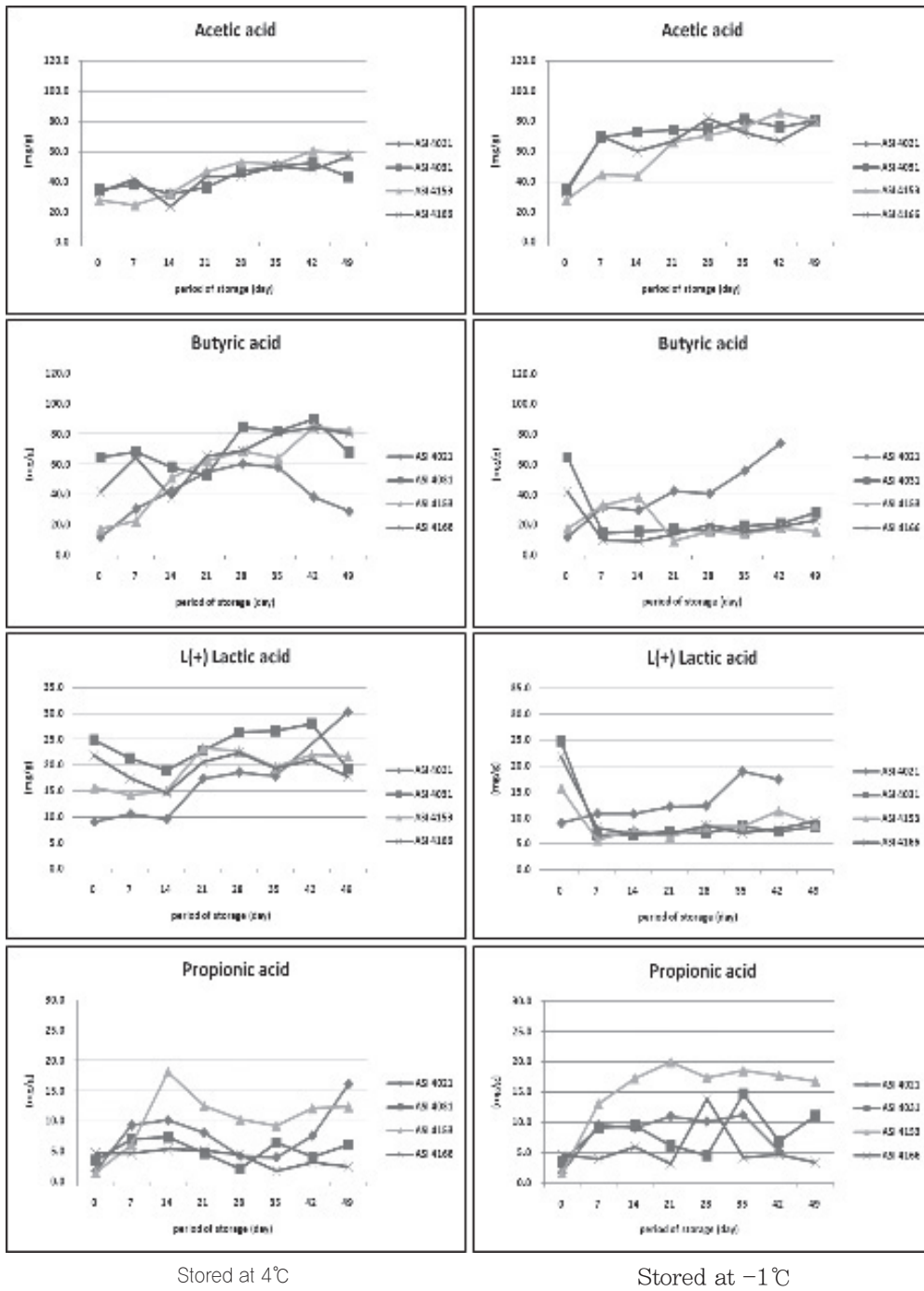


Fig. 2. Changes of mono-carboxyl group organic acid of white line by storage period.

