

## 荳科牧草의 窒素固定에 關한 研究

### I. 窒素施肥水準이 라디노 클로버의 窒素固定 및 生長에 미치는 影響

李孝遠

## Studies on the Nitrogen Fixation of Legumes

### I. Effects of nitrogen fertilization level on nitrogen fixation and growth of ladino clover

Hyo Won Lee

#### Summary

Ladino clover stolon growing in grazed sward transplanted in 1/5,000a Wagner pot with two rows and were grown in green house with 12h lighting. Fifty days after transplanting the first cutting was made, the second and 3rd cutting was made 20 days after each harvest. Treatment were nitrogen fertilization level of 2.5, 5.0 and 7.5 kg N/10a. Nitrogen was top dressed after transplanting and each cutting. Growing point, above and under ground DM yield, nitrogen fixation, crude protein of stolon, root and change of acetylene reduction activity after cutting were investigated. Result are as follows.

1. Growing point, DM production were highest in 5 kg N at the first and 2nd harvest while 2.5 kg at 3rd cutting. Plants with 7.5 kg N/10a were dead at 3rd harvest. There were significant differences in growing point between treatment.
2. Nitrogen fixation of ladino clover were the highest in 2.5 kg N pot at 1st cutting and as cutting and N fertilization were continued nitrogen fixation activity was lowered.
3. Leaf have more crude protein than that of stolon and root while plant crude protein increased by 2nd cutting as plant got more nitrogen fertilizer and again decreased in 3rd cutting.
4. Acetylene reduction activity were lowest at 3 week and recovered normal level at 5 week after cutting, also DM root was same trend.

#### I. 緒 論

人口增加에 대비하려면 食糧增産은 계속되어야 하고 이에 가장 필요한 것은 窒素肥料이다. 한 연구에 의하면 지구상에서 생산되는 비료는 약 5억톤이라고 하며 家畜飼料과 窒素肥料生産을 위해서 쓰이는 에너지를 천연개스로 환산하면  $6 \times 10^{10} \text{m}^3$ 라고 한다.

그런데 지구상의 대기중 약 80%는 질소로 구성되어 있으며 이를 1ha의 地球表面 大氣圈에는 元素狀

態의 질소로 환산하면 약 75,500톤이나 된다고 한다. 그러나 이것이 식물체에 의해서 직접 이용할 수 없으며 어떤 형태든 窒素固定過程을 거쳐야만 유용화 될 수 있다. 다행히 인간이 재배하는 작물 중에 대기중의 질소를 이용할 수 있는 작물이 있는데 그것은 다름아닌 荳科作物이다. 이들의 뿌리에 달려있는 뿌리혹 속의 根瘤菌은 질소를 고정할 수 있는 능력이 있어 대기중의 질소를 고정 숙주인 식물체에 공급한다. 그 양은 조사자에 따라 다르나 Chatt(1976)는 지구상의 생물질소고정량은 化學肥料

량의 약 4배 정도에 이른다고 하였다. Lee와 Laidlow (1991)은 두과목초의 중요성을 강조하면서 혼파초지에서 여름철 두과가 고정된 질소의 90%가 화본과로 이동한다고 하였다.

荳科植物이 어느 정도의 窒素를 共生過程을 통해서 얻느냐 하는 것은 식물의 생육단계, 공생체계에서의 산도 등에 따라 달라진다. 뿐만 아니라 두과식물의 종류, 土壤 肥沃度, 비배관리 그리고 재배환경 등도 관계한다. 荳科植物의 근류균에 의해 토양 및 식물체에 공급하는 질소고정량의 측정은 50년대 이전에는 켈달법으로 추정하였으나 Burris(1957)가 처음으로 微生物의 空中窒素固定酵素(Nitrogenase)가 아세틸렌( $C_2H_2$ )를 에틸렌( $C_2H_4$ )로 환원하는 작용은 발표한 이래 여러 학자들은 종래의 켈달법이나 重窒素法( $N_D$ )보다 훨씬 감도가 높은 아세틸렌 환원법을 空中窒素固定의 연구에 이용하게 되었다. 이 방법은 감도가 켈달법의  $10^6$  그리고 중질소법의  $10^3$ 배 더 높을 뿐 아니라 간단하고 신속하게 측정할 수 있어 중질소법보다 경제적이다. 이런 경제성과 간편성 때문에 외국에서는 아세틸렌환원법이 두과식물의 질소고정량 측정에 널리 이용되어 왔다.

