

청색파장 영역이 결여된 자연광과 고추의 생장

정 진*

(1984년 6월 2일 접수)

The Blue Color Deficient Sunlight and the Growth of Pepper

Jin Jung*

Abstract

The light quality obtained from sunlight by removing the spectral region below about 500 nm (blue light region) showed a remarkable effect on the growth of pepper. The physiological characteristics evaluated with the conventionally adopted indices at the vegetative stage revealed that the filtered sunlight improved and accelerated growth in general. In addition, the photosynthetic pigment level comprising chlorophylls, β -carotene and 5 xanthophyll components as major pigments was increased significantly in the leaves grown under the orange-colored light. The increase of pigment content was prominent for every carotenoid component rather than for chlorophylls. The strong growth activity produced by the the elected spectral quality for this work was properly demonstrated by the fruit yield ratio (filtered light/white light) which was found to be 1.35. Also confirmed was that removing the blue light region from solar radiation did not result in worsening of the food quality of matured pepper. The logic behind selection of the above light quality and some data presented was discussed on various photobiological aspects.

서 론

본 연구는 자연광의 파장선별에 의한 광환경 조절이 식물생장에 미치는 효과를 주요 원예작물을 대상으로 조사하고, 경제적 측면에서 그 농업적 실용화의 가능성을 검토하기 위하여 수행되었다.

특정 파장영역의 광이 식물체에 어떤 영향을 미칠 것인가 하는 의문은 실로 오래된 과학적 의문중의 하나다. 1783년에 이미 그에 대한 연구가 보고된 바 있고⁽¹⁾,

원예에의 응용 가능성을 타진하기 위해 1926년에 실시된 Popp⁽²⁾의 연구는 오늘날의 기준으로도 상당한 비중을 갖고 있다. 최근에는 山田등⁽³⁾ 및 中村등⁽⁴⁾이 채소류를 대상으로 주목할만한 결과를 발표하였으며 국내에서는 金등⁽⁵⁾이 고추 생육상태에 대한 광질효과를 조사한 바 있다. 1960년대에 와서는 광형태형성(photo morphogenesis)을 지배하는 파이토크롬(phytochrome)의 정체가 밝혀지면서 주로 적색광 및 청색광의 효과에 대한 많은 관심이 집중되었다^(6,7,8).

지금까지 보고된 연구결과들을 보게 되면, 식물에 미

* 서울대학교 농과대학 농화학과 (Dept. of Agricultural Chemistry, Seoul National University, Suweon, Korea)

치는 광질처리의 효과는 부정적인 결과⁽²⁾로부터 상당히 긍정적인 것^(3,4,5)까지 다양하게 나타났다. 이러한 사실은 과연 광질조절을 농업에 확대응용할 수 있을 것인가 하는 근본적인 문제에 회의론 일으키게 한다. 그러나 광은 광합성에서 뿐만 아니라 photomorphogenesis와 광파괴(photodestruction)라는 광생물학적 현상을 통해 식물생장을 조절하는 절대적 환경인자임을 감안한다면 각각의 식물체에는 분명히 최적의 광환경(또는 우리가 원하는 방향으로 식물생장을 유도할 수 있는 광환경)이 있으리라고 추정된다. 따라서 광질조절이 작물재배의 실용적 기술로 개발될 가능성은 여전히 상존하며, 다만 문제는 각각의 작물에 대해 주어진 재배조건하에서 가장 적절한 광환경이 어떤 것인지 아직 모르고 있다는 점이다.

광질효과와 다양성을 초래할 가능한 이유중의 하나는 광원의 차이(자연광인가 인공광원인가?), 자연광을 광원으로 이용한 경우는 계절적 차이와 지리적 차이(위도와 고도)에서 우선 찾아볼 수 있다. 그 밖에도 광 이외의 환경인자들, 즉 온도, 습도, 대기의 조성, 토양등의 차이에서도 찾을 수 있으며, 식물의 종류와 품종의 차이도 무시할 수 없을 것이다. 뿐만 아니라 정성적으로는 유사한, 예를 들면 색상으로 표현할 때는 동일한, 광질의 실질적인 차이도 효과의 변이를 보이는데 큰 몫을 차지할 수 있었을 것이다.

본 연구에서는 일차적으로 고추를 연구대상 작물로 택했다. 그 까닭은 고추가 우리나라에서는 가장 중요한 원예작물로서(1981년 현재 총 채소재배 면적의 약 41%⁽⁹⁾) 상당히 넓은 지역에서 플라스틱하우스 재배가 이루어지고 있다는 사실 때문이다. 현실적으로 볼 때 광질조절의 긍정적인 효과가 밝혀지는 경우에 플라스틱하우스 재배에서 그 일차적인 응용을 기대할 수 있을 것이다.

재료 및 방법

1. 광질조절과 재배

재배는 서울대학교 농과대학 부속 농장에서 1982년 ~1983년 사이에 3차에 걸쳐 실시하였다.

