

牧草單, 混播群落에서 草型構造와 光利用性 및 乾物收量生産性

李浩鎭*, 尹進一**, 李光會*, 林根發*

Canopy Structure and Light Interception as Related to Forage Growth and Dry Matter Production in Pure and Mixture Stands.

H. J. Lee*, J. I. Yun**, K. H. Lee*, K. B. Lim*

ABSTRACT

Canopy structure and light interception were investigated as related to forage growth and dry matter production in four swards; pure orchardgrass, pure ladino clover, orchard-ladino mixture, and multi-mixture that was consisted of four grasses and three legumes. In spring, multi-mixture stand had the highest LAI, while ladino clover pure stand had low LAI but the highest leaf volume density(L_v). In fall, both pure orchardgrass and orchard-ladino mixture had higher LAI and L_v than others. Orchard pure stand was an electophile canopy with K, light extinction coefficient, of 0.29-0.43, pure ladino clover a planophile canopy with K of 0.72, and both mixtures a plagiophile canopy with K of 0.43-0.58. Dry matter yields had highly significant correlation with LAI in all stands. Optimum LAI for pure orchardgrass was estimated above 6.0 and for pure ladino clover, orchard-ladino mixture and multi-mixture were about 3.8, 5.0 and 8.0, respectively. Conclusion was made that multi-mixture and orchard-ladino mixture had better canopy structure to improve light penetration and forage yield than pure stands.

緒 論

草地 牧草生産은 근본적으로 飼料作物群落의 光合成 同化量에 따라 決定되며, 따라서 同化組織인 葉面積의 확보가 반드시 필요하다. 葉面積이 增大되면 受光量이 일반적으로 늘어나 純同化量(P_n)이 증가하게 되는데 適正 葉面積指數에 가까워질 수록 乾物生産도 상승하다가 일정치에 도달하면 그 이상 葉面積이 증대하더라도 乾物生産은 停滯하거나 도리어 減少하게 된다. 이것은 群落의 密集現象이 일어나 下位葉에서는 光不足으로 總同化量(P_g)은 그다지 증가

하지 않으나 呼吸消耗(R)는 계속 증가하여 生長速度가 급격히 떨어지기 때문이다.¹⁾

한편, 草地群落 内部로 日射光의 透過는 葉面積指數(LAI), 葉角, 葉의 配列 등 여러 가지 要因에 따라 좌우되므로 한 群落의 特征적인 草型構造는 光利用面에서 중요한 요소이며, 光利用效率을 向上 시키기 위한 Ideotype 이나 Crop architecture 부분의 연구가 상당히 있어 왔다.^{6,10)}

일반적으로 群落의 LAI가 낮을 때에는 水平葉 分布가 유리하나 LAI가 높아지면 直立葉 分布가 光利用效率이 높다고 보고되고 있는데^{2,3)} 禾本科牧草는 荳科牧草에 비하여 상대적으로 直立形의 草型構造를

* 서울大學校, ** 美 Iowa 州立大學校.

* College of Agricultural, Seoul National University, Suweon 170, Korea, ** Iowa State University.

가하므로 再生初期에는 荳科牧草에 比하여 光利用性이 떨어지나 점차 生育이 進진됨에 따라 受光姿勢가 유리하여지고, 또 禾木科와 荳科의 混播草地를 만들 때 光利用效率이 높은 草型構造를 형성할 가능성이 있다. 아울러 適正 葉面積指數는 群落의 종류, 氣象環境, 栽培條件에 따라 變化하는데 牧草生産에 있어서 增收의 基本이 된다.

본 실험에서는 化분과 조종인 오차드그라스, 두과 조종으로 라디노클로버, 오차드-라디노混播, 化분과와 두과 7草種으로 이루어진 多混播의 4가지 草地에서 草型特性, 季節別 光利用特性을 밝히고 乾物收量과의 關係를 조사하였다.

材料 및 方法

본 실험은 1981年 봄과 가을에 걸쳐 서울대학교 농과대학 실험포장에 造成된지 3~5年 되는 오차드그라스單播區, 라디노클로버單播區, 오차드-라디노混播區 및 化분과 主要草種 4種; 오차드그라스, 티모시, 리드카나리그라스, 톨페스큐와 荳科 3草種; 알팔파, 라디노클로버, 레드클로버로 이루어진 多混播區에서 再生期동안 1~2週 간격으로 草型分布와 光透過를 조사하였다. 本실험 시행 초기에 포장의 조종 구성은 아래표와 같았다.

