

刈取週期가 White Clover의 窒素固定과 窒素 및 炭水化物 分配에 미치는 影響

姜晋鎬* · Geoffrey E. Brink**

N₂ Fixation and Partitioning of Nitrogen and Carbohydrate in White Clover as Affected by Defoliation Interval

Jin Ho Kang* and Geoffrey E. Brink**

ABSTRACT : Weak persistence of white clover (*Trifolium repens* L.) under continuous grazing has been limited its availability in the mixture with grasses. The experiment was done to determine the effect of defoliation interval on N₂ fixation, nitrogen and carbohydrate partitioning of contrasting white clover cultivars. Individual plants of Osceola (large leaf), Grasslands Huia (medium leaf), and Aberystwyth S184 (small leaf) were grown in 15cm plastic pot containing a 1:2:1 soil:sand:Promix mixture for 55 days, and then clipped to remove all fully expanded leaves every 7, 14 or 28 days. To measure the cultivar response, plants were sampled immediately before final harvest (0) and on 1, 3, 7, 14, and 28 days after the final harvest, and then separated leaves and petioles, stolons and roots for chemical analysis.

Total nonstructural carbohydrate (TNC) concentrations of stolons and roots, and nitrogen concentration of all the fractions inclined with increased defoliation interval. Those of Osceola, large leaved, were greater than the other cultivars showing different partitioning patterns between stolons and roots. Concentration of TNC was less in roots than in the other fractions while that of nitrogen declined in the order of leaves and petioles, roots and stolons. N₂ fixation rate of larger leaved cultivar, Osceola, was higher than that of smaller leaved cultivar. TNC and nitrogen concentrations of all the fractions and N₂ fixation rate were reduced as defoliation was imposed, defoliation interval declined or regrowing period become shorter. The partitioning patterns of TNC and nitrogen among the fractions were modified by defoliation interval and cultivars.

Key words : White clover, TNC, Nitrogen, Partitioning, N₂ fixation

餉草의 품질이 우수할 뿐만 아니라 질소고정의
장점을 가지고 있는 white clover는 繼續放牧에서

存續年限이 짧은 것이 결점으로 지적되고 있다. 이
상의 장점을 극대화하기 위하여는 혼파초지에서

* 경상대학교 농학과(Dept. of Agronomy, Gyeongsang Nat'l University, Chinju 660-701, Korea)

** 미국미시시피주립대학(USDA, ARS, Forage Research Unit, P.O.Box 5367, Mississippi State, MS 39762, USA) <'94. 9. 2. 接受>

clover의 乾物重 比率이 30% 내외가 바람직하며 한편 牧草生産과 품질을 동시에 고려할 경우 340kg N/ha/yr의 대체효과가 있는 것으로 보고되고 있어서 clover의 適正植生比率을 長期間 유지하기 위한 관리방법이 모색되어야 할 것이다^{8,16,20}.

對別되는 草地 利用方法 중에서 繼續放牧은 放牧週期를 임의로 조절할 수 있는 輪換放牧에 비하여 奪葉이 빈번하고 放牧強度에 따라서 奪葉 週期 및 程度가 달라 草地利用方法이 clover의 收量 및 形態뿐만아니라 生理的 特性에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다^{11,12}.

刈取로 인한 奪葉이 광합성을 低下시킴으로써 포복경과 뿌리에 저장된 탄수화물은 새롭게 전개되는 잎으로 전류되나, 뿌리보다는 포복경에 저장된 탄수화물이 우선적으로 이용되며, 이러한 전류는 貯藏炭水化物的 含量이 높은 예취 후 6일까지 지속되고 2개월 후에는 예취효과가 없어지는 것으로 보고되고 있어서 식물체 各部位間 저장탄수화물의 전류는 비교적 짧은 기간에 걸쳐 일어나는 것으로 보인다^{5,7,13,18,23}.

White clover의 窒素固定은 刈取 후 24시간 이내에 급격히 감소하며 7일후부터 증가하기 시작하여 21일에야 無刈取와 비슷한 수준으로 회복되며 새로이 전개되는 잎에 의하여 증가는 가속화되는 것으로 보고되고 있다^{6,19,21}. 예취에 의한 질소고정의 감소는 광합성 저하가 주요 원인중의 하나로 지적되어 왔으나^{12,22}, 최근에는 예취로 인한 根瘤內 酸素分壓의 감소와 관련이 있는 것으로 보고되고 있다¹³. 한편 perennial ryegrass와의 相互混播에서 大葉種 01 wen은 小葉種 S184에 비하여 질소고정이 많고⁹, 中葉種間에도 차이가 있는 것으로 보고¹⁵ 되고 있어 刈取週期에 따른 clover 품종들의 질소고정에는 차이가 있을 것으로 보인다.