기산 함량이 증가하였다가 저장 28일 후에 감소하는 등의 경향을 보여 품종간에 많은 차이가 있었다. 저장온도 -1°C 처리구에서는 ASI 4021 균주에서는 유기산 함량이 증가하고, 나머지 균주에서는 저장 7일에는 유기산 함량이 감소하였다가 저장기간이 길어지면서 아주 서서히 증가하는 경향을 보이고 있다.

Propionic acid 함량은 전체적으로 저장온도 -1°C 처리구에서 높았으며, 특히 ASI 4153균주에서 저장기간 내에 다른 균주보다 높은 함량을 유지하였다. 갈색계열의 acetic acid 함량은 백색계열과 비슷하게 저장온도 -1°C 처리구에서 높게 나타났으며, 저장온도 4°C 처리구가 -1°C 처리구보다 품종간의 차이가 크고, ASI 4103 균주에서 가장 높았으며

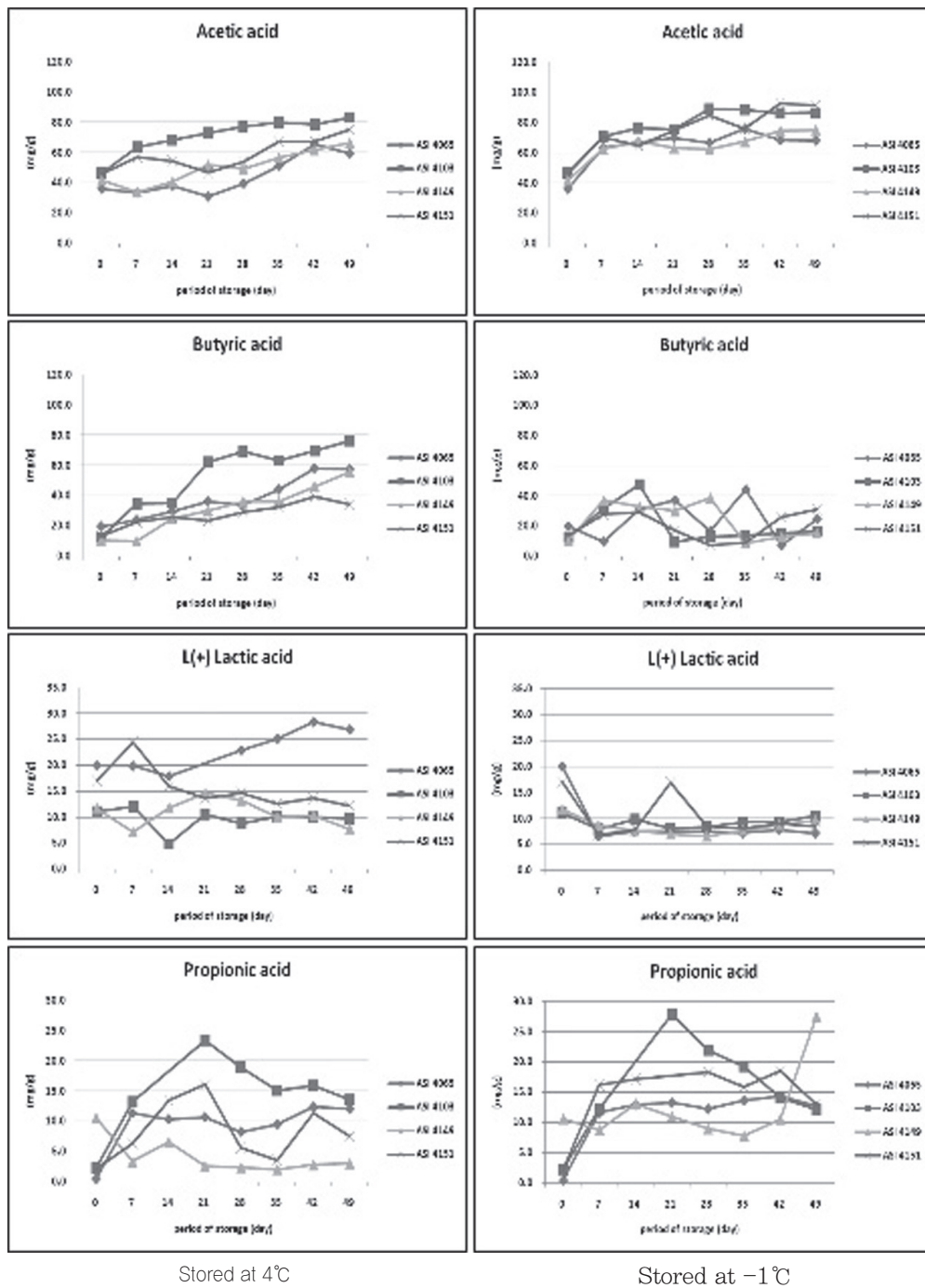


Fig. 3. Changes of mono-carboxyl group organic acid of brown line by storage period.

며, ASI 4149와 4065 균주에서는 낮았다.

Butyric acid 함량은 저장온도 4°C 처리구에서 품종에 관계없이 모두 증가하였지만 저장온도 -1°C 처리구에서는 저장초기에는 증가하였다가 중 후반기에는 감소하고, 전체적으로 저장온도 4°C 처리구보다는 낮은 함량을 나타냈다. L(+)-lactic acid 함량은 저장온도 4°C 처리구에서 ASI 4065

균주에서는 증가, ASI 4151와 4149 균주에서는 증가하였다가 감소, ASI 4103 균주에서는 14일 저장 자실체를 제외하고는 일정한 농도를 유지하는 등 균주에 따라 다른 경향을 보이고 있다. 하지만 저장온도 -1°C 처리구에서는 저장 7일부터 감소하여 계속 낮은 상태를 유지하여 저장온도에 따라 전혀 다른 경향을 보였다.