<재배 1>

공시품종 : 새로나건고추 (홍농종묘)

재배기간 : 1982. 9. 9~10. 8

광질처리기간 : 전 재배기간

60 cm×50 cm×20 cm의 플라스틱돛트에 약 10 cm간격으로 줄뿌림하여 파종했으며, 120 cm×120 cm×120 cm의 입방형 나무후레임들을 짜서 (Fig. 1)의 광흡수성질을 갖는 유색(적, 청 및 주황) 셀로판지들로 각각

씩 위 이것을 상기의 돛트위에 덮었다. 온도, 습도, 환기 상태등 광 이외의 환경 조건을 모든 처리구에서 동일하게 유지하기 위하여 지상 20 cm씩 사면의 셀로판지막을 열어 두었으며, 토양습도 및 내부 기온을 수시로 측정하므로써 모든 광질처리구가 실질적으로 광질을 제외하고는 동일한 환경하에 있음을 확인하였다. 수시로 습윤질을 하여 밑식에 의한 효과를 최대한 막았다.

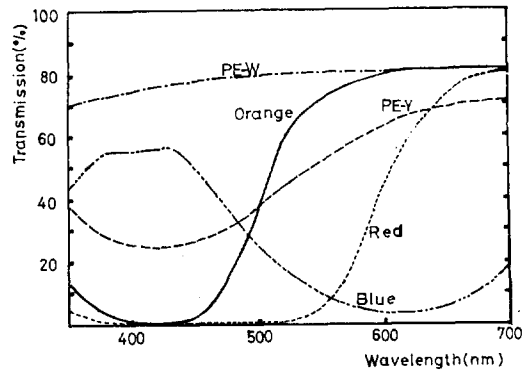


Fig. 1. Absorption spectra of various colored cellophane and polyethylene films used for the light quality control

Orange; orange-colored cellophane

Red; red-colored cellophane

Blue; blue-colored cellophane

PE-Y; yellow orange-colored polyethylene

PE-W; white colored-polyethylene(control)

<재배 2>

공시품종 : 새로나건고추 (홍농종묘)

재배기간 : 1983. 7. 13~9. 13

광질처리기간 : 전 재배기간

재배 1에서 유묘기에 가장 긍정적인 생육상태 변화를 보여주었던 주황색광(Fig. 1: orange)의 효과가 전 영양생장기를 통해 어떻게 변화하는가를 보기 위한 재배실험이다. 250 cm×600 cm×200 cm의 소형 플라스틱(PE) 하우스를 만들고 내면을 주황색 셀로판지(Fig. 1)로 덧씌워 이중막을 만들어서 하우스내의 광질을 조절하였다. 그 속에서 직경 10 cm의 육묘용 돛트에 파종하여 가식하지 않고 묘령 40일째에 바로 정식하였다(정식거리 : 45 cm×45 cm). 통풍에 유의하였고, 하우스 내의 온도를 대조구인 동형의 무색 폴리에틸렌하우스의 온도와 동일하게 유지하였다.

<재배 3>

공시품종 : 한별고추 (중앙종묘)

재배기간 : 1983. 3. 12~10. 24

광질처리기간 : 전 재배기간. (단 일부는 파종후 85일

간 주황색광처리후 자연광에 노출시켰다.)

육묘장을 이용하는 춘기육묘시 광질이 영양생장기의 생육상태와 생식생장기의 결실에 미치는 효과를 보기 위하여 전작기에 걸쳐 행한 실험이다. 재배는 관행법에 준하였다. 다만 가식은 본엽 5개째 되었을때 1회만 실시하였고 묘령 55일에 정식(정식거리 45 cm×45 cm)하였다. 하우스의 크기는 재배 2에서와 같다.

재배 1 및 2에서 사용하였던 유색 cellophane은 광질조절의 실용적 방법이 될 수 없으므로, 비교적 유사한 광학적성질을 갖는 유색 플라스틱 피복재(Fig. 1, PE-Y)를 위축제조(풍년화학공업사, 전남광주)하여 이것을 파종후 정식시까지 사용하였다. 그러나 PE-Y는 그 색상의 광안정성이 극히 불량하여 광질 유지를 위해서는 최소한 15일에 한번씩 교환하지 않을 수 없었으며 기온이 상승하고 자연광 강도가 높아지는 4월 중순 이후에는 더 잦은 교환이 필요하였다. 따라서 5월 5일 정식때부터는 이를 철거하고 재배 2에서와 동일한 방법으로 주황색 cellophane을 이용하여 광질을 조절하였다.

개화하기 시작할 무렵에서부터 살충제와 살균제(프로시유제 및 다이센분제)를 일주일 간격으로 혼용살포하였다.

