

# LED irradiation이 Muscat bailey A 와인의 발효 및 페놀성 화합물의 변화에 미치는 영향

김상욱, 한기동\*  
영남대학교 자연자원대학 식품공학과

Received: August 5, 2015 / Revised: September 19, 2015 / Accepted: October 22, 2015

## Changes in Fermentation Properties and Phenolic Contents of Muscat Bailey A Wine by LED Irradiation Treatment

Sang Wook Kim and Gi Dong Han\*

Department of Food Science and Food Service Industry, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Republic of Korea

There have been several studies on role of hormesis with light stimulation, however, the influence of light on fermentation is still poorly understood. In this study the relationship between LED (light emitting diode) hormesis and ethanol fermentation for Muscat bailey A wine was investigated. Two LEDs, one blue ( $453 \pm 4$  nm) and one green ( $522 \pm 3$  nm), were used. Both LED groups showed an inhibited production of lactic acid. The blue LED stimulated the growth of the yeast in early stage of the fermentation. Polyphenolic compounds and their antioxidant abilities were significantly increased by the green LED. These results demonstrate that LED irradiation must bring about hormesis and affect the growth rate of yeast in the early stage of the fermentation, and the contents of phytochemicals during fermentation. These findings indicate the possible application of LED hormesis for the wine fermentation. Further studies are needed to understand how LED irradiation induces hormesis effects during the fermentation process.

**Keywords:** Wine, LED, fermentation, hormesis, antioxidant

## 서론

Hormesis는 Arndt-Schulz rule로 알려져 있으며 Luckey [13]는 '잠재적으로는 위험한 수단이지만 낮은 용량으로 주는 자극'이라고 정의하였다. 이는 유해 수준 이하의 자극은 긍정적 결과를 유발할 수 있다는 것을 의미하며, 1888년 Hugo schulz에 의해 처음 그 개념이 도입된 후 다양한 방면으로 연구가 진행되고 있다. 최근 UV-light나 LED(Light Emitting Diode)와 같은 light stimulation이 메밀 새싹의 항산화물질 및 항산화활성을 높여준다[12], UV-hormesis이 딸기 생육 중 phenol성 화합물 함량을 증대[7]시키는 것으로 나타났으며, LED irradiation이 큰느타리버섯의 갓 크기나 월기의 형성은 물론 에르고스테롤의 생성에도 영향을 미치는 것으로 보고되었다[11]. 또한 *Aspergillus* 속[6]이나

*Neurospora* 속에 관한 연구[17]에서도 LED가 mycelium 및 conidial 형성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이처럼 light stimulation이 진균류나 식물의 생장에 hormesis를 유발한다는 사실은 다각적으로 밝혀진 바 있으나 발효증 적용사례에 관한 연구는 아직 알려진 바가 없다. 이에 본 실험에서는 Must에 상업용 효모를 접종한 후 발효액에 LED를 조사하여 Must의 발효특성과 생리활성물질 함량 변화를 확인하고, 와인 발효중 LED에 의한 hormesis의 유발과 이의 적용 가능성을 모색하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 사용균주 및 와인의 제조

본 실험에 사용된 균주는 상업용 *S. bayanus EC-1118* (Lallemand Inc., Canada)을 YPD broth medium(Yeast extract 1%, peptone 2%, glucose 2%)에 48시간 150 rpm으로 진탕배양하여 4000 rpm에서 20분 centrifuging 후 상정액을 제거하여 사용하였다. Must는 경상에서 재배한 MBA(Muscat bailey A) 파쇄액 1000 ml에 잡균의 번식을

### \*Corresponding author

Tel: +82-53-810-2957, Fax: +82-53-810-4662

E-mail: gdhan1@ynu.ac.kr

© 2015, The Korean Society for Microbiology and Biotechnology

막기 위해 100 ppm의 Potassium metabisulfite를 투입하였으며 투입 후 4시간동안 안정화 시간을 거친 다음, 배양한 균주를  $1.5 \times 10^5$  cells/ml 접종하였다. 접종이 완료된 Must는 빛이 조사되지 않는 control group과 각각 453 ± 4 nm 파장의 Blue LED, 522 ± 3 nm 파장의 green LED를 조사하며 30°C에서 10일간 속성발효하였고 1, 2, 3, 5, 10일차의 sample을 채취하여 실험에 사용하였다.

