

양파재배 시 보광정도에 따른 pyruvic acid와 당 함량

이은주 · 전재경 · 서전규*

경북대학교 원예학과

Effect of Supplemental Lighting in Different Lighting Intensity on Pyruvic Acid and Sugar Content in Onion(*Allium cepa* L.)

Eun-Ju Lee, Jae-kyung Jeon, and Jun-Kyu Suh*

Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

Abstract. The aim of this study was to investigate the effect of supplemental lighting with different lighting intensity during growth on the sugar and pyruvic acid content of onion bulbs. As the result of comparison with growth, the content of pyruvic acid and sugar at harvest, supplemental lightening condition showed better growth, lower pyruvic acid content and higher sugar content than control. As to the growth at harvest according to lightening condition, 'Josaeng-ssundeobol' showed better growth as the lightening increased and 'Damrojunggab' had no difference above $12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR. 'Josaeng-ssundeobol' contained much more content of pyruvic acid and sugar than 'Damrojunggab'. 'Josaeng-ssundeobol' had the lowest pyruvic acid content in $24 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR and 'Damrojunggab' had no difference above the $12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR. The sugar content of 'Josaeng-ssundeobol' had no big difference above $18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR and that of 'Damrojunggab' had no big difference above $12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR. Desirable indicator to select individuals for the onion breeding is to select individuals that has low pyruvic acid content and high sweetness. Therefore, it will be possible to produce sweet onion conditioned on light supplement over $18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR in 'Josaeng-ssundeobol' and over $12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR in 'Damrojunggab'.

Key words : bulb shape, early maturing cultivar, late maturing cultivar, lighting intensity, sweetness

서 언

최근 소비자들이 달고 매운맛이 적은 양파를 선호하면서 이러한 양파를 육종하고 재배하려는 관심이 점차 증가되고 있다. 양파의 매운맛과 단맛은 수용성 탄수화물과 황 화합물의 상호작용에 의해 세포가 파괴될 때 나타나며(Randle, 1992) pyruvic acid, 당 및 황 화합물의 함량과 유의한 상관관계를 갖고 있는 것으로 보고되고 있다(Wall과 Corgan, 1992; Bacon 등, 1999). 그 중 pyruvic acid 함량 측정은 휘발성 향미 성분을 측정하는 것에 비해 비교적 간편하고 빠르기 때문에 양파의 매운맛을 판단하는 매우 좋은 지표로써 (Schwimmer와 Weston, 1961; Schwimmer와 Guadagni, 1962) 1960년대 이후로 양파 구의 매운맛과

향미를 측정하는 방법으로 널리 사용되어져 왔다(Yoo와 Pike, 1999). 양파의 자극적인 맛과 향은 유전적으로 결정되나 환경에 의해 조절될 수 있다(Randle, 1992). 그러나 아직 양파의 맛과 향에 영향을 미치는 환경요인에 대한 보고는 거의 없는 실정이다(Lancaster와 Boland, 1990). Yoo 등(2006)에 의하면 양파의 자극적인 매운맛은 81.3%는 유전적 요인에 의해 지배되며, 11.4%는 재배지역의 환경조건에 의해 결정되어지고 나머지 7.3%는 그들의 상호작용에 의해 영향을 받으므로 양파 매운맛에 결정적으로 영향을 미치는 요인은 유전적 차이이고 환경에 의한 영향은 부가적인 요인으로 작용한다고 하였다. 그러나 양파의 매운맛은 품종이 가장 큰 영향을 미치나 환경요인에 의해 품종 내에서 조절되기도 하며(Bedford, 1984; Hamilton 등, 1997), 또한 양적조절이 가능하다(Jone과 Mann, 1963). 따라서 양파의 매운맛은 생육 환경에 의해 영

*Corresponding author: jksu@knu.ac.kr
Received October 6, 2008; Accepted November 5, 2008