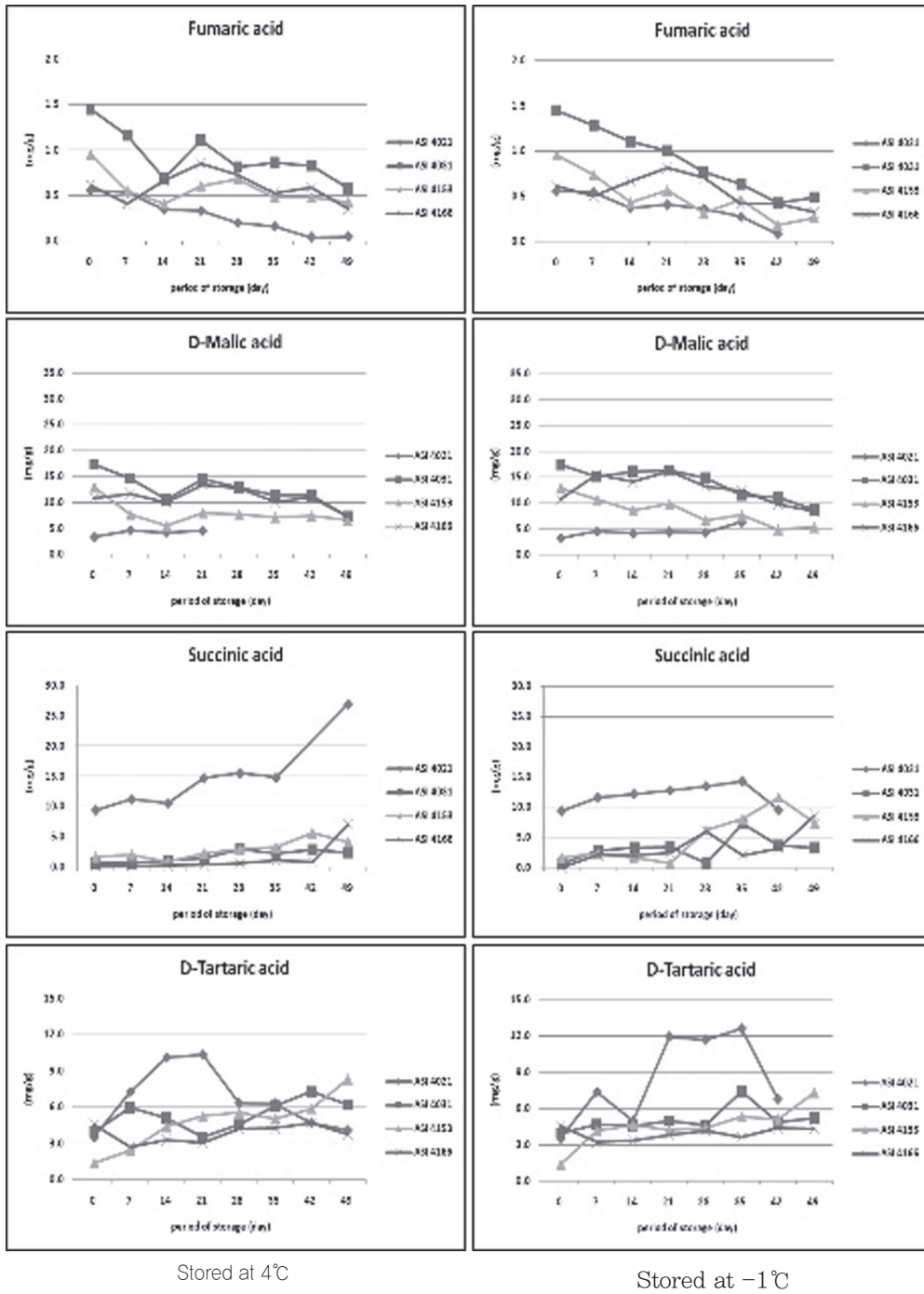


Fig. 4. Changes of di-carboxyl group organic acid of white line by storage period.

Propionic acid 함량은 백색계열과 같이 저장온도 4°C 처리구보다 -1°C 처리구에서 높은 경향을 보였으며, 균주 별 차이에서 ASI 4103 균주에서는 저장온도 4°C 처리구와 -1°C 처리구 모두 21일 저장기간의 자실체까지는 함량이 증가하다가 그 이후에는 급속히 감소하였으며, ASI 4065 균주에서는 7일까지는 증가하였다가 그 이후부터는 일정함

량을 유지, ASI 4149 균주에서는 4°C 저장구에서는 저장기간이 증가함에 따라 감소하였으며, -1°C 저장 처리에서는 초기 함량을 유지하다가 49일 저장 자실체에서 25.0mg/g 이상의 함량을 보이는 등 균주와 처리온도에 따라 큰 차이를 보였다.

