KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 50, No. 1, pp. 98~104 (2018)
https://doi.org/10.9721/KJFST.2018.50.1.98

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

숙성에 의한 뽕나무 상지 내 옥시레스베라트롤 축적

김준호 · 김기현 · 이민영[1] · 임영희[2] · 김정근[1,*]
해양바이오에너지 생산기술개발연구센터, [1]한국산업기술대학교 생명화학공학과,
[2]고려대학교 보건과학과(BK21 PLUS Program)

Accumulation of oxyresveratrol in *Ramulus mori* upon postharvest storage

Jun-Ho Kim, Ki-Hyun Kim, Min-Young Lee[1], Young-Hee Lim[2], and Jeong-Keun Kim[1,*]
Marine Bioenergy R&D Consortium
[1]*Department of Chemical Engineering & Biotechnology, Korea Polytechnic University*
[2]*Department of Public Health Science (BK21 PLUS Program), Graduate School, Korea university*

Abstract Oxyresveratrol (*trans*-2, 3', 4, 5'-tetrahydroxystilbene), found in many plants including grape, peanut and mulberry, is a phytoalexin, an antimicrobial and antioxidative substance that rapidly accumulates in areas infected by the pathogen. We examined the accumulation of oxyresveratrol in nine *Morus alba* L. cultivars with respect to storage time and temperature postharvest and infection with GRAS microorganisms. Among the nine cultivars, the Suwon cultivar showed the highest oxyresveratrol content (9.6-fold increase) postharvest, when stored at 30°C for 7 days. The optimal temperature and postharvest storage time for oxyresveratrol accumulation was 30°C and 6 days. When *Ramulus mori* was infected with five microorganisms, the accumulation of oxyresveratrol increased over 4-fold in response to *B. coagulans* infection. These results suggest that oxyresveratrol accumulation is influenced by storage temperature, storage time, *Ramulus mori* cultivars, and microbial attack. Therefore, postharvest storage for an appropriate time period at a suitable temperature might be a useful way to industrially produce *Ramulus mori* cultivars with high oxyresveratrol content.

Keywords: oxyresveratrol, stilbenoid, *Morus alba* L., *Ramulus mori*, postharvest

서 론

옥시레스베라트롤(oxyresveratrol)은 열대 과일인 멍키잭(Monkey Jack; *Artocarpus lakoocha*)의 심재(heart wood)에서 최초로 분리된 물질(Fig. 1)로 스틸베노이드(stilbenoid)이다(1). 식물들은 탈수, 자외선, 상처 등의 물리적인 스트레스, 화학 물질에 의한 스트레스, 미생물의 침입에 의한 생물학적 스트레스가 있을 때 자신을 보호하기 위해 스틸베노이드, 플라보노이드(flavonoid), 페놀산(phenolic acid) 등의 식물알렉신(phytoalexin)을 만든다. 옥시레스베라트롤은 멍키잭 이외에 뽕나무(*Morus alba*), 청미래덩굴(*Smilax china*), 오세이지 오렌지(*Maclura pomifera*), 참여로(*Veratrum nigrum)*의 잎, 가지, 뿌리, 혹은 과실에서 확인되었다(2-5).

한편 Kim 등(5)은 뽕나무 뿌리인 상백피에 다량 존재하는 멀베로사이드 A (mulberroside A)를 효소적 가수분해를 이용하는 생물전환기술로 옥시레스베라트롤을 제조하였다. 옥시레스베라트롤은 프렌치패러독스(French paradox) 물질로 잘 알려진 레스베라트롤(resveratrol)보다도 약 2배의 항산화 효능(6), 낮은 세포독성(7), 높은 세포 투과성(8) 등의 특성을 가지고 있으며, 항산화(7), 항고지혈증(9), 항염증(6), 항당뇨(10), 항암(11), 뇌신경 보호(12), 수명연장(13) 등의 약리 효과가 알려지면서 건강기능 식품으로서의 다양한 연구가 진행 중에 있다. 또한 뽕나무의 어린 가지인 상지(*Ramulus mori*)는 옥시레스베라트롤, 레스베라트롤 등의 항산화 물질을 함유하는 것으로 알려져 있다. 상지의 약리 효과에 대한 문헌으로는 항고지혈증(14), 항염증(15), 장관 면역(16), 항당뇨 효과(17) 등이 있다.

지금까지 숙성에 의한 스틸베노이드 축적은 포도, 땅콩, 아몬드, 사탕수수 등의 연구로 증명되었다. 포도 와인용 품종인 나폴레옹을 0°C, 10일 저장과 자외선 B와 C를 조사한 후 저장한 결과 레스베라트롤 함량이 약 2-3배 증가하였다. 또한 포도에서 자외선 파장 효과를 조사한 연구에서 레스베라트롤과 비니페린(viniferin) 축적에 자외선 260-270 nm 파장이 가장 효과적이었다(18,19). 포도에 질소 가스를 24시간 처리한 연구에서 레스베라트롤 함량이 급격히 증가하였다(20). 포도나무 줄기를 사용하여 20°C, 6주간 숙성한 결과, 레스베라트롤 함량은 숙성 전보다 약 40배 증가하였다(21). 미생물에 감염된 사탕수수를 7일 숙성하였을 시 피세아타놀(piceatannol)은 3일 배양 시보다 약 55배, 레스베라트롤은 약 6배 증가하였다(22). 땅콩에서의 축적 실험에서 레스베라트롤과 피세이드(piceid)는 자외선 처리로 약 6배, 초음파 처리로 약 3-5배로 증가하였다(23).

