

참억새 및 수크령의 광도차에 따른 생육변화 및
가스교환에 미치는 영향*

곽혜란¹⁾ · 이종석¹⁾

¹⁾ 서울여자대학교 원예학과

Effect of Different Light Intensities on the Growth and
Leaf Gas Exchanges in *Miscanthus sinensis* and
Pennisetum purpurascens.*

Kwack, Hye Ran¹⁾ and Lee, Jong Suk¹⁾

¹⁾ Dept. of Horticulture, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea.

ABSTRACT

This experiment was conducted to investigate the effect of light intensities on the growth responses, carbohydrate contents and the characteristics of leaf gas exchange in *Miscanthus sinensis* and *Pennisetum purpurascens*. The plant height and leaf length were increased to about 30% in the sun. However, those were reduced severely in the shade, and leaf necrosis was also observed. The representative growth index and the dry weight of 2 species were 50% higher than shade and the rate was reduced according to the decrease of light intensities. Total carbohydrate contents showed very similar changes to that of dry weight. However, any notable influences were observed at above the light intensities of $250 \sim 500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in the half shade. The size of spikes and the earliest spiking appeared in the sun and the spike color was decolorized as decreased in light intensities, irrespective of species.

Photosynthetic rate of 2 species was 2 times higher in the sun than those in the shade, and it showed the typical photoresponses of sun plant. Stomatal conductances and intercelluar CO_2 concentration showed similar changes to that of photosynthetic rate. On the contrary, vapor pressure deficit was increased more in the shade than in the sun.

Key Words : *Growth responses, Dry wight, Carbohydrates content, Leaf gas exchanges.*

* This study was supported by the acadmic research fund of Agricultural R&D Promotion, Rebulic of Korea in 2003.

I. 서론

참억새(*Miscanthus sinensis*), 락(Imperata cylindrica), 수크령(*Pennisetum purpurascens*) 등은 목초류(Grasse)에 속하는 다년생 초본류로서 강건한 생육특성 때문에 우리나라, 일본, 중국을 비롯한 동북아시아 지역에 널리 분포하며 각 개체군에 따른 다양한 개엽 및 개화시기, 생식식속기간, 생장, 생태적 특성을 지니고 있다. 따라서 우리나라에서는 이들을 대상으로 한 생산성 특성이나 개체군 동태 및 자원생물학적으로 유용성이 높은 경제작물로서의 특성 및 이용도에 관한 연구들이 폭넓게 이루어져 왔다(Kim, 2000; Lee, 1985). 특히 2차 천이식물로서 강한 광선이나 고온, 건조 등의 환경조건 하에서도 이산화탄소흡수율이 높은 C₄형 식물로서 생육이 좋은 특성 때문에 토양 피복식물로서도 널리 이용되어 왔다(Kim, 2000). 현재 벼과식물의 경우 위에 언급된 특성 외에도 구미각국에서는 벼과식물을 포함한 다양한 목초류를 생태적 활용방안이 아닌 원예 및 조경용 식물소재로서 다각적으로 활용하고자 하는 움직임이 활발히 이루어지고 있으며 그중에서도 참억새(*Miscanthus sinensis*)는 중요한 정원용 관상식물로서 그 가치가 매우 높아지고 있다(Darke, 2000). 그러나 억새류에 관한 생리생태적 연구나 자원생물학적 연구 등에 관한 연구는 국내 외로 많이 보고되고 있으나(Kim, 2000; Lee, 1985) 관상가치가 높은 우수개체 선발이나 지속적 공급 및 원예적 이용을 위한 최적 생육환경구명이나 대량번식 등에 관한 연구는 매우 미진한 실정이다. 이와 관련 본 실험에서는 광범위한 벼과식물 중에서 비교적 대중적이며 관상가치가 높은 자생종 참억새와 수크령을 대상으로 원예적 이용과 관련, 최적 생장환경구명을 위한 기초연구로서 광도차에 따른 다양한 생육변화 및 가스교환에 미치는 영향을 살펴보았다.