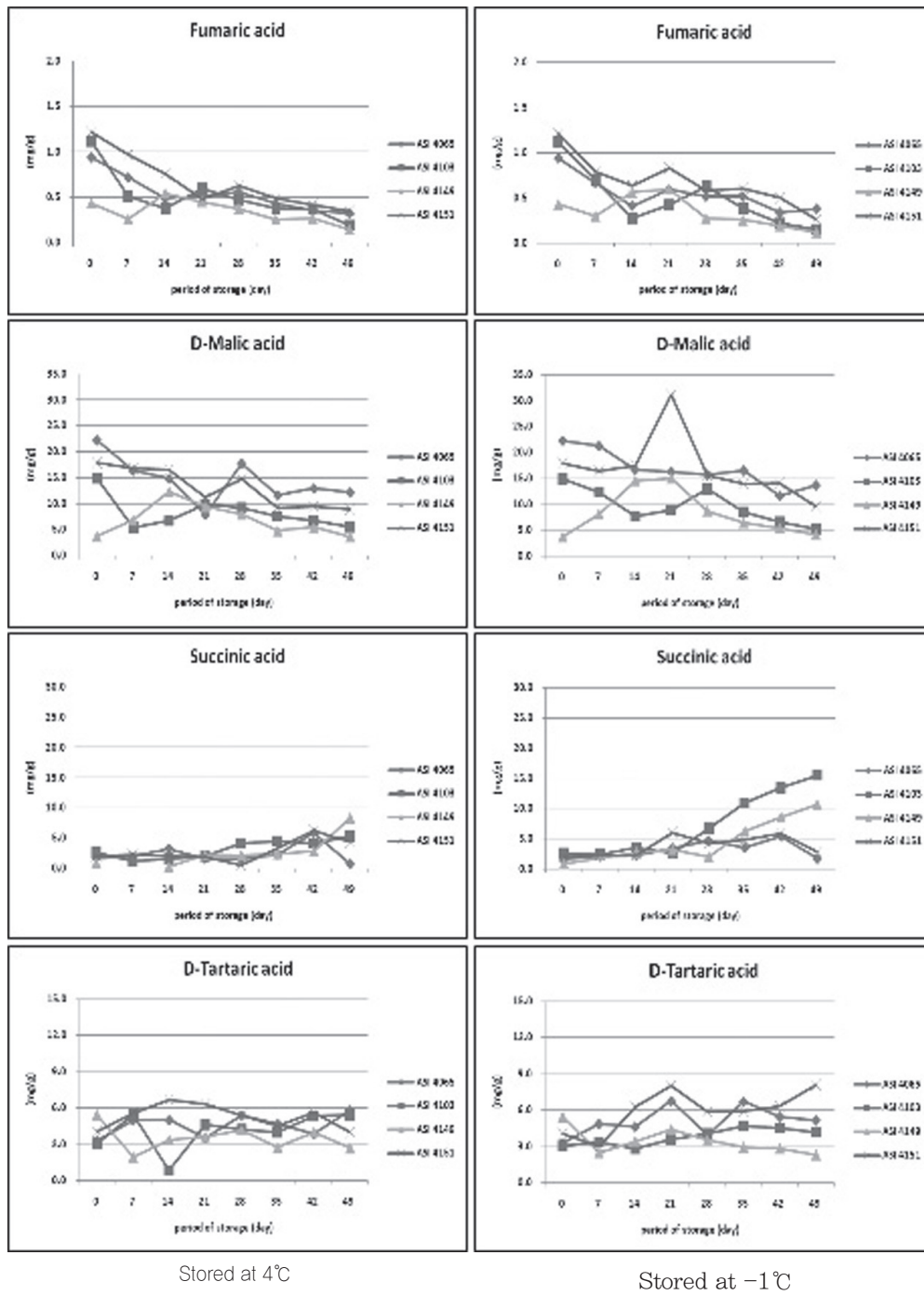


Fig. 5. Changes of di-carboxyl group organic acid of brown line by storage period.

자실체의 di-carboxyl group 유기산 함량

Di-carboxyl group 유기산의 경우 Fig. 4 및 5와 같이 저장기간이 길어짐에 따라 유기산 함량의 증감은 유기산의 종류에 따라 차이가 있으며, 저장온도에 따라 유기산 함량이 증가하는 mono-carboxyl group과는 다르게 양적인 차이를 보이지 않았다. 자실체 내의 유기산 함량은 품종에 따라 차이

는 있지만 malic acid 함량이 가장 높았고, Fumaric acid 함량이 가장 낮았다. 백색계열의 품종에서 di-carboxyl group 중 fumaric acid 함량이 낮았으며 저장기간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였고 ASI 4166 균주에서만 21일 저장 자실체까지는 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다.