그러나 옥시레스베라트롤은 레스베라트롤보다 우수한 항산화 물질이며 약리 효과가 뛰어남에도 불구하고 지금까지 숙성에 의한 작물 내의 옥시레스베라트롤 축적에 대한 연구는 없었다. 따

*Corresponding author: Jeong-Keun Kim, Department of Chemical Engineering and Biotechnology, Korea Polytechnic University, Siheung, Gyeonggi 15073, Korea
Tel: +82-31-8041-0615
Fax: +82-31-8041-0629
E-mail: kjkim@kpu.ac.kr
Received September 22, 2017; revised November 27, 2017; accepted December 4, 2017

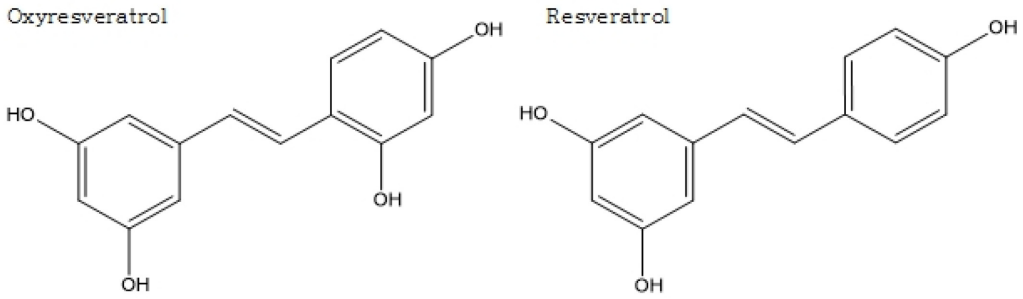

Fig. 1. Chemical structure of oxyresveratrol and resveratrol.

라서 본 연구는 산업적 이용 가치가 높은 고부가 식품 소재로 상지를 활용하기 위해 숙성에 의한 옥시레스베라트롤 함량을 증대시키고자 하였다. 이를 위해 뽕나무 품종, 선별된 뽕나무 품종의 숙성 일수, 숙성 온도 및 접종 미생물 종류에 따른 상지 내 옥시레스베라트롤의 축적량을 조사하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 연구에 사용한 상지는 충청남도 농업기술원 잠사곤충사업장에서 채집된 청일, 수성, 개량, 상천조생, 수원노상, YK-209, 대심 등의 7개 품종과 경기도 양평군 양동면 계정리 농가에서 채집된 수원과 청일 등의 2개 품종을 사용하였다. 상지의 채집은 1월, 2월, 3월에 행하였으며 두께 10-30 mm의 1년산을 사용하였다. HPLC 분석에 사용된 아세토나이트릴은 HPLC등급으로 J. T. Baker (Center Valley, PA, USA)로부터, 인산과 옥시레스베라트롤과 레스베라트롤의 표준품들은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하여 사용하였다. 상지 주정 추출액 제조 시에는 주정용 에탄올(95%)인 프레타놀(Pretanol) A (Duksan Scientific Co., Seoul, Korea)를 사용하였다. *Bacillus coagulans* (스포락), *Saccharomyces cerevisae* (효모건조물), *Lactobacillus acidophilus* (에시도젖산세균), *Enterococcus faecium* (훼시젖산세균)은 Mediogen (Jecheon, Korea)에서 *Rhodobacter capsulatus* (아쿠아박타)는 Doosan EcoBizNet Co., Ltd. (Chuncheon, Korea)에서 구입하였다.

상지 절편의 제조와 건조 방법

1년생(지름 10-25 mm) 상지의 흙과 이물질을 제거하기 위하여 수돗물로 세척 후 2시간 동안 실험실에서 자연 건조하고 이를 전지가위(WS-904, Whashin, Seoul, Korea)를 사용하여 10-30 mm 크기로 절단하였다. 상지 절편은 건조기(KDO-150, Kukje Engineering, Goyang, Korea)를 사용하여 2일 간격으로 샘플링하면서 10일 동안 숙성하였다.

뽕나무 품종별 숙성에 의한 상지의 옥시레스베라트롤 함량 비교

뽕나무 품종에 따른 상지의 숙성 효과를 조사하기 위하여 충남농업기술원의 뽕나무 7품종(수성, 수원노상, 청일, 개량, 상천조생, YK-209)과 경기도 양평군 양동면 계정리의 2품종(청일, 수원)을 채집하여 30°C에서 7일간 숙성하여 옥시레스베라트롤 축적량을 비교하였다.

미생물 접종과 숙성

상지 절편에 접종된 미생물은 GRAS (generally recognized as safe) 등급의 *B. coagulans* (1.0×10^9 CFU/g), *S. cerevisae* (1.0×10^8 CFU/g), *L. acidophilus* (1.0×10^8 CFU/g), *E. faecium* (1.0×10^8 CFU/g), *R. capsulatus* (2.5×10^{10} CFU/g)이었다. 미생물 제품 1 g (1.0×10^8 CFU/g-1.0×10^{10} CFU/g)을 살균수 50 mL에 용해한 후 분무기를 이용하여 500 g 상지에 접종하였다. 미생물을 접종한 상지는 30°C의 배양기에서 2일 간격으로 샘플링하면서 10일 동안 숙성하였다.

수분 함량 분석

상지의 수분 함량은 적외선 수분측정기(FD-610, KETT, Tokyo, Japan)를 이용하여 약 5 g의 상지 시료를 정확하게 칭량한 후 120°C에서 2분간 무게의 변화가 없을 때까지 건조하여 수분 함량을 결정하였다. 수분 함량 분석은 각 시료 당 3회 실시하였다.