II. 연구방법

공시된 식물은 국내 자생종인 참억새와 수크

령 종자를 제주도 일대에서 2003년 1월 중순에서 하순에 걸쳐 종자를 채취한 후 동년 2월 초에 서울여자대학교 포장에 각기 파종하여 재배하였다. 이때 광도는 차광막(가리소, 50% 차광용)처리를 하지 않은 것을 양지, 차광막 1겹 처리한 것을 반음지, 2겹처리를 음지로 하였으며 이때의 광도는 청명한 날 정오를 기준으로 평균 양지는 2500~3500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 반음지는 250~500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 음지는 25~50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 였다. 생육조사로는 대표적 생육지표인 초장, 엽장, 엽폭, 이삭장, 이삭색, 이삭출현일수, 건물중 등을 조사하였는데 초장은 처리 당 10반복으로 지상부에서 이삭 정단까지의 길이를 평균하여 측정했고, 엽장, 엽폭 및 이삭장은 초장을 조사한 식물체를 대상으로 역시 처리 당 10반복으로 조사하였다. 이삭출현일수는 파종 일로부터 최초 이삭출현시기까지를 기준으로 하였다. 건물 중은 각 처리이후 자란 지상부를 채취하여 dry oven의 70 $^{\circ}\text{C} \pm 5$ 에서 48시간 건조하여 측정하였다. 이때 모든 생육조사는 참 억새 및 수크령의 생육최대기인 9월말에서 10월초에 걸쳐 실시하였다. 탄수화물 함량은 Dubois법을 이용, glucose 표준곡선을 이용하여 측정하였다. 광합성률, 기공전도도, 수분 증산률 및 증기압 부족량은 portable photosynthesis analyzer(LI-6400, LI-COR, USA)를 이용하여 완전히 전개하고 스트레스를 받지 않은 건강한 잎을 대상으로 처리당 6반복의 평균값으로 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

초장의 경우, 2종류 모두 양지에서 월등히 높은 것으로 나타났으며 광도가 감소할수록 초장은 급격히 감소하였다(Table 1). 특히 참억새의 경우, 음지구에서는 양지구의 경우보다 30% 이상의 초장 감소율을 보였으며 피사된 묘도 눈에 띄게 증가하여 미관상 많은 지장을 초래하였다. 엽장의 경우도 광도증가에 따른 신장 경향을 나타내었으며 반대로 광도가 감소할수록 엽장은 감소하였으며 특히 음지에서는 20~30%정도의 감소경향을 나타내었다. 엽폭의 경우는 2종류

Table 1. Effect of different light regimes on the height, leaf length, width, dry weight and carbohydrates of *Miscanthus sinensis* and *Pennisetum purpurascens*.

Species	Light condition ^z	Plant height	Leaf length	Leaf width	Dry weight	Total carbohydrate
<i>Miscanthus sinensis</i>	Sun	86.0	64.2a ^y	0.2a	1.3a	7.2a
	Half-sun	73.2	56.4b	0.4b	0.9b	5.3b
	Shade	58.4	43.7c	0.3c	0.4c	3.1c
<i>Pennisetum purpurascens</i>	Sun	62.6	52.5a	0.4a	1.3a	5.9a
	Half-sun	54.8	43.8b	0.7b	0.6b	4.7b
	Shade	50.3	41.2c	0.6b	0.4c	4.0c

^zLight intensities of sun, half sun, and shade were 2500~3500, 250~500, 25~50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively

^yMean separation within columns for the same species by Duncan's multiple range test at the 5% level.

모두 광도에 따른 큰 변화는 없었으나 양지구에 비해 반음지 혹은 음지구에서 약간 증가된 것으로 나타났다. 식물의 초장, 엽장 및 엽폭 등은 관상원예용 식물의 균형을 잡아주는 중요한 지표로서 본 실험의 공시식물인 참억새와 수크령의 경우, 양생식물로서 광적응에 따른 양지에서 우수한 생육상을 나타내었으나 25~50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도의 음지에서는 30~40% 정도의 초장 및 엽장 감소로 원예식물로서의 관상 가치가 크게 소실되어 양생식물로서의 벼과식물 생육특성을 나타내었다(Kim, 2000). 엽폭의 경우는 음지에서 다소 넓게 나타나, 저광도에서의 양생식물의 효율적 광 포획능력을 나타내었으나 관상가치에는 별다른 영향이 없었다.

