

# 酸性土壤에서의 根瘤菌 種子接種과 石灰施用이 Alfalfa (*Medicago sativa* L. cv. Luna) 의 初期生長에 미치는 影響

李光會 · 李浩鎮\*

## Effects of Seed Inoculation of *Rhizobium meliloti* and Lime Application on the Early Growth of Alfalfa (*Medicago sativa* L. cv. Luna) in an Acid Soil

Lee, K. H., and H. J. Lee\*

### ABSTRACT

A field research was conducted to evaluate the effects of inoculation of *Rhizobium meliloti* and lime application on the early growth of alfalfa, var. Luna, in an acid soil. Alfalfa seeds were inoculated by lime-peat pelleting method with A<sub>3</sub> strain isolated from alfalfa roots. Both inoculated and noninoculated seeds were sown in acid soil (pH 5.5) with three levels of lime application (1,3,6 ton/ha) on mid-April.

Inoculated seeds produced many effective nodules in early stage and increased nitrogen and chlorophyll contents of leaf, consequently stimulating alfalfa growth. Pseudo nodules were found in noninoculated, while they were seldom formed in inoculated. Lime application increased soil pH, plant height, root length, and shoot and root weight. Liming effect on nodulation was significant at first cut, but no longer after then.

Both inoculation and liming increased the forage yield of alfalfa. Inoculation and liming of 6 ton/ha together produced the highest yield. As compared to control plot of nitrogen application, the effect of seed inoculation only could be equal to about 120 kg/ha nitrogen application. The total nitrogen contents of forage were little affected by number or weight of nodules and amounts of lime application.

### 緒 言

Alfalfa는 收量이나 營養面에서 볼 때 飼料의 가치가 높은 우수한 牧草일뿐만 아니라 根瘤菌(*Rhizobium meliloti*)과의 共生에 의해 空中窒素를 固定, 利用하기 때문에 窒素肥料의 使用이 거의 必要없는 栽培의 長點을 갖고 있다. 그러나 이러한 窒素固定은 寄主品種 및 菌株에 따라 달라지며 그밖에도 여러가지 環境的, 栽培의 要因들에 의해 크게 영향을 받게 된다.<sup>17)</sup>

一般的으로 酸性土壤에서는 根瘤菌의 生長이 저해

되어 土壤 및 根圈에서의 增殖과 根瘤形成에 중대한 영향을 받게 된다고 하며<sup>14)</sup> 強酸性土壤에서는 自然的으로 서식하는 根瘤菌이 없다고 알려져 있다. Graham과 Parker<sup>5)</sup>는 根瘤菌에 대한 연구에서 *R. japonicum*, *R. lupini* 등은 다른 菌種보다 대체로 酸性에 강하나 *R. meliloti*는 酸性에서 가장 弱하다고 하였으며, 각각의 菌種內에서도 菌株에 따라서 차이가 있다고 하였는데, 이러한 結果는 다른 사람들의 보고에서도 볼 수 있다.<sup>4,12)</sup> 또 Banath<sup>1)</sup> 등은 칼슘의 결핍은 根瘤의 칼슘 含量을 저하시켜 根瘤의 構造와 代謝에 영향을 미침으로써 窒素 固定能力을 저하시키며 窒素固定産物의 轉流도 저해한다고 보고하였으

\* 서울대학교 農科大學 農學科

\* Department of Agronomy, Seoul National University, Suweon, Korea 170.

며, Lowther와 Loneragan<sup>9)</sup>은 根瘤菌이 뿌리를 感染하거나 根瘤形成이 시작되는 段階가 根瘤의 發育期,나 寄主植物體의 生育時보다도 石灰의 要求度가 높다고 보고하였다.

한편 Alfalfa는 酸性土壤에 매우 弱한 作物로 알려져 있으며 Watenpaug<sup>20)</sup> Pohlman<sup>16)</sup> 등은 Alfalfa의 뿌리의 生長은 土壤特性, 특히 土壤 pH와 石灰 含量에 크게 영향을 받아 深土에 石灰가 부족하고 土壤 pH가 낮으면 뿌리의 伸張이 현저히 저해된다고 하였으며 Moschler<sup>11)</sup> 등은 Alfalfa의 生長 및 存續이 여러가지 pH 水準에서 Al의 量과 高度의 相關關係가 있다고 하였다.

이와같은 많은 研究結果로 미루어 볼 때 Alfalfa의 栽培歷史가 짧고 그 栽培面積이 적으며 牧野地의 대부분이 酸性土壤인 우리나라에서 Alfalfa를 成功으로 栽培하려면 根瘤菌의 接種과 더불어 石灰의 施用이 必要하다.

이러한 觀點에서 Alfalfa의 栽培보급을 위한 기초 資料를 얻기 위하여 酸性土壤에서 根瘤菌의 接種 및 石灰의 施用이 Alfalfa의 生育에 미치는 影響을 검토하였다.