상지 주정 추출액 제조

상지 주정 추출액은 1000 mL 둥근 플라스크에 10-20 mm로 절단된 상지 시료 50 g과 80% 프레타놀 A 400 mL를 가하고 95°C 항온수조(J-BS3D, Jisico, Seoul, Korea)에서 2시간 동안 환류 추출하였다. 상지 주정 추출액은 각 시료 당 3회 반복하여 추출하였다.

옥시레스베라트롤 함량 분석

상지 주정 추출액 내의 옥시레스베라트롤 함량은 HPLC (YL9100 HPLC system, YL Instruments Co., Ltd., Anyang, Korea)를 이용하여 분석하였다. 분석 조건으로 column은 Luna C_{18} (5 μm, 4.6×250 mm, Phenomenex, Torrance, CA, USA), column 온도는 30°C, 자외선 검출파장은 325 nm, 유속은 0.7 mL/min, 샘플 주입량은 100 μL로 30분 동안 분석하였다. 이동상은 아세토나이트릴(A):10 mM 인산(B) 10:90 (v/v)을 시작으로 하여 10분까지 A:B=25:75 (v/v), 30분까지 A:B=50:50 (v/v)의 gradient 조건으로 수행하였다. HPLC 분석 시 상지 주정 추출액은 아세토나이트릴:10 mM 인산=35:65 (v/v) 용액으로 10배 희석한 후 0.2 μm PTFE syringe filter (Chromafil O-20/15 MS, Macherey-Nagel, Bethlehem, PA, USA)로 여과하여 HPLC에 주입하였다. 옥시레스베라트롤 함량은 시료 g당 건조중량(dry weight basis)으로 나타내었다.

통계 처리

SPSS software (version 12.0, SPSS Inc., Armonk, NY, USA)를 이용하여 t-test 및 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 수행하였으며, 실험군 간의 유의성 검증은 Duncan's multiple range test를 이용하여 분석하였다($p<0.05$).

Table 1. Linearity, limit of detection (LOD), and limit of quantification (LOQ) of oxyresveratrol by HPLC

Compound	Calibration curve[1,2)]	r^2	Linear range (μg/mL)	LOD[3)] (ng/mL)	LOQ[4)] (ng/mL)
Oxyresveratrol	Y=692.16X+442.55	0.996	1.47-48.5	2.74	9.15

[1)]Standard curve used in calibaration curve were oxyresveratrol 1.47-48.5 μg/mL.
[2)]X: concentration (μg/mL), Y: peak area.
[3)]LOD: Limit of detection.
[4)]LOQ: Limit of quantification.

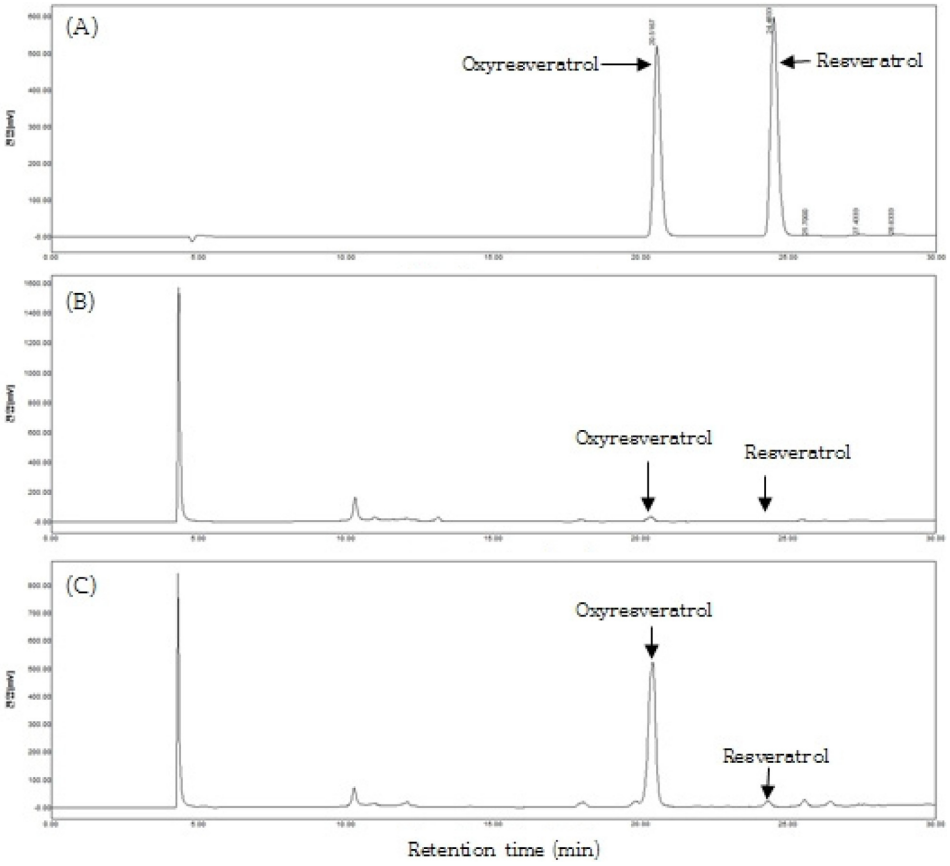

Fig. 2. HPLC profile of standards of oxyresveratrol, resveratrol, and *Ramulus mori* ethanol extract. A: HPLC profile of oxyresveratrol and resveratrol (standard), B: HPLC profile of *Ramulus mori* ethanol extract before postharvest, C: HPLC profile of *Ramulus mori* ethanol extract after postharvest.