식물체의 건물중은 대표적 생육척도로서 2품종 모두 반음지, 음지에서 보다 양지구에서 월등히 높았다. 반면 반음지 및 음지구에서는 현격히 건물중이 감소되었는데 특히 음지구의 경우, 2품종 모두에서 양지구에 비해 50% 이상의 건물중 감소를 초래하여 저조한 생육상태를 나타내었으며 이러한 경향은 참억새의 경우 더욱 현저한 것으로 나타났다. 전 탄수화물의 경우도 건물중변화와 동일한 경향을 나타내어 공시품종 모두 양지에서 가장 높은 전 탄수화물 함량을 나타내었으며 광도감소에 따라 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 음지의 경우 50% 이상의 감소율을 나타내었으며 이러한 경향은 참억새에서 역시 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이와

관련 Gent 등(1986)은 양생식물의 경우, 고광도 하에서의 높은 광합성율 등에 기인하여 sink로서 sucrose를 중심으로 한 탄수화물량이 급속히 증가되는 것이라고 보고한 바 있는데 우수한 생육을 위해서는 적어도 반음지구인 250~500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 광도에서 이들을 재배하여야 함을 알 수 있었다(Fay와 Knapp, 1993).

다양한 벼과식물의 이삭은 일반 화훼식물에서는 찾아보기 힘든 독특한 특성을 나타내어 원예 조경용으로 사용될 경우, 매우 효율적으로 사용될 수 있으나(Darke, 1999) 생육환경 등에 따른 이삭식물의 이삭형 변화 및 이삭출수 시기나 이삭색의 변화 등과 같은 생육변화를 조사한 연구는 거의 찾아 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 특성을 특히 조사하였는데 Table 2에서 보는 바와 같이 이삭장의 경우 2품종 모두 양지에서 가장 월등하게 자랐으며 반음지 및 음지의 경우는 그 크기가 20% 이상 감소하였다. 아울러 특히 음지구에서는 이삭밀도도 형성하여 미관적 가치는 크게 감소하였다. 이삭색의 경우도 양지로 갈수록 탈색되는 경향을 나타내었으며 특히 수크령은 양지에서는 짙은 흑갈색을 띠었으나 음지에서는 탈색된 듯한 회갈색을 나타내어 관상가가 감소되었다. 최초 이삭 출수 시까지의 소요일수는 2품종 모두 양지에서 가장 빨랐으며 광도가 감소할수록 출수시기는 늦어지는 경향을 나타내었다. 이와 관련, Armitage (1993)와 Gertsson(1990) 등이 *Trachelium*과

Aeschynanthus 등의 생육 및 개화시기와 탄수화물 량간에는 서로 밀접한 관련성이 있음을 시사한 바 있는데 본 실험에서도 이삭반응과 관계된 결과들은 앞서 언급된 참억새와 수크령의 광도차에 따른 생육 정도와 탄수화물 함량 등과 높은 상관성이 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Effect of different light regimes on the spike length, days to the first spiking and spike color.

Species	Light condition ^z	Spikel ength	Days to the first spiking	Spike color
<i>Miscanthus sinensis</i>	Sun	21.5a ^y	216	Red-brown
	Half-sun	16.4b	224	brown
	Shade	15.8c	235	brown
<i>Pennisetum purpurascens</i>	Sun	14.3a	205	Black-brown
	Half-sun	11.3b	210	brown
	Shade	9.8c	223	Grey-brown

^zLight intensities of sun, half sun, and shade were 2500~3500, 250~500, 25-50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively.

^yMean separation within columns for the same species by Duncan's multiple range test at the 5% level.

원예조경용 식물로 공시된 벼과식물 2종의 가스교환에 미치는 영향을 살펴보면 Figure 1에서 보는 바와 같이 광합성율의 경우, 품종에 관계없이 양지에서 성장한 식물체가 반 음지, 음지에 비해 광합성 율이 평균 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 특히 음지의 경우, 광합성 율이 양지에 비해 4배정도 감소하였으며 기공전도도 역시 양지 하에서 약간 증가되는 경향을 나타내었다. 광도에 따른 차이는 광합성률이 가장 높았던 2500~3500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 기공전도도가 가장 높았다. 기공전도도는 정상으로 성장하는 식물의 잎에서 기공의 개도를 진단하는 지수로 사용되는데(Knapp와 Smith, 1990) 기공은 CO₂의 확산통로이므로 기공전도도가 광합성과 상관이 있다는 것은 당연한 결과일 것으로 추측된다(Fay와 Knapp, 1993).

