

걸뿌림 山地草地에서 石灰 및 3要素 施用水準이 10年後 土壤特性에 미치는 影響

Ⅲ. 土深別 鹽基間 相互比率 및 可視的 土壤保存의 特性變化

鄭連圭 · 李赫浩*

Effects of Lime and NPK Application Rates on the Soil Characteristics after a 10-year Experiment in Oversown Hilly Pasture of Mixed Grass-Clover Sward

Ⅲ. Changes in the mutual ratios of exchangeable cations by the soil depth, and the visible characteristics of soil conservation

Yeun Kyu Jung and Hyok Ho Lee*

Summary

The main experiment related to this report was undertaken to assess the effects of two rates of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0, 250 kg/10a only at establishment) and five rates of $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ (0-0-0, 0-10-10, 6-15-15, 12-20-20, 24-25-20 kg/10a/year) on the pasture establishment, forage yield and quality, and vegetation etc. After this 10-year main experiment, this pasture had been used to assess the effects of the above treatments on the soil characteristics in oversown hilly pasture of a grass-clover sward. The soil properties of mutual ratios of exchangeable cations at different soil depth, and the visible characteristics of soil conservation obtained are summarized as follows;

1. Compared with the properties of soil fertility and the critical level for the likelihood of grass tetany, the mutual ratios of exchangeable cations in soils; $\text{Ca}:\text{Mg}:\text{K}$ (% of CEC), $\text{Ca}:\text{Mg}:\text{K}$ ($\text{K}=1$), $\text{K}/\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}$, Mg/K , Ca/Mg , were discussed at different soil depth. Before and after experiment, these ratios were generally unbalance and unsuitable, and were rather worsened in the order of $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$ under the conditions of liming and NPK fertilization without Mg.
2. The ratios of Ca and Ca/Mg were increased by liming, whereas it of $\text{K}/\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}$ was reduced. The ratios of K and $\text{K}/\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}$ in control and the heavy fertilization of NPK (especially N) were rather lowered than those in the low and medium fertilizations of NPK.
3. The properties of soil conservation were closely related with the forage productivity/vegetation rates, as affected by liming and the application rates of NPK. In control of NPK, It was shown to be the worst soil conservation; severely eroded(3rd grade), exposure of subsoil, redish brown in soil colour, and 18.8% of cobble and stony in covering rate.

順天大學校 農科大學(College of Agric., Sunchon Nat'l Univ., Sunchon 540-742, Korea)

* 농촌진흥청 종자관리소 재배시험과(Nat'l Seed Management Office, Division of Variety Test, RDA, Suwon 442-400, Korea)

4. The improvement of soil conservation was greatly enhanced by increasing the NPK rate. In the medium and heavy fertilizations of NPK, it was shown to be the favorable improvement of soil conservation; slightly eroded(1st grade), covered with humus layer/grass residues in surface soil, dark brown in surface soil colour, under 1% of cobble and stony in covering rate. The increasing of legume yield/vegetation rate by liming rather enhanced the soil conservation of grassland.

I. 緒 言

草地農業의 기술향상은 土壤-牧草-家畜間에 관련된 여러 학문분야에 대한 종합적인 연구를 통해 얻을 수 있다. 따라서 草地土壤의 理化學性 개량을 통한 土壤肥沃度の 증진과 이를 위한 관리방법의 개선은 지속적이고 안정된 牧草生産을 위해 필요하다.

草地的 개발대상지는 주로 未開墾 山地로 이들의 土壤特性은 일반 耕作地에 비해서 理化學的 특성들이 매우 불량하다(農振廳, 1974, 1984; 柳, 1978; Weinberger, 1979, 1982; 許 等, 1984). 草地土壤에서 鹽基의 함량과, 이들 鹽基間의 균형이 牧草의 生育, 收量, 그리고 品質에도 영향을 주며, 이에 따라 家畜 健康에도 영향을 미친다. 특히, 平衡적인 3要素의 多肥施用 草地에서는 鹽基間의 불균형이 더욱 문제시 되고 있다고 報告된 바 있다(鄭 等, 1982; 鄭과 李, 1985).

