

광환경이 잔디(*Zoysia japonica*)의 물질생산과 생장에 미치는 영향

II. 차광율이 잔디의 물질생산과 성장해석에 미치는 영향

都 捧 鉉 · 金 洸 植
啓明專門大學 園藝科

**Effects on Dry Matter Production and Growth of *Zoysia japonica*
under the Light Environment**

**II. Effect of Dry Matter Production and Growth Construction of
Zoysia japonica on a Shade Rate**

Do, Bong-Hyun · Kwang-Sik Kim
Dept. of Horticulture, Kemyung Junior College

SUMMARY

This study was designed to estimate on the interaction of the first productivity, light condition and to examine the ecophysiological characteristics of *Zoysia japonica*. Artificial community of *Zoysia japonica* was analyzed effect of matter production and growth construction under various shading condition. The results summarized this experiment were as follows;

1. The relative growth rate(RGR) in all experimental plots was high during the growth stage of 20 days after transplanting and then tend to decrease. RGR value in severe shading or short day condition was remarkably decreased from the early growth stage.
2. The net assimilation rate(NAR) was high during the early growth stage after transplanting, and then decreased the growth proceeded. NAR value in the severe shading or short day condition plots was low.
3. The increasing rate of leaf ared ratio(LAR) was high during the early growth stage after transplanting in the control plot and 30% shading plot, but it appeared to be high 40days after transplanting in the 50% and 70% shading plot. LAR was appeared to be negative correlation against RGR and NAR.
4. The crop growth rate(CGR) in each experimental plot was increased until 50days after transplanting, and then decreased. After that time, the maximum CGR value appeared in the

control plot (1.56 g/g, 10 days), 60 days after transplanting. CGR had positive correlation with LAI. The optimum LAI in the control, 30%, 50%, and 70% shading plots was appeared as 2.10, 1.75, 1.25, and 0.90.

I. 緒 論

잔디류는 녹화를 위하여 일차적으로 이용되는 주요한 소재적 기능을 지니고 있으며 경관의 주된 물리적 요소로서 경관공간을 구성함은 물론 인간생활의 안정성과 쾌적성을 증대하는 데 크게 기여하고 있다.

따라서 생활환경의 개선에 기여할 수 있는 잔디 공간을 조성하고 합리적인 관리를 기하여 환경을 개선하는 일은 바람직한 일이다. 특히 건축물의 고층화에 따른 음지의 나지현상을 해소하고 또한 다양한 입지 조건에 대응하는 합리적인 녹화에 수요의 증대를 충족시킬 수 있는 잔디류의 개발이 추진되어야 할 시점에 있다.

한편 Boysen-Jensen(1932)¹과 Muller(1935)¹⁰ 등은 식물의 성장환경을 광합성과 작용의 관계에서 생각하고 그 생산성 대신 식물기능과 환경요인과의 상호작용의 함수 관계에서 재평가하므로써 생장의 법칙성을 구명하려는 연구가 시도되어왔다. 또한 식물의 개체 또는 군락의 생산성에 대한 생리·생태적인 해석이 시도됨에 따라 Monsi와 Saeki(1953)⁹는 물질생산과 광조건과의 관계, Shinozaki와 Kira(1956)¹¹는 무기양분과의 관계^{14, 5}, 그리고 Hozumi와 Asahira(1956)⁷는 식물군락의 경쟁효과 등의 관계를 식물경제의 측면에서 법칙화하려는 연구를 진행하였다^{2, 4, 16}.

그러나 잔디류의 생리·생태학적인 연구에 있어서 채광과 일조시간을 조절한 광환경하에서의 일차생성과 성장 특징을 밝히고 물질생산성과 광요인과의 상관관계를 구명한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 잔디의 일차 생산성과 광조건과의 상호작용을 평가하기 위하여 채광과 일조시간을 조절하고 생육경과에 따른 건물생산과 성장특성 및 물질생산과의 상관관계를 분석하여 생리·생태학적인 특성을 구명함으로써 잔디이용과 관리개선에 기여되는 기초자료를 제시하는데 목적이 있다. 특히 잔디의

일차생산성과 광조건과의 상호 작용을 평가하고 생리·생태학적인 특성을 구명하기 위하여 채광과 일조시간을 조절한 상태에서 인공군락의 물질생산성과 성장특징을 분석하였고 또한 식물집단의 생산성에 관하여 성장해석을 하였다.