향을 받으므로 이러한 환경 요인들 중에서 광조건을 달리하였을 때 양파의 생육 및 pyruvic acid와 당 함량에 미치는 영향을 구명하여 매운맛이 적은 단 양파의 품종 육성과 단 양파 생산을 위한 기초 자료로 이용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시품종으로는 조생종인 조생썬더볼 품종(신젠타)을 이용하여 2007년 9월 27일에 파종, 육묘하여 2007년 11월 27일에 경북대학교 내 유리온실에 자연광만을 이용한 처리구와 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR로 16시간 일장으로 보광한 처리구를 두고 주간온도 20°C , 야간온도 15°C 이상으로 조절한 유리온실에서 수행하였다. 실험 기간 중 자연일장은 9시간 35분~10시간 19분이었으며, 유리온실 내 일평균기온은 16.9°C 였다. 최종분석은 2008년 1월 30일 실시하였다. 그리고 보광정도 및 품종에 따른 차이를 구명하기 위하여 조생종인 조생썬더볼 품종(신젠타)과 만생종인 담로중갑 품종(농우)를 2007년 11월 9일에 파종하여 유묘의 생육이 본엽 3~4매, 초장 37cm 정도인 2008년 1월 29일에 6, 12, 18, $24\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리를 두고 위 실험과 동일한 장소에서 실시하였다. 실험기간 중 자연일장은 10시간 19분~11시간 43분이었으며, 유리온실 내 일평균기온은 18.1°C 였다. 최종 분석은 조생종은 3월 6일, 만생종은 3월 20일에 실시하였고, 조사 및 분석은 완전히 비대된 구를 이용하여 생육특성 조사 및

pyruvic acid와 유리당 함량을 분석하였다. 생육조사 항목으로는 엽수, 초장, 구경, 구고, 구중 등을 조사하였으며, 이를 바탕으로 구형지수와 구비대지수를 산출하였다. Pyruvic acid 함량은 Yoo 등(1995)의 방법을 변형하여 액체질소를 이용하여 양파를 마쇄하여 원심 분리 한 후 그 상등액을 spectrophotometer (UV-1201, Japan)를 이용하여 485nm에서 측정하였다. 당은 sucrose, glucose, fructose를 표준물질로 하여 Waters Sugar-Pak 1($6.5\times 30\text{mm}$) column이 장착된 HPLC (Waters 2695, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석조건은 column temperature 85°C , flow rate $0.6\text{ml}/\text{min}$, injection volume $10\mu\text{l}$ 로 하였으며, mobile phase는 HPLC용 3차 증류수를 사용하였고, RI detector (Waters 2414, USA)로 검출하였다. 그리고 당의 종류별 감미도 계수(sucrose 1.0, glucose 0.7, fructose 1.1)에 따라 당조성 분석결과를 환산하여 감미도를 나타내었고(Kim 등, 2001), Vavrina(1993)의 방법을 기준으로 삼아 총당 함량에 대한 pyruvic acid 함량을 산출하여 매운맛의 정도를 나타내는 지표로 사용하였다.

결과 및 고찰

자연광을 대비로 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR의 광량만큼 보광처리 하여 재배하였을 때 양파의 수확 시 구 특성은 Table 1과 같다. 장일 조건에 의해 양파 구의 생육이 향상되므로 (Suh, 2003), 구경 등 모든 항목에

Table 1. Effect of supplemental lighting on bulb diameter(mm), bulb height(mm), bulb weight(g) and bulb shape(height/diameter).

	Bulb diameter(mm)	Bulb height(mm)	Bulb weight(g)	Bulb shape (height/diameter)
Control	5.6 b ²	19.3 b	0.5 b	3.4 a
Supplemental lighting	11.8 a	22.2 a	1.5 a	1.9 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

Table 2. Effect of supplemental lighting on pyruvic acid and sugar contents in onion bulbs.

Supplemental lighting	Pyruvic acid ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	Sugars ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, fw)			Sweetness	PA/TS rate ²	
		Total	Suc	Glc			Fru
Control	13.9 a ²	13.2 b	0.14 b	5.73 b	7.31 b	16.6 b	105.4 b
Supplemental lighting	12.0 b	40.6 a	2.49 a	19.00 a	19.14 a	48.3 a	29.4 a

²Pyruvic acid/total sugar content rate

¹Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

Table 3. Effect of supplemental lighting on the number of leaves and plant height(cm) of onion plants in different lighting intensity between 'Josaeng-ssundeobol' and 'Damrojunggab'.

Supplemental lighting	Josaeng-ssundeobol		Damrojunggab	
	No. of leaves	Plant height (cm)	No. of leaves	Plant height (cm)
6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	3.4 a ²	51.4 a	3.4 b	47.7 b
12 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	3.6 a	48.3 a	4.0 a	49.0 b
18 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	3.6 a	48.1 a	4.0 a	54.4 a
24 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	3.8 a	49.1 a	3.8 ab	48.6 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

Table 4. Effect of supplemental lighting in different lighting intensity on the bulb diameter(mm), bulb weight(g) and bulb shape(height/diameter) between 'Josaeng-ssundeobol' and 'Damrojunggab'.