## 材料 및 方法

圃場條件에서 根瘤菌 接種效果를 검토하기 위하여 서울大 農大 實驗農場에서 수년간 Alfalfa가 栽培된 적이 없는 포장을 선정하여 實驗을 실시하였는데 試驗前 土壤의 化學的 性質은 아래 表와 같이 陽이온 置換容量과 유기물 함량이 매우 낮은 酸性 土壤이었다.

Analysis of soil characters before experiment.

pH (1:5)	C. E. C. (me/100g)	O. M. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Exchangable cation (me/100g)			
				K	Ca	Mg	Na
5.5	7.5	1.0	62	0.9	4.1	1.4	1.1

供試品種으로는 Alfalfa品種 Luna를, 供試菌株로는 本大學에서 選擇한 A<sub>9</sub> Strain을 使用하였으며, 根瘤菌의 種子接種은 Peat & lime pelleting 方法을 利用하였다.

試驗區 配置는 根瘤菌 接種 如否를 主區로 하여 根瘤菌 接種區와 無接種區를 두고, 農用石灰 施用水準을 細區로 하여 10a당 100, 300, 600kg의 3水準으로 分割區 配置 3反復으로 하였다. 施肥는 용과판과 燐화가리를 성분량으로 各各 20kg/10a씩, 봉사는 제품량으로 4kg/10a을 施用하였는데 인산

은 골에다 全量 基肥로, 가리 및 봉사는 50%를 基肥로, 나머지 50%를 2次刈取後 追肥로 全面 살포하였다. 種子는 畜産試驗場에서 分讓받은 '75년 産 종자로 發芽率이 낮아 播種量을 3kg/10a 수준으로 늘렸으며, 1980년 4월 11일 條間거리 15cm로 하여 試驗區(1.5×4.5m)當 8列씩 條播하였다. 播種當日 種子를 과산화수소(3%)로 10분간 소독하여 種子에 既存하는 根瘤菌을 제거한 후 根瘤菌 接種區에 대해서는 8×10<sup>4</sup> Rhizobia/seed 水準으로 根瘤菌을 接種하여 과중하였다. 포장관리는 3회에 걸쳐 손으로 雜草를 제거하였으며, 모든 作業은 항상 無接種區부터 먼저하여 가능한 한 根瘤菌의 汚染을 방지하도록 하였다.

根瘤形成調査는 과중후 9주, 11주, 17주 3회에 걸쳐 試驗區當 3個體씩 뿌리가 끊어지지 않게 내어 수도물로 水洗한 후 모양, 색깔 및 크기 등을 基準으로하여 3가지로 區分 調査하였다. 즉, Alfalfa의 典型的인 根瘤모양을 하고 분홍빛을 띠며 直徑이 1mm 이상인 것은 有效根瘤(Effective nodule)로, 直徑이 1mm 이하인 것은 無效根瘤(Ineffective nodule)로 분류하였으며 크기가 1mm보다 크나 모양이 둥글고 흰 색깔을 띠며 단단한 것은 接種 菌株에 의해 형성되지 않는 것으로 간주하여 偽根瘤(Pseudo nodule)로 分類하여 그 數 및 무게를 조사하였다.<sup>3)</sup> 동시에 식물체에 대해서 根長을 測定하고, 地上部와 뿌리를 나누어 80℃에서 48시간 건조하여 乾物重을 측정하였다.

收量調査는 과중 후 11, 17, 25주 3회에 걸쳐 가운데 6列 모두를 10cm 높이로 刈取하여 80℃에서 48시간 건조시켜 乾物重을 구하여 收量으로 환산하였으며 草長은 1차 刈取때부터 2주 간격으로 試驗區當 30개체씩 調査하였다. 그리고 石灰 施用에 따른 土壤 pH의 變化를 보기 위하여 4월 3일, 7월 3일, 10월 3일 3회에 걸쳐 植物環境研究所 標準法<sup>13)</sup>에 따라 土壤 pH를 조사하였으며, 土壤中 Mg에 대해서도 같은 時期에 조사하였다. 잎의 葉綠素 含量을 McKinney法<sup>10)</sup>에 따라 主區間에 葉色의 차이가 현저한 2次 刈取 직전에 調査하였으며 植物體 部位別 全窒素 含量은 Micro-Kjeldhal method에 따라 分析하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 土壤 pH와 土壤中 Mg의 變化

酸性土壤에 대한 石灰施用의 主目的은 土壤酸度の 矯正으로 그 效果는 石灰物質의 종류에 따라 다른데, 農用石灰는 그 效果가 느리게 나타나는 것으로 알려져 있다.<sup>33)</sup>

본 實驗 포장의 土壤pH는 石灰施用에 의해 점차 올라갔으며, 石灰施用量에 따라서 뚜렷한 차이를 보였다(表 1). 즉, 農用石灰를 施用하기 직전의 土壤 pH 5.5에서, 石灰施用후 6개월이 경과한 實驗 종료시에는 10a當 石灰 100kg 施用區는 pH 5.9로,

300kg 施用區는 pH 6.1로 變化되었으며 600kg 施用 區에는 pH 6.5로 變化되어 Alfalfa의 生育에 適當한 pH 6.5~7.0에 거의 도달하였다. 한편, 國內에서 使用되는 農用石灰의 성분은 CaO 34.1%, MgO 11.1%, Alkalinity 49.6%로<sup>15)</sup> 다량의 Mg이 함유되어 있기 때문에 土壤中 Mg도 石灰施用에 의해 증가되었는데 최초 3.0ppm에서 3개월후에는 3.8ppm 정도로 크게 높아졌으며 이후 점차 낮아져 6개월후에는 3.3 ppm 정도가 되었다(表 1).