한편 우리 나라에서는 콩과 알팔파의 根瘤菌 接種效果(李와 李 1981a,b, 朴 등 1973, 崔 등 1980, 柳 등 1983)과 窒素施肥에 대한 荳科植物의 生育에 미치는 영향에 관한 결과(金과 Jensen 1987, 柳 등 1974) 그리고 石灰施用에 대한 효과(崔 1991, 李와 李 1981)가 있을 뿐 荳科牧草인 크로바에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 방목지에서 혼생하고 있는 라디노클로버의 생태적 특성을 밝히고자 목초지에 자생하는 클로버를 포트에 이식하여 질소시비에 따른 질소고정, 생육특성 및 건물생산량에 미치는 영향을 규명하고자 실시하였다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 處理 및 植物栽培

1991년 10월 방목지의 혼파초지 뗏장을 채취, 클로버의 포복경을 분리하여 1/5,000a 와그너 포트에 이식하여 온실에서 재배하였다. 온도는 주간은 22℃ 야간은 10℃ 정도를 유지하였다. 포트의 토양은 뗏장을 채취한 곳의 토양으로 하여 포복경을 두

줄로 이식하였다. 이 때 인산 및 가리는 8kg 및 5kg을 포트 전토양에 골고루 혼합하여 포트에 채웠다. 이식 후 50일 경과한 다음 1992년 1월 17일부터 본 시험을 실시하였는데 이 때 처리는 窒素施肥水準으로 小肥, 普肥 그리고 多肥 3반복으로 2.5kg, 5kg 그리고 7.5kg/10a를 매 20일 예취 후에 시비하였다.

다시 1992년 10월에는 질소시비 후 窒素固定能의 추이를 규명하기 위하여 방목지 뗏장의 포복경을 분리하여 '91년과 같은 방법으로 재배하였는데 '91년의 실험결과 2.5kg/10a의 처리가 바람직한 것으로 판명되어 이를 기비로 시비 50일간 재배한 다음 본 시험을 실시하여 매 1주일 마다 시료를 채취하여 地上部 및 地下部 乾物收量, 葉面積, 植物體窒素固定能 그리고 켈달법에 의한 조단백질 등을 분석 조사하였다.

### 2. 라디노 클로버의 窒素固定能力 測定方法

窒素固定能力 測定은 Gas-Chromatograph(Hewlett 5890 Packard Series 11)를 이용하여 아세틸렌 환원법에 의하였다. 분석에 사용한 컬럼은 2m 길이의 Stainless steal로 여기에 Porapak-Q(80-100 mesh)을 사용하였다. 이 때 Oven temperature는 60도 Injection Temp. 80, Detector Temp 80 Flow rate 40 내외로 하였다. 한편 사용한 아세틸렌 개스( $C_2H_2$ )는 아르곤을 바탕개스로 하고  $CO_2$  288ppm,  $C_2H_2$  1.93%가 혼합된 것을 사용하였다.

질소고정능을 측정하기 위하여 클로버의 지상부를 수확한 다음 포트속의 포복경을 채취하여 뿌리혹이 떨어지지 않도록 조심스럽게 수도물로 씻어 물기를 제거한 다음 아세틸렌 환원병에 넣었다. 환원병은 가지 달린 100ml 삼각 후라스크로 개스공급과 진공이 가능하도록 장치한 다음 還元瓶을 Air Compressor 로 진공시킨 후 0.3기압하에서 아세틸렌( $C_2H_2$ )를 충전시켜 2시간 동안 숙성(aging)시켰다. 2시간 후에 환원병에서 1ml 포리에틸렌제 주사기로 뽑아 개스크로에 주입하였다.