Supplemental lighting	Josaeng-ssundeobol			Damrojunggab		
	Bulb diameter (mm)	Bulb fresh wt.(g)	Bulb shape index ²	Bulb diameter (mm)	Bulb fresh wt.(g)	Bulb shape index ²
6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	16.5 c ²	3.1 c	1.3 a	11.8 b ²	1.6 b	1.7 a
12 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	17.4 c	3.5 c	1.3 a	15.3 a	2.9 ab	1.6 ab
18 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	19.5 b	4.8 b	1.3 a	15.9 a	3.2 a	1.5 b
24 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR	21.3 a	6.1 a	1.3 a	16.4 a	3.5 a	1.6 ab

²Bulb height/diameter

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

서 보광을 하지 않은 처리구에 비해 보광을 해 준 처리구의 생육이 더 좋았고 구형지수는 보광처리구에서 더 낮아 보광에 의해 구비대가 더 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

자연광을 대비로 보광처리 하였을 때 양파 구의 pyruvic acid와 당 함량은 보광을 하지 않은 처리구에 비해 보광해 준 처리구에서 pyruvic acid 함량은 낮으면서 당 함량과 감미도는 높았다(Table 2). 양파의 구비대는 품종이 요구하는 한계일장 이상이 되면 시작되며(Suh와 Lee, 1987), 점차 비대가 시작되면서 구경의 증가가 현저해짐에 따라 구의 모양이 둥근 모양을 취하게 되므로 구형지수가 작아지게 된다. 구형에 가까울수록 pyruvic acid 함량이 낮고 매운맛이 적다고 알려져 있는데(Lee 등, 2007), 본 실험에서도 구형지수가 더 낮은 보광처리구의 구비대가 더 잘 이루어져 pyruvic acid 함량이 더 낮았다. 이는 마늘의 수분함량은 보통 62~68% 정도(Shin 등, 1999)인데 반해 양파 구의 수분함량은 89~90% 정도로(Suh 등, 1996) 수분함량이 매우 높아 양파 구의 비대가 진행되면서 화학물질의 증가와 함께 수분함량도 급격히 증가하여 상대적으로 희석되기 때문(Hamilton 등, 1998)인 것으로 생각된다. 총당 함량과 감미도는 무처리구에 비

해 보광처리구에서 더 높았고, 유리당 중 sucrose 함량은 극히 미비하였으나 fructan에서 fructose로 가수분해 되면서 생기는 삼투조절의 급격한 증가에 의해 구가 비대되므로(Darbyshire와 Henry, 1978) glucose와 fructose 함량은 높았다.

광량을 조절하여 보광정도를 달리하였을 때 엽수와 초장 생육에서 조생썬더블 품종은 광량에 따른 생육 차이가 없었으나 담로중갑 품종은 18 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 비교적 생육이 좋았다(Table 3). 광강도가 증가할수록 생체중도 증가하는데(Lu와 Son, 2005), 조생썬더블 품종의 수확 시 구경과 구중은 광량이 증가할수록 증가하는 경향이 있었다(Table 4). 그러나 6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR와 12 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리 간에는 유의한 차이가 없었고, 구형지수는 모든 처리구에서 차이가 없었다. 담로중갑 품종의 수확 시 구경과 구중은 6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 생육이 가장 저조하였으며 구형지수도 커 상대적으로 구비대가 잘 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 따라서 품종 및 보광정도에 따른 수확 시 생육을 비교해 본 결과, 품종에 따라서는 조생썬더블과 담로중갑 두 품종 공히 광량이 증가할수록 구비대가 효과적이었고, 동일한 광량 조건에서는 조생중 품종이 만생중 품종에 비해 구비