刈取가 포복경 및 뿌리의 질소함량에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데 지상부의 50% 정도를 제거할 경우 재생기간중 지상부의 질소함량은 증가한 반면, 뿌리의 질소함량은 오히려 감소하며, 刈取가 빈번할수록 뿌리뿐만아니라 포복경의 질소함량도 감소되는 것으로 알려져 있다^{22,24}. 그러나 Marriott등¹⁷은 刈取로 질소고정이 제한된 상태에서 잎의 전개에 필요한 질소는 포복경으로부터 일부가

전류되나 주로 뿌리로 부터 전류된다고 하였다.

이상의 시험들은 하나의 품종을 공시하거나, 품종간 반응만 조사한 결과로써 刈取週期가 잎의 크기가 다른 품종들의 生理的 特性에 미치는 영향을 追迹한 試驗은 全無하다. 本試驗은 混播草地에서 white clover의 管理에 필요한 情報를 提供하기 위하여 刈取週期의 長短이 잎의 크기가 다른 white clover 品種들의 再生期間中 窒素固定, 窒素 및 炭水化物的 分配에 미치는 영향을 조사하기 위하여 實施되었다.

材料 및 方法

本試驗은 1990년 3월부터 12월까지 미국 Mississippi 州에 있는 美農務省 溫室 및 分析實驗室에서 行하여 졌으며, 分析試料를 확보하기 위한 white clover의 재배 및 관리는 姜等¹⁴이 행한 방법과 같다.

處理는 white clover 品種과 刈取週期의 2個 要因으로 主區에 品種, 細區에 刈取週期로 분할구 배치법 8반복으로 실시하였다. White clover 品種은 大葉型 Osceola, 中葉型 Grasslands Huia (Huia) 및 小葉型 Aberystwyth S184 (S184)의 3個品種을 供試하였으며²⁵, 刈取週期 處理를 위한 最初刈取는 刈取 후 55일에 複葉 (trifoliolate)이 Carlson stage³ 0.9 이상으로 전개된 잎들을 3cm의 높이로 절단하였다. 最初刈取를 실시한 후 28日 동안 4회(7日 間隔), 2회(14日 間隔) 및 1회 (28日 間隔)로 刈取하여 刈取週期를 달리하였다.

刈取週期의 變動에 대한 各供試品種의 질소고정, 질소 및 탄수화물의 分配過程을 추적하기 위하여 28日 동안의 刈取處理가 끝나는 날(0 day)과 마지막 刈取後 1, 3, 7, 14, 28日에 植物體를 水洗한 후 뿌리는 절단하여 Acetylene Reduction Assay 方法¹⁰으로 窒素固定率을 측정하는데 이용하였다. 지상부는 調查期間中 5℃의 低溫室에 보관하면서 잎, 엽병 및 포복경으로 분리하여 100℃에 30分 경과시킨 후 75℃에 48시간 乾燥·坪量한 후 잎과 엽병은 혼합하였다. 건조된 시료는 0.5mm로 마쇄하여 분석 전까지 plastic 병에 보관하고, 분석 직전 회전기(tumbler)를 이용하여 시료를 균일하

게 혼합하였으며, total nonstructural carbohydrate (TNC)는 Anthrone 方法¹⁾, 질소는 Microkjeldahl 方法²⁾으로 분석하였다.

結果 및 考察

1. Total nonstructural carbohydrate (TNC) 含量

刈取週期에 대한 white clover의 部位別 TNC 含量的 변화는 그림 1과 같다. 뿌리의 TNC 含量이 가장 낮고, 잎과 엽병 및 匍匐莖의 TNC 含量은 상호 비슷한 것으로 조사되었다. 各部位의 TNC 含量에서 포복경 및 뿌리는 예취주기가 짧을수록 감소한 반면, 잎과 엽병은 예취주기 28일과 14일간에는 차이가 없었고 예취주기 7일에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

White clover 공시품종의 部位別 TNC 含量的 변화는 그림 2와 같다. 부위별 TNC 含量은 잎과

엽병은 공시품종간 차이가 없었다고 하나, 포복경과 뿌리는 Osceola에서 가장 높은 경향을 보였다. 그러나 S184는 포복경의 TNC 含量이 가장 낮은 반면, 뿌리에서는 Huia에서 가장 낮아 地上部 및 地下部間 TNC 分配에도 차이를 보였다.