#### LED irradiation장치

LED에 의한 hormesis를 유발하기 위해 실험에 사용된 453 ± 4 nm(blue), 522 ± 3 nm(green) 파장의 LED는 X.H.Y OPTOELECTRONICS(GX-HP10W-B, China)에서 생산된 제품으로 각 chamber의 크기가 59 × 67 × 38 cm<sup>3</sup>인 four-chamber incubator 상부에 설치하였으며, 열 발생에 따른 그룹 간 온도변화가 없도록 하기 위하여 cooling fan과 heat sink가 부착되어 설정된 온도가 유지되도록 하였다. 전류 전원은 AC adapter(0-2 A, 0-12 V)를 이용하여 공급하였다.

#### 발효 중 생균수변화

생균수는 YPD agar 배지(Yeast extract 1%, peptone 2%, glucose 2%, agar powder 1.5%)를 이용하여 spread plate method로 도말한 후 차광하여 30°C에서 48시간 배양하고 나타난 집락을 효모의 생균수로 계수하였다.

#### 고형분 및 환원당 함량

발효액의 고형분 함량 측정은 AOAC 방법에 따라[1] 실온에서 Refractometer(Master-M, ATAGO, Japan)를 사용하여 측정하였다. 환원당 함량은 DNS(dinitrosalicylic acid)법으로 시료 250 µl에 DNS 시약 250 µl를 첨가하여 95°C에서 5분간 반응시킨 다음 증류수를 1 ml 첨가하여 분광광도계(UV 1601PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 546 nm에서 흡광도를 측정하고 glucose 표준곡선으로부터 환원당 함량을 환산하였다.

**Table 1. HPLC condition to analysis for organic acid.**

Instrument	Condition
Model	Waters HPLC system
Column	Bio-Rad organic acid standard Aminex HPX-87H (300 mm × 7.8 mm)
Injection volume	20 µl
Column temp	40°C
Solvent system	5 mM H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Detector	UV@210 nm (2489 UV/visible Detector, waters)
Flow rate	0.6 ml/min

#### 유기산 함량

유기산 함량은 고속액체크로마토그래피(High Performance Liquid Chromatography)를 사용하여 측정하였다. 표준 용액은 citric acid, lactic acid, malic acid, tannic acid, tartaric acid(Sigma aldrich, USA)를 5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 농도별로 희석하여 4000 rpm에서 20분 centrifuging하고 0.2 µm membrane filter에 여과한 후 표준검량곡선을 작성하여 사용하였으며, 유기산 함량 HPLC 분석 조건은 다음과 같다 (Table 1).

#### 메탄올 함량

메탄올 함량은 국세청 주류분석규정[15]에 따라 알코올분을 5 ± 1%로 조정된 시료 5 ml를 시험관에 넣고 KMnO<sub>4</sub> 용액 2 ml를 가하여 30°C에서 15분간 방치한 후 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 용액 2 ml를 가하여 탈색하고 C<sub>20</sub>H<sub>19</sub>N<sub>3</sub> H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 용액 5 ml를 가하여 잘 혼합한 후 30°C에서 30분간 온도를 유지하였다. 같은 방법으로 처리한 메틸알코올 표준용액계열과 비색하여 그 수치에 묽게 한 배수를 곱하여 메틸알코올 함유량(mg/ml)으로 하며 590 nm에서 측정하였다.

#### Fusel oil 함량

퓨젤유 함량은 국세청 주류분석규정[15]에 따라 물로 적당히 묽게 한 시료 1 ml를 시험관에 넣고 0.5% C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 ml를 가하여 혼합한 후, 100°C에서 3분간 가열하고 증류수 1 ml를 가한다. 15분 후 표준용액 1 ml를 같은 방법으로 처리한 표준용액계열과 비색하여 퓨젤유함량(v/v%)으로 하였으며, 500 nm에서 측정하였다.