양과재배 시 보광정도에 따른 pyruvic acid와 당 함량

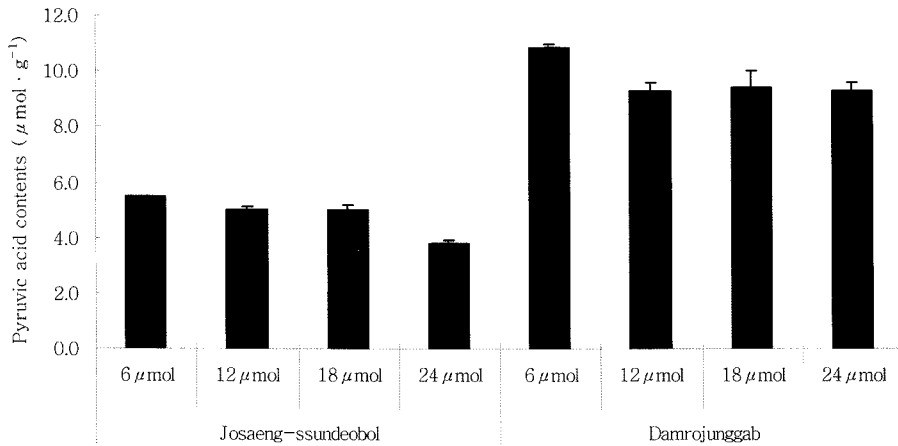


Fig. 1. Effect of supplemental lighting in different lighting intensity on the pyruvic acid content between ‘Josaeng-ssundeobol’ and ‘Damrojunggab’. Vertical bars indicate standard error.

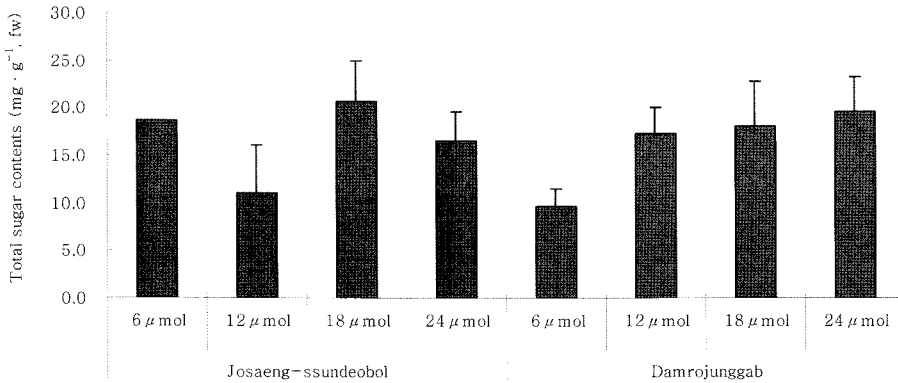


Fig. 2. Effect of supplemental lighting in different lighting intensity on the total sugar content between ‘Josaeng-ssundeobol’ and ‘Damrojunggab’. Vertical bars indicate standard error.

대에 요구되는 한계온도와 한계일장이 낮아(Brewster, 1990) 조생종 품종의 구비대가 더 잘 이루어졌다.

양과의 매운맛과 일장의 길이와는 정의 상관관계를 나타내며 조생계 양과는 상대적으로 매운맛이 적다(農文協, 1997; 이 등, 2007)는 보고와 마찬가지로 조생종에 비해 만생종 품종이 모든 처리에서 훨씬 높았으나(Fig. 1), 총당 함량은 차이가 없었다(Fig. 2). 탄수화물은 잎에서 합성되어 구가 비대되기 시작하면서 구로 전이되는데(Nagai, 1967), 잎의 엽수와 초장 생육(Table 4)에서도 조생선더블 품종과 담로중갑 품종 간에 큰 차이는 없었다. 보광정도에 따른 pyruvic acid 함량은 조생종은 24μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 처리에서 가장 낮았고, 만생종은 12μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 이상의 광량에서는 큰 차이가 없었다. 보광정도에 따른 총당 함량

은 조생종 품종은 12μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 처리에서 가장 낮았고, 만생종 품종은 24μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 처리에서 가장 높았으며 구비대가 가장 저조한 6μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 처리에서 타 처리에 비해 매우 낮았다.

양과 고형물의 대부분은 탄수화물과 단백질로 이 중 탄수화물 함량은 7.1~8.5% 정도이며 주요 유리당으로는 sucrose, glucose, fructose 등이 있다(Suh 등, 1996). 품종에 따른 유리당 함량은 Table 5와 같이 두 품종 모두 모든 처리에서 sucrose 함량이 가장 낮았다. 그리고 건물중이 증가함에 따라 fructose와 glucose는 감소하는 반면 sucrose는 증가한다는 보고(Darbyshire와 Henry, 1979)와 마찬가지로 환원당은 조생종에 비해 만생종 품종에서 더 높았으나, 비환원당은 비슷하거나 오히려 조생종 품종이 더 높은 경향이

Table 5. Effect of supplemental lighting on the individual sugar contents in different lighting intensity between ‘Josaeng-ssundeobol’ and ‘Damrojunggab’.