2. 생육상태조사 및 광합성색소계와 숙과의 영양성분 분석

영양생장기의 생육상태는 초장, 잎수, 잎면적, 분지수, 건물중, 잎세포수 및 기공수를 관행의 방법으로 측정하여 성장지표로 삼았다. 각 재배구에서 무작위로 선발한 10~20주의 평균치를 이용하였다.

세포수 및 기공수의 측정을 위해서는 분지하기 이전에는 주지의 중간잎을, 분지한 후에는 최종분지의 바로 앞분지의 중간잎을 택하였다(4주 3반복).

잎중의 chlorophyll은 소량의 MgCO₃를 함유한 80% acetone 수용액을 추출용액으로 쓰는 Arnon⁽¹⁰⁾의 방법에 준하였으며, carotenoids는 n-hexane, acetone 및 ethylether로 추출하고 TLC로 분리하는 Hager와 Mayer-Bertenrath⁽¹¹⁾의 방법을 따랐다. Carotenoids의 각 성분의 확인은 최대흡수과장의 비교⁽¹²⁾, n-hexane/methanol 시스템에서의 분배계수측정⁽¹³⁾ 및 epoxy test⁽¹⁴⁾의 병행으로 이루어 졌다.

고추숙과의 영양성분 분석은 신미성분인 capsaicin과 유리당 및 비타민 C에 한하였다. 분석과정은 기존 문헌상의 흡광법^(15, 16, 17)에 준하였다. 즉 capsaicin인 경우 phosphomolybdic-phosphotungstic acid와 monosodium phosphate를 발색시약으로, 유리당의 경우 anthrone시약을 발색시약으로, 그리고 비타민 C인 경우 다음과 같은 일련의 시약을 사용하여 발색시켰다.

2, 6-dichlorophenol indophenol-thiourea-metaphosphoric acid-dinitrophenylhydrazin-H₂SO₄.

결과 및 고찰

광질조절을 통해 작물에 대한 최적 광환경을 찾기 위한 시도로서 본 연구에서는 우선 다음과 같은 가정을 세웠다.

첫째, 연간 일조량이 상당히 큰 우리나라에서는 많은 고등식물에 있어서 chlorophyll이 흡수하는 가시광과장영역의 자연광만으로도 광합성에 요구되는 광량은 충분할 것이다.

둘째, phytochrome이 중재하는 식물성장 유도는 실질적으로 장과장영역의 가시광선에 의해서만 결정될 것이다. Intact phytochrome의 흡수스펙트럼⁽¹⁸⁾에서 예견하는 바와는 달리 *Arabidopsis thaliana* 발아의 광유도 action spectrum⁽¹⁹⁾을 보면 과장 400 nm 이하의 가시광에는 발아유도의 효능이 거의 없음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 고강도의 광을 이용하여 측정된 상치 배축(hypocotyl) 성장의 action spectrum⁽²⁰⁾에서 500 nm 이하의 단과장영역 가시광이 상당히 큰 성장저해 효과만을 보여 주었다. 유사한 결과는 상치의 발아유도 및 저해를 보인 action spectrum⁽²¹⁾에서도 나타난다.

셋째, 일반적으로 식물 세포에는 아직 확인되어 있지 않은 청색광센시타이저(blue light photosensitizer)가 존재할 것이다. 조류(algae)인 *C. vulgaris*의 carotenoids결여 mutant strain은 산소 존재 하에서 대표적인 세포내 photosensitizer(chlorophyll)가 흡수하는 과장영역(적색광)에서 보다는 오히려 청색광에서 훨씬 효과적인 색소과피현상을 보였다⁽²²⁾. 이러한 관찰에서 blue light photosensitizer의 존재가능성은 일찍이 고려되었다. 더우기 흥미있는 사실은 상기 *C. vulgaris* mutant에서 blue light 효과가 색소과피로 나타나기 전에 먼저 현저한 세포대사 저해로 나타났다는 점이다. 이것은 세포대사 시스템에 어떤 종류의 blue light photosensitizer가 있음을 시사한다고도 볼 수 있다. 또한 N₂ 대기 하에서 강력한 청색광이 세포대사 저해 및 색소과피의 효과를 보이지 않았다는 관찰은 그 효과가 광역학적 작용(photodynamic action)의 결과임을 의미한다.

세포대사 시스템에서 photodynamic action을 통해 세포구성성분 물질에 화학적 변화를 야기할 수 있는 photosensitizer의 후보로서는 우선 flavin계의 화합물을 고려해 볼 수 있다. TCA cycle 및 호흡계 등 중요한 세포대사 시스템에서 필수적인 효소들의 조효소인 FMN은 유리된 상태에서 잘 알려진 photosensitizer이다⁽²³⁾.