Plant composition of experimental plots

	Grass(%)	Legume(%)
Orchard grass plot	100	•
Ladino clover plot	•	100
Orchard-Ladino mixture	88.0	12.0
Multi-mixture	32.4	67.6

본 포장에 施肥는 봄刈取 후 N-P-K 10-20-10kg/10a를 가을刈取 후 N-P-K 10-20-10kg/10a를 모든 區에 동일하게 施用하였으나, 라디노클로버單播區는 질소만을 제외하였다. 실험을 시작하기 전 5月 15日에 全圃場을 지상 5cm 높이에서 일괄하여 刈取하였으며, 再生期間 동안 每 2週 간격으로 各草地의 10個의 임의의 지점에서 地上 15cm 간격으로 日射光度를 측정하고 各地上部를 草高別로 Sampling 하여 봉투에 넣고 실험실로 옮겨 草種別로 분류하고 葉面積과 乾物重을 측정하였다. 가을의 生育이 開始되기 전인 9月 2日에 역시 5cm 높이로 일괄하여 刈取하고, 再生기간 동안 1週 간격으로 동일한 方法으로 조사하였다. 日射光의 透過를 측정하기 위하여 Quantum

meter의 PAR(Photosynthetically Active Range)의 sensor를 사용하였고 光度 측정시 위치에 따라 차광여부가 관측치에 큰 변이를 나타내므로 Sensor 위에 평평볼의 반쪽을 올려 놓고 分散光의 光度를 측정하였고, 光透過率을 계산하였다.⁸⁾ 草地의 Sampling 때에는 本실험실에서 제작한 Sample Cutting Plate(試料切斷板)을 사용하여 15cm 간격으로 분리 예취하였다. 受光態勢를 나타내기 위하여 草地別, 生育時期別로 光消滅係數⁶⁾, 限界葉面積指數¹⁾, 葉面積密度⁵⁾를 계산하였다.

結果 및 考察

1. 草地別 草型 特性

植物 地上部에서 光의 利用은 植物群落의 草型構造와 밀접한 關係가 있다. 上部의 葉은 下部葉보다, 草高가 높은 草種은 낮은 草種보다 강한 光을 받게 되어 光利用上 유리한 위치에 있게 되며 單一草種으로 이루어진 群落의 경우 草高와 아울러 葉角 및 葉의 配列狀態가 光透過率을 좌우하여 중요하다.^{2, 4, 7, 11)}

群落의 光利用에서 가장 기본적인 葉面積의 확보 상태를 再生期동안 LAI의 변화로서 보면 刈取後 40日 頃に 모든 草種에서 最代의 LAI에 이르렀고 그 후는 葉의 老화가 進진되었으며 특히, 봄의 再生期에는 멸강층의 피해로 葉面積의 감소가 심하였다. (그림 1) 葉面積의 垂直分布를 보면 비교적 直立型인 오차드그라스는 上部에서 中下部로 내려갈 수록 LAI가 점차 증가하였으나, 라디노클로버는 中上部에 거의 모든 葉面積이 집중된 逆三角形의 草型을 나타내었다. 오차드-라디노의 混播區는 上下位에 걸쳐 두 草種이 分布되었으나 地上 30cm인 中下部에 葉面積이 密集된 경향이였으며, 多混播區는 草高가 90cm 까지 달하여 直立化하는 경향이 현저하였고, 특히 荳科牧草인 알팔파와 레드클로버가 우점된 상태로 中上部에 葉面積이 密集된 경향이였다(그림 2).

한편, 가을 再生期에는 오차드그라스單播區와 라디노클로버單播區는 中下部에 葉面積이 密集 되었으며, 오차드-라디노混播區는 오차드그라스의 生育이 좋아지고, 잎이 彎曲化하는 경향이 심하여 지표면가 가까이에서 15cm 까지 집중되었다. 그리고 多混播區는 全體群落의 草高가 봄再生期の 半정도인 45cm 로 낮아지고 상대적으로 禾本科의 生育이 좋아져 荳科와 禾本科의 分布가 비슷하여 졌다(그림 2).