28일 再生期間中 예취주기에 따른 部位別 TNC 含量 변화는 그림 3과 같다. 잎과 엽병, 포복경 및 뿌리의 TNC 含量이 예취 후 3일까지 감소한다고 할지라도 포복경에서의 감소가 가장 큰 것으로 나타났다. 예취 3일후부터는 各部位의 TNC 含量이 증가하나 잎과 엽병에서는 14일 이후에는 변화가 없는 반면, 포복경 및 뿌리는 28일까지 계속 증가하였으나 그 증가는 뿌리보다는 오히려 포복경에서 큰 경향을 보였다. 28일의 再生기간중 TNC 含量은 잎과 엽병 또는 포복경에 비하여 뿌리에서 낮고, 한편 포복경은 잎과 엽병에 비하여 예취 3일 후 TNC 含量은 잎과 엽병 또는 포복경에 비하여 뿌리에서 낮고, 한편 포복경은 잎과 엽병에 비하여

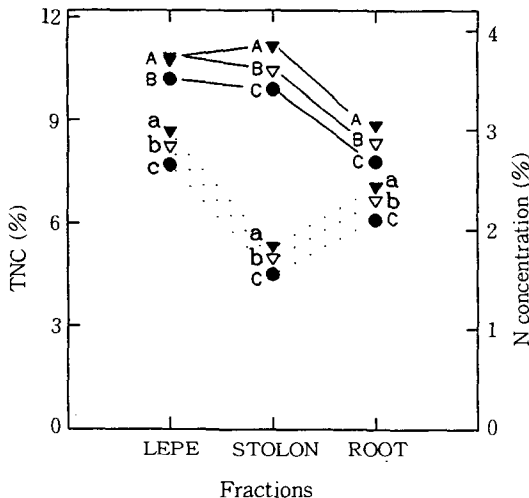


Fig. 1. Effect of defoliation interval on TNC (solid lines) and nitrogen (dot lines) concentration of white clover. Symbols for TNC and nitrogen concentration indicate ●-●, 7; ▽-▽, 14 and ▼-▼, 28 day defoliation interval. LEPE in X axis means the leaves and petioles. Letters compare mean concentrations within the same fraction. Symbols having different letters are significantly different by LSD ($p=0.05$).

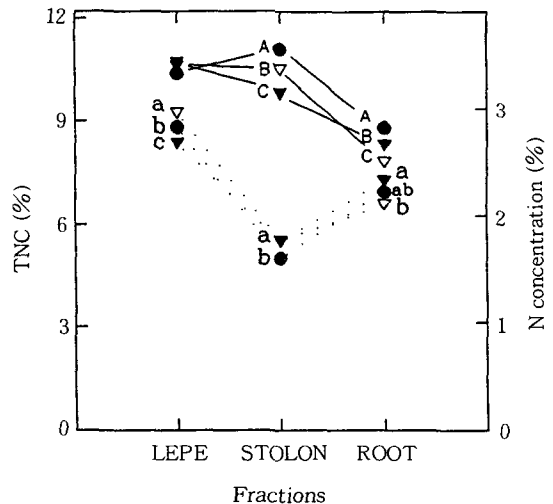


Fig. 2. Effect of white clover cultivar on TNC (solid lines) and nitrogen (dot lines) concentration. Symbols for TNC and nitrogen concentration indicate ●-●, Osceola; ▽-▽, Huia and ▼-▼, S184. LEPE in X axis means the leaves and petioles. Letters compare mean concentrations within the same fraction. Symbols having different letters are significantly different by LSD ($P=0.05$).