Boardman(1987)은 대개 양생식물은 고 광도에서 RuBp Case의 활성촉진에 기인한 전자이송능

력의 증가로 광합성율이 저광도에 비하여 월등히 증가되며 저광도에서 재배될 경우에는 양생 식물 일지라도 음생식물과 유사한 광합성 특성을 나타낸다고 하여 본 논문과 유사한 결과를 나타내었다. 특히 C₄ 식물의 경우는 C₃ 식물과 비슷한 광보상점을 가지고 있지만 C₃ 식물과는 달리 거의 광포화에 달하지 않고 높은 광도에서도 계속 광합성이 증가되는 경향이 조사된 바 있어(Choi 등, 2003; Nam과 Kwack, 1997) 본 논문의 *Miscanthus*와 *Pennisetum*의 경우, 낮은 광도에 비하여 양지에서 월등히 증가된 광합성율에 대한 원인과 공시된 2500~3500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상 광도에서의 정상적인 생육도 기대할 수 있었다. 잎의 세포간극 내 CO₂농도는 광합성률이 가장 높았던 양지구에서 자란 식물체가 가장 높았고 음지구에서 가장 낮게 나타났다. 잎 주변에서 수분을 받아들일 수 있는 정도를 나타내는 증기압 부족량(vapor pressure deficit)은 광합성률이 가장 높았던 고광도에서 가장 낮았고 품종별로는 참억새가 더욱 낮게 나타났다. 본 논문의 전체적인 결과를 살펴볼 때 양생식물이면서 대부분 C₄식물로 알려진 자생 억새류의 참억새와 수크령의 경우, 양지구에서 양호한 초장, 엽장, 엽폭, 이삭장 및 이삭색 등의 특성과 생리적 생육지표인 광합성률, 기공전도도, 세포간극 내 CO₂농도 및 증기압 부족량 등의 가스교환특성을 나타내어 원예적 이용 시 관상가치 등을 고려할 때 고광에서의 재배가 우선 시 됨을 알 수 있었다(남 등 1994). 그러나 본 논문에서 반 음지구로 제시된 250~500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 수준의 광도까지는 억새류의 각종 관상 및 생리적 생육 특성을 고려할 때 그다지 큰 영향은 없는 것으로 나타나 이상규(1985)가 차광정도가 50%정도까지는 억새류의 초지수량 및 생육에 큰 영향이 없었다는 보고와 유사한 것으로 생각되었다. 따라서 본 연구결과들은 모든 생육범위(life span)을 통합하지는 못했지만 대표적 환경인자인 광도에 따른 자생 억새 류 2품종의 원예적 이용 및 광합성 수행능력 등을 예측할 수 있는 모델이 될 수 있을 것으로 고려된다.

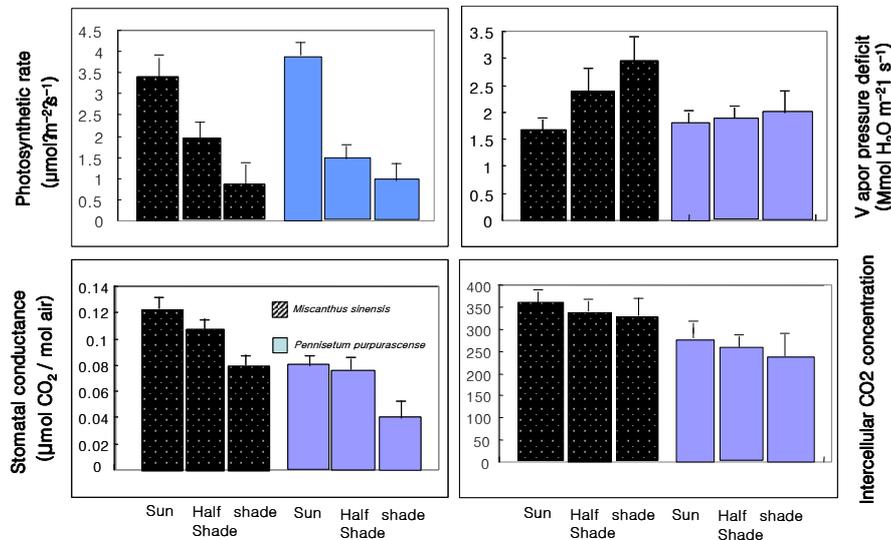


Figure 1. Effect of different light intensities on the rate of photosynthetic rate, stomatal conductances, intercellular CO₂ concentration and vapor pressure deficit of *Miscanthus sinensis* and *Pennisetum purpurascense*. The vertical bars represent standard deviation.