이러한 결과 얻어진 차트의 에틸렌의 면적과 표준 에틸렌 개스의 면적비에 의하여 질소고정능을 계산하였다. 켈달법에 의한 질소함량측정은 켈텍(Keltec)을 이용하였으며 葉面積은 KIYA SEISAKUSHO 社の 葉면적 측정기에 의하였다.

### Ⅲ. 結果 및 考察

荳科牧草를 혼파하여 재배함으로써 얻을 수 있는 이점은 乾物生産量의 증가 및 고정된 질소를 화분과 목초가 이용할 수 있다는 점이다. 따라서 혼파초지 중에 두과의 적정비율을 유지할 필요가 있고 이러한 증식에는 生長點이 중요한 역할을 한다. 표 1은 窒素 施肥水準이 클로버의 성장점, 엽면적 그리고 지상부

乾物生産에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 표에 의하면 질소를 증시함에 따라 성장점은 증가하나 小肥 (2.5kg/10a)나 多肥 (7.5kg/10a)보다는 普肥區 (5.0kg/10a)에서 그 증가가 뚜렷하다는 것을 알 수 있다. 한편 제2차 수확에 있어서도 같은 경향을 나타내어 보비구에서 10.8개였다. 그러나 3차 예취에서는 多肥區의 식물체는 고사하고 보비구와 소비구만 남았고 두 처리구중 小肥區의 클로버가 성장점이

Table 1. Effects of nitrogen levels on the growing point, leaf area and herbage production.

Harvest		Growing point (per pot)	Leaf area cm/pot	Herbage production g/pot
1st	2.5kg/10a	8.24	203.50	0.87
	5.0kg/10a	10.80	245.90	1.00
	7.5kg/10a	9.42	164.90	0.67
	LSD (0.05)	1.85	44.17	0.22
2nd	2.5kg/10a	8.80	147.90	0.43
	5.0kg/10a	9.30	208.30	0.59
	7.5kg/10a	8.90	146.70	0.30
	LSD (0.05)	NS	NS	NS
3rd	2.5kg/10a	13.00	219.30	0.79
	5.0kg/10a	9.80	139.00	0.59
	LSD (0.05)	NS	NS	NS

월등히 많음을 보여주고 있다.

이 결과는 Marriott(1987)의 보고와 유사한 것으로 그들은 山地草地條件에서 클로버/화분과 혼파초지에서 여름철에 질소시비를 함으로서 시비 후 48일에 對照區에 비하여 성장점이 55%나 감소하였고 발표하였다. 한편 혼파초지에서 窒素施肥 후에 화분과 목초의 葉面積指數가 급격히 증가하기 이전에 성장점은 감소하였다는 보고도 있다(Dennis and Woledege, 1987).

한편 Laidlaw(1985)는 질소비료를 播種時 및 根瘤形成期에 0kg, 30, 60, 120 및 30, 60, 120kg/ha를 시용한 후에 성장점의 출현에 대해 조사한 바 있다. 그는 이 실험에서 질소 시용에 의해서 성장점의 형성수가 증가하였으며 91일째에는 30kg/ha구를 제외하고는 대조구에 비하여 유의적으로 포복경수가 많았다고 보고하였다. 그러나 본 실험은 새로 파종한

것이 아니라 방목지의 포복경을 이식하여 재배하여 봄에 基肥로 얼마를 시비하는 것이 좋은가를 규명코자 한 것이기 때문에 Laidlaw의 결과와는 다른 것으로 생각된다. 1차 수확후 다시 같은 처리를 하여 20일 지나 수확한 것과 그 후의 3차 처리에 있어서도 1차와 같은 결과를 나타내어 매회 5kg/10a를 시비하는 것이 좋았다. 이러한 결과는 엽면적 및 乾物收量에 있어서도 같은 경향이였다. 그리고 매회 7.5kg/10a를 계속하여 시비할 때 葉해를 입어 식물체가 고사하는 것을 발견할 수 있었다.