#### 총 폴리페놀 함량

폴리페놀 함량은 Gutfinger의 방법[9]을 변형하여, Folin-Ciocalteu reagent가 추출액의 폴리페놀 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 측정하였다. 즉, 추출액 0.2 ml에 Folin-Ciocalteu's reagent(Sigma, USA) 1 ml를 가하여 3분간 반응시키고 여기에 10% 탄산나트륨 0.8 ml를 첨가한 후 1시간 동안 실온에서 방치한 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였으며 폴리페놀 함량은 Tannic acid 용액 표준곡선을 이용하여 나타내었다.

#### 총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드는 Zhuang 등의 방법[19]을 변형하여, 시료 0.2 ml에 ethanol 0.8 ml를 넣고 혼합한 후 2%의 AlCl<sub>3</sub> 용액을 1 ml 첨가하고 1시간 반응시킨 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였으며 플라보노이드 함량은 quercetin 용액 표준곡선을 이용하여 나타내었다.

### 총 안토시아닌 함량

시료의 안토시아닌 정량은 Hosseinian 등의 pH differential method [10]에 따라 측정하였다. 시료 1 ml에 0.025 M Potassium chloride buffer(pH 1.0) 1 ml 혹은 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5) 1 ml을 각각 혼합하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm와 700 nm에서 측정한 후 cyanidin-3-glucoside의 몰흡광계수( $\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )를 이용하여 아래의 식에 의해 안토시아닌 함량을 산출하였다.

$$\text{Total anthocyanin contents(mg/l)} = \frac{(A \times \text{MW} \times D \times 1000)}{(\epsilon \times V)}$$

$$A(\text{absorbance value}): (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 4.5}$$

MW (molecular weight of cyanidin-3-glucoside): 449.2  
 D (dilution factor): dilution ratio of sample  
 $\epsilon$  (cyanidin-3-glucoside molar absorbance):  $26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$   
 V: final volume of sample

### FRAP 측정

FRAP assay는 Benzie & Strain의 방법[3]을 사용하였다. FRAP 실험을 위해 반응액은 acetate buffer(pH 3.6, 300 mM): 10 mM의 TPTZ(2,4,6-tripyridyl-s-triazine, Sigma, USA) : 20 mM의  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 10 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 반응용액과 시료를 혼합하여 30분 반응시킨 후, 593 nm에서 측정하였다. 측정된 흡광도는 Ascorbic acid를 표준품으로 이용하여 만든 표준검량곡선에 대입하여 Ascorbic acid equivalent mM로 표시하였다.

### DPPH radical scavenging 활성

DPPH radical에 대한 소거활성 측정은 Blois 등의 방법[4]을 변형하여 시료 1 ml에 60  $\mu\text{M}$  DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 용액 1.5 ml를 가하여 30분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하고 DPPH 첨가구와 ethanol 첨가구의 흡광도 차이를 비교한 후, 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity(\%)} = (1 - (A - B)/C) \times 100$$

A: sample + DPPH absorbance

B: sample + ethanol absorbance

C: DW + DPPH absorbance

### 통계조사

실험결과는 모두 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었으며, 통계처리는 SPSS 21.0(Statistical Package for the

Social Sciences, Spss Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 실시하였다. 각 군에 따른 유의성은 분산분석(analysis of variance, ANOVA) 후, Duncan's multiple range test를 실시하여  $p < 0.05$  수준에서 검증하였다.