IV. 결 론

벼과식물인 *Miscanthus sinensis*와 *Pennisetum purpurascens*의 광도차에 따른 각종 생육반응, 탄수화물 함량 및 가스교환능에 미치는 영향을 알아보고자 본 실험을 수행하였다.

광도차에 따른 초장, 엽장의 경우 양지에서 30% 이상 증가되었으며 음지에서는 신장율이 매우 낮았으며 괴사묘도 관찰되어 미관적 가치가 저하되었다. 식물체의 대표적 생육척도인 건물중의 경우는 2품종 모두 양지구에서 월등히 높았으며 광도감소에 따라 비례적으로 감소하여 특히 음지에서는 50% 이상의 감소율을 나타내었다. 탄수화물 함량의 경우도 건물중과 동일한 경향을 나타내었다. 그러나 $250 \sim 500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지의 반응지에서는 생육 및 관상가치 정도에 큰 영향은 없었다. 이삭출현일수는 양지로 갈수록 빨랐으며 이삭장의 경우도 양지에서 가장 높게 나타났다. 이삭의 색은 양지로 갈수록 뚜렷했으며 음지에서는 탈색되는 경향을 나타내었다. 광합성율은 음지에 비해 양지에서 2배 이상 증가되어 공시 품종이 양생식물로서의 뚜렷한 특성을 나타내었다. 이와 관련된 기공전

도도 및 잎의 세포간극 내 농도 역시 광합성을 변화와 동일한 결과를 나타내었다. 반대로 증기압 부족률은 음지에서 가장 높았다.

그러나 본 논문은 광도차에 따른 역세류의 전 생활사에 걸친 광범위한 성장상을 고찰하지 못한 제한점이 있으므로 추후 생활사 전반에 걸친 연구분석과 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

- Armitage, A. M. 1993. Effect of photoperiod, light source and growth regulators on the growth and flowering of *Trachelium careleum*. J. Amer. Hort. Sci. 63 : 667-674.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 28 : 355-377.
- Choi, Y. W., J. K. Ahn, J. S. Kang, I. S. Choi, Y. C. Kim and Son, K. W. 2003. Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of *Perilla* grown under red, blue, light emitting diodes and light intensities. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44(3) : 281-286.

- Darke. 2000. The encyclopedia of ornamental grasses. Timber Press In., Portland, Oregon, USA.
- Fay, P. A. and A. K. Knapp. 1993. Photosynthetic and stomatal responses of *Avena sativa* (*Poaceae*) to a variable light environment. Amer. J. Bot. 80 : 1369-1373.
- Gent, M. P. 1986. Carbohydrate level and growth of tomato plants. Plant physiol. 81 : 1075-1079.
- Gertson, U. E. 1990. Influence of light on flowering in *Aeschinanthus* speciosus. Hook. J. Hort. Sci. 62 : 71-74.
- Kim, E. S. 2000. Germination and seedling growth of *Phragmites communis* and *Typha angustata*. Thesis of Gong Ju Univ.
- Knapp, A. K. and W. K. Smith. 1990. Stomatal and photosynthetic responses to variable sunlight. Physiol. Plant. 78 : 160-165.
- Lee, S. G. 1985. Studies on growth and characteristics of cultivation of *Miscnathus sinensis*. J. Kor. Soc. Fort.. Sci. 44(3) : 281-286. 5 (1) : 1-7.
- Leuning, R., F. M. Kelliher, D. G. Depury and E. D. Schulze. 1995. Leaf nitrogen, photosynthesis, conductance and transpiration : scaling from leaves to canopies. Plant, Cell and Environ. 18 : 1183-1200.
- Nam, Y. K., M. R. Huh, B. H. Kwack and W. K. Sim. 1994. Morphological characteristics of Korean native wild *Adonis*, *Ajuga*, and *Chrysanthmum* species when cultured at a garden. Thesis Col. of Nat. Res., Korea Univ. 34 : 65-71.
- Nam, Y. K. and B. H. Kwack. 1997. Characteristics of leaf gas exchanges in four different Korean endemic plants at varied light levels. J. Kor. Flower Res. Soc. 6(2) : 51-56.

接受 2004年 1月 5日