Table 1. Changes in soil pH and Mg according to the lime treatment.

Lime (kg/10a)	Before liming		*After 3 months		After 6 months	
	pH	Mg (ppm)	pH	Mg (ppm)	pH	Mg (ppm)
100	5.5 ± 0.1 <sup>+</sup>	3.04	5.6 ± 0.1	3.88	5.9 ± 0.1	3.28
300	5.5 ± 0.1	3.04	5.8 ± 0.1	3.72	6.1 ± 0.1	3.46
600	5.5 ± 0.1	3.04	6.3 ± 0.2	3.96	6.5 ± 0.2	3.12

\*: Months after lime application

+: Mean ± one standard error

Table 2. Effect of inoculation and lime treatments on the number and fresh weight of alfalfa root nodules at different times after seeding.

Inoculation	Wks after seeding Lime (kg/10a)	Number of nodules								
		9 weeks			11			17		
		E <sup>+</sup>	I	P	E	I	P	E	I	P
----- no./plant -----										
Noninoculated	100	0	0	2	0	0	1	0	0	1
	300	0	0	1	0	0	8	0	0	7
	600	0	0	16	0	0	3	0	0	3
Inoculation	100	21 <sup>a*</sup>	5 <sup>a</sup>	0	69 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	0	101 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	3
	300	41 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>	0	109 <sup>ab</sup>	20 <sup>ab</sup>	0	204 <sup>b</sup>	106 <sup>b</sup>	0
	600	81 <sup>b</sup>	13 <sup>b</sup>	0	196 <sup>b</sup>	28 <sup>b</sup>	0	235 <sup>b</sup>	145 <sup>b</sup>	0
Inoculation	Wks after seeding Lime (kg/10a)	Fresh weight of nodules								
		9		11		17				
		E	P	E	P	E	P			
----- mg/plant -----										
Noninoculated	100	0	2	0	6 <sup>a</sup>	0	139 <sup>a</sup>			
	300	0	1	0	992 <sup>c</sup>	0	356 <sup>b</sup>			
	600	0	4	0	64 <sup>b</sup>	0	314 <sup>b</sup>			
Inoculation	100	97 <sup>a</sup>	0	430 <sup>a</sup>	0	770 <sup>a</sup>	0			
	300	190 <sup>b</sup>	0	930 <sup>b</sup>	0	1433 <sup>b</sup>	0			
	600	363 <sup>c</sup>	0	1563 <sup>c</sup>	0	1363 <sup>b</sup>	0			

\* Means within columns followed by a same letter are not significantly different at the 5% level according to Duncan's multiple range test.

+ E: Effective nodule I: Ineffective nodule P: Pseudo nodule

## 2. 根瘤의 形成

根瘤菌 無接種區는 모든 조사시기에서 供試菌株에 의한 根瘤의 形成은 없고 僞根瘤만이 形成되었음을 볼 수 있었다. 이들 僞根瘤는 生育期間이 경과함에 따라 그 무게가 현저히 증가하였으나 數의 變化는 없었으며 이들 僞根瘤의 數나 무게는 石灰施用수준에 따른 有意差가 인정되지 않았다. 그러나 根瘤菌 接種區는 모든 調査時期에서 供試菌株에 의한 根瘤 形成이 이루어졌으며, 僞根瘤는 단지 2차 刈取期인 刈後 17주후 석회 100kg 처리구에서만 나타났다. 그리고, 生育期間이 경과함에 따라 有效根瘤의 數 및 무게가 계속 증가하였으며 無效根瘤數도 生育期間이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 根瘤形成에 대한 石灰의 效果를 보면 1차 및 2차 조사에서 有效根瘤數는 石灰 600 kg 處理區가 가장 많았으며 그 무게도 石灰수준이 높아질수록 현저히 증가되었으나 無效根瘤數는 1차 調査에서만 약간의 증가를 보였다. 그러나 刈後 17주인 3차 調査에서는 石灰施用量의 증가에 따른 根瘤數 및 무게의 증가가 인정되지 않았다. 이와 같이 根瘤의 數 및 무게는 石灰施用量이 증가함에 따라 현저히 증가되어 酸性土壤에서 石灰의 施用이 根瘤形成을 증가시켰다는 기존의 보고<sup>6,9,16)</sup>와 잘 일치하였으며 根瘤形成에 대한 石灰의 效果는 根瘤形成 초기에 크게 나타남을 알 수 있었는데 이는 Lowther와 Loneragan<sup>9)</sup>이 지적한 것처럼 根瘤形成 초기의 石灰要求度가 높는데 기인하는 것으로 생각된다.