荳科牧草의 재배에서 초기에 어느 정도의 질소를 시비하여야 식물체 성장에 유리하였다는 보고는 Jo 등(1981)의 보고에서도 잘 나타나고 있는데 특히 석회를 시비하지 않은 耐性土壤에서는 질소시비에 의해 두과의 初期生育이 촉진되었다. 한편 柳等(1974)의 실험에서도 특히 무점종구에서 질소시비에

의해서 콩의 가지수가 증가하였다고 보고한 바 있다. 또 金과 Jensen(1987)은 高温下에서 窒素施肥가 根瘤菌을 接種한 Alfalfa의 生育部位에 미치는 영향에 대해서란 論文에서 질소시비는 작물의 용적과 건물수량을 무시비에 비하여 2배 이상 높았음을 밝히면서 알팔파 재배시에 소량의 질소시비를 하는 것이 좋다고 하였다. Jo 등(1980)은 산성토양조건하에서 초기생육을 촉진시키기 위하여 소량의 질소를 사용하는 것이 필요하다고 하였다.

생장점과는 달리 지상부의 乾物收量에 있어서 제1차 수확시(이식, 질소시비 후 50일 경과) 및 제2차 수확에서는 5kg/10a구가 가장 우수했던 반면 제3차 수확시에는 2.5kg/10a구가 우수한 것으로 나타났다. 이것은 荳科만을 포트에 이식했던 본 실험결과의 특성 때문으로 생각되며 앞으로 포장에서 禾本科 牧草와 混播할 경우에는 다른 결과가 예상되어 이에 대한 실험이 차후에 필요할 것으로 생각되었다.

표 2에서 보는 바와 같이 1차 예취시의 포복경 및 뿌리의 生産量을 5kg을 시비한 구에서 많았다. 예취에서도 多肥(7.5kg/10a)보다는 普肥 및 小肥區가 지하부의 생산량이 많다는 것을 알 수 있다. 3차에서는 小肥區가 普肥區 보다 많다는 것을 알 수 있다. 이와같은 현상은 지상부의 생산량과 유사한 것으로서 클로버가 혼파된 초지에서 소량의 질소를 시비하는 것이 좋다는 것을 암시하는 것이다. 이러한 결과는 이미 金과 Jensen(1987)이 보고한 바 있고 Jo 등(1981)도 같은 견해를 피력한 바 있다. 클로버의 근류는 매우 작아 분리하여 평량할 수 없어 뿌리의 건물중만을 측정하였는데 대체로 뿌리의 양과 窒素 固定과는 일치하는 양태를 나타내고 있다. 질소시비량을 증가시킴에 따라 질소고정량 및 뿌리의 생산량이 저하하는 경향을 보이고 있는 데 이는 播種時나 근류형성기에 클로버의 성장에 큰 영향을 미치지 못하였으며 동시에 파종 52일 쯤 ha당 120kg의 질소

Table 2. Effects of nitrogen level on the DM stolon, root and N<sub>2</sub> fixation.