葉面積의 分布를 地上部 空間上 葉面積量으로 표

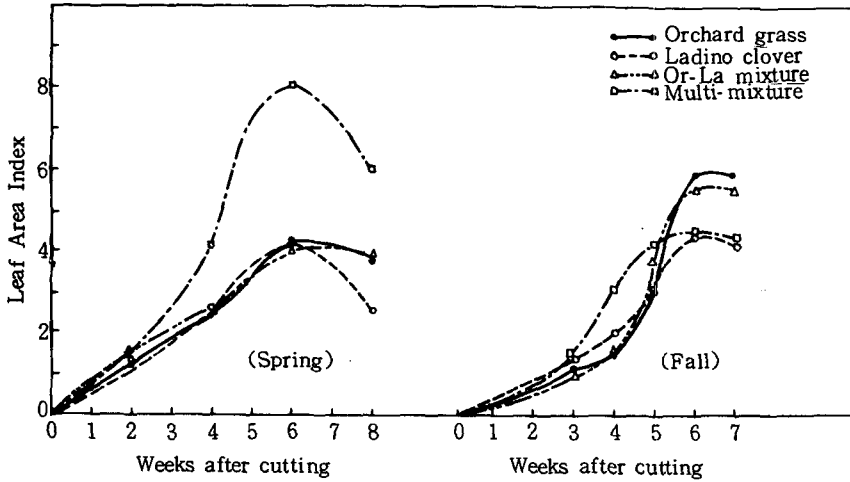


Fig. 1. Change of LAI of four different swards during spring and fall regrowth period.

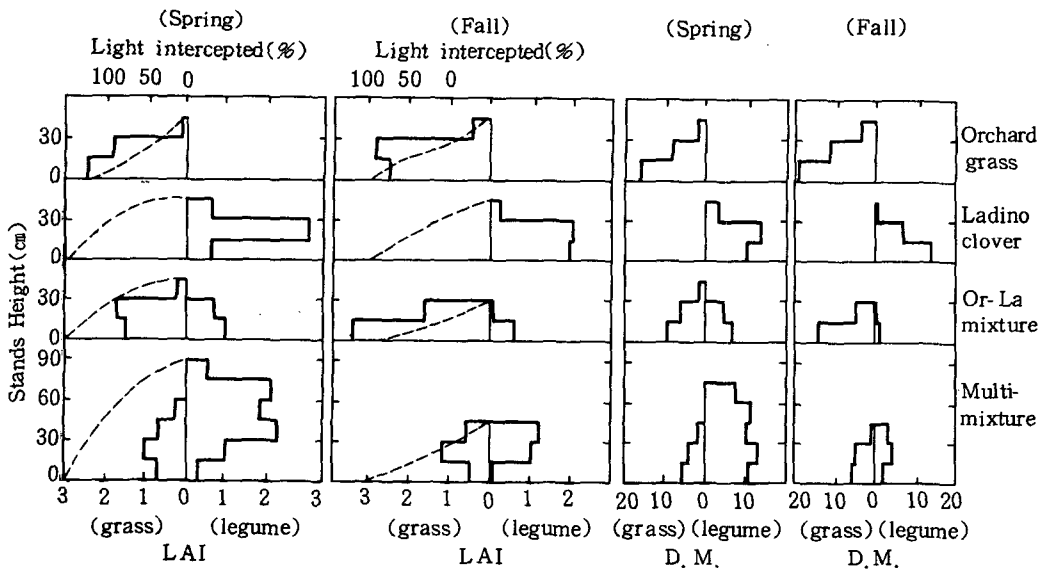


Fig. 2. Light interception curve and vertical distribution of LAI and dry matter(g/m^2) of four different swards at 6 weeks after cutting in spring and fall.

시한 葉面積密度(Lv: Leaf volume density)로 나타내어 空間上 配列의 密集化 정도를 판단하여 보면 再生開始後 약 6週에 草高가 낮은 라디노클로버單播區는 전반적으로 他草地보다 높은 Lv值를 나타내어 봄再生期동안 LAI가 가장 높았던 多混播區보다도 오히려 높은 Lv를 나타내었으나 가을再生期の 경우 生育後期에 이르러 오차드그라스의 잎이 彎曲되어 오차드그라스單播區와 오차드-라디노混播區의 Lv가 급격히 증가하였다(표 1). 일반적으로 Lv값이 높