이상의 根瘤形成 조사에서 볼 때 수년간 Alfalfa가 栽培된 적이 없는 本實驗 포장에서도 Alfalfa의 뿌리에 감염하여 根瘤를 形成할 수 있는 菌이 存在할

을 알 수 있었는데 이 菌의 여러 가지 特性에 대해서는 별도의 검토가 必要하다고 본다. 그리고, 根瘤菌 接種區에서 僞根瘤의 形成이 거의 없었던 것으로 볼 때 本實驗에서 使用된 根瘤菌 接種方法은 酸性土壤에서 效果的인 接種方法임을 알 수 있었다.

## 3. 뿌리의 生育

根長은 生育日數가 경과함에 따라 계속 길어졌는데 根瘤菌 接種에 따른 根長의 變化는 모든 조사시기에서 인정되지 않았으며 根瘤菌 接種과 石灰施用의 相互作用 效果도 인정되지 않았으나 石灰의 效果는 모든 調査시기에서 有意性이 인정되어 石灰施用量이 증가됨에 따라 根長이 길어졌다(表 3). 이러한 結果는 Simpson 등<sup>18)</sup>이 Alfalfa의 根長은 石灰施用에 의해 增加된다는 報告와 일치하였다. 한편 根重에 대해서는 根瘤接種 및 石灰施用의 效果가 모든 調査時期에 인정되었으며 相互作用의 效果도 역시 인정되었는데 根瘤菌 接種區는 無接種區에 비해 2배 정도나 무거웠으며 根瘤菌 接種區에서 石灰施用의 效果가 크게 나타났다.

뿌리의 全窒素 함량에 대해서 보면 刈後 9주에는 모든 處理에서 약 1.8%로 處理間에 有意한 差異가 인정되지 않아 全窒素함량에 대한 根瘤菌 接種의 效果가 없는 것으로 나타났으나 그 후 無接種區는 1.2%로 낮아진 반면 接種區에서는 1.8%정도로 계속 일정한 수준을 유지함으로써 全窒素 함량에 대한 石灰施用의 效果는 生育時期에 관계없이 그 效果가 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 비교적 生育初期인 刈後 9주에서 接種區에 根瘤가 形成되었음에도 불구하고 全窒素 함량에 대한 根瘤菌 接種의

Table 3. Root length, dry weight and total nitrogen content of alfalfa according to the inoculation and lime treatments at different times after seeding.

Inoculated	Lime(kg/10a)	9 Weeks after seeding			11 Weeks after seeding			17 Weeks after seeding		
		Root length(cm)	Root D.W.(mg/plant)	Root N %	Root length(cm)	Root D.W.(mg/plant)	Root N %	Root length(cm)	Root D.W.(mg/plant)	Root N %
Non.	100	12.5	57	1.94	12.7	123	1.14	24.3	647	1.20
	300	14.9	120	1.75	19.4	543	1.22	26.2	1,190	1.06
	600	14.7	207	1.64	21.9	800	1.25	30.8	1,963	1.05
Ino.	100	12.3	103	1.84	14.6	263	1.87	25.1	1,297	1.82
	300	15.9	237	1.61	19.4	860	1.95	30.4	2,840	1.95
	600	17.6	387	1.52	26.2	1,623	1.78	33.6	5,100	1.87
Source	Ino.	.	*	*	.	*	*	.	*	*
	Lime	**	**	.	**	**	.	**	**	.
	Ino.×Lime	.	*	.	.	*	.	.	*	.

효과가 인정되지 않은 것은 기존의 土壤窒素를 식물체가 흡수 利用한데 기인하는 것으로 그 후 土壤窒素의 부족이 나타나면서 根瘤菌의 接種효과가 나타나게 되었다고 생각된다.

#### 4. 生育概況

實驗期間중 Alfalfa의 生育상태는 草長 및 葉色에서 處理間의 차이가 뚜렷하였는데 그림 1의 草長에서 보면 根瘤菌 接種區가 無接種區보다 큰 경향을 보였으며 특히 石灰 施用水準間의 草長의 차이는 눈으로 뚜렷이 보여 石灰 施用水準이 높을수록 현저하였다. 그리고 石灰의 效果는 根瘤菌 接種區에서 더욱 크게 나타나 刈取후의 再生이 根瘤菌 接種區에서 또 石灰수준이 높을수록 좋았음을 알 수 있었다.