II. 材料 및 方法

본 시험은 야생잔디(*Zoysia japonica*)를 공시재료로 하여 1987년 5월 20일부터 9월 30일까지 계명전문대학 실습농장에서 실시하였다.

시험구는 Control구(100% 전광구) 30~33%, 50%, 70~73%의 차광구 및 9시간, 7시간, 5시간, 3시간의 시간별 조사구로 하여 난괴법(randomized block design)으로 설치하였고, 각 시험구 공히 12cm 흑색 vinyl 규격 pot 480개를 3cm 간격으로 유지하면서 3반복 분할배치법으로 배열하였다. 종자과 종은 5월 20일에 plastic 파종상자(50×40×12cm)를 사용하였고 토양은 시비하지 않은 상태의 사질양토를 이용하였다.

파종거리는 각 종자 공히 1×1cm의 면적을 취하여 2~3알씩 점파하였고 충분한 수분을 공급한 뒤 투명 vinyl로 덮었으며 주간에는 통풍을 조절하면서 25~30℃의 온실에 보관을 하였다. 관수는 매일 8~9시와 15~16시 사이에 2회에 걸쳐 저면관수를 실시하였고 발아후 각 종자 공히 전전개체 1묘만을 남기고 나머지는 조심스럽게 제거하였다.

정식토양은 사질양토를 사용하였고 농용석회를 가하여 토양산도를 pH 6.0~6.5로 조절하였다. 각 pot 공히 같은 용량을 유지하기 위하여 pot 선단부 아래쪽 1cm까지 채웠으며 잡초의 발생을 억제하기 위하여 제초제를 살포한 후에 3회에 걸쳐서 교반을 하였다. 정식 토양의 pH는 초차전극법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, 유기물은 Turin's법, K, Ca, Mg, Na등은 원자흡광법, CEC는 치환침출법, MHA는 시료원동법에 의하여 각각 분석하였고,

Pot정식은 6월 31일 실시하였으며 각 상자 공히 edge effect를 고려하여 집단 주변의 3열보다 내측의 개체를 임의추출로 sampling하여 각 pot에 1개체씩 이식하였으며, 자연광 상태에서 10일간 방치하여 활착을 도모하였다.

각 시험구의 정식 pot를 배열한 후, 시험이 끝나는 9월 28일까지는 8시에서 9시 사이와 15시에서 16시 사이에 관수를 하여 토양수분의 함수량은 pF 2.7~3.0를 유지하도록 하였으며 시비 및 여타의 일반관리는 제외하였다.

7월 10일 임의추출로 30개체를 1차 sampling을 실시하였고 각 sampling은 엽수, 엽면적을 측정하고, 지하 부위 근계의 sample은 근권 토양을 굴취하여 철강에 넣은 다음 유수로 흙을 제거하면서 유근까지 수집을 하였다. 그리고 지상 부위와 지하 부위를 분리하여 80℃ drying oven에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하였다.

동일에 임의유출에 의하여 각 시험구별로 Pot 480 개체를 배열하였다. Sampling은 1차 sampling 후 매 10일 간격으로 실시하였고 2차 sampling 부터는 각 시험구 공히 집단의 edge effect를 고려하여 3열보다 외측의 개체들은 sampling에서 제외하였으며 굴취와 측정 및 건조는 1차 sampling과 동일한 방법으로 실시하였다.

엽면적은 drawing method와 절발증량법으로 측정하였고 상대생장율, 순동화율 및 엽면적비 등은 Blackman(1919)의 성장 해석을 이용했다.

Chlorophyll 측정은 Mackinney법으로 하였고 함량은 Spectrophotometer(Hitachi Model 27)로 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a} &= 0.0127 E_{663} - 0.00259 E_{645} \\ \text{Chlorophyll b} &= 0.0029 E_{645} - 0.00647 E_{663} \\ \text{Chlorophyll a + b} &= 0.00805 E_{663} - 0.0203 E_{645} \end{aligned}$$

색소체들이 이룬 각 색소의 흡광 spectrum 조사는 8월 30일까지 성장된 시료를 acetone 유출법에 의하여 유출하였고 recording spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 동일엽의 당분석은 Anthrone 법에 의하여 전가용성당(total soluble sugar) 함량

을 측정하였고 fructose, glucose, sucrose함량 조사는 HPLC(high performance liquid chromatography, water : Model 201)로 분석하였다. 이때 HPLC의 조건은 다음과 같이 조절하였다.