겉뿌림 山地草地는 耕耘하지 않고 조성하며, 계속 地表面에만 平衡적인 施肥管理를 한다. 따라서 平衡적인 3要素만의 施用과 장기적인 表面施肥에 따른 土壤肥沃度 특성의 변화를 알고자 10년간 施肥試驗을 종료한 후 추가로 土深別 土壤調査를 하였다. 本報에서는 土深別 置換性 鹽基間의 상호비율과 가시적인 土壤保存 특성의 변화에 관해 얻어진 결과를 기술하였다.

II. 材料 및 方法

草地造成地는 海拔高 80m 정도이고, 東北向, 傾斜 30~40%의 山麓傾斜地이다. 土壤名은 石土統, 表土는 石礫이 있는 微砂質 壤土, 心土는 石礫이 있는 微砂質 壤土-壤土로 침식이 있고, 排水가 양호한 Regosols 土壤(Dystric Fluventic Eutrochrepts)이다. 共試土壤은 强酸性을 띄며, 有效磷酸과 置換性 鹽基含量이 매우 낮았다(table 1). 이러한 特性은 우리나라 未開墾 山地土壤의 일반적인 불량한 肥沃度 특성과 같은 경향이였다(農振廳, 1974, 1984; 柳, 1978; 許 等, 1984).

供試草種은 orchardgrass, tall fescue, meadow fescue, perennial ryegrass, kentucky bluegrass, red fescue, redtop, ladino clover를 섞어서 가을에 開墾하고 施肥한 다음 겉뿌림 散播하였다.

試驗區 配置法은 3要素 施肥水準(N-P₂O₅-K₂O kg/10a)을 主區로 5個 水準(<1> 0-0-0, <2> 0-10-10, <3> 6-15-15, <4> 12-20-20, <5> 24-25-20)을, 石灰水準(Ca(OH)₂ kg/10a)을 細區로 2個 水準(<1> 0, <2> 250)을 處理內容으로 한 分割區 配置 4반복으로 처리하였다(試驗區 크기 = 10 × 4 = 40 m²). 石灰는 消石灰로 草地造成時만 겉뿌림 施用하였고, 3要素는 尿素, 重過石과 鹽化加里로 施用하였다. 매년 維持管理肥로 施用되는 3要素의 처리별 分施內容은 표 2와 같다.

Table 1. Soil chemical characteristics of the uncultivated schrubland before experiment

Soil depth (cm)	pH (1:5)	OM (%)	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	Exc. cations (me/100g)					Base sat. (%)
				Ca	Mg	K	Na	CEC	
topsoil (0~15)	5.12	1.73	16	0.98	0.49	0.32	0.08	11.7	16.0
subsoil (15~35)	5.06	-	4	0.45	0.16	0.11	0.04	12.1	6.3

Table 2. Application and distribution rates of N, P₂O₅ and K₂O fertilizers* according to the treatments over the season (unit: kg/10a)

N-P ₂ O ₅ -K ₂ O		N-dressing after cutting**				autumn (after last cutting)
total/year	early spring	1st	2nd	3rd	4th	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
0- 0- 0	0.0- 0.0- 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0- 0.0- 0.0
0-10-10	0.0- 5.0- 5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0- 5.0- 5.0
6-15-15	1.5- 7.5- 7.5	1.5	0.5	1.0	1.5	0.0- 7.5- 7.5
12-20-20	3.0-10.0-10.0	3.0	1.0	2.0	3.0	0.0-10.0-10.0
24-25-20	6.0-12.5-10.0	6.0	2.0	4.0	6.0	0.0-12.5-10.0

* Kinds of fertilizers used; N(urea), P₂O₅(triple superphosphate) and K₂O(KCl)

** When 4 cuts per year were taken, the amount of N-dressing after 2nd cut was the same as the sum of "2nd and 3rd" mentioned above, and that after 3rd cut was the same as the "4th" above.