24). 그런데, 단백질에 결합된 상태의 FMN도 역시 photosensitizer의 기능을 가질 수 있다. 물론 FMN을 prosthetic group으로 갖는 모든 단백질에서 그 기능이 조사된 바는 아니지만 flavodoxin들을 위시한 수종의 flavoprotein들에 관한 Tollin의 길이 있고 광범위한 연구들에서 확인되었으며 이는 널리 알려진 사실이다^(25,26,27). FMN은 자유기 기작(free radical mechanism)을 통한 photosensitizer로 알려져 있다⁽²⁴⁾.

단과장 photosensitizer가 될 수 있는 또 다른 색소들은 cytochrome, peroxidase 및 catalase 등 세포내 porphyrins을 들 수 있다. 옥수수 잎에서 관찰된 catalase의 광활성 효과는 그 효소의 최대 광흡수파장인 405 nm에서 최대를 보였을 뿐 아니라, 산소를 제거한 용액에서는 광활성이 거의 일어나지 않았다는 보고⁽²⁸⁾는 주목할만 하다. Porphyrins는 단일상태 산소기작(singlet-oxygen mechanism)을 보이는 photosensitizer의 대표적인 예다.⁽²⁴⁾

이상의 세 가지 가정 하에서 본 연구에서 실시하게 될 광질조절은 chlorophyll와 phytochrome이 흡수하는 광과장영역의 광을 최대한 이용하는 대신 청색광을 차단하는 일이다. 물론 청, 녹색광의 차단은 chlorophyll의 soret band에 의한 흡수를 막게 되지만 광량이 풍부한 환경 하에서는 광에너지 채취를 soret band에 까지 의존하지 않을 수 있으며, 실제로 잎중에 carotenoids에 의한 여광효과 때문에 그 광채취 효율은 별로 크지 못할 것이다. Flavin과 porphyrins을 세포내의 가능성 있는 photodynamic sensitizer로 상정하여 이들의 흡수 spectra와 고강도 청색광 피해를 보이는 상치 백색생장의 photomorphogenic action spectrum⁽²⁰⁾에 근거하여 약 300~500 nm영역의 광차단은 합리적이다.

시중에서 구입한 주황색상의 cellophane은 우연히도 본 실험에서 의도하는 바에 비교적 잘 부합되는 광학적 성질을 보여 주었다(Fig. 1). 한편 청색 cellophane은 전자와 거의 상반되는 성질을 보여주었으므로 비교 실험에 적절하다고 판단되었다. 단과장영역의 차단은 주황색 cellophane과 동일한 반면 500~600 nm영역의 광까지 차단하는 적색 cellophane도 비교 목적으로 사용되었으며 이것은 광과장 차단의 한계에 대해 어떤정보를 얻게 될 것으로 기대되었다.

1982~1983년에 걸쳐 세 차례 실시한 고추의 영양생장에 미치는 광질처리 효과를 Table 1에 표시하였다. 소규모로 실시한 재배실험 1에서 주황색광의 효과가 가장 긍정적으로 평가되었으므로 좀 더 확대된 실험 2와 실험 3에서는 주황색광만을 택하였다. 청색광은 자연광 대조구에 비하여 줄기가 가늘고 잎수가 적어지며 잎색

이 연해지는 반면 초장이 비정상적으로 길어지는 도장과도 유사한 성장상태를 보였다. 초장이 길어진다는 점에서는 주황색광 하에서도 유사한 효과가 보이나 그대신 잎수나 잎면적 및 줄기의 굵기등에서 전반적으로 건실한 초형이 유지되었다. 주황색광의 성장 촉진효과는 실험 3에서 다시 확인되었다. 그 효과는 두 가지 다른 품종에 대해 계절적 차이가 있는 세 재배 기간에서 모두 나타났다. 식물생장을 지배하는 많은 환경인자들의 계절적변화에도 불구하고 광질효과가 여전히 반전되지 않았다는 사실은 환경인자로서의 광질의 막중한 역할을 시사한다고 하겠다.

실험 3에서는 청색광의 차단효과가 앞 실험들에 비해 상대적으로 적게 나타났다. 이는 계절적 차이 혹은 품종의 차이에 그 이유를 들릴 수도 있으나, 파종후 54 일 간의 유효기 동안을 주황색광과는 다소 차이가 나는 광처리(Fig. 1, PE-Y)를 받은 후 30일 동안만 주황색광 처리를 받고 자랐다는 사실에서 그 원인을 찾을 수도 있다. 즉 다소 차이가 나는 광질효과가 성장상태에 적절히 반영된 결과라는 추정이 가능하다.

청색광차단(내지 감량)이 보여주는 성장촉진 효과와 광합성색소계 구성물질들의 함량변화와의 관계는 Table 2가 보여준다. 상이한 계절에 성장한 상이한 두 품종의 잎에서는 모두 주황색광 처리구에서 chlorophylls을 위시하여 carotene 및 xanthophylls의 모든 색소들의 함량이 백색광 대조구에 비하여 예외없이 높게 측정되었다. 특히 chlorophylls보다는 carotenoids에서 상대적인 함량증가가 현저하였다. 아울러 성장효과가 더욱 크게 보였던(Table 1) 실험 2에서의 색소함량 변화효과가 실험 3에 비하여 크게 나타난 것도 주목할 만한 일이다. 비록 정량적이라고는 할 수 없으나 생장력과 광합성 색소계의 함량 및 조성과의 상관 관계를 보여주는 결과로 보이기 때문이다.