Colume : Waters μ Boudpark carbohydrate column

Mobile phase : Ethyl Acetate-Isopropanol-water(50:35:15 V/V)

Flow rate : 0.7 ml/min

Detector : R.I. (reflective index)

III. 結果 및 考察

1. 성장해석

1) 상대 생장율(Relative growth rate : RGR)

식물의 생산력은 RGR에 따라 결정된다고 볼 수 있다. RGR은 잎의 생산능력 즉 단위 신간당 단위 엽면적의 증가이며 단위식물 중량당 광합성 면적의 비율이다.

식물의 성장과정중 어느 시점에서의 건물중당 건물 생산 능율을 나타내는 것을 말한다. 식물체 1g의 건량에 대하여 단위시간(t)당 새로운 건량(w)이 증가하는 것은 그 시점에 있어서 식물체의 크기를 원리합계로 하고 생장은 이율로 건량 증가분을 이자로 하는 복리적인 현상으로 보고 있다.

잔디의 상대생장율의 값은

$$RGR = \frac{\log_e W_2 - \log_e W_1}{t_2 - t_1}$$

에 의하여 산출하였고 그 결과를 Table 2에 나타냈다.

차광구의 상대생장율은 이식후 20일경까지의 성장과정에서는 높게 나타났고 이후의 생장이 진행됨에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 특히 이식후 20일경부터 40일경까지의 RGR이 현저히 낮게 나타났고 이후의 생장이 진행됨에 따라 원만한 RGR의 저하를 보였다.

70% 차광구에서는 본시험 기간중의 성장과정에서

Table 2. The relative growth rate(RGR) under various shade level in *Zoysia japonica*. (g /g · 10days)

Plot	7 /1- 7 /10	7 /11- 7 /20	7 /21- 7 /30	7 /31- 8 /9	8 /10- 8 /19	8 /20- 8 /29	8 /30- 9 /8	9 /9- 9 /18	9 /19- 9 /28
Cont	1.399	2.127	0.829	0.620	0.390	0.314	0.209	0.131	0.055
30 %	1.399	1.799	0.817	0.656	0.398	0.293	0.171	0.144	0.093
50 %	1.399	1.411	0.753	0.638	0.403	0.231	0.147	0.121	0.093
70 %	1.399	1.233	0.618	0.615	0.365	0.201	0.146	0.121	0.091

RGR치가 현저히 낮았고, 이식후 RGR의 최고치를 나타내는 Control구와는 약 1.6배의 차이를 보였으나 30% 차광구에서는 그 차이가 근소하였다. 최고치는 이식후 10일과 20일 사이에서 2.13 g /g · 10days로서 Control구에서 나타났고 최저치는 70% 차광구에서 0.091 g /g · 10days로서 9월 18일 부터 9월 28일에 나타나고 있어 잔디의 생장에는 차광율이 높아짐에 따라서 RGR은 현저히 저하되므로 초기생장 과정의 최적한 광조건이 유지되어야 함을 알 수가 있다.

특히 3시간 조사구의 RGR치는 본 시험기간중의 생장과정에서 현저히 낮게 나타났고 생장에 따른 RGR의 차이도 극히 완만한 차이를 보였다.

최고치는 이식후 10일과 20일 사이에 Control에서 2.13 g /g · 10days로 나타났으며 이 생장기간의 3시간 광조사구에 비하여 약 19.3배의 생장율을 보였다.

각 시험구 공히 30일경까지의 생장과정에서 현저히 낮은 생장율을 나타냈고 생장이 진행됨에 따라 상대생장율이 비교적 완만하게 낮아지는 경향을 보였다.