Item	DM stolon	Root	N fixation
Cutting	(g/pot)	(g/pot)	(n moles/pot/hr)
1st	2.5kg/10a	0.57	358.05
	5.0kg/10a	0.83	254.75
	7.5kg/10a	0.56	123.70
LSD	(0.05)	0.25	NS
2nd	2.5kg/10a	0.34	—
	5.0kg/10a	0.82	—
	7.5kg/10a	0.50	—
LSD	(0.05)	0.39	—
3rd	2.5kg/10a	0.78	27.15
	5.0kg/10a	0.91	9.70
	LSD	(0.05)	NS

를 시비한 클로버의 질소고정량은 대조구(무질소)의 4%에 지나지 않았다는 보고와(Laidlow, 1985)와는 같은 경향이었으나 산지 피트토양에서 파종기나 근류형성기에 질소의 시비는 질소고정에 도움을 주었다는 연구결과(Haystead and Marriott, 1979)와는 상이한 것이었다. 그러나 그들의 보고는 포장의 조건에서 실시한 것으로 포트시험의 결과와는 다를

것으로 예상되는 바 앞으로 포장에서 실시하여 비교하는 것이 필요하다고 사료되었다. 그러나 Murphy (1985) 등은 질소시비량을 증가시킴에 따라 클로버의 질소고정은 저하하였고 특히 질소수준이 가장 높았던 처리구에서는 거의 질소고정이 이루어지지 않았다고 하여 본 실험의 결과와 유사하였으나 제2차 예취시 處理 공히 아세틸렌 환원이 되지 않은 것으

로 나타났는데 그 원인에 대해서는 앞으로 좀 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

표 3은 식물체의 粗蛋白質 含量이 질소소비량이 증가할수록 약간씩 높아지며 施肥가 계속하면서 제2차 수확시까지의 全部位의 조단백질 含量이 높아지다가 3차에는 오히려 감소하는 현상을 나타내고 있다. 또 부위별로는 잎의 조단백질 含量이 가장 높고 포복경과 뿌리는 순으로 조단백 含量이 높다는 것을 알 수 있다.

이러한 결과는 Jo 等(1981)과 유사한 것이었는데 식물체 전체의 조단백 含量은 포트당 3g을 사용한 구에서 29.7%를 나타내고 있다. 그러나 이것은 본 실험의 결과처럼 포복경과 뿌리를 분리하여 분석한 것이 아니기 때문에 직접적인 비교가 불가능하였다. 그러나 전체식물체는 아니지만 제2차 예취시의 地上部의 조단백분석에서는 32% 내외의 조단백을 나타내어 Jo 等의 결과를 뒷받침하고 있다. 한편 崔(1991)는 알팔파의 지상부와 지하부 조단백질 含量

Table 3. Effects of nitrogen level on the crude protein content of ladino clover (%).

Cutting Treatment	1st			2nd			3rd		
	Leaf	Stolon	Root	Leaf	Stolon	Root	Leaf	Stolon	Root
2.5kg/10a	25.8	11.9	10.7	30.4	21.7	18.9	21.7	18.2	17.5
5.0kg/10a	23.5	11.2	10.2	32.3	23.6	20.3	28.2	28.2	20.20
10.0kg/10a	24.9	16.9	14.9	31.8	24.1	20.3	-	-	-

은 有意的으로 차이가 있다고 보고한 바 있다. 이상의 연구를 종합해 볼 때 지상부 및 지하부의 조단백질 含量은 질소소비수준에 따라 영향을 받으나 계속적인 질소시비는 오히려 식물체의 조단백 含量을 떨어트려 사초의 질에 나쁜 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

그림 1은 클로버를 예취한 후 지하부의 건물중 변화와 窒素固定能을 1주일 간격으로 조사하여 표시한 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 지하부 건물중은 예취 후 2주에 최저치를 나타낸 반면 질소고정능은 3주에 가장 낮은 수준으로 떨어졌다가 다시 회복한다는 것을 알 수 있다. 위의 결과로 미루어 보아 貯藏養分의 소모로 인하여 뿌리의 양이 줄어들고 나아가서 窒素固定能도 저하하는 것으로 사료된다.