한편 葉色에 있어서는 無接種區의 식물체들은 淡綠色을 띠어 窒素부족 증세를 보인 반면 接種區의 식물체들은 濃綠色을 띠어 뚜렷한 차이를 볼 수 있었다. 그림 2는 2次刈取 직전 葉綠素함량을 조사한 것으로 Alfalfa의 葉中葉綠素함량은 無接種區가 2.4~2.9 mg chl./g. DW, 根瘤接種區가 4.3~5.2 mg chl./g. DW로 根瘤菌 接種에 의해서 현저히 增加됨을 볼 수 있었으며 葉綠素 함량에 대한 石灰施用의 效果도 인정되었으나 그 정도는 크지 않았다. 葉綠素 함량 측정시 나머지 잎의 全窒素함량을 조사한 결과 接種區는 약 4.5%, 無接種區는 약 3.8%로 큰 차이를 보였으나, 石灰水準 間에는 역시 차이가

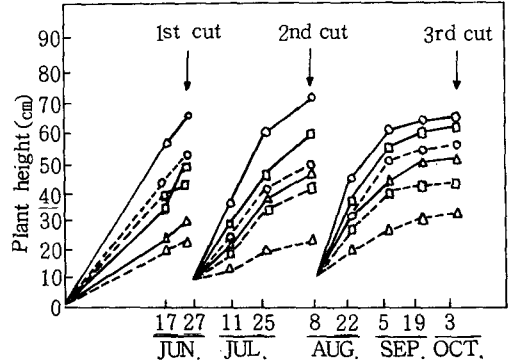


Fig. 1. Time course of plant height as related to the inoculation and lime treatment, (—) : Inoculated, (.....) : Noninoculated  
(○) : Lime 600kg/10a,  
(□) : Lime 300kg/10a,  
(△) : Lime 100kg/10a

없었다. 그리고 葉綠素 함량과 잎의 全窒素 함량간에는 고도의 正의 相關關係( $r = 0.908^{**}$ )가 인정되었다. 이로 미루어 볼때 無接種區는 窒素부족에 의해 葉綠素의 形成이 현저히 저해된 것으로 보이며 그에 따라 光合成도 크게 저하되었으리라 생각된다. 그리고 農用石灰에는 葉綠素의 構成成分인 Mg이 다량으로 함유되어 있으므로 農用石灰의 施用은 土壤中 Mg 함량을 增加시켰고 (表 1) 그것이 葉綠素 함량의 增大에 다소 기여한 것으로 생각된다.

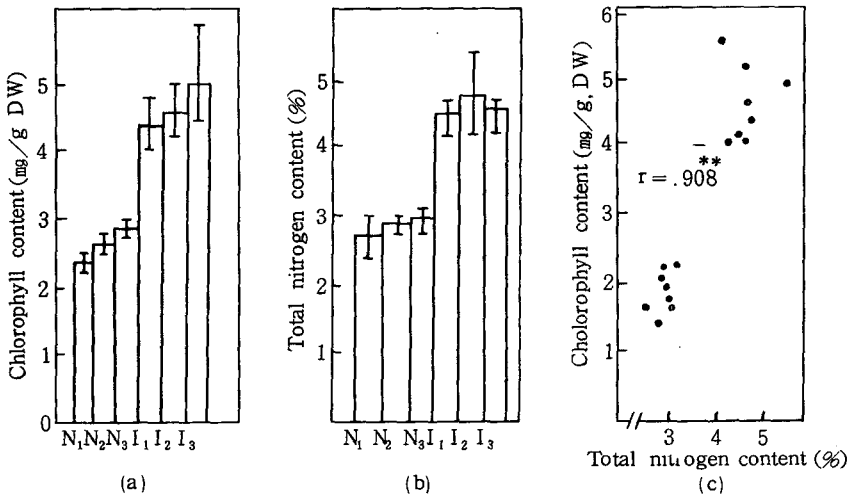


Fig. 2. Chlorophyll content (a) and total nitrogen content (b) of alfalfa leaf and correlation between them (c) at 6 days before 2nd cutting time. Bars indicate  $\pm 1$  standard error of the mean. N : Noninoculated I : Inoculated 1 : Lime 100 kg/10a 2 : Lime 300kg/10a 3 : Lime 600kg/10a

5. 刈取期別 乾物收量과 全窒素함량

1차 刈取時 乾物收量은 無接種區가 20.2 kg/10a 인데 비해 根瘤菌 接種區는 49.5 kg으로 根瘤菌 接種에 의해 27.3 kg/10a의 收量증대가 있었으며 石灰施用量の 增加에 따른 收量의 增大도 크게 나타났다. 그리고 根瘤菌 接種과 石灰施用의 相互作用도 높게 나타났다. 이러한 結果는 2차 刈取에서도 나타났다는데 無接種區의 24.3 kg/10a에 비해 接種區는 106.5 kg/10a으로 根瘤菌의 接種에 의해 82.2 kg/10a의 收量 增大가 있어 1차 刈取때보다도 根瘤菌 接種에 의한 收量 增大가 현저히 크게 나타났다. 또한 石灰의 效果도 역시 뚜렷하였으며 相互作用 效果도 1차 刈取 때보다 크게 나타났다. 한편 3차 刈取에서는 1,2차 刈取와는 달리 處理間의 變異가 매우 커서 收量에 대한 根瘤菌 接種의 效果와 相互作用 效果는 인정되지 않았으며 단지 石灰施用量 增加에 따른 收量 增大만이 크게 나타났다. 파종 1년 차의 總收量을 보면 根瘤菌 接種 및 石灰 600 kg/10a의 처리는 10a당 약 390 kg인 반면 無接種區의 石灰 100 kg/10a 處理는 약 15 kg으로 가장 큰 차이를 보였는데 포장관찰에 의하면 이는 단순히 生育 정도의 차이 뿐만 아니라 포장에 살아남은 個體數의 차이에도 커다란 影響을 받은 것임을 알 수 있었다. 그리고 接種區의 石灰 300 kg/10a 處理는 약 260 kg