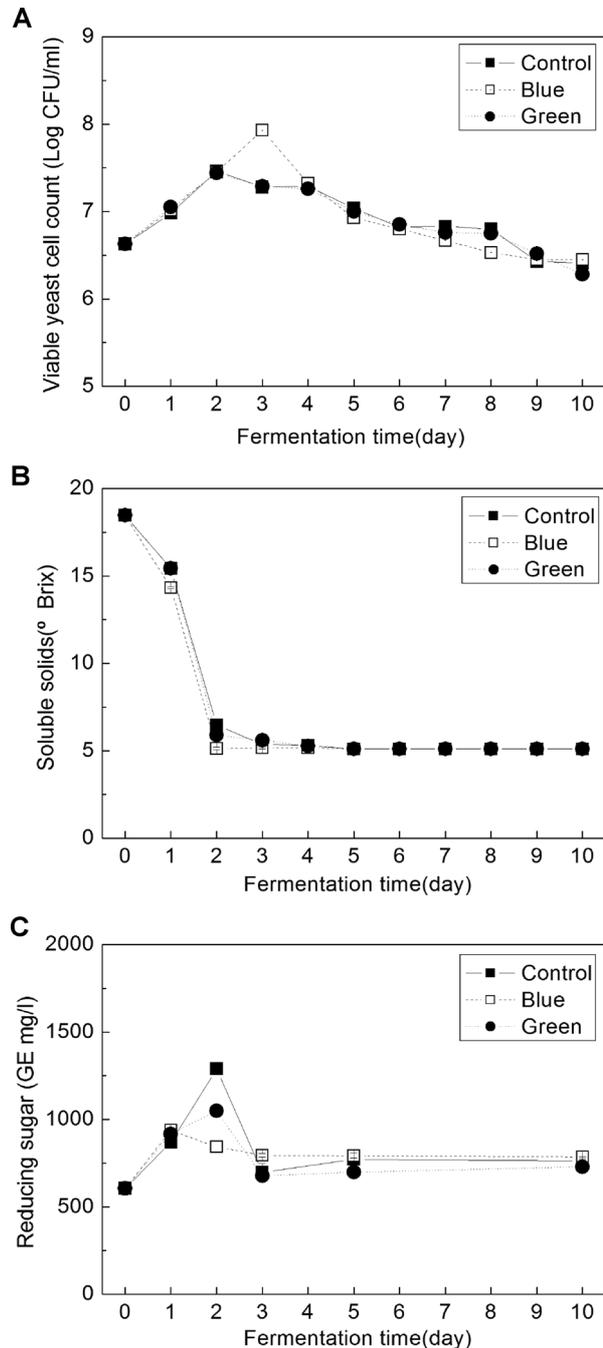


Fig. 1. Changes in the yeast viable counts (A), Soluble solids (B) and Reducing sugar (C) during fermentation of must by *Saccharomyces bayanus* EC-1118 with LED irradiation. All values are expressed as mean  $\pm$  SD in triplicates.

## 결과 및 고찰

### 발효 중 효모의 생장 및 이화학적 특성

LED irradiation에 의한 Must의 발효 속도 변화를 탐색하기 위하여 총균수와 발효액의 고형분 함량, 환원당 함량을 확인한 결과는 Fig. 1과 같다. Control과 green group에 비해 Blue 파장을 irradiate한 group의 발효 초기인 2일에서 3일 사이 생균수가 많고 지연기에 접어드는 속도도 느린 것으로 나타났으며(Fig. 1A), 발효 중 당 소모 속도도 Blue group이 다른 group에 비해 빠른 것으로 나타났다. 환원당 함량은 발효 초기에 일시적으로 증가하였다가 발효가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 보였다. LED를 irradiate한 group이 control group에 비해 발효 초기에 낮은 환원당 함량과 고형분함량을 나타냈는데, 이는 LED irradiate로 인해 초기 발효속도가 촉진되어 더 많은 양의 환원당이 ethanol로 전환되었기 때문인 것으로 보인다(Fig. 1B,C). 이는 LED에 의해 *Malassezia* 효모의 생육이 저해되었다는 Wi 등의 연구[18]와 상반되었으며, 이같은 결과는 yeast의 생장에 필요한 medium의 영양원 조성 차이와 짙은 적색의 포도 Must에 의한 LED 파장의 굴절 및 분산에 의한 것으로 사료된다.