청색광차단이 색소계에 미치는 효과는 광형태 형성적 측면에서 우선 해석해 볼 수 있다. 고강도의 광조사 조건에서 상치 배축의 생장저해를 일으키는⁽²⁰⁾ photoreceptor와 유사한 청색광 photoreception system이 고추조직에 존재하여 그것이 색소들의 생합성을 저해할 지도 모른다는 관점이다. Fig. 1에서 보듯이 주황색광 처리구(orange)와 백색광 대조구(PE-W)에서 광과장영역의 광은 실제로 질과 양과 조사시간에서 동일하다. 물론 적색광/원색광의 비율은 동일하다. 그렇다면 주로 광과장영역에서 광형태형성적 활성을 보이는 phytochrome의 관여를 Table 2의 결과에 결부시키기에는 어려움이 있다. 따라서 색소합성을 저해하는 청색광 photoreceptor의 존재를 가상할 수 밖에 없다. 그런데 색소합성과 관련된 청색광 photoreception system은 지

Table 1. Growth characteristics of pepper at vegetative stage exposed to various light quality

Treatment	Stem length (cm)	No. of leaves	No. of branches	Leaf area (cm ²)	Dry weight (g)	No. of cells/mm ²	No. of stomata/mm ²	Exp. No.*
Control(natural light)	5.0	3.8						
Blue	10.3	3.8						
Red	8.9	4.0						
Orange	12.1	5.9						(1)
Control	49.0	23.8	4.6	109.6	1.77	558	163	
Orange	65.8	35.6	9.2	356.2	3.45	775	226	(2)
Control	60.5	159.7	41.0	1428	17.0	233	90	
Orange**	78.2	166.3	48.0	1691	19.9	520	200	(3)

* (1) Variety: *Saerona*, Seeding date: 1982.9.9, Sampling date: 1982.10.8.

(2) Variety: *Saerona*, Seeding date: 1983.7.13, Sampling date: 1983.9.13.

(3) Variety: *Hanbyeol*, Seeding date: 1983.3.12, Sampling date: 1983.6.5.

**The plants were originally grown under PE-Y (refer to Fig. 1) for 54 days from seeding (1983.3.12~5.5), then placed orange light treatment for 30 days.

Figures are significant at 5% level.

Table 2. Contents of the photosynthetic pigments from leaves of pepper at the vegetative stage exposed to orange light, compared to control: contents are mg/gr of fresh leaf

Pigment content & their ratio	Exp. No. 2*			Exp. No. 3**		
	Control	Orange	Orange Control	Control	Orange	Orange Control
Chlorophyll a	1.063	1.237	1.164	1.268	1.412	1.114
Chlorophyll b	0.423	0.452	1.069	0.505	0.515	1.020
β -Carotene	0.070	0.105	1.500	0.084	0.098	1.167
Lutein	0.102	0.138	1.353	0.112	0.144	1.286
Antheraxanthin	0.036	0.060	1.667	0.029	0.058	2.000
Violaxanthin	0.025	0.031	1.240	0.034	0.041	1.206
Neoxanthin	0.044	0.056	1.273	0.045	0.056	1.244
Total carotenoids	0.277	0.390	1.405	0.304	0.397	1.309
Chlorophyll a	2.5 : 1	2.7 : 1		2.5 : 1	2.7 : 1	
Chlorophyll b						
Chlorophylls	21.3 : 1	16.1 : 1		21.0 : 1	19.7 : 1	
β -Carotene						
Chlorophylls	5.4 : 1	4.3 : 1		5.8 : 1	4.8 : 1	
Carotenoids						

*Variety: *Saerona*, Seeding date: 1983.7.13, Sampling date: 1983.9.13.

**Variety: *Hanbyeol*, Seeding date: 1983.3.12, Sampling date: 1983.6.5.

금까지 알려진 바로는 곰팡이나 박테리아에서 순전히 생리적 반응에 의해서만 특성이워진 통칭 cryptochrome이 있다. 그러나 flavin 또는 carotenoids의 흡수 spectra와 유사한 action spectrum을 보이는 cryptochrome이 관여하는 생리적 반응은 유감스럽게도 carotenoids의 생합성 유도였다(29). 따라서 cryptochrome이 고등식물체에 존재할 것인가 하는 의문에 앞서 청

색광차단이 보여준 Table 2의 결과는 색소합성과 관련하여 유일하게 알고 있는 광형태형성물질—cryptochrome의 고려를 배제한다.