Malic acid는 전반적으로 저장기간이 증가함에 따라 감

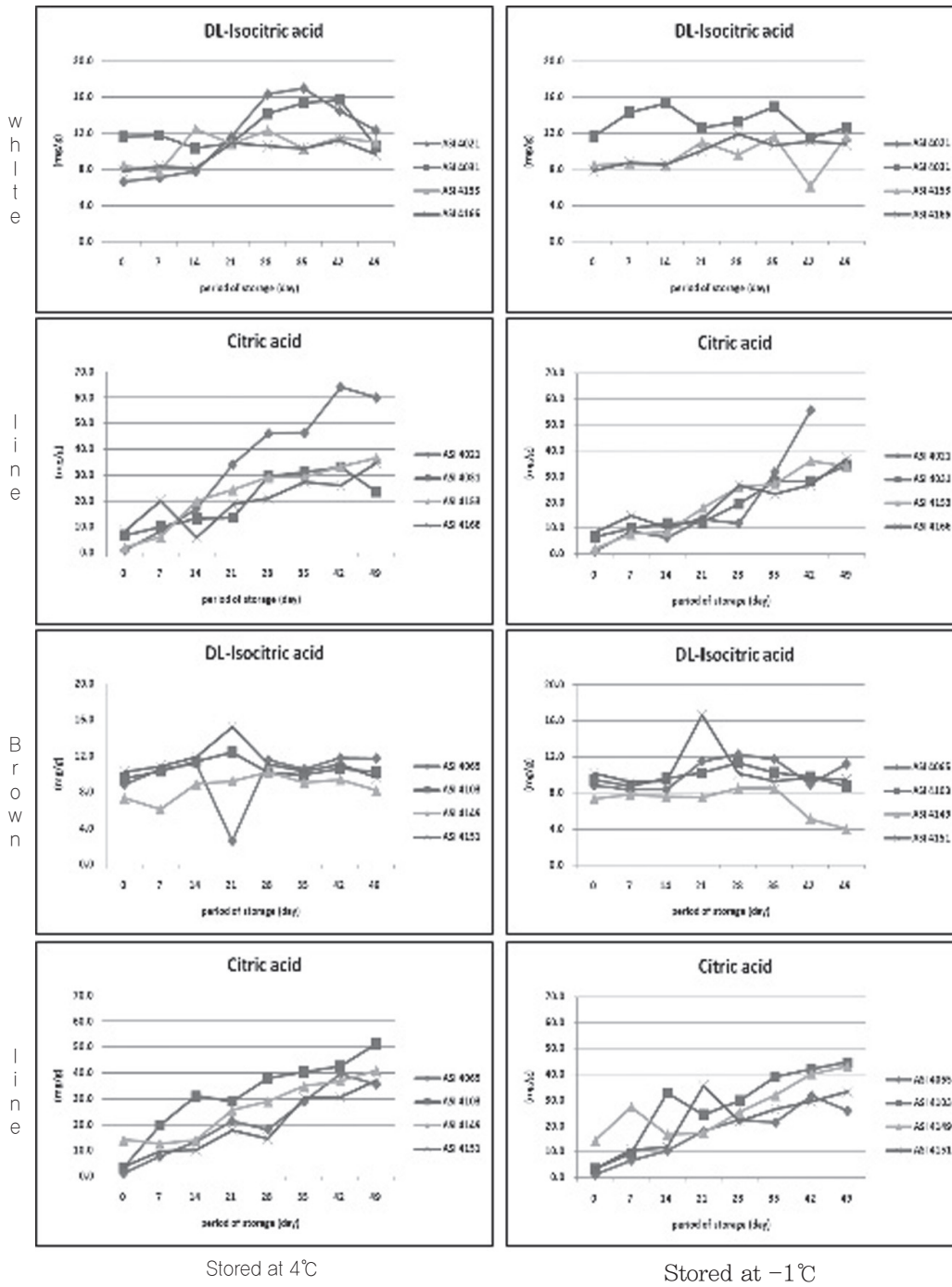


Fig. 6. Changes of tri-carboxyl group organic acid of brown line by storage period.