### 색차변화

발효를 진행하지 않은 normal group과 일반 발효한 control group, 그리고 발효중 LED를 처리한 group의 색도를 비교해본 결과, 명도를 나타내는 L-value와 적색도를 나타내는 a-value의 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 황색도를 나타내는 b-value가 감소하는 경향을 보였으나 control group과 LED를 irradiate한 group 간의 차이는 나타나지 않았다(Table 2). LED irradiation 처리가 발효중 Must의 색상에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

### 유기산 함량

Must의 Tannic acid 함량은 모든 group간에 유의적인 차이가 없었으나, Citric acid, Tartaric acid, Malic acid와 Lactic acid는 control group에 비해 LED를 irradiate한 group이 적은 함량을 나타냈다(Table 3). 특히 Lactic acid 함량의 차이가 크게 나타났는데, 이는 광펄스 처리에 의해 *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus mesenteroides*의 생육이 억제되었다는 연구[2, 8, 16]와 일치하였으며, LED irradiation에 의해 발효중 젖산균의 생육이 저해되어 Lactic acid 함량이 낮게 나타난 것으로 사료된다.

**Table 2. Hunter value of fermented must by *Saccharomyces bayanus* EC-1118 with LED irradiation.**

	Normal <sup>1)</sup>	Control	Blue	Green
L-value	25.3 ± 3.55 <sup>a</sup>	23.88 ± 0.36 <sup>a</sup>	24.05 ± 0.03 <sup>a</sup>	23.24 ± 0.05 <sup>a</sup>
a-value	11.29 ± 0.77 <sup>a</sup>	11.32 ± 1.14 <sup>a</sup>	10.61 ± 0.06 <sup>a</sup>	10.05 ± 0.03 <sup>a</sup>
b-value	3.99 ± 0.81 <sup>b</sup>	0.09 ± 0.31 <sup>a</sup>	-0.23 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.45 ± 0.04 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Normal: non-fermented, Control: Must fermented in darkness, Blue: Must fermented with treatment of Blue (453 ± 4 nm) LED, Green: Must fermented with treatment of Green (522 ± 3 nm) LED

<sup>2)</sup>All values are expressed as mean ± SD in triplicates

<sup>3)</sup>Means with different letters in a row are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test

**Table 3. Contents of organic acids in the fermented must by *Saccharomyces bayanus* EC-1118 with LED irradiation.**

	Control <sup>1)</sup>	Blue	Green
Tannic acid	0.2133 ± 0.0003 <sup>a2)3)</sup>	0.2133 ± 0.0005 <sup>a</sup>	0.2133 ± 0.0002 <sup>a</sup>
Citric acid	0.0706 ± 0.0003 <sup>c</sup>	0.0692 ± 0.0008 <sup>b</sup>	0.0629 ± 0.0007 <sup>a</sup>
Tartaric acid	0.4191 ± 0.0002 <sup>b</sup>	0.4195 ± 0.0002 <sup>b</sup>	0.3891 ± 0.0010 <sup>a</sup>
Malic acid	0.5381 ± 0.0018 <sup>c</sup>	0.5138 ± 0.0030 <sup>b</sup>	0.4827 ± 0.0026 <sup>a</sup>
Lactic acid	0.7607 ± 0.0010 <sup>c</sup>	0.5715 ± 0.0064 <sup>a</sup>	0.6051 ± 0.0049 <sup>b</sup>
Total	2.0017 ± 0.0034 <sup>c</sup>	1.7872 ± 0.0099 <sup>b</sup>	1.7531 ± 0.0053 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Control: Must fermented in darkness, Blue: Must fermented with treatment of Blue (453 ± 4 nm) LED, Green: Must fermented with treatment of Green (522 ± 3 nm) LED

<sup>2)</sup>All values are expressed as mean ± SD in triplicates

<sup>3)</sup>Means with different letters in a row are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test

**Table 4.** Contents of methanol and fusel oil in the fermented must by *Saccharomyces bayanus EC-1118* with LED irradiation.

Item (mg/l)	MeOH	Fusel oil
Sample <sup>1)</sup>		
Control	837.00 ± 26.46 <sup>2)</sup>	414.21 ± 53.27
Blue	945.67 ± 21.39	375.31 ± 66.35
Green	996.33 ± 140.46	429.38 ± 12.78

<sup>1)</sup>Control: Must fermented in darkness, Blue: Must fermented with treatment of Blue (453 ± 4 nm) LED, Green: Must fermented with treatment of Green (522 ± 3 nm) LED