2) 순동화율(Net assimilation rate : NAR)

녹색식물의 생장은 주로 광합성을 통한 동화산물에

의존하고 특히 고등식물에서는 동화산물의 대부분을 잎에 의존하고 있어서 단위면적당 엽면적의 대소는 식물생장의 주요 요인이 되고 있기 때문에 식물생장의 속도를 단위면적과의 상호관계에서 광합성 능력의 한 척도로 삼을 수도 있다. 이와 같은 방법을 특히 성장해석의 기초를 이루고 주요 개념으로 되고 있다. 단위시간(t)에 단위 엽면적이 몇 g의 건량(w)을 생산하는가 하는 순동화율에 대한 잔디의 결과를,

$$NAR = \frac{(W_2 - W_1)(\log_e \bar{F}_2 - \log_e \bar{F}_1)}{(\bar{F}_2 - \bar{F}_1)(t_2 - t_1)}$$

에 의하여 산출하고 Table 2, Fig. 2에 나타냈다.

잔디 순동화율은 Control구와 차광구에서 이식후 10일경까지는 증가했으나 이후 생장이 진행됨에 따라 낮아지는 경향을 보였으며 특히 이식후 10일경부터 40일경까지의 생장과정에서는 현저히 낮은 NAR치를 보였다. 70%차광구는 본실험기간중 전생장과정에서 NAR 치가 현저히 낮게 나타났고, 최저치도 본 시험구에서 0.4 g /cm · 10days로서 9월 10일에서 28일 사이에 나타났다.

Table 3. The net assimilation rate(NAR) under various shade level and in *Zoysia japonica*.(g /cm · 10days)

Plot.	7 /11- 7 /20	7 /21- 7 /30	7 /31- 8 /9	8 /10- 8 /19	8 /20- 8 /29	8 /30- 9 /8	9 /9- 9 /18	9 /19- 9 /28
Cont.	35	13.1	9.2	4.9	4.0	2.6	1.7	0.7
30 %	22.5	11.1	8.2	4.5	3.0	1.7	1.4	0.9
50 %	15.3	7.9	6.4	3.4	1.6	1.1	0.8	0.6
70 %	13.5	5.9	5.8	3.2	1.5	1.2	0.9	0.4

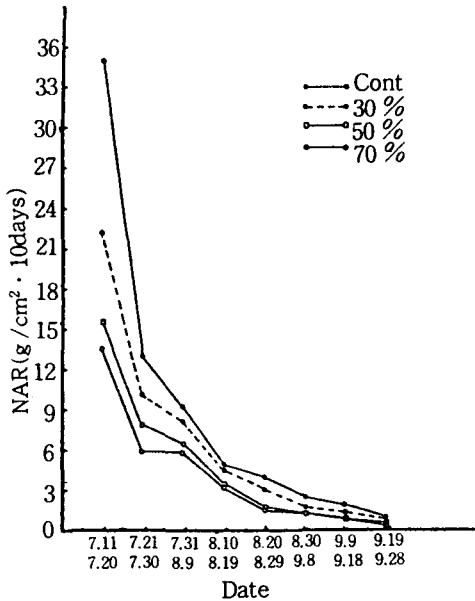


Fig. 2. The increase of net assimilation rate under various shade level in *Zoysia japonica*.

최고치는 이식후 11일과 20일경 상이의 Control구에서 나타났으며 70%구 최고치에 비하여 약 2.6배의 NAR치를 보였다. 각 구 공히 RGR치가 높게 나타나는 성장시기에 NAR도 높게 나타나고 있어 이 시기는 RGR의 증대를 도모하기 위한 가장 왕성한 동화

생산이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

전술한 70% 차광구의 성장경로에 따른 NAR치보다 5시간 및 3시간 광조사구의 NAR치는 본실험기간 중의 성장과정에서 현저히 낮은치를 보이고 있으며 후기성장 과정에서 그 차이는 더욱 크게 나타났다. 이는 차광하에서는 주간의 계속적인 수광조건보다도 짧은 시간의 자연광 조사가 동화생산을 억제하고 있어 NAR이 저하되었으며 따라서 단위 시간당 건물 생산이 감소하게 됨을 예견할 수 있다.

성장시기에 따른 NAR과 LAI 그리고 NAR과 RGR의 ANOVA 결과는 Table 4, 5와 같으며 모두 1% 수준의 고도의 유의성을 보였다.