결과 및 고찰

HPLC에 의한 옥시레스베라트롤의 직선성, 검출한계, 정량한계

HPLC에 의한 옥시레스베라트롤 정량을 위하여 옥시레스베라트롤의 표준품을 사용하여 1.47-48.5 μg/mL 농도 범위에서 직선성, 검출한계, 정량한계 등을 구하였다. 옥시레스베라트롤의 회귀식은 Y=692.16X+442.55 (r^2=0.996 이상), 검량한계는 2.74 ng/mL, 정량한계는 9.15 ng/mL로 측정되었다(Table 1).

옥시레스베라트롤과 레스베라트롤의 표준품을 사용하여 HPLC 분석한 결과, 옥시레스베라트롤은 20.6분에, 레스베라트롤은 24.4분에 각각 검출되었다(Fig. 2). 숙성 전의 상지의 옥시레스베라트롤 함량은 65.7 μg/g (dry weight basis)이었으나 레스베라트롤은 검출한계 이하로 확인할 수 없었다. 한편 30°C에서 7일 숙성 후 옥시레스베라트롤 함량은 632.3 μg/g로 크게 증가하였으며 레스베라트롤 함량도 15.0 μg/g로 증가하였다(Fig. 2).

뽕나무 품종별 숙성에 의한 상지의 옥시레스베라트롤 함량 비교

식물 내 스틸베노이드 함량은 품종, 수확 시기, 영양상태, 숙성방법, 생산지 등에 따라 크게 다르기 때문에 상지 내의 옥시레스베라트롤 함량도 이들의 영향을 받을 것으로 사료되었다. 충남농업기술원 뽕나무 7품종의 숙성 전(0일) 옥시레스베라트롤 함량은 수성(122.4 μg/g)과 대심(148.1 μg/g) 품종이 높게 나타났다. 한편 경기도 양평군의 숙성 전(0일) 옥시레스베라트롤 함량은 청일 품종 79.1 μg/g, 수원 품종 65.7 μg/g을 나타내었다(Fig. 3). 30°C에서 7일 숙성 후 옥시레스베라트롤은 충남농업기술원의 대심 품종이 148.1 μg/g에서 505.1 μg/g로 약 3.4배 증가하여 가장 큰 숙성 효과를 나타내었다. 그 밖에 수성은 약 1.7배, 수원노상은 약 2.9배, 청일은 약 3.4배, 개량은 3.8배, 상천조생은 약 4.6배, YK-209는 약 2.7배 증가한 것으로 나타났다. 한편 경기도 양평군 양동면 계정리 농가의 청일은 0일 차 79.1 μg/g에서 7일 차 562.3 μg/g로 약 7배, 수원뽕 품종은 0일 차 65.7 μg/g에서 7일 차 632.3 μg/g로 약

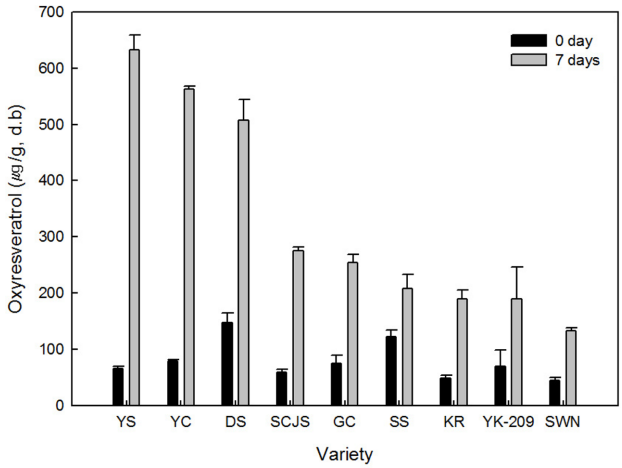

Fig. 3. Varieties of oxyresveratrol level in *Ramulus mori*. YS: Yangpyeong-Suwon, YC: Yangpyeong-Chungil, DS: Daesim, SCJS: Sangcheonjosaeng, GC: Gongju-Cheongil, SS: Suseong, KR: Kaeryang, SWN: Suwon-Nosang. Data represent the mean±SD (n=3). Different letters correspond to significant differences at p<0.05.

9.6배 증가하여 두 품종 모두 충남농업기술원의 뽕나무 품종들보다 큰 숙성 효과를 나타내었다. Brinker와 Seigler(25)는 사탕수수의 피세아타놀 축적 연구에서 품종에 따라 피세아타놀 함량과 최적의 숙성 시간이 다르다고 보고하였다. 본 연구결과에서도 이들의 결과와 유사하게 품종과 숙성시간에 따라 옥시레스베라트롤 함량에 차이가 있음을 확인하였다.