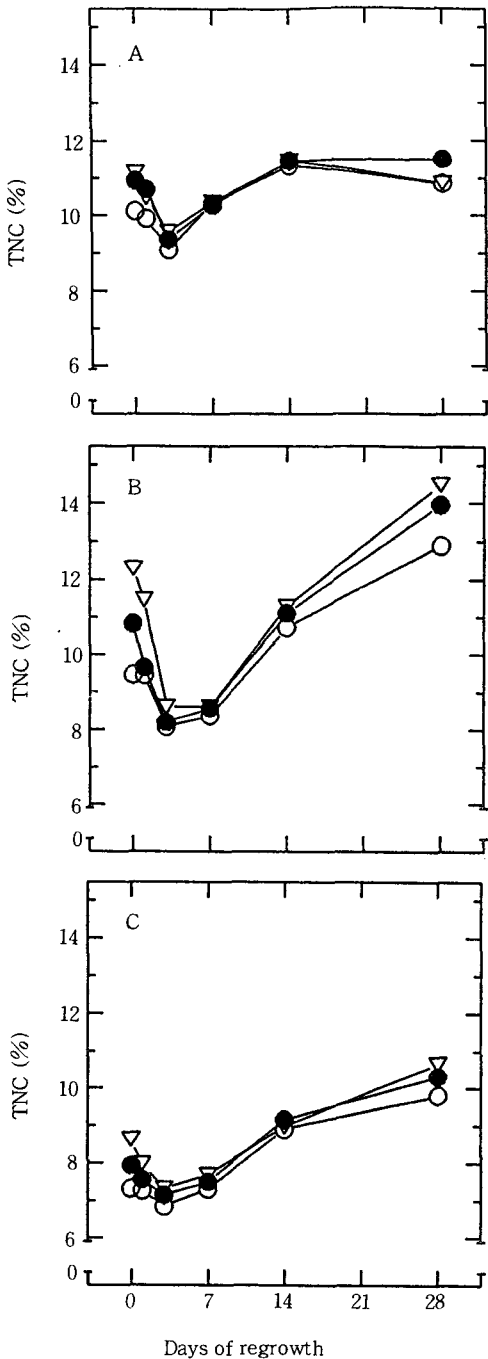


Fig. 3. TNC concentration of white clover leaves and petioles (A), stolons (B) and roots (C) as influenced by defoliation interval and regrowing days. Symbols indicate ○-○, 7 day: ●-●, 14 day and ▽-▽, 28 day defoliation interval.

예취 3일 후부터 7일까지는 낮다 할지라도 28일에서는 오히려 높은 것으로 조사되었다. 예취주기가 部位別 TNC 함량에 미치는 영향은 잎과 엽병 또는 뿌리에서 보다는 포복경에서 현저하였고, 특히 포복경의 TNC 함량은 예취주기가 28일에서 7일로 줄어짐으로써 충분한 재생기간이 주어진 예취 후 28일에서 감소되는 경향을 보였다.

TNC 함량은 뿌리보다는 포복경에서 높고, 포복경의 TNC 함량은 예취 후 급격히 감소하였다가 28일 후에는 현저히 증가하며 이러한 경향은 예취주기가 길수록 더욱 뚜렷한 것으로 나타난 本試驗結果와 white clover의 포복경이 탄수화물의 주요 저장기관^{1,18)}이며, 예취주기가 짧을수록 포복경의 탄수화물함량이 감소하고 포복경으로 부터 저장물질의 전류가 크다는 보고^{7,23)}와 대체로 일치하였다. 예취로 인하여 광합성이 일어나는 葉의 數가 제한된 상태에서 새로운 잎을 전개시키는데 필요한 energy는 포복경에 저장된 물질의 전류량에 의존함으로써, 예취주기가 길수록 포복경의 TNC 함량이 높고 전류되는 量도 많아 잎의 재생이 빠를 것으로 보이며, 특히 예취 28일 후에도 빈번한 예취로 인하여 포복경의 TNC 함량이 낮은 것으로 부터 예취주기가 짧은 계속방목은 윤환방목에 비하여 포복경으로 부터 저장탄수화물의 전류량이 적어서 비교적 長期間 잎 또는 頂芽의 성장에 영향을 미칠 것으로 보인다. 한편 供試品種 모두 예취 후 3일부터 7일까지 TNC 함량이 감소한다 할지라도 大葉種인 Osceola는 예취 28일후에 포복경 및 뿌리에 많은 TNC를 함유하고 있어서 예취 후 잎의 재생에 필요한 탄수화물의 전류를 원활하게 할 것으로 보여 大葉種은 계속방목보다는 윤환방목에 적절한 것으로 보인다.