으면 葉間 相互遮光이 심하게 되므로 光線이나 gas 流通의 상태가 악화된다. Milthorpe and Moorby⁵⁾에 의하면 식물조직이 全草冠 부의 1%를 초과하는 일이 거의 없다고 하였으나 본 연구 결과에서는 全生育期동안 3~18%를 차지하였다. 또한 Lv는 봄再生期에 비하여 가을再生期가 전반적으로 낮았는데 이는 주로 가을에 葉面積의 확보가 낮은데 기인하는 것으로 보이며, 이와 같이 잎의 空間上 分布는 草種에 따라, 그리고 계절에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

Table 1. Leaf volume density(Lv) of four different swards at 6 weeks after cutting in spring and fall. (Lv; $\times 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)

	Orchard grass	Ladino clover	Or-La mixture	Multi-mixture
Spring	11.9	15.6	10.6	13.4
Fall	13.1	9.9	18.4	9.8

2. 日射光의 透過와 葉面吸光

草地에 따라 草地群落内部에서 日射光의 透過狀態를 測定하여 草地群落의 光利用性을 평가하였다. 相對光度의 測定은 종래에는 照度計에 의한 相對照度의 表示에 그쳤으나 光合成有效光波長인 300~700nm의 Quantum energy로서 측정된 본 실험의 결과는 光合成에 決定的인 影響을 미치는 光量의 평가에 보다 精密性을 나타낼 것으로 믿어진다.

草型에 따라 群落의 光透過狀態를 Monsi의 光消滅係數(吸光係數; K)로서 표시하였을 때 그림 3의 各直線回歸式에서 獨立變數인 LAI의 常數가 이에 相當하는 것으로 春再生期의 경우 오차드그라스單播區는 $k=0.29$ 로서 直立葉型(Erectophile), 라디노클로버單播區는 $k=0.70$ 으로 水平葉型(Planophile)이었고, 오차드-라디노混播區와 多混播區는 각각 $k=0.58$ 및 0.48 로서 中間葉型(Plagiophile)을 나타내었다.⁷⁾

가을재생기에는 오차드그라스單播區는 $k=0.43$ 으로 상당히 만곡화 현상이 나타났으나 라디노클로버單播區는 $k=0.74$, 오차드-라디노混播區는 $k=0.43$, 그리고 多混播區는 $k=0.58$ 로서 봄재생기와 비슷한 光消滅係數를 나타내었다. k값이 작은 畝락일 수록 積正 LAI가 커지는 현상은 Saeki⁹⁾의 결과와 동일하였다.

한편, 草地에서 日射光의 95%를 吸收하는 葉面積指數를 限界 LAI (Critical LAI; LI_{95})로 표현하고 그 이상의 葉面積指數에서는 相互遮光이 심하여지고 群落의 同化生産量이 一定限界에 이르러 더이상 증가하지 않고 停滯하거나 또는 漸減하는 현상을 나타내는 것으로 알려져 있다.^{1,6)} 본 실험에서 淸명한 날의 平均 일사광도가 $1,200 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 이상에 달할 때 LI_{95} 에 해당하는 日射光度는 $60 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 로서 麥類의 光度에 따른 氣孔低抗은 葉表面의 경우 $150 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$