숙성 온도에 따른 상지의 옥시레스베라트롤 함량 변화

숙성에 의한 포도의 레스베라트롤 축적 연구에서 숙성 온도는 레스베라트롤 축적에 중요한 요소였다(21). 본 실험에 앞서 온도(7, 25, 35, 45, 60°C)에 따른 숙성의 효과를 조사하였을 때, 옥시레스베라트롤 축적은 25>35>45>7>60°C 순으로 나타났다. 따라서 옥시레스베라트롤 축적을 위한 최적 온도 결정을 위해 25, 30, 35°C와 옥시레스베라트롤 합성 효소의 불활성화를 확인하고자 70°C에서 실험을 행하였다. 25°C 및 30°C에서 4일 숙성 시 옥시레스베라트롤 함량은 1619.0 μg/g과 1637.4 μg/g로 각각 숙성 전(692.7 μg/g)보다 약 2.3-2.4배 증가하였고, 35°C에서 4일 숙성 시는 약 1.7배 증가하였다. 반면에 70°C에서 4일 숙성 시 상지 절편의 옥시레스베라트롤 함량은 517.0 μg/g로 숙성 전보다 감소하였다. 한편 25°C와 30°C에서 10일 숙성 시 옥시레스베라트롤 함량은 702 μg/g와 1,336.2 μg/g로 4일 숙성 시보다 옥시레스베라트롤 함량이 감소하였다(Fig. 4). 본 실험 결과에 의하면 상지 내 옥시레스베라트롤 축적을 위한 최적온도는 30°C, 숙성기간은 6일로 확인되었다. 한편 70°C의 고온 숙성은 상지의 옥시레스베라트롤 합성 효소의 불활성화로 옥시레스베라트롤 합성이 억제된 것으로 사료되었다. Houille 등(21)의 포도나무 줄기를 사용한 레스베라트롤 축적에 관한 연구에 의하면 2주의 짧은 숙성 동안 레스베라트롤 축적을 위한 최적온도는 28°C였고 10주의 긴 숙성에서의 최적온도는 15-20°C로 나타났다. Bonghi 등(24)은 포도 껍질의 탈수량에 따른 폴리페놀 함량 변화에 관한 연구에서 포도 껍질 내 레스베라트롤 함량은 10% 탈수 시보다 30% 탈수 시에 약 3배 높다고 보고하였다. 또한 30% 탈수 조건일지라도 급격한 수분 감소보다 수분이 서서히 감소될 때 레스베라트롤 함량이 더 높다고 보고하였다(24). 따라서 상지 내 옥시레스베라트롤 함량

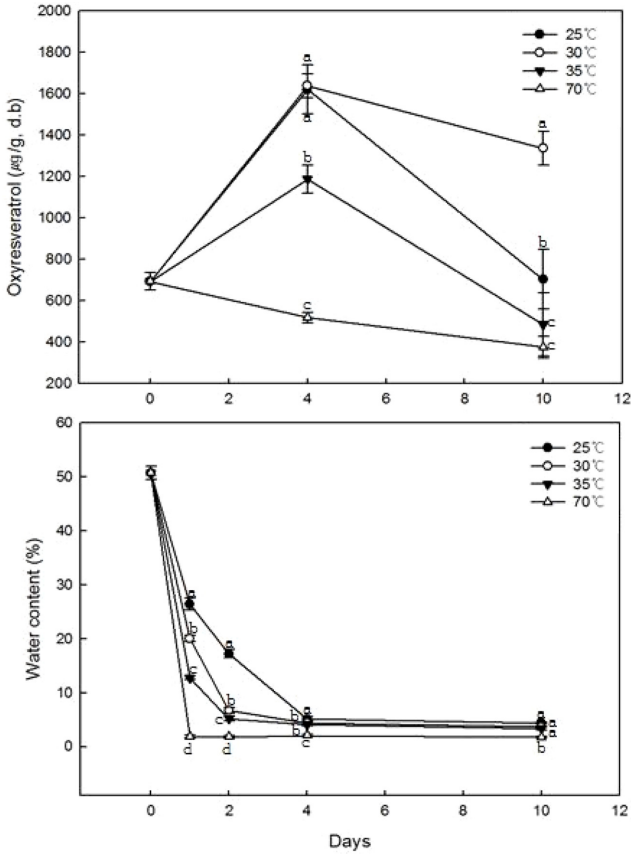

Fig. 4. Accumulation of oxyresveratrol and change of water content (%) in *Ramulus mori* of Suwon cultivar during incubation at 25, 30, 35, and 70°C. Data represent the mean±SD (n=3). Different letters correspond to significant differences at p<0.05.

을 증가시키기 위해서는 최적 온도의 선정뿐만 아니라 탈수량과 탈수 속도에 관한 검토가 필요하다.

숙성 기간에 따른 상지의 옥시레스베라트롤의 함량 변화

품종 실험에서 옥시레스베라트롤 축적량이 높게 증가한 수원뽕과 청일뽕 품종의 상지를 사용하여 30°C에서 10일간 숙성하면서 숙성 기간에 따른 옥시레스베라트롤 축적을 조사하였다(Fig. 5). 수원뽕 품종 상지의 옥시레스베라트롤 함량은 6일 숙성 시 940.6 μg/g로 숙성 전(65.7 μg/g)보다 약 14배 증가하였다. 한편 청일뽕 품종 상지의 옥시레스베라트롤 함량은 6일 숙성 시 618.1 μg/g로 숙성 전(79.1 μg/g) 보다 약 7.8배 증가하였다. 한편 숙성 기간에 따른 옥시레스베라트롤 축적 함량은 두 품종 모두 6일 숙성 시 가장 높은 옥시레스베라트롤 함량을 나타내었고, 8일 이후 옥시레스베라트롤 함량은 감소하였다. Brinker와 Seigler(25)의 배양시간에 따른 사탕수수 내 piceatannol 축적 연구에 의하면, 7일 숙성 시 피세아타놀 함량이 가장 높게 나타났고 8일 이후 함량이 감소하기 시작하여 11일에는 최대치 함량의 약 44%까지 감소하였다. 이 결과는 숙성기간에 따른 상지 내 옥시레스베라트롤 함량 변화와 유사한 경향이었다.