<sup>2)</sup>All values are expressed as mean ± SD in triplicates

### 고급알코올 함량

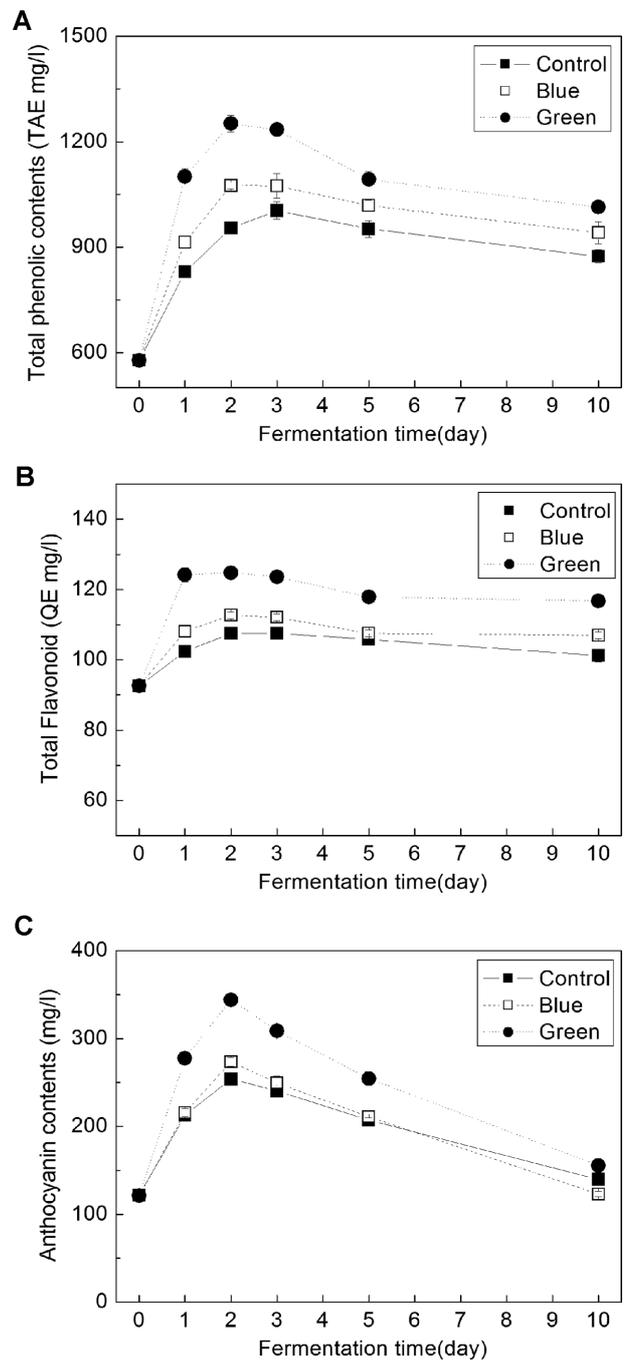
이 연구에서는 상업적으로 많이 사용되는 *Saccharomyces bayanus EC-1118*를 이용하여 포도주를 제조하였으며, 데이터로 나타내지는 않았지만 연구자는 향, 맛 등 관능적 특성을 확인하여 모든 group이 모두 정상적으로 알코올발효가 이루어진 것을 확인하였다. 또한 포도주 이상발효의 지표가 되는 methanol과 fusel oil의 함량을 분석하였다. 알코올 발효의 비정상적 산물인 methanol은 펙틴이 분해되어 생성되며 와인 이상발효의 지표로 사용되는 것으로 알려져 있으며, fusel oil은 와인에 복합적인 향미를 부여하지만 농도가 높아지면 오히려 와인에 이취를 유발한다. 발효중 LED 파장을 irradiate한 must의 고급알코올 함량은 Table 2와 같다. 모든 group에서 methanol 함량이 국내 기준인 1,000 ppm 이하로 나타나 정상적인 알코올 발효가 진행되었음을 확인할 수 있었으며, 각 group간의 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 메탄올 함량은 control group이, Fusel oil 함량은 blue group이 가장 낮은 경향을 보였다(Table 4).