土深別 土壤分析은 10年間 기본시험을 종료한 가을 마지막 收穫(收穫) 후에 각 處理 및 反覆區別 試料를 土層別로 채취하였고, 分析方法은 農村振興廳 標準方法(農振廳, 1983)에 준하였다.

III. 結果 및 考察

Bussler(1966)는 한 養分의 多少는 그 養分의 量과, 또는 비록 낮은 含量(濃度)일지라도 모든 營養素들 간의 상호비율에 의해서도 결정된다는 養分의 상호 균형(비율)의 중요성을 강조한 바 있다. 草地土壤에서도 각 鹽基의 含量 뿐만 아니라, 鹽基間的 상호균형이 牧草의 生育 및 品質에 영향을 미치고, 이에 따라 放牧家畜의 健康관리에서 문제점이 제기되고 있으며, 이러한 문제점은 관행적인 3要素의 多肥 사용 조건에서 더욱 문제시되고 있다고 報告된 바 있다 (Grunes, 1979; 鄭 등, 1982; 鄭과 李, 1986).

1. Ca : Mg : K 鹽基飽和比(% of CEC)

비옥한 土壤의 指標가 되는 적정 Ca : Mg : K 鹽基飽和比는 60 : 15 : 5가 적합하다고 검토된 바 있다 (Bear and Toth, 1948; Toth, 1964). 그러나 Welch and

Nelson(1950)은 粘土鑛物의 종류에 따라서 適正比는 달라진다고 하였다. 또한 鄭 등(1974)은 대두시험에서 우리나라의 주요 粘土鑛物이 kaolinite인 특성을 고려하여 Ca의 鹽基飽和도가 50%인 경우가 적합하다고 하였으나, 嚴 등(1982)은 酸度矯正과 연관하여 60%가 바람직하다고 한 바 있다.

試驗前(山林地) 土壤 중 치환성 鹽基飽和比(% of CEC) Ca:Mg:K는 表土 8.4:4.2:2.7, 心土 3.7:1.3:0.9로 鹽基의 절대부족과 상호간 鹽基比가 매우 부적합하였음을 보여 주었다. 表土 土壤에서 이들 각 鹽基의 適正飽和比 수준을 100%으로 간주한 상대적인 각 鹽基比(%기준) 수준을 보면 Ca=6%, Mg=28%, K=54% 수준으로 適正飽和比 수준에 크게 미달되었다. 이 중에서도 K의 鹽基飽和比가 상대적으로 다소 양호하였으며, 山地의 草地開發에는 대체로 Ca > Mg > K 순으로 鹽基飽和比 및 鹽基比 등이 크게 불량한 요인임을 보여주었다. 石灰 및 3要素 처리별 시험전, 후의 土壤 중 치환성 鹽基들의 Ca:Mg:K 鹽基飽和比(% of CEC)를 보면 표 3과 같다

Ca 鹽基飽和比(% of CEC):

시험전 表土 土壤은 8.4%를 보였으나, 10년 시험 후 石灰의 主效果(3要素 平均)에서 土深別(간격; 7.5

Table 3. Percent exchangeable cations of CEC and mutual ratios(Ca:Mg:K) of cations by the profile depth after a 10-year experiment, as affected by the lime and NPK application rates(main effects of lime and NPK levels, averaged over each other factors, respectively)