2. 窒素固定

예취주기, 품종 및 재생기간별 Acetylene Reduction Assay로 측정된 질소고정은 그림 4와 같다. 질소고정은 예취주기를 28일에서 7일로 줄임으로써 현저히 억압되었고, Osceola에서 가장 많고 Huia, S184 순으로 감소하여 잎의 크기가 작아 짐으로써 질소고정도 감소하였다. 한편 28일의 재생기간중 질소고정의 변화는 刈取 直前に 비하여 예

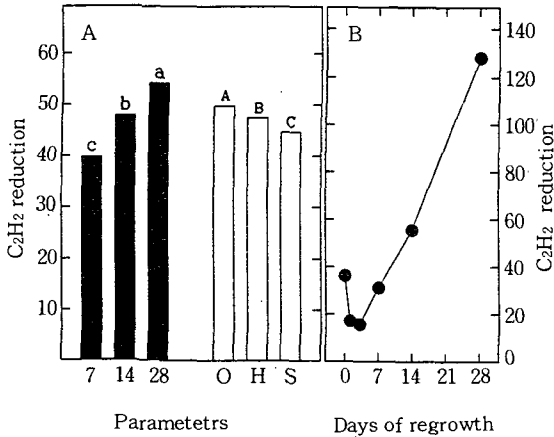


Fig. 4. Acetylene reduction rate ($\text{nM C}_2\text{H}_4 \text{ h}^{-1} \text{ plant}^{-1}$) as influenced by defoliation interval (filled bars in A), white clover cultivar (hollowed bars in A) and regrowing day (B). Abbreviations for X axis in A mean O, Osceola; H, Huia and S, S184.

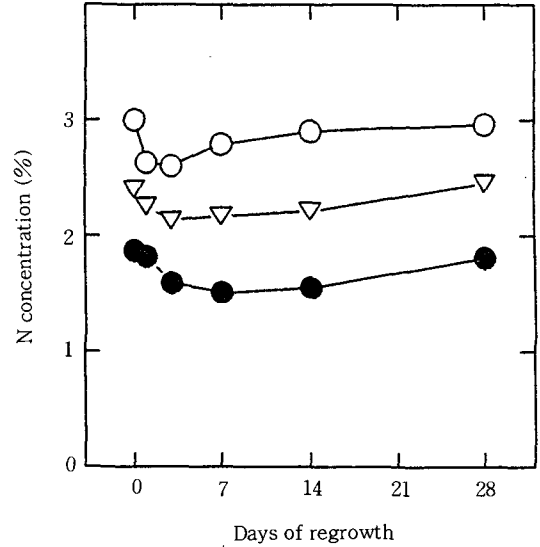


Fig. 5. Nitrogen concentration of white clover fractions as influenced by regrowing days. Symbols indicate ○-○, leaves and petioles; ●-●, stolons and ▽-▽, roots.

취 후 1일부터 3일까지는 감소하였다가 그 이후에는 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

예취로 인하여 질소고정은 급격히 감소하며, 예취가 빈번할수록 減少程度가 深化되나 재생기간이 늘어남으로써 현저히 증가되고^{6,19,21}), 질소고정은 大葉種일수록 많다는 보고⁹)와 本試驗 結果로부터 잎의 收穫이 빈번한 계속방목은 윤환방목에 비하여 질소고정을 현저히 억압시킬 것으로 보여 white clover가 갖는 질소고정의 장점을 살리기 위하여는 윤환방목이 적절할 것이며, 윤환방목에서는 S184와 같은 小葉種보다는 Osceola와 같은 大葉種을 導入하는 것이 적절할 것이다.

3. 窒素含量

刈取週期에 대한 white clover의 部位別 窒素含量의 변화는 그림 1과 같다. 各部位의 질소함량은 收穫이 일어나는 잎과 엽병에서 가장 높고 포복경이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 예취주기가 늘어남으로써 各部位 공히 질소함량은 증가하는 경향이였다.

White clover 공시품종의 部位別 窒素含量의 변화는 그림 2와 같다. 잎과 엽병 및 뿌리의 질소함량

은 Osceola에서 가장 높고 S184에서 가장 낮아 잎의 크기가 작을수록 감소하는 경향이였으나, 포복경에서는 오히려 Huia에서 가장 낮은 것으로 나타나 各部位間 窒素分配에도 품종간 차이가 있는 것으로 조사되었다.