청색광의 photodynamic effect로서 Table 2의 결과를 해석하는 일은 오히려 합리적일 수 있다. Flavins, porphyrins 등 식물 세포내에는 청색광 photosensitizer 가 될 수 있으며 세포대사를 지배하는 물질들이 있음은

Table 3. Effect of various light-treatments on the yield of matured red pepper

Treatment	No. of fruit /plant	F.W./fruit (gr)	F.W./plant (gr)	D.W./fruit (gr)	D.W./plant (gr)	Yield ratio
Control	57.8	13.10	735.4	2.08	120.1	100
Orange	68.4	15.20	1039.7	2.37	162.1	135
Natural light after orange	74.8	12.68	948.6	2.06	153.0	127

Variety; Hanbyeol, F.W.; fresh weight, D.W.; dry weight.

*The vegetative stage(1983.3.12~6.5) was under orange light treatment, followed by the reproductive stage(1983.6.5~10.24) under natural white light treatment.

Figures are significant at 5% level.

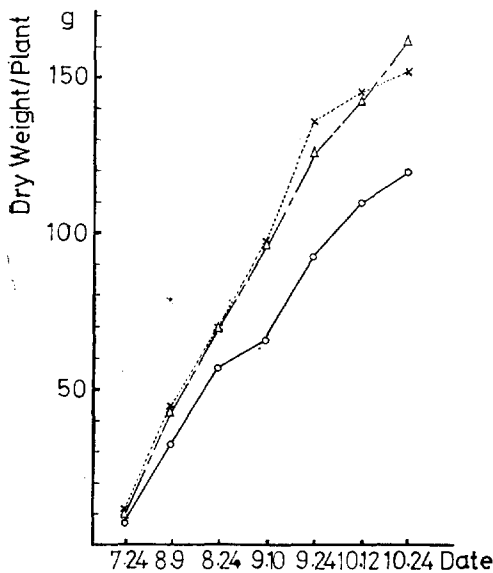


Fig. 2. Daily change of cumulative yield of dried red pepper

Variety; Hanbyeol, seeding date; 1983.3.12

○—○; control

△—△; grown under orange light

×--×; grown under orange light from Mar. 12 to June, 5, thereafter grown under white natural light

앞에서도 언급한 바 있다. Photosensitizers는 광을 흡수하여 활성화된 다음 산소존재 하에서 singlet oxygen (1O_2)를 생성하거나(singlet oxygen mechanism), 또는 free radical로 변환된 후 산소와 반응하여 superoxide (O_2^-) 또는 다시 일련의 반응을 거쳐 과산화수소를 생성하게 된다⁽²⁴⁾(free radical mechanism). 1O_2 , O_2^- 및 H_2O_2 는 모두 반응성이 강한 화학종들로서 산화 반응을 일으킨다. 특히 화학물의 불포화결합을 잘 공격한다. 만약 photosensitizer가 flavin과 같이 free radical mechanism를 따른다면 free radical이 생성되는 과정에서 이미 기질의 산화를 일으키게 된다. 따라서 이차적으로

생성된 O_2^- 나 H_2O_2 에 의한 화학적 반응이 아니더라도 생화학적으로 중요한 화합물에 대한 광과피효과는 일어날 수 있다.

Chloroplast, mitochondria, peroxisome등 세포 소기관들에는 porphyrins 및 flavins들이 중요한 단백질들의 prosthetic group으로 반드시 필요하며, 필요의 충족을 위하여 성장하는 식물체에서는 그들의 생합성이 끊임없이 계속되고 있다. 이 같은 단백질과 결합되지 않는 유리상태의 photosensitizer들도 상당량 존재할 것이라는 점을 강조하기 위함이다. 왜냐하면 결합된 상태의 porphyrins와 flavins가 photosensitizers로서는 일반적으로 비효율적이므로 photodynamic action이라는 관점에서 청색광 차단효과를 해석하려는 데에 대한 회의를 담하기 위해서다.

청색광 photosensitizer가 관여되었을 것이라는 관점에서, 기왕에 합성된 광합성 색소가 광역학적 과피작용에 의해 감소되었다고 해석되어 진다. 청색광차단의 효과가 chlorophylls 보다는 carotenoids함량증가에서 더욱 현저하였다는 사실로 보아 carotenoids의 과피가 우선적으로 일어나고, 그 결과 광보호효능이 저하되어 chlorophylls의 과피를 효과적으로 막지 못하였다는 추론은 가능한 일이다.

그런데 Table 1과 Table 2의 결과를 보고 광합성 색소의 함량이 증가하였으므로 생장이 향상되었다는 결론을 내리는 일은 유효하여야 한다. 색소함량 변화를 오히려 성장상태 변화의 한 지표로 보는 것이 옳을런지 모른다. Photodynamic action의 측면에서 보더라도 물질의 광과피는 비단 광합성 색소계에서만 일어날리가 없기 때문이다. 세포대사 시스템의 손상, 기질의 과피와 그에 따른 유독성물질의 생성등 식물생장을 저해하는 복합적인 생화학적 사건들이 일어날 수 있는 일이다.