으로 無接種區의 石灰 600 kg/10a 處理보다도 100 kg정도나 많았으며 根瘤菌 接種效果의 比較를 위하여 별도로 인접 포장에 根瘤菌을 接種하지 않고 石灰 300 kg, 窒素 12 kg/10a을 施用하여 동일한 刈取 관리를 한것의 年間 總收量 258.9 kg/10a과 같은 結果를 보여 根瘤菌 接種에 의한 大氣中 窒素의 固定의 利點을 뚜렷이 볼 수 있었다.

한편, 일과 줄기의 全窒素함량을 刈取期別로 보면 1차 및 2차 刈取에서는 根瘤菌 接種의 경우 일과 줄기의 全窒素 함량이 各各 4.5, 1.8% 정도로 無接種區의 3%, 1.1%보다 현저히 높았으나 3차 刈取에서는 無接種區의 全窒素 함량이 各各 4.0%, 1.6% 정도로 높아져 接種區와 차이가 없었다. 그리고 全窒素함량에 대한 石灰施用의 效果는 인정되지 않았으며 相互作用 效果도 인정되지 않았다. 이와 같이 3차 刈取에서 乾物收量 및 全窒素 함량에 대한 根瘤菌 接種 效果가 나타나지 않은 것은 接種區의 根瘤菌이 實驗수행 과정에서 無接種區로 옮겨 감으로써 根瘤菌을 接種한 것과 같은 效果가 發生한 데 기인하는 것으로 無接種區의 식물체들의 대부분이 濃綠色을 띠고 뿌리에 根瘤가 形成되어 있음을 확인하였다.

이상에서 볼 때 刈取期의 식물체 各部位의 全窒素함량은 根瘤菌 接種에 의해 현저히 증가되어 잎의

Table 4. Dry matter yield and total nitrogen content of alfalfa as related to the inoculation and lime treatment at different cutting time.

Inoculation	Lime(kg/10a)	Dry matter yield				Total nitrogen content					
		1st cut	2nd cut	3rd cut	Total	1st cut		2nd cut		3rd cut	
		kg/10a				Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem
Noninoculated	100	3.1	5.4	6.5	15.1	3.09	1.06	2.90	1.23	3.91	1.48
	300	23.7	25.9	24.7	74.3	3.03	1.17	2.97	1.20	4.04	1.66
	600	33.7	41.5	84.7	159.9	3.01	1.09	2.88	1.41	4.28	1.91
	Ave.	20.2	24.3	38.7	83.1	3.04	1.11	2.92	1.28	4.08	1.68
Inoculated	100	12.7	48.0	55.3	115.9	4.36	1.92	4.19	1.71	3.93	1.76
	300	33.8	116.9	110.3	261.0	4.76	1.88	4.24	1.70	4.24	1.78
	600	102.0	154.6	135.7	392.3	4.84	1.88	4.36	1.66	4.17	1.80
	Ave.	49.5	106.5	100.4	256.4	4.65	1.89	4.26	1.69	4.11	1.78
Source	Inoculation	*	*	o	*	**	**	**	**	.	.
	Lime	**	**	**	**	.	.	.	.	.	.
	Ino. x Lime	**	**	o	.	.	.	.	.	.	.
L S D .05	Inoculation	18.3	58.9	73.2	134.8	0.40	0.26	0.26	0.12	1.13	0.27
	Lime	18.1	18.0	27.8	53.2	0.27	0.14	0.22	0.21	0.30	0.24

\*,\*\* indicate significance at 0.05, 0.01 levels, respectively.

경우 4~4.5%, 줄기의 경우 1.5~1.9% 정도의 수준을 유지하게 되며 파종 1年次의 乾物收量은 根瘤菌 接種에 의해 3배 정도 증식되어 根瘤菌 接種의 必要性을 뚜렷이 볼 수 있었으며 根瘤菌 接種時 石灰施用量的 增加는 체내 全窒素 含量的 變化없이 收量の 계속적인 增大를 가져와 다량의 石灰 施用이 窒素 固定量的 增大를 가져온 것으로 나타났다. 그러므로 牧野地의 대부분이 酸性土壤인 우리나라에서 Alfalfa를 성공적으로 栽培하기 위해서는 效果的인 根瘤菌의 接種과 石灰의 施用이 동시에 必要함을 알 수 있었다.

Table 5. Correlation between nodule number, fresh weight and other agronomic characters in inoculation treatment.