소하였으나, ASI 4021 균주에서는 품종 중에서 가장 낮은 함량을 보이면서 저장기간에 따른 변화가 거의 없다가 후반기에는 검출되지 않았다. Succinic acid는 저장온도 및 품종에 관계없이 저장기간이 연장됨에 따라 증가하는 경향을 보였다.

Tartaric acid는 ASI 4153 균주에서는 저장기간이 증가

됨에 따라 증가하는 경향을 보였지만 ASI 4153 균주에서는 저장온도 -1°C 처리구에서 서서히 증가하는 경향이지만, 저장온도 4°C 처리구에서는 증감이 계속되어 일정한 경향을 보이지 않았으며, ASI 4021 균주에서는 저장 21일까지는 증가하였다가 감소하였으며, 저장온도 -1°C 처리구에서는 35일까지 증가하였다가 감소하여 49일에는 검

출되지 않았다.

갈색계열의 품종에서는 Di-carboxyl group 중 fumaric acid와 malic acid는 백색계열과 같이 전반적으로 저장기간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였으나, ASI 4149 균주에서는 저장온도 4℃ 처리구에서 14일과 저장온도 -1℃ 처리구에서 21일 저장한 자실체까지는 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. Succinic acid는 저장온도 및 품종에 관계없이 저장기간이 연장됨에 따라 증가하는 경향을 보이며, 특히 ASI 4103 균주에서는 28일 저장한 자실체부터 급격한 증가를 보였다. Tartaric acid는 처리구간의 변화가 심하여 일정한 어떤 경향도 보이지 않았다.

자실체의 tri-carboxyl group 유기산 함량변화

Tri-carboxyl group인 isocitric acid와 citric acid의 저장기간에 따른 함량변화는 Fig. 6과 같으며, citric acid와 isocitric acid는 이성체지만 자실체 내의 함량변화는 다르게 나타났다. 즉, isocitric acid는 저장기간에 따라 증가되는 경향을 보이지만 온도 및 품종에 따라 다른 경향을 보이고 있고, 품종에 따라 전혀 다른 양상을 보이고 있어 일정한 경향을 서술하기 곤란한 상태이다. 하지만 citric acid 함량은 품종 및 저장온도에 따른 차이 없이 저장기간에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 저장온도 -1℃ 처리구보다 4℃ 처리구에서 더 많은 양이 증가하였고, ASI 4021 균주에서는 특이적으로 급격히 변화하는 것으로 나타났다. Citric acid는 신맛을 띠는 유기산의 일종으로 상쾌한 신맛을 나타내 청량음료의 제조에 산미료로 사용되기도 하나, 버섯 저장시 미생물의 발효에 의해 제조된 것으로 생각되며 버섯의 저장기간을 판단할 수 있는 척도로 쓰일 가능성이 보였다.

적 요

팽이버섯의 품종, 저장 온도 및 저장기간에 따른 자실체의 유기산의 변화를 조사하여 저장기간을 판단하기 위한 기초자료로 사용하고자 HPLC을 이용하여 유기산을 분석·정량하였다. 팽이버섯 자실체에 존재하는 acetic acid, butyric acid, citric acid, fumaric acid, DL-isocitric acid, L(+) lactic acid, D-malic acid, propionic acid, succinic acid, D-tartaric acid 등 총 10종류의 유기산을 분리하였다. 대부분의 품종에서 acetic acid 함량이 가장 높게 나타났으며, fumaric acid 함량이 가장 낮았다. mono-carboxyl group의 유기산인 acetic acid는 품종 및 저장온도에 따른 함량에 차이도 있으면서 저장기간에 따라 일률적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 butyric acid 등은 저장온도 및 품종에 따라 함량의 차이가 심하였다. Di-carboxyl group의 유기