### 페놀성 화합물 함량

Must 발효중 Antioxidants의 함량 변화를 비교 분석한 결과 LED light를 irradiate한 group이 발효초기에 total phenolics, flavonoid, anthocyanin 모두 control group에 비해 높은 함량을 나타냈으며, 특히 green group이 다른 group에 비해 높은 함량을 보였다(Fig. 2). 발효가 진행됨에 따라 모든 group의 함량이 점차 감소하였는데, 이는 와인 발효초기에 flavonols, anthocyanins, phenolics가 증가하였다가 발효가 진행되면서 점차 감소한다는 Burns의 연구[5]와 유사한 경향을 나타내었다.

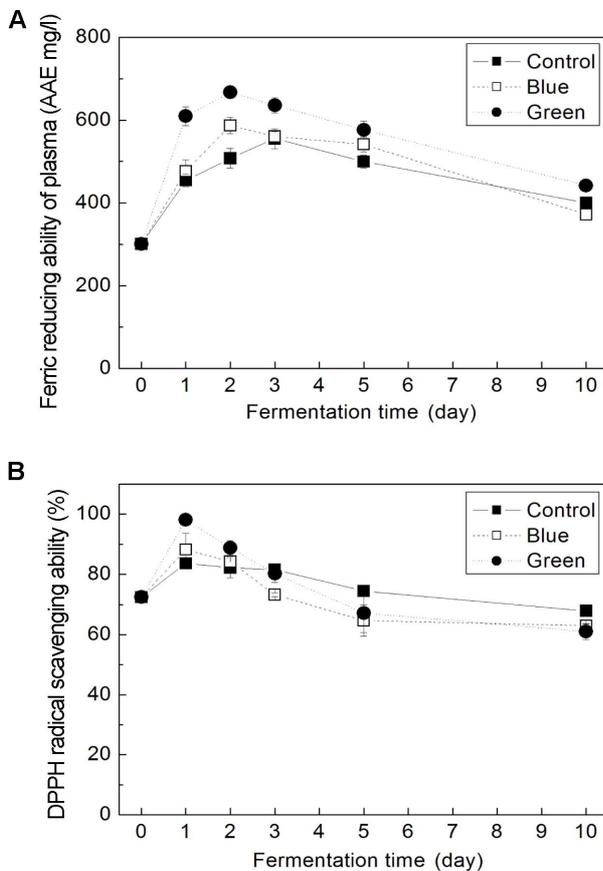
### 항산화 활성

522 ± 3 nm 파장을 irradiate한 green group이 발효초기에 다른 group에 비해 높은 FRAP 활성과 DPPH 라디칼 소



**Fig. 2.** Changes in the total phenolic contents (A), total flavonoid (B) and total anthocyanin (C) during fermentation must by *Saccharomyces bayanus EC-1118* with LED irradiation. All values are expressed as mean ± SD in triplicates.

거능을 나타냈으며, 발효가 진행됨에 따라 점차 모든 group에서 활성이 낮아져 페놀성 화합물의 함량 변화 결과와 유사하게 나타났다(Fig. 3). 이는 발효중 산화가 이루어짐에 따



**Fig. 3.** Changes in the Ferric reducing ability of plasma (A) and DPPH radical scavenging ability (B) during fermentation must by *Saccharomyces bayanus* EC-1118 with LED irradiation. All values are expressed as mean  $\pm$  SD in triplicates.

른 것으로 사료되며, 와인 발효 초기에 항산화 활성이 증가하다가 5일차에서 감소하기 시작한다는 No 등의 연구[14]와 유사한 경향을 나타내었다.

## 요 약

이 연구에서는 Muscat Bailey A wine 제조에 있어 알코올 발효중 LED hormesis의 영향을 확인하고자 하였다.  $453 \pm 4$  nm,  $522 \pm 3$  nm 파장의 LED를 must에 irradiate하며 발효특성 및 페놀성 화합물 함량과 항산화활성을 control group과 비교하였다. Control group에 비해 LED를 irradiate한 group의 유기산 조성 중 Lactic acid 함량이 낮게 나타났는데, 이는 LED 파장의 젖산균 생육 저해 효과에 따른 것으로 사료된다. 발효 중 yeast의 균수증가와 당 소모는  $453 \pm 4$  nm 파장의 blue LED를 irradiate한 group이 다른 group에 비해 발효초기 빠른 경향을 보였으나 3일 후에부터는 다