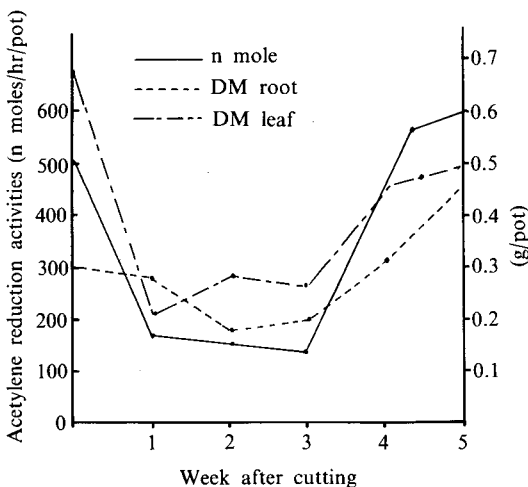


Fig. 1. Change of acetylene reduction activity and DM root, leaf of ladino clover after cutting plant growing in 1/5,000 a Wagner pot.

放牧地에서의 실험결과는 위와 유사한 경향을 나타내고 있으며(Murphy, 1985) 이들의 조사결과 방목 후 시비는 클로버의 질소고정능을 저하시키는 것을 발표한 바 있다. 한편 Sugawara와 Buke(1992) 포장에서 성장하는 알팔파와 화이트 클로버를 채취하여 재배 후 근류균을 접종했을 때 산도에 따라 약간 다르긴 하나 20일 후에 최대 질소고정능을 나타낸다고 보고한 바 있다. 그러나 본 실험은 이미 접종된 재료로 그들의 결과와 직접 비교하는 것은 절절치 않다고 하겠다. 포장에서 실험결과에 의하면 뿌리의 건물중과 아세틸렌 還元能(ARA)와는 유의적 상관성이 있다는 보고(Marriott, 1988)와 본 실험의 결과와는 일치하는 것이었다.

#### IV. 摘 要

방목초지에서 자생하는 라디노 클로버 葡萄莖을 1/5,000a 와그너 포트에 이식하여 온실에서 겨울동안 1일 12시간 조명시키면서 재배하였다. 50일 동안栽培後 제1차 수확하였고 20일 후 2차, 그리고 다시 20일 후에 3차 수확을 하였다. 처리로는 窒素施肥를 2.5kg/10a, 5.0kg/10a, 7.5kg/10a를 이식 및 각 예취 후에 시비하였다. 調査項目으로는 생장점, 지상부 수량, 지하부 수량 그리고 葉面積을 측정하였고 그 밖에 질소고정량 및 지하부의 조단백질 함량 그리고 예취 후 질소고정능의 경시적 변화를 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 植物體의 生長點, 지상부 그리고 지하부 생산량을 1차, 2차에서는 5kg/10a구가 가장 많았던 반면 3차에서는 2.5kg/10a구에서 제일 좋았으며 7.5kg/10a구는 질소를 계속 시비함에 따라 식물체는 3차시에 고사하였다. 생장점수는 處理間 유의성이 인정되었다.

2. 라디노 클로버의 窒素固定은 1회 예취에서 2.5kg/10a구가 가장 우수한 것으로 나타나 그 후 예취 및 질소시비를 계속함에 따라 固定量은 저하하였다.

3. 잎의 조단백질 함량은 뿌리와 포복경의 粗蛋白質含量보다 많았으며 제2차 예취시 까지는 질소시비수준을 높임에 따라 조단백질의 함량도 높아지는 경향이었으나 3차 예취시에는 다시 저하하였다.

4. 아세틸렌 환원능은 예취 3주후에 최저치를 나타내다가 5주후에 예취된 상태로 회복하였으며 뿌리의 건물중도 같은 경향을 나타내었다.