미생물 감염에 따른 상지내 옥시레스베라트롤 함량 변화

옥시레스베라트롤은 식물들이 스트레스를 받을 때 자신을 보호하기 위해서 생성하는 식물알렉신이다(2). 포도와 사탕수수는

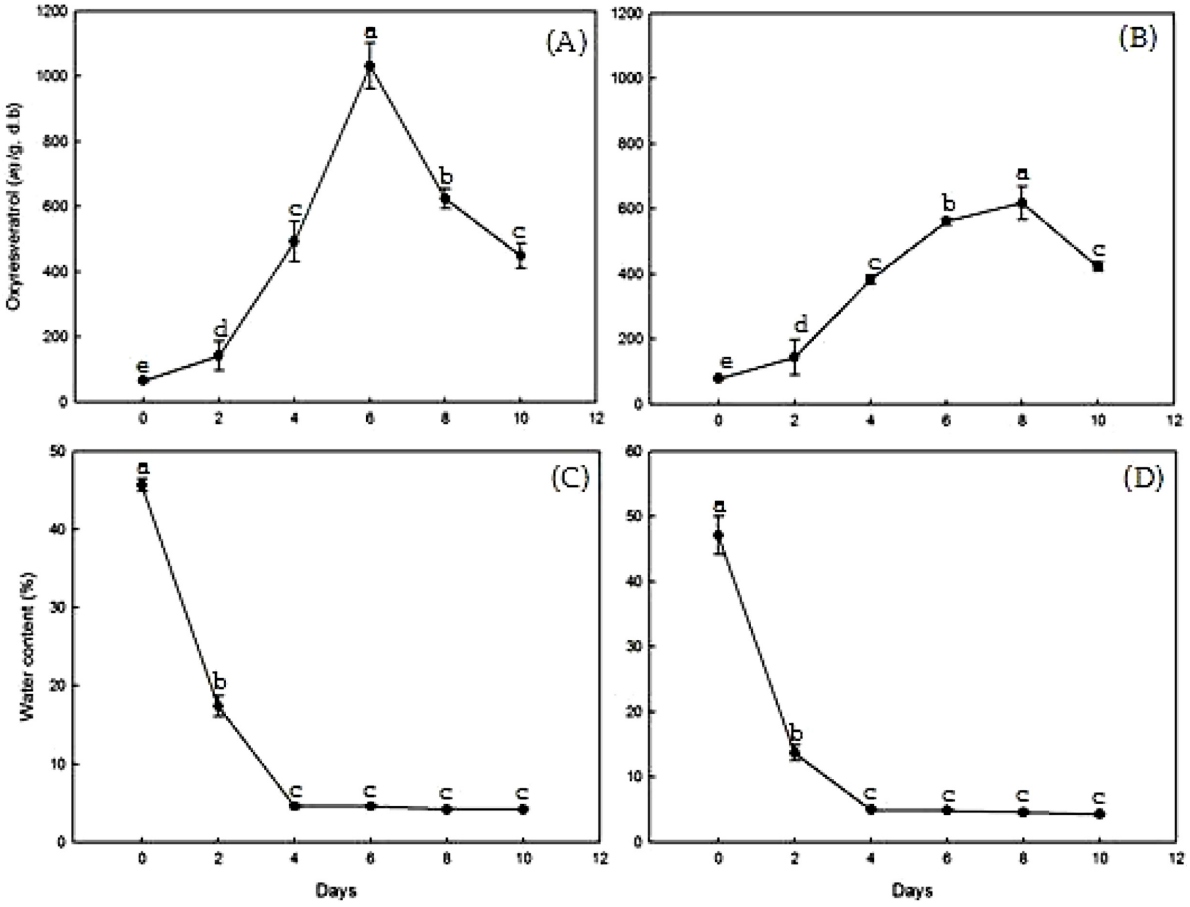

Fig. 5. Accumulation of oxyresveratrol and change of water content (%) in *Ramulus mori* of Suwon cultivar and Chungil cultivar during incubation at 30°C. A: amount of oxyresveratrol in Suwon cultivar, B: amount of oxyresveratrol in Chungil cultivar, C: water content (%) in Suwon cultivar, D: water content (%) in Chungil cultivar. Data represent the mean±SD (n=3). Different letters correspond to significant differences at p<0.05.

세균 및 곰팡이 등의 미생물에 감염되었을 때 레스베라트롤과 피세아타놀 등의 스틸베노이드 물질이 크게 증가한 사례가 있다(22). 따라서 본 실험에서는 상지에 다양한 미생물을 접종한 후 옥시레스베라트롤 함량 변화를 조사하였다. 그러나 본 연구의 목적이 상지를 산업적 이용 가치가 높은 고부가 식품 소재로 개발하는 것이기 때문에, *L. acidophilus, B. coagulans, R. capsulatus, S. cerevisiae, E. faecium* 등 식품 원료로 판매 중인 GRAS 등급의 미생물 5종을 상지에 접종한 후 숙성 기간에 따른 옥시레스베라트롤 함량 변화를 조사하였다(Fig. 6). 균주를 접종한 실험군들은 균주 비접종 대조군보다 옥시레스베라트롤 함량이 약 1.1-4.0 배 증가하였다. 5 균종의 7일 배양 시 옥시레스베라트롤의 축적량은 *B. coagulans*는 1,906.4 μg/g, *L. acidophilus*는 1,146.0 μg/g, *R. capsulatus*는 1,003.2 μg/g, *E. faecium*는 753.4 μg/g, *S. cerevisiae*는 530.4 μg/g로 나타났다. 또한 11일 배양 시 옥시레스베라트롤의 축적량은 *B. coagulans*는 891.5 μg/g, *L. acidophilus*는 720.3 μg/g, *R. capsulatus*는 643.7 μg/g, *E. faecium*은 148.0 μg/g, *S. cerevisiae*는 111.9 μg/g를 나타냈다. 특히 5균주 중에서 *B. coagulans*가 옥시레스베라트롤 축적에 뛰어난 효과를 나타내었으며, 이는 균을 접종하지 않은 대조군에 비하여 7일 배양 시 약 4.0배 축적량이 증가하였다. Brinker와 Seigler(25)는 사탕수수에 곰팡이인 *Collectotrichum falcatum* 홀씨를 접종한 후 숙성한 결과, 홀씨를 접종한 사탕수수의 피세아타놀 함량은 비접종구에 비해 크게 증가하였다. 숙성 시 곰팡이 홀씨의 접종은 식물 내 스틸베