treatment ¹⁾	soil depth (cm)				
	0.0~7.5	7.5~15.0	15.0~22.5	22.5~30.0	30.0~40.0
..... % cations of CEC (Ca:Mg:K%)					
before exp.	8.4:4.2:2.7	3.7:1.3:0.9	—	—	—
lime level					
0	19.4:2.0:4.2	11.9:1.4:3.7	10.3:1.3:3.3	9.8:0.9:3.5	9.0:1.0:3.6
250	30.2:1.9:3.4	20.8:1.4:3.0	15.9:1.0:2.6	14.8:0.6:2.3	13.5:0.8:2.3
NPK level					
0- 0- 0	20.8:1.8:2.5	14.1:1.8:1.5	10.9:1.2:1.4	7.7:1.0:1.6	9.6:1.3:1.1
0-10-10	22.9:2.2:5.4	14.3:1.2:4.4	12.8:1.2:4.1	11.0:0.8:3.6	11.0:0.9:4.0
6-15-15	28.3:2.3:4.5	17.9:1.3:4.0	15.3:1.0:3.7	11.1:0.8:3.2	10.7:0.7:3.5
12-20-20	30.1:2.1:4.3	17.0:1.5:4.8	12.9:1.0:4.2	15.6:0.7:4.3	11.6:0.9:4.6
24-25-20	23.4:1.5:2.2	21.7:1.2:2.2	14.0:1.3:1.7	12.6:0.7:1.6	13.8:0.9:1.7
..... cation ratios (Ca:Mg:K, K=1.0)					
before exp.	3.1:1.5:1.0	4.1:1.5:1.0	—	—	—
lime level					
no lime	4.6:0.5:1.0	3.2:0.4:1.0	3.1:0.4:1.0	2.8:0.3:1.0	2.5:0.3:1.0
lime	8.8:0.6:1.0	6.8:0.5:1.0	6.1:0.4:1.0	6.4:0.3:1.0	5.8:0.4:1.0
NPK levels					
0- 0- 0	8.2:0.7:1.0	9.6:1.2:1.0	7.9:0.9:1.0	4.7:0.6:1.0	9.0:1.2:1.0
0-10-10	4.2:0.4:1.0	3.2:0.3:1.0	3.1:0.3:1.0	3.0:0.2:1.0	2.7:0.2:1.0
6-15-15	6.3:0.5:1.0	4.4:0.3:1.0	4.2:0.3:1.0	3.5:0.2:1.0	3.1:0.2:1.0
12-20-20	7.1:0.5:1.0	3.5:0.3:1.0	3.9:0.2:1.0	3.6:0.2:1.0	2.6:0.2:1.0
24-25-20	10.6:0.7:1.0	10.0:0.6:1.0	8.3:0.8:1.0	10.0:0.5:1.0	7.9:0.5:1.0

¹⁾ lime; only one time application at pasture establishment(Ca(OH)₂ kg/10a).

NPK levels: N-P₂O₅-K₂O kg/10a/year, kinds of fertilizers used (see the table 2).

cm) 石灰施用區의 Ca 鹽基飽和比(%)는 30.2-20.8-15.9-14.8-13.5로 시험전보다 表土 上部層이 크게 증가하였고, 土深이 깊어질수록 다소 낮아졌다. 이러한 Ca의 鹽基飽和比는 상술한 적정 飽和比 60% 수준에 비해 크게 미흡한 수준이었다. 따라서 草地造成時 한 번만의 걸뿌림 石灰施用은 적합한 Ca 鹽基

飽和比 수준과 비교할 때 매우 부족한 施肥量 이었고, 또한 걸뿌림 山地草地의 造成時는 耕耘草地에 비해서 石灰施用量이 1/2 정도로 제한되는 조건이므로 草地造成 후 적정년도(2~3년)에 石灰의 追肥가 필요함을 나타내고 있다. 石灰를 表土에 걸뿌림 시 용한 조건에서도 石灰成分이 상당량 心土로 溶脫集

積되었고 心土의 土壤改良에도 기여하였음을 보여 주었다.