영양생장기에 관찰하였던 긍정적인 효과(Table 1)가 생식생장기에는 어떻게 나타날 것인가를 조사하였다. 육안에 의한 판단으로는 전반적으로 영양생장기에서와

유사한 생육상태를 유지하였으며, 재배실험 3에서는 1983년 7월 24일부터 수확수확을 시작하여 동년 10월 24일 기온의 급강하로 수확을 종결할 때까지의 수확량을 조사하였다. 수확기간중 어떤 시기에도 주황색광 처리구가 대조구에 비해 25~45%의 증수를 보여주었으며 (Fig. 2) 주당 실과수와 실과 개당 중량에서 모두 주황색광 처리구가 크게 나왔고, 최종 수확량은 중량 기준으로 대조구대비 35%의 증수를 나타내었다 (Table 3). 수확수확 종결시에 남아 있는 미숙과 및 청과의 총량은 주황색광 처리구의 것이 대조구에 비해 대략 2배에 해당하였다. 이 사실은 9월 24일 이후에 수확량 누계곡선 (Fig. 2)이 대조구에서 더욱 완만해지는 추세를 보이는 것으로 알 수 있다. 물론 정량적인 표현이라고 할 수는 없으나 수확기간이 좀더 연장되었다면 (혹은 과중을 일찍했다면) 35%의 증수를 상당히 증가했으리라고 본다.

생식생장기에 들어서면 광합성이 보다 왕성해져서 청색광은 그 부정적 효과에도 불구하고 광합성에 요긴하게 이용될지도 모르며, 그렇다면 그 부정적 효과와 긍정적 효과는 서로 경쟁관계를 갖게 될지 모른다. 이를 검토하기 위하여 생식생장기에 접했을 때 주황색광 처리구의 일부를 자연광에 완전 노출시키고 그 결과를 조사하였던 바 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 전 기간 주황색광 처리구와 유사한 결과를 보여주었다. 다만 수확 종결시기에 가까워지면서 수확량 누계곡선의 진전추이가 대조구의 그것과 유사하였고, 실제로 미숙과 및 청과의 총량 역시 주황색광 처리구의 65%, 대조구의 1.3배에 불과하였다는 점은 주목할 만한 일이다. 이러한 사실은 영양생장기에서의 왕성한 발육이 상당한 기간의 활발한 생식을 결정하였으나 생식생장기간에 이루어지는 상대적으로 불리한 영양생장이 후기에 가서는 결국 생식력의 저하로 발현된 것이 아닌가 추정된다. 따라서 생식생장기를 보다 길게 유지할 수 있는 조건이 주어질 때는 생식생장기에 접어든 후에도 상당한 기간 광처리를 계속하는 것이 증수효과를 높이는 데 필요한 일이라고 판단된다. 광질조절을 통해 수확량에서는 분명히 고무적인 결과를 얻었지만, 식품으로서의 고추의 품질상에 어떤 부정적인 효과가 생겼다면 그 가치는 소실되고 만다. 따라서 고추숙과의 품질결정에 가장 중요하다고 판단된 capsaicin과 vitamin C 및 유리당을 분석하였고 (Table 4) 색상을 비교하였다. 주황색광 처리구에서 capsaicin 및 vitamin C가 8~10%증가되었고 유리당이 ~8% 감소되었지만 분석수치의 유의성 수준을 고려하면 그와 같은 차이는 크게 의미가 없으며 실질적으로 차이가 없다고 보는 것이 합리적이다. 색상은 육안의 판단에 의하면 전혀 구별할 수 없었다.

Table 4. Contents(mg/gr dried red pepper) of capsaicin, free sugar and vitamin C

Treatment	Capsaicin	Free sugar	Vitamin C
Control	0.599	102.3	1.173
Orange	0.646	93.5	1.346
Natural light after orange	0.565	120.4	0.999

Variety; Hanbyeol

*The vegetative stage(1983.3.12~6.5) was under orange light treatment, followed by the reproductive stage(1983.6.5~10.5) under natural white light treatment.

Figures are significant at 5% level.

한편 재배 2와 재배 3의 실험종결 직후 최저기온이 -1.8°C까지 강하했을 때, 백색광 대조구의 고추가 심한 냉해를 입어 수침현상을 보인후 곧 고사되었음에 반하여 주황색광 처리구에서는 거의 냉해현상을 보이지 않았다. 청색광의 차단이 분명히 고추의 내병성을 향상시킨 결과라고 해석된다. 식물의 내병성과 생체막지질의 불포화도와의 상관관계에 관한 많은 기존의 보고^(30,31)로 미루어 보아 청색광은 막지질의 불포화도를 감소시키는 효과를 갖는 것으로 추정되었고, 현재 본 연구실에서는 mitochondria의 막지질을 분리하여 그 확인작업을 진행중에 있으며 그 대답은 긍정적인 쪽으로 기울고 있다. 이 사실에서 저자들은 다시 한번 청색광의 광역학적 파괴효과를 고려하지 않을 수 없다.