#### V. 引用文獻

1. 金武成, E.H. Jensen. 1987. 高温下에서 窒素施肥가 根瘤菌을 接種한 Alfalfa의 생육에 미치는 영향에 대하여. 韓草誌 8(1):25-30.
2. 朴 勳, 金武成, 權恒光. 1973. Alfalfa 品種別生育 및 養分吸收에 대한 石灰 및 根瘤菌의 接種效果. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. Vol 6(4): 245-251.
3. 柳震彰, 尹錫權, 李容錫. 1974. 窒素施用量이 根瘤

- 菌活動에 미치는 影響. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 7:221-225.
4. 柳震彰, 李相奎, 李赫浩, 洪種雲, 趙武濟. 1981. 大豆根瘤菌의 窒素固定에 관한 研究. III. 新開墾地 土壤에서 根瘤菌의 接種 및 改良劑 施用이 窒素固定과 大豆收量에 미치는 效果. J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert. 16(2):188-194.
5. 李光會, 李浩眞. 1981a. 根瘤菌의 種子接種法의 차이가 根瘤形成 및 Alfalfa 幼苗의 生長에 미치는 影響. 韓作誌 26(2):192-197.
6. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. 1981b. 酸性土壤에서의 根瘤菌 種子接種과 石灰施用이 Alfalfa(*Medicago sativa* L. Luna)의 初期生長에 미치는 影響. 韓作誌 26(2):198-206.
7. 崔震龍, 金正教, 賓榮鎬. 1980. Effects of Two Different Rhizobium Strains on Nodulation and Growth of Lucern(*Medicago sativa* L.) in an Acid Soil. 韓作誌 25(2):38-48.
8. 崔基春. 1991. 石灰와 磷酸施用이 Alfalfa의 生長, 窒素固定 및 炭水化合物含量에 미치는 影響. 全南大學校大學院 碩士學位論文.
9. Chatt, J. 1976. Nitrogen Fixation. Future Prospects. Proceeding No. 155. Fertilizer Soc of London.
10. Dennis, W.D. and J. Woledge. 1987. The Effect of Nitrogen in Sping on Shoot Number and Leaf Area of White Clover in Mixture. Grass and Forage Sci. 42:265-270.
11. Haystead A. and C.A. Marriott. 1979. Effects of Rates and Times of Application of Starter Dressings of Nitrogen Fertilizer to Surface Sown Perennial Ryegrass-White Clover on Hill Peat. Grass and Forage Sci., 34:241-247.
12. Jo, J.K., Shigekata Yoshida and Ryosei Kayama. 1980a. Acidity Tolerance and Symbiotic Nitrogen Fixation Capacity of Some Varieties of Alfalfa. J. Japan. Grassl. Sci. 26(2):174-178.
13. \_\_\_\_\_ 1980b. Influence of Soil Acidity and Applied Nitrogen on The Growth and Chemical Composition of Ladino Clover and Alfalfa. J. Japan. Grassd. Soc 27(2):79-84.

14. Kazuo Sugawara and Stanley H. Duke. 1992. The Effects of Low pH Growth Medium on Nodulation and N<sub>2</sub> Fixation of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and White Clover (*Trifolium repens* L.). J. Japan. Grassl. Sci. 38(1):53-62.
15. Laidlow, A.S. 1985. Effect of Time of Application of Nitrogenous Fertilizer on Development of White Clover in Autumn-Sown Mixed Sward. Grass and Forage Sci., 40:493-497.
16. Lee, H.W. and S. Laidlow. 1991. Measurement of N<sub>2</sub> Fixation and Transfer in continuously Grazed Grass/White Clover Sward. 韓國放送通信大學 論文集 13:319-334.
17. Marriott, C.A., M.A. Smith and M.A. Baird. 1987. The Effect of Sheep Urine on Clover Performance in a Grazed Upland Sward. J. Agri. Sci., 109:177-185.
18. Marriott, C.A. 1988. Seasonal Variation in White Clover Content and Nitrogen Fixing(acetylene reducing) Activity in a Cut Upland Sward. Grass and Forage Science 43:253-262.
19. Murphy, P.M. and P. Roger Ball. 1985. Effect of early Season Nitrogen on Nitrogen Fixation in a Ryegrass/White Clover Pasture. Proc. the XV Int. Grassl. Congr. 460-461.