반면에 無石灰區에서는 土深別(간격; 7.5cm) Ca 鹽基飽和比(%)는 19.4-11.9-10.3-9.8-9.0으로 시험전(表土 8.4%) 보다 높아졌으나 石灰施用區보다 낮았다. 시험전보다 다소 높아진 이유는 3要素 중 磷酸肥料로 重過石(Ca 함유)을 사용하였고, 일부 인접 石灰施用區에서 流去에 의한 流入 등에 기인된 것으로 보인다. 3要素 主效果(石灰平均)에서는 石灰水準의 평균치와 비슷한 경향을 보였으며, 다만 3要素 無施用區에서 상대적으로 더 낮은 수준을 보였다.

Mg 鹽基飽和比(% of CEC):

시험전 表土土壤은 4.2%(상부) 및 1.3%(하부)를 보였으나, 10년 시험후 土深別(간격; 7.5cm) 평균 Mg 鹽基飽和比(%)는 2.0-1.4-1.2-0.8-0.9로 시험전 보다 表土土部가 1/2 이하로 더 낮아졌으며, 상술한 適正比率 15% 수준에 크게 미달되었다. 石灰 및 3要素 처리수준간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 매우 불량한 鹽基飽和比는 시험전 土壤 중 Mg 含量的 절대부족과 10년 시험기간 관행적인 3要素만의 施用으로 Mg의 無施用, 매년 牧草收穫에 의한 Mg 탈취량의 증가로 土壤 중 Mg 含量이 시험전보다 減少된 것에 기인된 것이다. 이러한 특성은 관련 논문에서 既報告(鄭 등, 1982)된 바와 같이 牧草 중 Mg 含量이 크게 부족하였으며, grass tetany 유발위험성을 높여 주었다.

치환성 Mg의 鹽基飽和比가 CEC의 10%가 牧草의 정상생육을 유지하고, Mg 含量을 높여 주며, grass tetany 방지의 臨界水準이라는 報告(Hooper, 1967; Metson, 1974)와 비교하면, 시험후 表土 2.0% 鹽基飽和比는 臨界水準의 1/5 수준이었고, 心土로 갈수록 더 낮아진 불량한 특성은 Mg이 草地肥沃度 개량의 큰 制限要因 중의 하나임을 보여 주었다.

草地管理에서 Mg 施肥가 없는 조건에서 관행적인 石灰 및 3要素 施肥는 土壤 중 Mg 含量, Mg 吸收 및

牧草 중 含量 등에 더욱 불리한 施肥管理이다(鄭 등, 1982; 鄭과 李, 1985). 또한 鄭 등(1974)은 대두재배에서 Ca 鹽基飽和比는 35-55%로 충분하고, Mg은 15% 이상이어야 하며, 그리고 Mg 施用이 없는 石灰施用은 불합리한 시비관리라고 한 바 있다. 본 시험결과 Ca 및 Mg의 鹽基飽和比가 매우 불량하였고, 상대적으로 Mg이 더 불리한 飽和比를 보여주었다. 따라서 石灰施用時 苦土-石灰肥料의 선택, Mg가 함유된 磷酸肥料(용인/용과린), Mg 함유 複肥 등의 施用이 꼭 필요한 것으로 나타났다.

K 鹽基飽和比(% of CEC):

시험전 表土 土壤은 2.7%(상부), 0.9%(하부)를 보였으나, 10년 시험후 土深別(간격; 7.5cm) K 鹽基飽和比(%)는 石灰의 主效果(3요소 평균)에서 石灰施用區는 3.4-3.0-2.6-2.3-2.3, 無石灰區는 4.2-3.7-3.3-3.5-3.6으로 시험전보다 다소 증가하였고, 土深이 깊어질수록 약간 낮아지는 경향을 보였다. 또한 無石灰區에서는 石灰施用區보다 약간 높은 경향을 보였다. 일반적으로 K 施用에 따라서 K 飽和比는 다소 높아졌다. 3要素 主效果(석회 평균)에서는 3요소 無施用區 및 多肥區가 일반 少肥/普肥區보다 더 낮은 경향을 보였다. 특히 3要素 多肥區(질소다비)에서 낮은 K 飽和比는 多收穫에 따른 K 탈취량 증가에 기인된 것으로 보인다.