요 약

약 500 nm이하의 파장영역(청색광)이 차단된 태양광은 고추의 성장에 팔복할만한 효과를 보였다. 영양생장기의 여러가지 성장지표들은 전반적으로 생육상태가 향상 내지 촉진되고 있음을 보여주었다. 한편, chlorophyll a, β-carotene, 및 다섯가지 성분의 xanthophyll을 주성분으로 하는 것으로 밝혀진 고추의 광합성색소계의 수준은 광질처리구의 앞에서 백색광 대조구에 비하여 높게 나타났다. 특히 carotenoid들의 함량증가가 보다 현저하였다. 광질 처리효과로 생긴 왕성한 생장력은 숙과의 수량형성에도 반영되어 대조구대비 35%의 증수를 보였다. 또한 청색광을 차단한 광질처리가 식품으로서의 숙과의 품질을 저하시키는 일이 없음도 아울러 확인하였다. 본 연구에 사용한 광질을 선택한 논리적 근거와 실험결과들을 여러 가지 광생물학적 측면에서 토의하였다.

참 고 문 헌

1. Tessier (1983): Histoire de l'Academie des Sciences de Paris, pp.133~156.
2. Popp, H. W. (1926): *Amer. Jour. Bot.*, **13**, 706.
3. 山田 英一, 中村 浩, 清水 達夫 (1977): 野菜試驗場 報告, A3, 43.
4. 中村 浩, 山田 英一, 清水 達夫 (1977): 野菜試驗場 報告, A3, 63.
5. 김 광수, 노 승문, 김 순동, 이 성우, 윤 태현 (1977): 한국농화학회지, **20**(3), 296.
6. Erner, E., Goren, R. and Monselise, S. P. (1972): *Physiol. Plant*, **27**, 327.
7. Erez, A. and Kadman-Zahavi, A. (1972): *Physiol. Plant*, **26**, 210.
8. Jen, J. J. (1974): *J. Food Sci.*, **39**, 907.
9. 대한민국 농수산부(1982): 농림통계 연보, 73.
10. Arnon, D. I. (1949): *Plant Physiol.*, **24**, 1.
11. Hager, A. and Meyer-Bertenrath, T. (1966): *Planta(Berl)*, **69**, 198.
12. Hager, A. and Meyer-Bertenrath, T. (1967): *Planta(Berl)*, **76**, 149.
13. Petracek, F. J. and Zechmeister, L. (1956): *Anal. Chem.*, **28**, 1484.
14. Davis, B. H. (1965): *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment* (ed. Goodwin, T. W.). Academy Press, New York, pp.489.
15. 이 춘영, 박 성오 (1963): 한국농화학회지, **4**, 33.
16. 이 성우, 김 광수, 이 수성, 조 영관 (1973): 한국원예학회지, **13**, 27.
17. 照内淳也 (1964): *ビタミン定量法*(八木國夫編), 醫齒藥出版, 東京, p.124.
18. Song, P. S. (1984): *Advanced Plant Physiology* (ed. Wilkins, E. D.) Pitman Press, Great Britain p. 346.
19. Shropshire, W. J., Klein, W. H. and Elstad, V. B. (1961): *Plant Cell Physiol.*, **2**, 63.
20. Hartman, K. M. (1967): *Z. Naturforsch.*, **22b**, 1172.
21. Flint, L. H. and McAlister, E. D. (1937): *Smithsonian Inst. Misc. Collections*, **96**, 1.
22. Kandler, O. and Schötz, F. (1956): *Z. Naturforsch.*, **116**, 708.
23. Green, M. and Tollin, G. (1968): *Photochem. Photobiol.*, **7**, 129.
24. Spikes, J. D. (1977): *The Science of Photobiology* (ed. Smith, K. C.): Plenum Press, New York, p.88.
25. Edmondson, D. E. and Tollin, G. (1971): *Biochemistry*, **10**(1), 133.
26. Shiga, K. and Tollin, G. (1976): *Flavins and Flavoproteins* (ed. Singer, T. P.) Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, pp.422.
27. Jung, J. and Tollin, G. (1981): *Biochemistry*, **20**, 5124.
28. Mitchell, R. L. and Anderson, I. C. (1965): *Science*, **150**, 74.
29. Rau, W. (1980): *The Blue Light Syndrome*(ed. Senger, H.), Springer, Berlin-Heidenberg-New York, pp.283.
30. 정 진, 김 영기, 박 상규 (1983): 한국농화학회지, **26**(1), 58.
31. Lyons, J. M. (1973): *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **24**, 445.