Supplemental lighting	Sugars (mg·g ⁻¹ , fw)					
	Josaeng-ssundeobol			Damrojunggab		
	Suc	Glc	Fru	Suc	Glc	Fru
6μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ PAR	0.9 a ²	8.6 a	9.2 a	1.4 b	4.2 b	4.1 b
12μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ PAR	0.4 b	5.2 b	5.3 b	2.0 a	7.9 a	7.3 a
18μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ PAR	0.8 ab	8.2 a	8.4 a	2.2 a	8.4 a	7.4 a
24μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ PAR	0.7 ab	8.0 a	7.9 a	2.5 a	8.8 a	8.2 a

²Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at *P*=0.05.

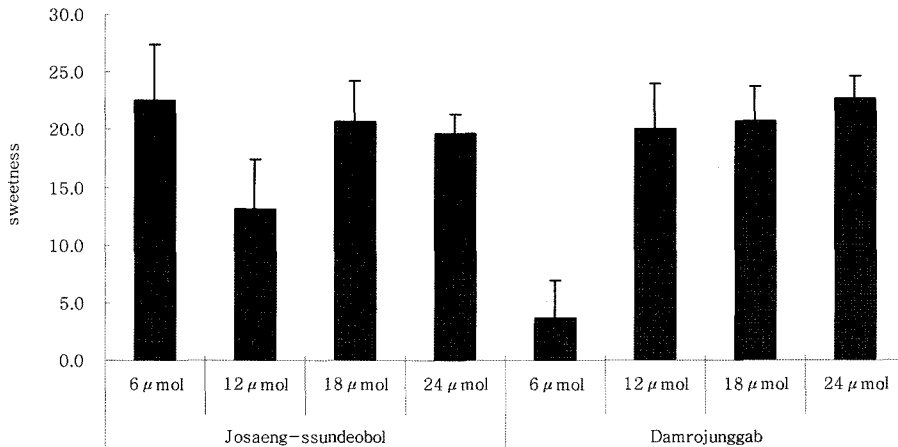


Fig. 3. Effect of supplemental lighting in different lighting intensity on the sweetness between ‘Josaeng-ssundeobol’ and ‘Damrojunggab’. Vertical bars indicate standard error.

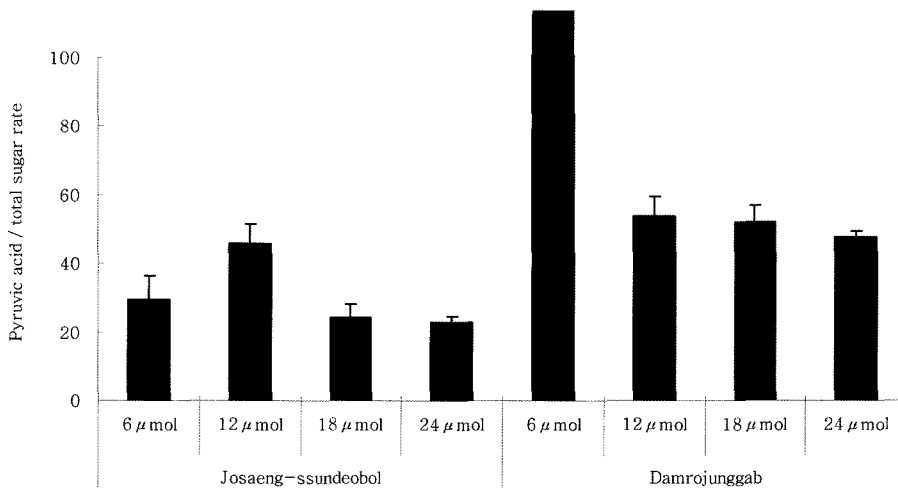


Fig. 4. Effect of supplemental lighting in different lighting intensity on the PA/TS rate between ‘Josaeng-ssundeobol’ and ‘Damrojunggab’. Vertical bars indicate standard error.