3) 엽면적비(Leaf area ratio : LAR)

식물체 1g 생산에 필요한 엽면적 값을 나타내는 엽면적비는 광합성 기관의 구조적 배분율을 의미하는 것으로서 energy 대사에 있어서 중요한 특성을 갖는다. 잔디의 엽면적비를 다음식으로 계산하였고 그 결과를 Table 6과 Fig. 3에 나타냈다.

$$LAR = \frac{\bar{F}}{W} \div \frac{(\bar{F}_2 - \bar{F}_1)(\log_e W_2 - \log_e W_1)}{(\log_e \bar{F}_2 - \log_e \bar{F}_1)(W_2 - W_1)}$$

Control구와 30% 차광구에서는 이식후 70일경까

Table 4. Analysis of variance for NAR and LAI under various shade level and photoperiod in *Zoysia japonica*.

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Prob>F
Model	1	529.73799	529.73799	16.545	0.0001
Error	62	1,985.06310	32.01715		
C. Total	63	2,514.80109			

Table 5. Analysis of variance NAR and RGR under various shade level and photoperiod in *Zoysia japonica*.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	121,993.26838	121,993.26838	1,082.295	0.0001
Error	62	6,988.46522	112.71718		
C. Total	63	128,981.73359			

Table 6. The leaf area ratio(LAR) under various shade level in *Zoysia japonica*. (cm/g · 10days)

Plot	7/1- 7/10	7/11- 7/20	7/21- 7/30	7/31- 8/9	8/10- 8/19	8/20- 8/29	8/30- 9/8	9/9- 9/18	9/19- 9/28
Cont.	48.03	51.91	62.47	73.04	77.92	78.51	80.375	79.40	80.41
30 %	48.03	75.02	72.98	85.41	90.50	100.86	107.43	103.99	101.46
50 %	48.03	93.74	99.42	98.11	114.24	136.20	148.69	153.28	152.10
70 %	48.03	91.88	92.65	113.50	125.91	145.95	142.67	134.95	126.35

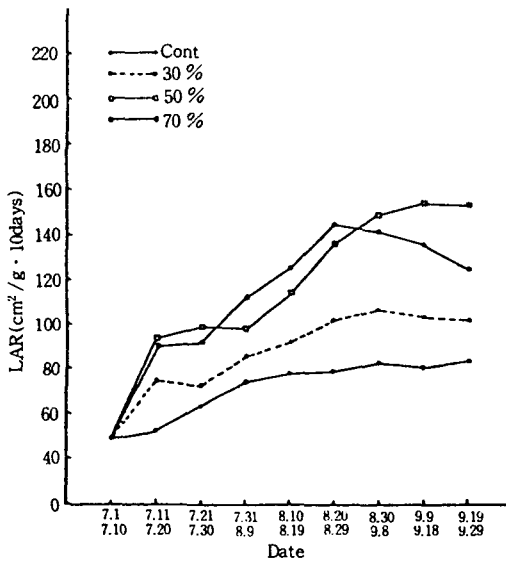


Fig. 3. The increase of leaf area ratio under various shade level in *Zoysia japonica*.

지는 생장이 진행됨에 따라 LAR치가 높게 나타났고 이후의 성장과정에서는 낮은 경향을 보였으나 50% 및 70% 차광구에서는 이들 구보다 늦은 후기 생장기 까지 경향을 보였다. 성장과정에 따른 엽면적비 증가

율은 Control구와 30% 차광구에 있어서는 이식후 초기성장 과정에서 LAR의 증가율이 높게 나타났는데 반하여 50% 및 70% 차광구에서는 이식후 40일 이후 부터 LAR치가 최고치를 나타내는 성장과정에서 그 증가율이 높게 나타나고 있다. 최고치는 9월 18일경 153.3 cm/g · 10days로 50% 차광구에서 나타났다.