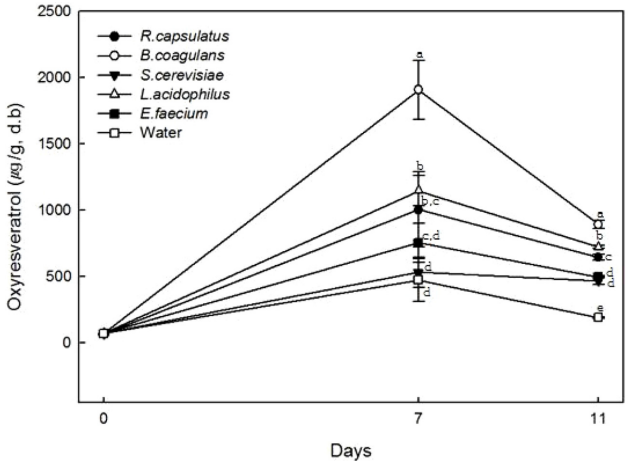

Fig. 6. Effect of microorganisms on accumulation of oxyresveratrol in *Ramulus mori* of Suwon cultivar at 30°C. Data represent the mean±SD (n=3). Different letters correspond to significant differences at p<0.05.

노이드 함량을 크게 증가시켰지만, 병원성과 아플라톡신 등의 독소 물질 생성 가능성 때문에 이 방법을 식품에 적용할 수 없다. 따라서 상지 내 옥시레스베라트롤 함량 증가를 위한 안전한 미생물의 적용은 산업적으로 매우 효과적인 방법이며 앞으로 다양

한 자연물의 폴리페놀 증가를 위한 방법으로 활용 가능성이 높다고 판단된다.