Items	Nodule No.			Nodule F. W.		
	Weeks after seeding			Weeks after seeding		
	9	11	17	9	11	17
Plant height	.900**	.830**	.731*	.975**	.892**	.123 <sup>NS</sup>
Root length	.815**	.810**	.242 <sup>NS</sup>	.889**	.910**	.203 <sup>NS</sup>
Shoot D. W.	.865**	.933**	.643 <sup>NS</sup>	.948**	.929**	.043 <sup>NS</sup>
Root D. W.	.830**	.944**	.730*	.913**	.899**	-.034 <sup>NS</sup>
Shoot N %	-.169 <sup>NS</sup>	-.069 <sup>NS</sup>	-.423 <sup>NS</sup>	-.347 <sup>NS</sup>	.142 <sup>NS</sup>	.098 <sup>NS</sup>
Root N %	-.636 <sup>NS</sup>	-.028 <sup>NS</sup>	.449 <sup>NS</sup>	-.495 <sup>NS</sup>	-.270 <sup>NS</sup>	.381 <sup>NS</sup>
Nodule F. W.	.935**	.822**	.186 <sup>NS</sup>	.	.	.

\*, \*\* indicate significance at 0.05, 0.01 levels, respectively.

그리고 表 6에서 보면 根瘤菌 接種區에서 植物體의 乾物重과 체내 全窒素 含量과는 모든 조사 시기에서 相關關係가 인정되지 않았다. 이러한 事實로 미루어 볼 때 일단 根瘤가 形成되면 그 수와 무게에는 관계없이 植物體의 全窒素 含量은 비슷해짐을 알 수 있었다. 그리고 파종후 9~11주에서는 주로 石灰 施用에 따른 根瘤形成量的 增加가 窒素 固定량을 增大시키므로써 식물체의 生育이 增加되었고 파종후 17주에서는 根瘤 形成量보다는 주로 根瘤의 窒素 固定能力에 의해 窒素 固定량이 決定되는 것으로 보였다. 즉 파종후 17주에서 石灰 施用수준에 따른 根瘤形成量的 차이는 없었으나 石灰施用量的 增加가 窒素 固定能力的 向上에 기여함으로써 식물체의 生長이 增加된 것으로 생각된다. 이에 대해 Kliever

Table 7. Correlation between total nitrogen content and yield at 3 different cutting time.

Items	Leaf N %			Stem N %			Plant height		
	1st cut	2nd cut	3rd cut	1st cut	2rd cut	3rd cut	1st cut	2nd cut	3rd cut
Yield	.509*	.754**	.412 <sup>NS</sup>	.405 <sup>NS</sup>	.581*	.422 <sup>NS</sup>	.872**	.883**	.897**
Stem N %	.947**	.812**	.643**	.	.	.	.	.	.

\*, \*\* indicate significance at 0.05, 0.01 levels, respectively.

## 6. 諸形質간의 相關關係

根瘤菌 接種區에서 根瘤의 數 및 무게와 諸形質과의 關係를 보면 草長, 相長, 地上部 乾物重 그리고 根重은 파종 후 9주 및 11주에서는 根瘤數 및 무게와 高度의 正의 相關關係를 보였으나 17주에서는 대체로 相關關係가 인정되지 않았으며 地上部 및 뿌리의 全窒素 含量은 根瘤數 및 무게와 모든 調査時期에서 相關關係가 인정되지 않았다. 또한 根瘤數와 무게 사이에도 9주 11주에서만 높은 相關關係가 인정되었고 17주에서는 인정되지 않았다(表 5).

Table 6. Correlation between total nitrogen content and dry weight in inoculation treatment.

Items	Shoot N %			Root N %		
	Weeks after seeding			Weeks after seeding		
	9	11	17	9	11	17
Shoot D.W.	-.230	.092	-.268	-.603	-.054	.023
Root D.W.	-.198	.132	-.174	-.633	-.132	.076

와 Kennedy<sup>8)</sup>는 石灰의 施用이 土壤中 Mo 및 P의 利用度를 提高함으로써 窒素 固定能力을 增大시킨다고 보고한 바 있다. 刈取期별로 모든 處理에 대해서는 表 7에서 보는 바와 같이 잎의 全窒素 含量과 줄기의 全窒素 含量間 및 草長과 乾物 收量間에는 모든 刈取期에서 高度의 正의 相關이 인정되었고 收量

과 잎의 全窒素 含量과는 1차 및 2차 刈取에서만, 收量과 줄기의 全窒素 含量間에는 2차 刈取에서만 正의 相關關係가 인정되었다. 이와같이 1차 및 2차 刈取에서 잎의 全窒素 含量과 乾物 收量間에 相關이 인정된 것은 無接種區의 식물체의 生長이 窒素 不足에 의해 크게 제한되었음을 말해주며 그에 따라 收량이 낮아진 것임을 알 수 있었다.