28일의 재생기간중 部位別 窒素含量의 변화는 그림 5와 같다. 刈取 直前보다는 예취로 인하여 잎과 엽병, 포복경 및 뿌리의 질소함량은 모두 감소한다 할지라도 잎과 엽병에서의 감소가 가장 큰 것으로 나타났고, 지상부의 잎과 엽병 및 포복경에서는 예취 3일 후, 지하부의 뿌리는 7일 후부터 증가되는 경향이였다. 그러나 잎과 엽병의 질소함량은 7일 이후에는 증가가 아주 완만한 것으로 측정되었다.

질소함량은 포복경보다는 뿌리에서 높고, 예취로 인하여 各部位의 질소함량은 감소하고 그 이후에는 회복이 완만하여, 예취주기가 짧을수록 뿌리 및 포복경의 질소감소가 크고, 품종간에도 질소분배에서 차이가 있다는 기존의 보고^{4,17,22,24})와 本試驗의 결과로부터 刈取 後 포복경 및 뿌리의 질소함량 감소는 질소고정이 예취 이전의 수준으로 회복될 때까지 포복경과 뿌리에 집적된 질소가 새로이

전개되는 잎으로 전류되는 것으로써 예취주기가 짧을수록 전류정도는 적어, 유회방목에 비하여 계속방목은 질소고정 뿐만 아니라 질소전류도 감소시켜 잎의 생장을 둔화시킬 것으로 보인다. 한편 Osceola와 같은 大葉種 또는 Huia와 같은 中葉種에 비하여 S184와 같은 小葉種은 收奪이 일어나는 잎과 엽병보다는 뿌리에 더 많은 질소를 분배함으로써 계속방목에서는 小葉種의 적응력이 뛰어난 것으로 보인다.

摘 要

White clover는 많은 長點에도 불구하고 繼續放牧에 대한 適應力이 낮아 存續年限이 짧은 것이 缺點이다. 따라서 本 試驗은 white clover 混播草地 管理에 필요한 情報를 提供하기 위하여 刈取週期の 長短(7일, 14일, 28일)이 28일의 再生期間 동안 잎의 크기가 다른 white clover 品種(Osceola, Huia, S184)의 질소고정, 各部位(잎과 엽병, 포복경 및 뿌리)別 total nonstructural carbohydrate(TNC) 및 窒素의 分配에 미치는 영향을 조사하기 위하여 溫室에서 pot 試驗으로 실시한 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. TNC 함량은 포복경과 뿌리에서 예취주기를 7일에서 28일로 늘임으로써 증가하였고 大葉種인 Osceola에서 가장 높은 함량을 보인 반면, 中葉種인 Huia와 小葉種인 S184은 各部位間 分配가 다른 것으로 나타났다.
2. 窒素含量은 全部位에서 이상의 포복경과 뿌리의 TNC 함량과 類似한 反應을 보였다.
3. TNC 함량은 뿌리보다는 잎과 엽병 또는 포복경에서 많은 반면, 질소함량은 엽병, 뿌리, 포복경의 순으로 감소하였다.
4. 예취로 인하여 全部位의 TNC 및 질소 함량은 감소하였으나, 재생기간이 길어짐으로써 증가하는 경향이였다. 또한 刈取週期에 따라 재생기간 중 各部位間 TNC 및 窒素 分配에는 차이가 있는 것으로 조사되었다.
5. 질소고정은 예취주기가 7일에서 28일로 증가함으로써 증가하고 大葉種일수록 큰 것으로 나

타났으며, 예취 3일후까지는 감소하다가 그 이후에는 증가하였다.

引用文獻

1. Baur-hoch, B., F. Machler, and J. Nosberger. 1990. Effect of carbohydrate demand on the remobilization of starch in stolons and roots of white clover(*Trifolium repens* L.) after defoliation. J. Exp. Bot. 41: 573-578.
2. Bremner, T. M. 1965. Total nitrogen. p. 1149-1179. In C. A. Black et al.(ed) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy Monograph 9. ASA and ASSA, Madison, WI, USA.
3. Carlson, G. E. 1966a. Growth of clover leaves-Developmental morphology and parameters at ten stages. Crop Sci. 6:293-294.
4. Caradus, J. R. 1986. Variation in partitioning and percentage nitrogen and phosphorus content of the leaf, stolon, and root of white clover genotypes. N. Z. J. Agric. Res. 29:367-379.
5. Chapman, D. F., M. J. Robson, and R. W. Snaydon. 1990. Short term effects of manipulating the source: sink ratio of white clover(*Trifolium repens*) plants on export of carbon form, and morphology of developing leaves. Physiol. Planta. 80: 262-266.
6. Chu, A. C. P., and A. G. Robertson. 1974. The effects of shading and defoliation on nodulation and nitrogen fixation by white clover. Plant Soil. 41:509-519.
7. Danckwerts, J. E., and A. j. Gordon. 1989. Long-term partitioning, storage and remobilization of ¹⁴C assimilated by *Trifolium repens*(cv. Blanca). Ann. Bot. 64:533-544.
8. Frame, J. 1992. The grazing process. p. 175-186. In John Frame(author) Improved