산인 fumaric acid는 저장 및 품종에 따른 차이 없이 감소하였으나, 저장기간 동안에 확인되는 함량이 1.5mg/g으로 그 함량이 적고, ASI 4149, 4166균주에서는 약간 다른 경향을 보이고 있다. 그 외에 malic acid 등은 저장온도 및 품종에 따라 함량의 차이가 심하였다. Tri-carboxyl group의 citric acid는 저장온도 및 품종에 상관없이 저장기간에 따라 증가하여 효과적으로 저장기간을 평가할 수 있는 지표로 사용할 수 있을 것으로 추정된다. isocitric acid는 저장온도, 품종 및 저장기간에 따라 성분함량의 변화가 심하였다.

참고문헌

- 송진, 이주찬, 이가순, 황용수. 1993. 과실류 및 버섯 저온저장시험. 충남진흥원 시험연구보고서, p. 366
- 이현경, 1993. *Flammulina velutipes* 배양액 중 항보체 활성 다당의 정제 및 특성. 석사학위논문. 고려대학교 대학원
- 지정현, 하태문, 김영호. 1995. 생버섯류 저장기간 연장시험. 경기도 광주버섯시험장 시험연구 보고서, p. 678
- 차동열, 유창현, 김광포, 1989. 최신버섯재배기술. 335-353
- 황순배. 1995. 진공포장 팽이버섯의 저장 중 품질변화. 숙명여대 석사학위논문.
- 홍재식, 김영희, 이극로, 김명곤, 조정익, 박건호, 최윤희, 이종배, 1988. 느타리, 표고와 양송이버섯의 유기산 및 지방산 조성. 한국식품과학회지: 20 : 459-462
- Ansari, F.A and Afaq, A. 1986. Pre-cooling of cylindrical food products. *Int. J. Refrigeration*, 9 : 161-163.
- Chang, S.T. and Miles, P.G. 1989. *Edible Mushrooms and Their Cultivation*. CRC press, p. 335.
- Flikiin, A. G. 1983. Investigating the factors of intensifying fruits and vegetable cooling. *Int. J. Refrigeration*, 6 : 176-181.
- Gaffney, J.J., Bird, C.D. and Chau, K.V. 1985. Methods for calculating heat and mass transfer in fruits and vegetables individually and in bulk. *ASHRAE Transactions*, 91 : 333-335.
- Yoshida, H., Sugahara, T. and Hayashi, J. 1987. Changes in Carbohydrates and Organic Acids during Development of Mycelia and Fruit-bodies of Shiitake Mushroom [*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.] *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 34(5): 274-281.
- Yoshida, H., Sugahara, T. and Hayashi, J. 1986. Changes in Carbohydrates and Organic Acids during Development of Mycelium and Fruit-bodies of Hiratake Mushroom

- (*Pleurotus ostreatus*). Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 33 : 519-528.
- Komatsu, J., Terekawa, H., Nakanishi, K. and Watanabe, Y. 1963. *Flammulina velutipes* with antitumor activities. J. Antibiot. Ser. A. 16 : 139.
- Minamide, T., Habu, T. and Ogata, K. 1980. Effect of storage temperature on keeping freshness of mushrooms after harvest. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 27 : 281.
- Park, Y. H., Chang, H. G., Go, S. J. and Cha, D. Y. 1978. Studies on the cultivation of winter mushroom *Flammulina velutipes* (Curl. ex Fr.) Sing. Agri. Reser. Rep.. 20 : 129.
- Sadashive, G. B., Narashimhan, G. S. V. L. and Krishnamurthy, M. V. 1996. Forced air precooling of spherical food products in bulk-a parametric study. Int. J. Heat Fluid, 8 : 613-624.
- Tonomura, H. 1978. *Flammulina velutipes*. In the Biology and Cultivation of Edible Mushrooms. Chang, S. T. and Hayes, W. A. (eds), Academic Press, p. 410.