었다. 6μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 처리에서는 조생종 품종이 만생종 품종에 비해 환원당 함량이 월등히 높았고 12μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 처리에서는 만생종 품종이 더 높았다. 그러나 18μmol·m⁻²·s⁻¹ PAR 이상의 광량에

서는 품종간에 큰 차이가 없었다. 조생썬더블 품종의 유리당 함량은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 가장 낮았으며, 이 외 다른 처리구에서는 차이가 없었다. 그러나 담로중갑 품종은 $6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 가장 낮았고 다른 처리간에는 차이가 없었다.

광량을 달리 하였을 때 조생썬더블과 담로중갑 품종의 감미도는 품종에 따른 차이는 없었으나 조생종 품종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 가장 낮았고, 만생종 품종은 앞의 생육과 마찬가지로 $6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 가장 낮았으며 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 보광조건에서는 큰 차이가 없었다(Fig. 3).

양파는 당 축적에 의한 단맛과 황화합물에 의한 매운맛이 서로 어우러져서 특징적인 향미를 나타내는 작물이므로 단맛의 지표인 당 함량과 매운맛의 지표인 pyruvic acid 함량 중 어느 단독에 의해 매운맛 정도를 판단하기는 어려우며, 황화합물에 의한 감각적 매운맛이 단맛에 비해 보다 자극적이고 강하게 작용하므로 총당(TS) 함량에 대한 pyruvic acid(PA) 함량(PA/TS rate)을 측정해 본 결과, 모든 처리에서 조생종 품종에 비해 만생종 품종이 훨씬 더 높았으며 보광정도에 따라서는 조생종 품종은 $18\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 처리에서, 만생종 품종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 처리에서 매운맛이 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 4). 따라서 저온기 재배에서 감미도와 총당 함량에 대한 pyruvic acid 함량(PA/TS rate) 비율을 고려해 보았을 때 조생종인 조생썬더블 품종은 $18\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 광량으로 보광을 하고, 만생종인 담로중갑 품종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 광량으로 보광하게 되면 자연광에서 재배하는 것에 비해 pyruvic acid 함량은 낮으면서 당 함량은 높아지게 되므로 매운맛이 적은 단 양파 생산에 유용하게 이용될 것으로 생각된다.

적 요

광조건을 달리하였을 때 양파의 pyruvic acid와 당 함량 및 생육에 미치는 영향을 구명코자 하였다. 보광 처리에 따른 양파의 수확 시 생육과 pyruvic acid 및 당 함량을 비교해 본 결과, 무처리구에 비해 보광처리구가 생육이 좋았으며 pyruvic acid 함량은 낮고 당 함량은 높았다. 품종 및 보광정도에 따른 수확 시 생

육은 조생종은 광량이 증가할수록 좋았으나 만생종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상에서는 차이가 없었으며, pyruvic acid와 당 함량은 조생종에 비해 만생종이 훨씬 높았다. Pyruvic acid 함량은 조생종은 $24\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 처리에서 가장 낮았고 만생종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 처리구에서 차이가 없었다. 당 함량은 조생종은 $18\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상의 처리에서, 만생종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상에서 큰 차이가 없었다. 단 양파 육종을 위한 개체선발에 있어 지향하는 지표는 pyruvic acid 함량이 낮으면서 감미도가 높은 개체를 선발하는 것인데, 이러한 관점에서 볼 때 조생종 품종은 $18\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상으로 보광처리를 해주고 만생종 품종은 $12\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR 이상으로 보광처리를 해 주게 되면 총당 함량에 대한 pyruvic acid 함량(PA/TS rate) 비율이 낮아지므로 단 양파 생산에 유용하게 이용될 것으로 생각된다.