4) 군락성장율(Crop growth rate : CGR)

군락 성장율은 단위시간(t)당 군락, 성장속도를 말한다. 즉 단위 시간당 몇 g의 생산의 있는가를 나타낸 것으로 이는

$$CGR = \frac{(W_2 - W_1)(\log_e \bar{F}_2 - \log_e \bar{F}_1)}{(\bar{F}_2 - \bar{F}_1)(t_2 - t_1)} \times \frac{\bar{F}_2 - \bar{F}_1}{\log_e \bar{F}_2 - \log_e \bar{F}_1} = NAR \times \overline{LAI}$$

로서 표시하였다. Table 7과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 잔디 군락성장율은 각 시험구 공히 이식후 50일 경까지는 생장이 진행됨에 따라 증가되었고 이후의 성장과정에서 낮아지는 경향을 보였다. 차광구에서는 50% 및 70% 차광구가 본 시험기간중의 성장과정에

Table 7. The crop growth rate(CGR) under various shade level in *Zoysia japonica*. (g/cm² · 10days)

Plot.	7/11- 7/20	7/21- 7/30	7/31- 8/9	8/10- 8/19	8/20- 8/29	8/30- 9/8	9/9- 9/18	9/19- 9/28
Cont.	0.650	0.828	1.365	1.301	1.562	1.344	1.007	0.461
30 %	0.409	0.619	1.028	1.044	1.081	1.797	0.783	0.564
50 %	0.251	0.373	0.630	0.664	0.356	0.374	0.352	0.300
70 %	0.197	0.238	0.439	0.472	0.318	0.345	0.299	0.217

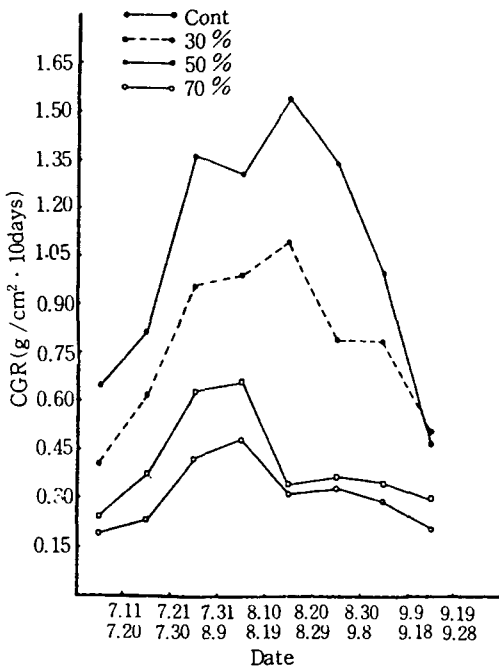


Fig. 4. The increase of crop growth rate under various shade level in *Zoysia japonica*.

서 Control구 및 30% 차광구에 비하여 저하된 CGR 차를 나타냈고 특히 70% 차광구에 있어서는 생장후기의 전과정에서 현저히 낮은치를 보였다. 최고치는 1.56 g/cm² · 10days로서 Control구에서 이식후 60일경에 나타났으며 최저치는 70% 차광구 0.197 g/cm² · days로 이식후 10일부터 20일 사이에 나타났다.

전술한 RGR 및 NAR과 같이 3시간 광조사구에서는 타구에 비하여 생장이 경과될수록 현저히 낮은치를 나타내고 있어 동화생산이 공히 저조한 생장이 이루어졌음을 알 수 있다.

CGR은 LAI가 증가됨에 따라서 높은 값을 보이거나 엽면적이 어느 넓이에 도달하면 오히려 저하되는 것

을 알 수 있다. 따라서 이 사실을 전제로 하여 CGR을 최대로 증대시키기 위한 LAI의 최적엽면적지수(optimum leaf area index : LAI Opt)의 추정을 생각할 수 있다.

$$NAR = a - b(\overline{LAI})$$

$$CGR = NAR \times \overline{LAI} = a(\overline{LAI}) - b(\overline{LAI})^2$$

$$\frac{d(CGR)}{d\overline{LAI}} = a - 2b(\overline{LAI}) \stackrel{\text{set } 0}{=}$$

$$a = 2b(\overline{LAI})$$

$$\therefore (\overline{LAI})_{Opt} = a/2b$$

윗 식에 따라 최적엽면적지수를 구하면 Control구에서는 2.100이며 차광구에서는 30%, 50% 및 70%에서 각각 1.750, 1.250, 0.900임을 알 수 있다.

또한 모든 시험구에서 CGR값의 최대치는 LAI의 peak보다 앞서 나타내고 있다. 그러나 Watson (1974)¹³은 환경조건의 개선과 파종기를 바꿈으로서 CGR의 이질적인 변화곡선의 peak와 LAI의 peak를 합치시키는 한편 LAI를 크게 유지함으로써 식물의 수량을 높일 수 있다고 하였다.