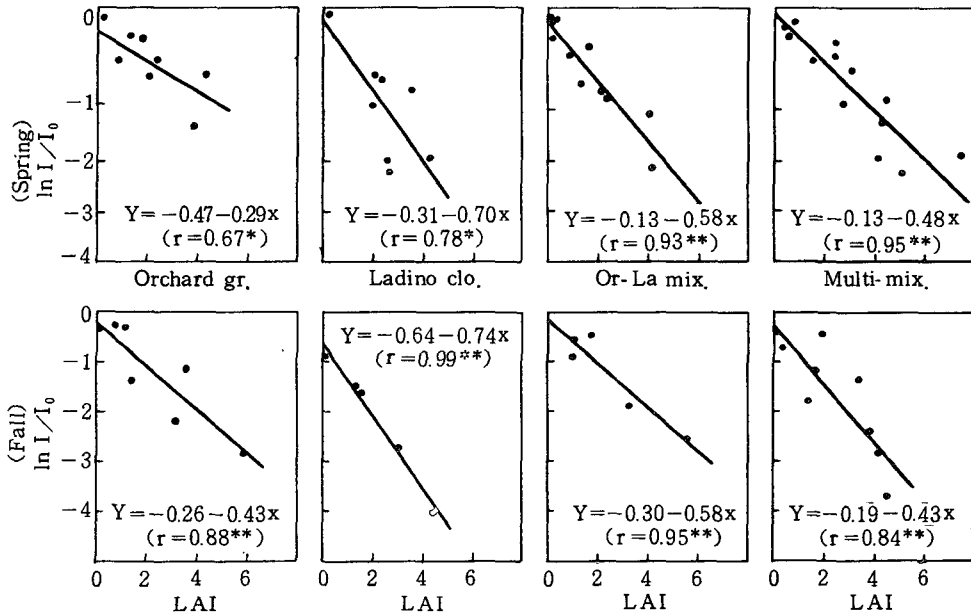


Fig. 3. Relationship between LAI and $\ln I/I_0$ in four different swards during spring and fall regrowth period (I: light intensity at the base of the sod, I_0 : light intensity above the stand).

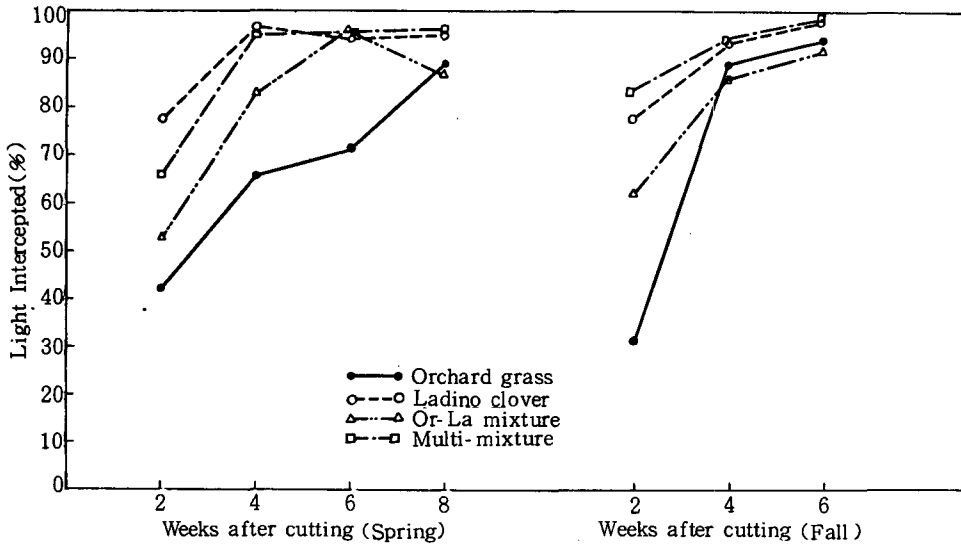


Fig. 4. Light interception in four different swards during spring and fall regrowth period.

Table 2. Critical LAI measured and estimated.

	Orchard grass		Ladino clover		Or-La mixture		Multi-mixture	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Spring		8.7	2.6	4.2	4.2	4.6	4.2	5.4
Fall	5.6	6.4	2.0	3.2	5.5	6.5	3.0	4.6

A: measured B: estimated

부터 기공의 폐쇄가 일어나기 시작하였고, $30 \mu\text{Em}^{-2} \text{sec}^{-1}$ 에서 거의 완전한 閉孔으로 관측된⁹⁾ 점으로 미루어 LI_{95} 의 光度는 상당한 기공저항을 보여주는 상태로 탄소동화작용에 부족한 光상태임을 알 수 있다. 따라서, 한계 LAI 이상의 葉면적지수는 非生産組織化하므로 同化生産面에서는 過多한 葉面積으로 생각된다. LI_{95} 에 해당하는 $Lu I / I_0 = -3.0$ 이므로 그림 3의 회귀식을 이용하여 限界 LAI를 계산하여 보면 봄, 가을 각각 오차드그라스單播區는 8.7~6.4 라디노클로버單播區는 3.2~4.2, 오차드-라디노 混播區는 4.6~6.5, 그리고 多混播區는 4.6~5.4로 계절 및 草地 종류에 따라 限界 LAI가 변화함을 알 수 있다. 그러나 실제 各草地에서 刈取 후 4~6週 후 LI_{95} 에 도달하는 葉面積을 확보하였는데(그림 4), 이 때의 限界LAI는 이론치보다 다소 낮은 값을 보였으며, 라디노클로버單播區가 가장 낮았으며, 오차드그라스單播區가 가장 높았고 混播區는 그 중간치를 보였다.(표 2).