주제어 : 감미도, 광량, 구형지수, 만생종, 조생종

인 용 문 헌

1. 農文協. 1977. 네기類·타마네기, 第2刷.
2. Bacon, J.R., G.K. Moates, A. Ng, M.J.C. Rhodes, A.C. Smith, and K.W. Waldron. 1999. Quantitative analysis of flavour precursors and pyruvate levels in different tissue and cultivars of onion (*Allium cepa*). Food Chemistry. 64:257-261.
3. Bedford, L.V. 1984. Dry matter and pungency tests on British grown onion. J. Natl. Inst. Agr. Bot. 16:58-61.
4. Brewster, J.L. 1990. The influence of cultural and environmental factors on the time of maturity of bulb onion crops. Acta Hort. 267:289-296.
5. Darbyshire, B. and R.J. Henry. 1978. Changes in the carbohydrate content of onion bulbs stored for various times at different temperature. J. Hort. Sci. 53:195-201.
6. Darbyshire, B. and R.J. Henry. 1979. The association of fructans with high percentage dry weight in onion cultivars suitable for dehydrating. J. Sci. Food Agr. 30:1035-1038.
7. Hamilton B.K., L.M. Pike, and K.S. Yoo. 1997. Clonal variations of pungency, sugar content, and bulb weight of onions due to sulphur nutrition. Scientia Horticulturac. 71:131-136.
8. Hamilton, B.K., K.S. Yoo, and L.M. Pike. 1998. Changes in pungency of onions by soil type, sulphur nutrition and bulb maturity. Scientia Horticulturac.

- 74:249-256.
9. Jone, H.A. and L.K. Mann. 1963. Onions and their allies. Botany, cultivation, and utilization. Interscience Publ., NY.
 10. Kim, H.W., Y.J. Kim, S.K. Bae and G.S. Shim. 2001. Studies on the principal taste components in soup base of commercial ramyons. Korean J. Food Sci. Technol. 33:28-32. (in Korean)
 11. Lancaster, J.E. and M.J. Boland. 1990. Flavor biochemistry. In: H.D. Rabinowitch and J.L. Brewster (eds.), Onion and allied crops. CRC Press. Boca Raton. FL. USA, pp.33-72.
 12. Lee, E.T., C.W. Kim, Y.S. Jang, I.H. Choi, J.K. Bang, and S.K. Bae. 2007. Selection of cultivar and adaptable soil for mild onion production which are suitable to uncooked food. Treat. of Crop Res. Vol.8:447-453. (in Korean)
 13. Lu, Y.J. and J.E. Son. 2005. Effect of nutrition strength and light intensity on nutrient uptake and growth of young kalanchoe plants(*Kalanchoe blossfeldiana* 'Marlene') at seedling stage. Journal of Bio-Environment Control. 14:149-154. (in Korean)
 14. Nagai, M. 1967. Growth of onions in a summer crop. : Fresh weight and dry matter content of the leaves as indicators for measuring growth and maturity. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 36:299-305.
 15. Randle, W.M. 1992. Onion germplasm interacts with sulfur fertility for plant sulfur utilization and bulb pungency. Euphytica 59:151-156.
 16. Schwimmer, S. and D.G. Guadagni. 1962. Relation between olfactory threshold concentration and pyruvic acid content of onion juice. J. Food Sci. 27:94-97.
 17. Schwimmer, S. and W.J. Weston. 1961. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. J. Agro. Food Chem. 9:301-304.
 18. Shin, D.B., H.M. Seog, J.H. Kim, and Y.C. Lee. 1999. Flavor composition of garlic from different area. Korean J. Food Sci. Technol. 31:293-300(in Korean).
 19. Suh, H.J., S.H. Chung, J.Y. Son, H.S. Son, W.D. Cho, and S.J. Ma. 1996. Preparation of onion hydrolysates with enzyme. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 25:786-790(in Korean).
 20. Suh, J.K. 2003. Effect of day length on the growth of plug seedlings and bulbing after planting in onion (*Allium cepa* L.). Journal of Bio-Environment Control. 12:101-105(in Korean).
 21. Suh, J.K. and W.S. Lee. 1987. Effect of polyethylene-film mulching and tunnel on bulbing of Onion, *Allium cepa* L. Res. Rept. RDA(H) 29:215-227(in Korean).
 22. Vavrina, C.S. 1993. Evaluating sweet onion cultivars for sugar concentrations and pungency. HortScience 28:804-806.
 23. Wall, M.M. and N.C. Corgan. 1992. Relationship between pyruvate analysis and flavor perception for onion pungency determination. HortScience 27:1029-1030.
 24. Yoo, K.S. and L.M. Pike. 1999. Development of an automated system for pyruvic acid analysis in onion breeding. Scientia Horticulturae 82:193-201.
 25. Yoo, K.S., L.M. Pike, and B.K. Hamilton. 1995. A simplified pyruvic acid analysis suitable for onion breeding programs. HortScience 30:1306.
 26. Yoo, K.S., L.M. Pike, K. Crosby, R. Jones, and D. Leskovar. 2006. Differences in onion pungency due to cultivars, growth environment, and bulb size. Scientia Horticulture 110:144-149.