IV. 摘要

잔디(*Zoysia japonica*)의 1차 생산성과 광조건과 상호작용을 평가하고 생리생태학적인 특성을 규명하기 위하여 차광을 조절한 상태에서 인공군락의 물질생산과 성장해석에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 그 결과의 요약은 다음과 같이 하였다.

1. RGR은 각 시험구 공히 이식후 20일경까지의 생장과정에서 높게 나타나고 이후 생장이 진행됨에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 차광율이 높고 광조사 시간이 짧을수록 이식후 초기생장부터 현저히 낮은치를 보였다.
2. NAR은 이식후 초기생장과정에서 높은치를 보였

Table 8. Analysis of variance for CGR and LAI under various shade level in *Zoysia japonica*

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Prob>F
Model	1	1.62642	1.62642	13.033	0.0006
Error	62	7.73704	0.12479		
C. Total	63	9.36346			

고 이후 생장이 진행됨에 따라 낮은 치를 나타내었으며 차광율이 높고 광조사 시간이 짧을수록 현저히 낮은 치를 보였다.

3. LAR은 Control구와 30% 차광구에서 이식후 초기생장과정에서 증가율이 높게 나타났으나 50% 및 70% 차광구에서는 이식후 40일 이후부터 높게 나타나는 경향을 보였다. LAR은 RGR에 대하여 역의 상관관계를 나타내었다.
4. CGR은 각 구 공히 이식후 50일까지는 생장이 낮아지는 경향을 보였다. LAI와는 정의 상관을 나타내었고 최적엽면적 지수는 Control구와 30%, 50% 및 70% 차광구에서 각각 2.10, 1.75, 1.25, 0.90으로 나타났다.

V. 引用文獻

1. Boysen-Jensen, P. 1932. Die Stoff Produktion der Pflanzen. Gustav Fischer. Jena.
2. De Wit, C.T. 1964. On competition. P. 82, Landb. Voorl. No. 66(2nd, Edition).
3. Donald, C.M. 1961. Competition for light crops and pastures. Mechanism of Biological Competition Symp. Soc. Exp. Bot. 15: 282-313.
4. Goodall, D.W. 1960. Quantitive effects of intraspecific competition, an experiment with marigolds. Bull Research Council of Israel. Bot. 8D:181-194.
5. Goodman, P.J. 1973. Physiological and ecotypic adaptations.
6. Hiroi, T., and M. Monsi. 1966. Dry matter economy of *Helianthus annuus* communities growth at varying desities and light intensites. J. Fac. Sci. Tokyo. Sec. III. 9:241-285.
7. Hozumi, K., T. Asahira, and T. Kira. 1956. Intraspecific competition among higher plants. IV. Effect of some growth.
8. Iwaki, H. 1959. Ecological studies on the intraspecific competition in a plants in mixed stands of buckwheat and green grams. Jap. J. Bot. 17:120-138.
9. Monsi, M. and T. Saeki. 1953. Uber den lichtfaktor in den pflanzengesell-shaften und seine bedeutung fur die stoffproduktion. Jour. Bot. 14:22-52.
10. Muller, D. and P. Larsen. 1935. Analysis deer stokoroduktion bei stott und Kahman-geil. Planta 23:501-517.
11. Shinozaki, K. and T. Kire. 1965. Intraspecific competition among higher plants VI. Logistic theory of the C-D effect. Jap. Inst. Polytech. Oska City Univ. 7D:35-72.
12. Tezuka, Y. 1960. The influence of nurients on the growth of plant populations under different densities. Relations of plant communities to adaphic factors with special reference to mineral nutrition III. Bot. Mag.(Tokyo). 73:7-13.
13. Waston, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth or field crops I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties. and within and between years. Amwe. Bot., N. S., 11:41-76.
14. 山田登. 1961. 水稻栽植密と收重について (1) (2) 農業及園藝 (1,2)
15. Yoda, K., T. Kira, H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Intraspecific competition among highter plants XI. Self-thining in over crouded pure stands under cultivated natural conditions. Jour. Biol. Osaka City Univ. 14:107-129.