시험전보다 心土 중 K 鹽基飽和比가 크게 증가한 것은 心土로 K의 溶脫集積이 상당히 되었음을 보여 주었다. 시험 후 K의 鹽基飽和比는 상술한 적정飽和比 5% 수준에는 다소 미흡하였으나 Mg 및 Ca에 비하면 상대적으로 양호한 경향이였다.

2. Ca:Mg:K 當量比(K當量=1 기준)

土壤 중 치환성 Ca:Mg:K 當量比(기준: K=1)=10:1:1이 牧草의 정상생육과 牧草內 Mg 含量을 높여 grass tetany를 예방할 수 있는 臨界水準이라는 報告

(Fine and Shannon, 1976)와 비교하면, 시험전(山林地) 土壤은 Ca:Mg:K 當量比가 表土에서 3.1(상부)/4.1(하부):1.5:1.0 비율을 보여 臨界水準에 비해서 Ca 수준이 크게 낮은 비율을 보여 주었고, 단순한 비교에서는 Mg:K 當量比는 적합한 수준을 유지한 조건이었다. 시험전, 후의 Ca:Mg:K 當量比(K=1)의 변화는 표 3과 같다.

Ca의 當量比(K=1)

시험전(山林地) Ca 當量比가 表土에서 3.1(상부)/4.1(하부)를 보였으나, 시험후 土深別(간격: 7.5cm) Ca 當量比는 石灰의 主效果(3요소 평균)에서 無石灰區는 4.6-3.2- 3.1-2.8-2.5, 石灰施用區는 8.8-6.8-6.1-6.4-5.8을 보였다. 無石灰區에서는 시험전과 비슷한 當量比를 보였으며 상술한 臨界水準에 크게 미달되었다. 石灰施用區에서는 草地造成時 1회의 鈣뿌림 施肥가 비록 石灰 所要量에 크게 미흡하였으나 無石灰區에 비하여 약 2배 높은 Ca 當量比를 보였다. 그러나 臨界水準인 10 수준에는 약간 미달하였다. 3要素의 主效果(석회 평균)에서는 다소 불규칙성을 보였으나, 無肥區 및 3要素 多肥區에서는 表土의 Ca 當量比가 臨界水準에 근접하였다.

Mg의 當量比(K=1)

시험전(山林地) Mg 當量比가 表土에서 1.5(Mg:K=1.5:1)를 보였으나, 시험후에는 평균적으로 약 1/3 수준인 0.4 내외의 當量比로 낮아졌고, 臨界水準 1.0 (Mg:K=1:1)에 크게 미달하였다. Mg 當量比는 石灰의 主效果(3요소 평균)에서는 처리별 큰 차이를 보이지 않았다. 3要素 主效果(석회 평균)에서는 無肥區와 多肥區가 少肥 및 普肥區보다 상대적으로 Mg 비율이 확연히 높았으나, 少肥 및 普肥水準間에는 차이가 없었다. 이러한 특성은 無肥區에서 K의 無施用과 多肥區에서 多收穫에 따른 K 탈취량 증가로 상대적인 當量比 증가에 기인된 것으로 보인다.

Mg 當量比가 시험후 더 낮아지고, 매우 부적합하

게 된 이유는 Ca:Mg:K 鹽基飽和比에서 언급된 바와 같으며, 또한 K 施用에 따른 상대적인 K 함량의 증가 특성과 연관되고 있다.

3. $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比

시험전, 후의 처리별 $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比는 표 4와 같다. $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比가 土壤肥沃度の 指標로서 土壤 중 鹽基比의 적정치를 구명하는 기준으로 검토되고 있다. 대두 재배시험에서 土壤 중 $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比가 0.24-0.30일 때 대두의 생육이 양호하였고, 이때의 Ca+Mg는 鹽基飽和度の 80-90%, Ca:Mg 當量比는 3:2 내지 2:1이 적합하다고 한 바 있다(李와 李, 1975; 柳 1978; 柳, 1987).