- Grassland Management. Farming Press Books, Wharfedale, Ipswich, UK.
9. Goodman, P. J. and M. Collison. 1986. Effect of three clover varieties on growth, ^{15}N uptake and fixation by ryegrass /white clover mixtures at three sites in Wales. *Grass Forage Sci.* 41:191-198.
 10. Hardy, R. W. F., R. D. Holsten, E. K. Jackson, and R. C. Burns. 1968. The acetylene-reduction assay for N_2 fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* 43:1185-1207.
 11. Harris, W. 1987. Population dynamics and competition. p. 203-297. *In* M. J. Baker and W. M. Williams (ed.) *White clover*. C. A. B International, Wallingford, UK.
 13. Hartwig, U., B. C. Boller, B. Baur-Hoch, and J. Nosberger. 1990. The influence of carbohydrate reserves on the response of nodulated white clover to defoliation. *Ann. Bot.* 65:97-105.
 14. 姜普鎬, G. E. Brink. 1994.刈取週期가 white clover의 再生 및 形態의 特性에 미치는 影響. *韓作誌.* 39(3): 245-255.
 15. Ledgrad, S. F., G. J. Brier, and M. P. Upsdell. 1990. Effect of clover-ryegrass swards under dairy cow grazing. *N. A. J. Agric. Res.* 33:243-249.
 16. Lowther, W. L., J. H. Hoglund, and M. J. Macfarlane. 1989. Aspects that limit the survival of legume seedlings. p. 265-275. *In* G. C. Marten, A. G. Matches, R. F. Barnes, R. W. Brougham, R. J. Clements, and G. W. Sheath (ed.) *Persistence of Forage Legumes*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA.
 17. Marriott, C. A. and A. Haystead. 1990. The effect of defoliation on the nitrogen economy of white clover: regrowth and the remobilization of plant organic nitrogen. *Ann. Bot.* 66:465-474.
 18. Moran, C. H., V. G. Sprague, and J. T. Sukkivan. 1953. Changes in the carbohydrate reserves of Ladino white clover following defoliation. *Plant Physiol.* 28: 467-474.
 19. Moustafa, E., R. Ball, and T. R. O. Field. 1969. The use of acetylene reduction to study the effect of nitrogen fertilizer and defoliation on nitrogen fixation by field-grown white clover. *N. Z. J. Agric. Res.* 12:691-696.
 20. Roberts, D. J., J. Frame, and J. D. Leaver. 1989. A comparison of a grass /white clover sward with a grass sward plus fertilizer nitrogen under a three-cut silage regime. *Res. Devel. Agric.* 6:147-150.
 21. Ryle, G. J. A., C. E. Powell, and A. J. Gordon. 1985. Defoliation in white clover: regrowth, photosynthesis and N_2 fixation. *Ann. Bot.* 56:9-18.
 22. _____, _____, M. K. Timbrell, and J. P. Jackson. 1989. Carbon and nitrogen yield, and N_2 fixation in white clover plants receiving simulated continuous defoliation in controlled environments. *Ann. Bot.* 63:675-686.
 23. Tesar, M. B. and H. L. Ahlgren. 1950. Effect of height and frequency of cutting on the productivity and survival of Ladino clover (*Trifolium repens* L.). *Agron. J.* 42:230-235.
 24. Whitehead, D. C. 1983. The influence of frequent defoliation and of drought on nitrogen and sulphur in the roots of perennial ryegrass and white clover. *Ann. Bot.* 52:931-934.
 25. Williams, W. M. 1987. Genetics and breeding. p. 343-419. *In* M. J. Baker and W. M. Williams (ed.) *White clover*. C. A. B International, Wallingford, UK.