가을철에는 일반적으로 光의 強度가 떨어져 LAI

도 낮아지게 되는데 본실험의 결과도 이와 비슷한 경향을 보였으나 오차드-라디노混播區는 도리어 높아졌는데 이는 草種構成比가 변화하여 나타난 현상으로 보여지나 명확하지는 않았다.

3. 草地別 乾物生産 特性

牧草의 刈取收量은 葉, 葉鞘 및 줄기와 아울러 때로는 花器 部分의 一部로서 이루어진다. 刈取가 늦어져 生育이 진전될 수록 葉 이외의 非同化器官의 比率이 증가하여 葉이 차지하는 부분은 상대적으로 감소하게 한다.

본 실험의 결과는 LAI의 증가에 따라 오차드그라스의 乾物收量은 계속 증가하여 본 실험 조건하에서는 葉面積의 확보가 增收과 직결될 수 있었다. 라디노클로버의 單播草地는 LAI 3.8 이상에서는 乾物重의 증가가 인정되지 않았고, 4.5에서는 감소하는 양상을 보여주었다. 반면 오차드-라디노 混播草地는 適正 LAI가 8.0이었고, 그 이상에서는 乾物重이 감소되었다(그림 5)(그림 6). 葉의 무게가 전체 刈取

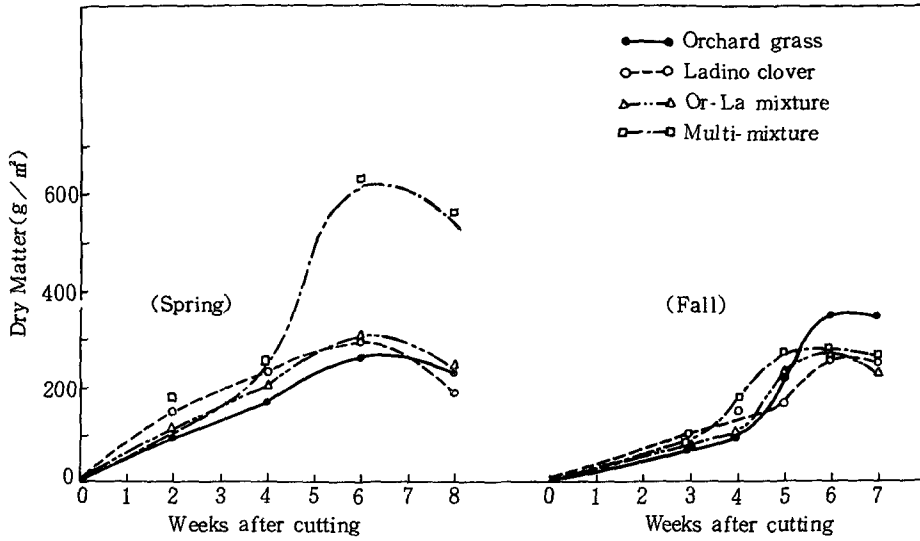


Fig. 5. Changes of dry matter of four different swards during spring and fall regrowth period.

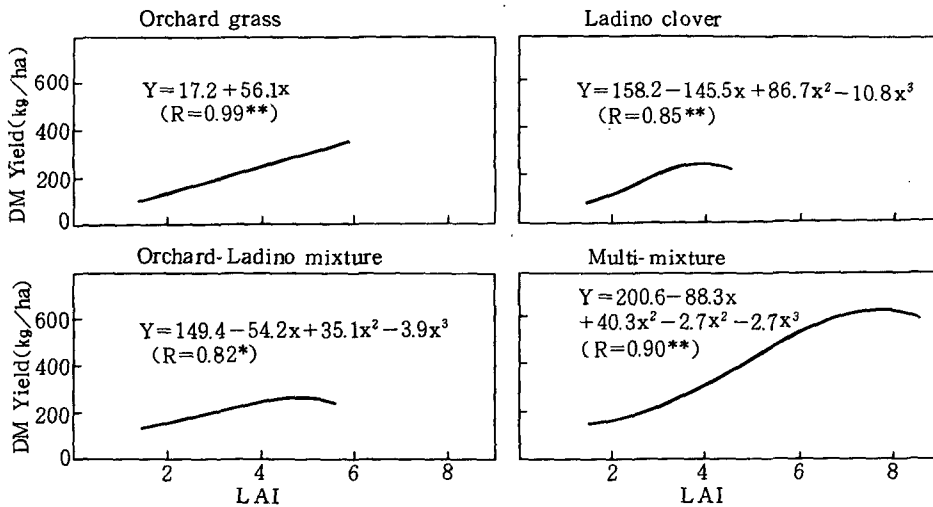


Fig. 6. The relationship between LAI and dry matter yield in four different swards.