른 group과 큰 차이를 보이지 않았다,  $522 \pm 3$  nm 파장의 green LED는 발효 초기에 다른 group에 비해 높은 항산화 활성을 나타냈다. 이는 LED irradiation이 발효 중 hormesis를 유발하여 yeast의 생육 속도와 발효액 내 생리활성물질을 증가시킨 것으로 사료된다. 위 결과를 통해 와인발효 중 LED 자극에 의한 hormesis의 적용 가능성을 확인할 수 있었으며, 향후 LED hormesis가 어떤 기작에 의해 발효중 yeast의 생육속도를 향상시키고 포도 발효액 내의 생리활성물질을 증가시키는지에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

## References

1. A.O.A.C. 2000. *Official Methods of Analysis 17th ed.* Method 69-74. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
2. Barbosa CGV, Schaffner D, Pierson MD, Howard ZQ. 2000. Pulsed light technology. *J. Food Sci. Special Supplement*.
3. Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem.* **239**: 70–76.
4. Blois MS, Shigenara MK, Hagen TM. 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **90**: 7915–7922.
5. Burns J, Gardner PT, Matthews D, Duthie GG, Lean MEJ, Crozier A. 2001. Extraction of phenolics and changes in antioxidant activity of red wines during vinification. *J. Agric. Food Chem.* **49**: 5797–5808.
6. Chien WC, Ching KC, Chih JC, Liang YC. 2012. Effect of colour LEDs on mycelia growth of *Aspergillus ficuum* and phytase production in photo-fermentations. *J. Photochem. Photobiol.* **106**: 81–86.
7. Cho YJ, Kim CJ, Kim JT, Kim TE, Bae KS, Kihl JY, et al. 2008. Effect of UV hormesis on phenolic contents in strawberries. *Food Eng. Prog.* **12**: 143–148.
8. Dunn J, Ott T, Clark W. 1995. Pulsed light treatment of food and packaging. *Food Technol.* **49**: 95–98.
9. Gutfinger T. 1958. Polyphenols in olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **58**: 966–968.
10. Hosseinian FS, Li W, Beta T. 2008. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. *Food Chem.* **109**: 916–924.
11. Jang MJ, Lee YH, Kim JH, Ju YC. 2011. Effect of LED light on primordium formation, morphological properties, ergosterol content and antioxidant activity of fruit body in *Pleurotus eryngii*. *Korean J. Mycol.* **39**: 175–179.
12. Lee SM, Jang JH, Nam TG, Kim DO, Kang H, Lee SW, et al. 2011. Effects of light emitting diode to seedling growth and phytochemical properties in buckwheat. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* **29**: 67–67.
13. Luckey TD. 1980. *Hormesis with Ionizing Radiation*. Boca

Raton: CRC Press, Inc.

14. No JD, Lee DH, Hwang YS, Lee SH, Lee JS. 2008. Changes of physicochemical properties and antioxidant activities of red wines during fermentation and post-fermentation. *Korean J. Microbial. Biotechnol.* **36**: 67–71.
15. NTS Liquors Licence Aid Center. 2010. *Code of liquor analysis*. pp 39, 104–202. NTS, Seoul, Korea.
16. Song YA. 2001. A study on inactivation of *Lactobacilli* using intense light pulse. Department of Agricultural Chemistry, The Graduate School Wonkwang University, Iksan, Chonbuk, Korea, MS Thesis.
17. Talora C, Franchi L, Linden H, Ballario P, Macino G. 1999. Role of a white collar-1-white collar-2 complex in blue-light signal transduction. *The EMBO J.* **18**: 4961–4968.
18. Wi HS, Na EY, Yun SJ, Lee JB. 2012. The antifungal effect of light emitting diode on *Malassezia* yeasts. *J. Dermatol. Sci.* **67**: 3–8.
19. Zhuang XP, Lu YY, Yang GS. 1992. Extraction and determination of flavonoid in ginkgo. *Chinese Herbe Med.* **23**: 122–124.