### 摘 要

酸性土壤에서 Alfalfa에 대한 根瘤菌의 接種效果를 밝혀 우리나라에서 Alfalfa의 栽培에 必要한 기초자료를 얻고자 1980년 포장에서 Alfalfa品種 Luna를 供試品種으로 國內에서 分離한 根瘤菌(*Rhizobium meliloti*)을 供試菌株로 하여 根瘤菌 接種과 石灰施用의 效果를 단보당 農用石灰 100, 300, 600kg의 3가지 石灰 수준에서 검토한 結果는 아래와 같다.

1. 根瘤菌 接種區에서는 石灰의 施用이 生育初期 根瘤形成量의 增加를 가져왔으며 偽根瘤의 形成이 거의 없었으나 無接種區에서는 生育 初期부터 偽根瘤가 形成되었다.

2. 石灰施用 效果는 生育初期부터 나타났는데 石灰施用량이 增加함에 따라서 土壤 pH, 草長, 根長, 地上部 乾物重, 뿌리의 乾物重 등이 현저히 增加되었다.

3. 刈取期別 乾物收量은 根瘤菌 接種 및 石灰施用에 의해 현저히 增加하였는데 특히 根瘤菌 接種區에서 石灰施用의 效果가 크게 나타났다. 연간 總收量은 無接種區가 약 83kg/10a, 接種區가 약 286kg/10a으로 根瘤菌 接種에 의해 3배 정도의 收量增大를 보였다.

4. 식물체내 全窒素含量은 根瘤菌 接種에 의해 잎이 4.0~4.5%, 줄기가 1.5~1.8% 그리고 뿌리는 1.7~1.9% 정도로 현저히 增加되었으며 根瘤形成量이나 石灰施用 수준에 따른 차이는 없었다.

### 參 考 文 獻

1. Banath, C. L., E. A. N. Greenwood, and J. F. Loneragan (1966). Effects of calcium deficiency on symbiotic nitrogen fixation. *Plant Physiol.* 41:760~763.
2. Bergersen, F. J. (1974). Formation and function of bacteroid. *In The biological nitrogen fixation*,

North Holland Research Monograph *Frontiers of Biology*, 33:491.

3. Burton, J. C. (1972). Nodulation and symbiotic nitrogen fixation. *In Alfalfa science and technology*. ed. C. H. Hanson, pp. 229~246. ASA. Mono. No.15, Am. Soc. of Agron.
4. Damirgi, S. M., L. R. Frederick, and I. G. Anderson (1967). Serogroups of *Rhizobium japonicum* in soybean nodules as affected by soil types. *Agron. J.* 57:10~12.
5. Graham, P. H., and C. A. Parker (1964). Diagnostic features in the characterization of root nodule bacteria of legumes. *Plant & Soil*, 20:383~396.
6. Karraker, P. E. (1927). Production of nodules on different parts of the root system of alfalfa plants growing in soils of different reaction. *Soil Sci.* 24:103~107.
7. 金東岩·金丙鎬·金昌柱 (1976). 最新草地學, 先進文化社.
8. Kliever, W. M., and W. K. Kennedy (1960). Studies on response of legumes to molybdenum and lime fertilization on mardim silt loam soil. *Soil Sci. Soc. Proc.* 24:377~380.
9. Lowther, W. L., and J. F. Loneragan (1968). Calcium and nodulation in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). *Plant Physiol* 43:315~322.
10. McKinney, G. (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem.* 140:315~322.
11. Moschler, W. W., G. D. Jones, and G. W. Thomas (1960). Lime and soil acidity effects on alfalfa growth in a red yellow podzolic soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 24:507~509.
12. Munns, D. N. (1965). Soil acidity and growth of a legume. *Aust. J. Agr. Res.* 16:733~741
13. Munns, D. N. (1968). Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture. I. Acid-sensitive steps. *Plant & Soil* 28:129~146.
14. 농촌진흥청 植物環境研究所. 토양 비옥도 연구 담당관실. 토양의 化學分析法(부; 식물체 및 관계 수 분석법).
15. 박내정·박영선·이규하·김영섭 (1972). 특이 산성토에 대한 석회 및 규회석의 효과. *韓土肥誌*



- 5(1) : 25~32.
16. Pohlman, G. G. (1946). Effect of liming different soil layers on yield of alfalfa and on root development and nodulation. *Soil Sci.* 62:255~266.
17. Silver, W. S., and R. W. F. Hardy (1976). Newer development in biological dinitrogen fixation of possible relevance to forage production. *In Biological N fixation in forage—livestock system*, ed. C. S. Hoveland pp. 1~34. *Agronomy spec. publ. 28. Am. Soc. of Agron*, Madison, Wis.
18. Simpson, J. R., A. Pinkerton, and J. Lazdovskis (1977). Effects of subsoil calcium on the root growth of some lucerne genotypes (*Medicago sativa* L.) in acid soil profiles. *Aust. J. Agr. Res.* 28:629~638.
19. Vincent, J. M. (1962). Influence of calcium and magnesium on the growth of *Rhizobium*. *J. Gen. Microbiol.* 28:653~663.
20. Watenpaugh, H. N. (1936). The influence of the reaction of soil strata upon the root development of alfalfa. *Soil Sci.* 41:449~468.