요 약

뽕나무의 어린 가지인 상지에서 기능성 물질인 옥시레스베라트롤이 발견됨에 따라 상지를 고부가 건강 기능성 식품 소재로 개발을 위해 옥시레스베라트롤 함량 증대 연구가 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 상지의 옥시레스베라트롤 함량을 증가시키기 위하여 국내산 상지의 품종, 숙성 기간, 숙성 온도, 미생물에 의한 접종 등의 숙성 방법에 따른 옥시레스베라트롤 함량 변화를 조사하였다. 국내에서 재배되는 뽕나무 9품종의 상지를 절단 후 7일 숙성하여 옥시레스베라트롤 함량을 비교한 결과, 품종들 간에 큰 차이가 있었으며, 그 중 수원 품종이 숙성에 의해 옥시레스베라트롤 축적이 가장 높게 나타났다. 상지의 옥시레스베라트롤 축적을 위한 최적 숙성 온도를 조사한 결과, 30ºC가 최적 온도이었으며 70ºC의 고온 숙성 시에는 옥시레스베라트롤의 축적 효과가 없었다. 뽕나무 9품종 중에서 선발된 수원 품종과 청일 품종에 대한 숙성 기간에 따른 옥시레스베라트롤 함량 변화를 확인한 결과, 30ºC, 6일 숙성 시 수원 품종은 약 14배, 청일 품종은 약 7.8배 증가하였으나 8일 이후는 급속히 감소하였다. GRAS 등급의 *L. acidophilus, B. coagulans, R. capsulatus, S. cerevisiae, E. faecium* 등을 상지에 접종한 후 숙성 기간에 따른 옥시레스베라트롤 함량 변화를 조사한 결과, 미생물이 접종된 실험군들은 대조군에 비해 옥시레스베라트롤 함량이 약 1.7-4.0배 증가하였다. 특히 5균주 중에서 *B. coagulans*가 옥시레스베라트롤 축적에 가장 뛰어난 효과를 보였다. 따라서 상지 내 미생물 접종에 의한 생물학적 스트레스는 옥시레스베라트롤 축적에 매우 효과적인 방법으로 확인되었다. 결과적으로 상지 내 축적되는 옥시레스베라트롤 함량은 건조 온도, 건조 시간, 수분의 상태 등의 물리적인 요인뿐만 아니라 감염 미생물의 종류에 의해서도 큰 차이가 있음을 확인하였다. 또한 상지 내 옥시레스베라트롤의 함량을 증대시키기 위해서 자외선, 햇빛 등의 물리적 스트레스, 오존, 락스, 재스몬산메틸 등의 화학적 스트레스에 의한 효과도 검토해야 할 것이다. 게다가 숙성동안 옥시레스베라트롤 합성의 주효소인 스틸벤 합성효소 발현량이 조사된다면 숙성에 의한 옥시레스베라트롤 함량 증대 원인을 보다 명확하게 규명할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 연구사업 (고부가가치식품기술개발사업, 과제번호: 114033-3) 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Mongolsuk S, Robertson A, Towers R. 429. 2: 4: 3': 5'-Tetrahydroxystilbene from *Artocarpus lakoocha.* J. Chem. Soc. 2231-2233 (1957)
2. Shao B, Guo HZ, Cui YJ, Liu AH, Yu HI, Guo H, Xu M, Guo DA. Simultaneous determination of six major stilbenes and flavonoids in *Smilax china* by high performance liquid chromatography. J. Pharmaceut. Biomed. 44: 737-742 (2007)
3. Djapic N, Djarmati Z, Filip S, Jankov RJ. A stilbene from the heartwood of *Maclura pomifera*. J. Serb. Chem. Soc. 68: 235-237 (2003)
4. Hanawa F, Tahara S, Mizutani J. Antifungal stress compounds from *Veratrum grandiflorum* leaves treated with cupric chloride. Phytochemistry 31: 3005-3007 (1992)
5. Kim JK, Kim MJ, Cho SG, Kim MK, Kim SW, Lim YH. Biotransformation of mulberroside A from Morus alba results in enhancement of tyrosinase inhibition. J. Ind. Microbiol. Biot. 37: 631-637 (2010)
6. Chung KO, Kim BY, Lee MH, Kim YR, Chung HY, Park JH, Moon JO. Invitro and invivo antiinflammatory effect of oxyresveratrol from Morus alba L. J. Pharm. Pharmacol. 55: 1695-1700 (2003)
7. Lorenz P, Roychowdhury S, Engelmann M, Wolf G, Horn TFW. Oxyresveratrol and resveratrol are potent antioxidants and free radical scavengers: effect on nitrosative and oxidative stress derived from microglial cells. Nitric Oxide 9: 64-76 (2003)
8. Breuer C, Wolf Gerald, Andrabi SA, Lorenz P, Horn TFW. Blood-brain barrier permeability to the neuroprotectant oxyresveratrol. Neurosci. Lett. 393: 113-118 (2006)
9. Jo SP, Kim JK, Lim YH. Antihyperlipidemic effects of stilbenoids isolated from Morus alba in rats fed a high-cholesterol diet. Food Chem. Toxicol. 65: 213-218 (2014)
10. He H, Lu YH. Comparison of inhibitory activities and mechanisms of five mulberry plant bioactive components against α-glucosidase. J. Agr. Food Chem. 61: 8110-8119 (2013)
11. Wu LS, Wang XJ, Wang H, Yang HW, Jia AQ, Ding Q. Cytotoxic polyphenols against breast tumor cell in *Smilax china* L. J. Ethnopharmacol. 130: 460-464 (2010)
12. Andrabi SA, Spina MG, Lorenz P, Ebmeyer U, Wolf G, Horn TFW. Oxyresveratrol (trans-2, 3', 4, 5'-tetrahydroxystilbene) is neuroprotective and inhibits the apoptotic cell death in transient cerebral ischemia. Brain Res. 1017: 98-107 (2004)
13. Lee JY, Kwon GY, Park JE, Kim JK, Lim YH. Brief Communication: SIR-2.1-dependent lifespan extension of *Caenorhabditis elegans* by oxyresveratrol and resveratrol. Exp. Biol. M. 241: 1757-1763 (2016)
14. Hwang DH, Jo SP, Lee JY, Kim JK, Kim KH, Lim YH. Antihyperlipidaemic effects of oxyresveratrol containing *Ramulus mori* ethanol extract in rats fed a high-cholesterol diet. J. Funct. Food. 19: 353–362 (2015)
15. Park GS, Kim JK. Kim JH. Anti-inflammatory action of ethanolic extract of *Ramulus mori* on the BLT2-linked cascade. BMB Rep. 49: 232-237 (2016)
16. Hwang DH, Jo HA, Kim JK, Lim YH. Oxyresveratrol-containing *Ramulus mori* ethanol extract attenuates acute colitis by suppressing inflammation and increasing mucin secretion. J. Funct. Food. 35: 146-158 (2017)
17. Lee JY, Kwon GY, Park JE, Kim JK, Choe SY, Seo YH, Lim YH. An ethanol extract of *Ramulus mori* improves blood circulation by inhibiting platelet aggregation. Biosci. Biotec. Bioch. 80: 1410-1415 (2016)
18. Cantos E, Garcia-Viguera C, de Pascual-Teresa S, Tomas-Barberan FA. Effect of post harvest ultraviolet irradiation on resveratrol and other phenolics of cv. *Napoleon* table grapes. J. Agr. Food Chem. 48: 4606-4612 (2000)
19. Langcake P, Pryce RJ. A new class of phytoalexins from grapevines. Cell. Mol. Life Sci. 33: 151-152 (1977)
20. Jimenez JB, Orea JM, Urena AG, Escribano P, de la Osa PL, Guadarrama A. Short anoxic treatments to enhance trans-resveratrol content in grapes and wine. Eur. Food Res. Technol. 224: 373-378 (2007)
21. Houille B, Besseau S, Courdavault V, Oudin A, Glevarec G, Delanoue G, Guerin L, Simkin AJ, Papon N, Clastre M, Giglioli-Guivarc'h N, Lanoue A. Biosynthetic origin of E-resveratrol accumulation in grape canes during postharvest storage. J. Agr. Food Chem. 63: 1631-1638 (2015)
22. Boue SM, Shih BY, Burow ME, Eggleston G, Lingle S, Pan YB, Daigle K, Bhatnagar D. Postharvest accumulation of resveratrol and piceatannol in sugarcane with enhanced antioxidant activity. J. Agr. Food Chem. 61: 8412-8419 (2013)
23. Sales JM, Resurreccion AVA. Maximising resveratrol and piceid contents in UV and ultrasound treated peanuts. Food Chem. 117: 674-680 (2009)
24. Bonghi C, Rizzini FM, Gambuti A, Moio L, Chkaiban L, Tonutti

P. Chkaiban L. Phenol compound metabolism and gene expression in the skin of wine grape (*Vitis vinifera* L.) berries subjected to partial postharvest dehydration. Postharvest Biol. Tec. 67: 102-109 (2012)

25. Brinker AM, Seigler DS. Time course of piceatannol accumulation in resistant and susceptible sugarcane stalks after inoculation with *Colletotrichum falcatum.* Physiol. Mol. Plant P. 42: 169-176 (1993)