乾物重에서 차지하는 比率을 葉重比로 표시하였을때 오차드그라스는 약 70%로 높은 편이고, 라디노클로버는 45% 정도로서 낮게 나타났으며, 오차드-라디노의 混播區 및 多混播區는 그 중간 정도로 葉重比가 낮은 草地에서 LAI와 乾物收量 간에는 直線回歸보다는 曲線쪽이 더 적합하였고 어느 정도 LAI가 증가하면 乾物收量은 停滯, 또는 減少하는 현상을 나타내었다. 이것은 草型에 따른 透光率과도 관련되어 直立型이었던 오차드그라스單播區는 下位葉으로 光線의 침투가 용이하여 乾物生産에 있어 日射光度가

크게 문제되지 않았고, 그 밖의 要因, 즉 土壤水分 또는 肥效가 좋은 상태면 增收가 기대될 수 있으나 라디노클로버는 上層部에서 光線의 遮斷이 심하여 下位葉의 光利用이 매우 불리하였고 增收에 한계가 있었다. 오차드-라디노混播區 및 多混播區에서는 草型이 비교적 上下部에 고루 分布되어 LAI가 증가함에 따라 充分한 光利用이 이루어질 수 있고, 증수가 가능하였다.

草地別 生産性을 生長分析으로 비교하였을때 作物 生長速度(CGR)과 純同化率(NAR)은 오차드-라디

Table 3. Growth characteristics during spring and fall regrowth period.

	CGR (g/m ² , day)		NAR (×10 ⁻¹ mg/cm ² ·day)		Leaf weight ratio (%)	
	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall
Orchard grass	5.74	8.29	2.31	5.30	68.7	79.6
Ladino clover	6.52	6.10	2.57	3.20	43.9	49.9
Or-La mix	6.57	7.20	3.26	4.70	61.7	76.7
Multi-mix	12.70	6.80	6.22	4.40	41.2	59.6

노混播區에서 各各의 單播區의 중간, 또는 높은 쪽과 비슷하여지는 경향을 나타내어 混播時 收量이 安定됨을 알 수 있었다. 多混播區는 봄철에는 草種分布의 70% 이상을 차지하였던 荳科의 生育이 매우 왕성하여 빠른 生長速度를 나타내었으나 가을에 들면서 荳科의 再生이 부진하여 낮은 生長率을 나타내었다. 일반적으로 봄철에는 氣溫의 상승이 빠르고 光이 충분하나 土壤水分의 不足이 심하고, 가을에는 水分은 충분한 편이나 점차 氣溫이 낮아져 生長을 제한하게 된다. 본 실험의 결과에서 오차드그라스는 서늘한 가을의 再生期에 현저히 生長速度가 높았고, 多收를 얻을 수 있었으나 라디노클로버는 두 再生期間에 큰 차이가 없었으며 多混播區는 알파과 및 레드클로버의 生育이 봄철에 매우 왕성하여 계절간 차이가 심하였다(표 3).

草地群落의 光合成량을 最大로 하는 理想的 群落은 日射光이 가능한 群落의 모든 잎에 골고루 이용될 수 있게 낮은 k係數를 가져 光의 消滅이 서서히 이루어지고 적정 LAI가 높은 군락이 바람직하다. 이러한 관점에서 單播보다는 混播쪽이 유리한 것으로 생각된다. 한편, 葉의 發生이 一定한 生育期에서 중지하는 食糧作物에서와는 달리 계속적으로 葉의 發生을 조장하고, 따라서 牧草收量이 증가하는 草地에서 適正 LAI 以上の 過繁茂는 크게 문제시 되지 않으나 牧草의 品質과 再生能力을 고려하여 適正 LAI를 초과할 즈음刈取를 하여야 할 것이며 본 실험조건에서는刈取後 약 6週頃に 해당되었다.

摘 要

草地群落에서 光利用과 乾物生産特性을 알아 보기 위하여 오차드그라스, 라디노클로버의 各單播草地와 오차드-라디노混播草地, 禾本科·荳科의 多混播草地에 동일한 刈取管理를 하고 再生期 1~2週 간격으로

草地構造와 白射光의 透過, 草地의 生長率을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 各草地는 刈取後 6週頃に 최대의 草型을 이루었고, 오차드그라스 單播區는 直立型, 라디노클로버는 逆三角型, 오차드-라디노混播區는 中下部에 크게 분포되었으며, 多混播區는 草高가 높고 上下에 고른 葉의 分布를 나타내었다.

2) 봄再生期동안 葉面積指數(LAI)는 多混播區에서 높았으나 葉面積密度(Lv)는 라디노클로버가 多混播區보다 더 높아 葉의 密集化가 심하였고, 가을再生期에는 LAI가 오차드그라스單播區와 오차드-라디노混播區에서 높았고, Lv 역시 이들 區에서 높았다.

3) 各草地의 光消滅係數는 오차드그라스單播區가 0.29~0.43으로 라디노클로버單播는 0.70~0.74, 그리고 오차드-라디노混播區 및 多混播區는 0.43~0.58을 나타내어 各各 直立葉型, 水平葉型 및 中間葉型으로 특징 지을 수 있었다.

4) 乾物收量은 LAI와 높은 正의 相關을 보였고, 限界 LAI는 오차드그라스單播區가 가장 높았고, 라디노클로버單播區가 가장 낮았다. 한편, 適正 LAI는 오차드그라스單播區는 6以上, 라디노클로버單播區는 3.8, 오차드-라디노混播區는 5.0, 그리고 多混播區는 8.0 정도이었다.

5) 各草地의 生長速度는 오차드그라스는 가을재생기에 높았으며, 多混播區는 가을보다 봄에 현저히 높았으나 라디노클로버는 계절간 차이가 없었다.

6) 多混播區 및 오차드-라디노混播區가 草型構造가 良好하였고, 光利用이 向上되었다.

引用 文 献

1. Brougham, R.W. 1960. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll

- content and maximum growth rate of some pasture and crop plants. *Ann. Bot.* 24:463-474.
2. Duncan, W.C. 1971. Leaf angles, leaf area, and canopy photosynthesis. *Crop Sci.* 11:482-485.
 3. 李浩鎮, 尹進一, 李光會. 1981. 麥類의 氣孔擴散抵抗의 日中變化와 葉位別 氣孔의 分布. 韓國作物學會誌 26(1):45~50.
 4. Loomis, R.S., and W.A. Williams. 1969. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. p. 27-51. *In* J.D. Eastin et al. (eds.) *Physiological aspects of crop yield.* ASA and CSSA. Madison, Wis.
 5. Milthorpe F.L. and J. Moorby. 1979. The supply and use of water. p. 34-58. *In* *Crop physiology.* (2nd ed.) Cambridge university press. Cambridge. UK.
 6. Monsi, M. und T. Saeki. 1953. Über die lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 14:22-52.
 7. Monteith, J.L. 1969. Light interception and radiation exchange in crop stands. p.89-115. *In* J.D. Eastin et al.(eds.) *Physiological aspects of crop yield.* ASA and CSSA. Madison, Wis.
 8. Pearce, R.B., R.H. Brown, and R.E. Blaser. 1965. Relationships between leaf area index, light interception and net photosynthesis in orchardgrass. *Crop Sci.* 5:553-556.
 9. Saeki, T. 1960. Interrelationships between leaf amount, light distribution, and total photosynthesis in a plant community. *Botanical magazine, Tokyo,* 73:404-408.
 10. Stern, W.R., and C.M. Donald, 1961. Relationship of radiation, leaf area index, and crop growth rate. *Nature* 189:597-598.
 11. Stoskopf, N.C. 1981. Leaf area and plant architecture. p. 91-111. *In* *Understanding crop production.* Reston Publishing Co. Inc., Reston.
 12. Winter, S.R. and A.J. Ohlrogge, 1973. Leaf angle, leaf area, and corn(*Zea mays* L.) yield. *Agron. J.* 65:395-397.