시험전(山林地) $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比는 表土 上部가 0.26, 表土 下部가 0.14를 보였다. 10년간 시험 후 土深別(간격: 7.5cm) 조사한 결과, 石灰의 主效果(3요소 평균)에서 無石灰區는 0.30-0.31-0.30-0.32-0.34, 石灰施用區는 0.22-0.21-0.20-0.18-0.19 當量比를 보였다. 土深別 일관성이 있는 차이와 변화를 보이지 않았으며, 石灰施用은 본 當量比를 다소 낮게 하였다. 대두 재배에서 기본적인 適正比인 0.24-0.30 當量比에 비슷한 비율을 보였으나 전술한 Ca:Mg:K 당량비 (K당량=1 기준)에서 언급된 Ca:Mg 當量比가 表土의 평균치가 보통 10:1을 상회하므로 대두의 바람직한 3:2 내지 2:1비율과 비교할 경우 Mg가 Ca에 비해 매우 부족한 특성을 보였다.

3要素의 主效果(석회 평균)를 보면 少肥 및 普肥區에서는 K를 시용함에 따라서 $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比가 증가하여 평균 0.3 내외 또는 0.3을 약간 상회하였다. 그러나 土深別(간격: 7.5cm) 차이를 보면, 無肥區는 0.18-0.11-0.12-0.17-0.10, 3要素 多肥區는 0.15-0.15-0.14-0.12-0.14를 보였는데, 이는 대두 재배의 적정 當量比와 비교할 경우 크게 낮은 비율이었다. 이와 같은 낮은 當量比는 無肥區의 K 無施用과 多肥區의 N 施肥量 증가로 多收穫에 따른 K 탈취량의

Table 4. Main effects of the lime and NPK application rates on the mutual ratios of soil cations ($K/\sqrt{Ca+Mg}$, Mg/K, Ca/Mg, and K/Mg) by the profile depth after a 10-year experiment, averaged over each other factors, respectively)

treatment ¹⁾	soil depth (cm)									
	0.0 7.5	7.5 15.0	15.0 22.5	22.5 30.0	30.0 40.0	0.0 7.5	7.5 15.0	15.0 22.5	22.5 30.0	30.0 40.0
 $K/\sqrt{Ca+Mg}$ Mg/K				
before exp.	0.26	0.14	—	—	—	1.53	1.46	—	—	—
lime level										
0	0.30	0.31	0.30	0.32	0.34	0.48	0.37	0.39	0.25	0.28
250	0.22	0.21	0.20	0.18	0.19	0.56	0.45	0.37	0.27	0.36
NPK level										
0- 0- 0	0.18	0.11	0.12	0.17	0.10	0.72	1.21	0.85	0.60	1.20
0-10-10	0.37	0.36	0.34	0.32	0.36	0.41	0.27	0.28	0.21	0.22
6-15-15	0.30	0.30	0.29	0.28	0.31	0.51	0.31	0.27	0.24	0.19
12-20-20	0.26	0.34	0.36	0.34	0.39	0.49	0.31	0.24	0.16	0.19
24-25-20	0.15	0.15	0.14	0.12	0.14	0.68	0.55	0.77	0.47	0.50
 Ca/Mg K/Mg				
before exp.	2.00	2.81	—	—	—	0.65	0.69	—	—	—
lime level										
0	9.59	8.69	8.00	11.25	8.78	2.09	2.69	2.58	4.00	3.56
250	15.80	15.14	16.50	23.50	16.00	1.80	2.21	2.70	3.67	2.75
NPK level										
0- 0- 0	11.38	7.88	9.27	7.78	7.50	1.38	0.82	1.18	1.67	0.83
0-10-10	10.23	11.83	11.09	14.29	12.25	2.42	3.67	3.55	4.71	4.50
6-15-15	12.42	14.31	15.40	14.57	16.33	1.97	3.23	3.70	4.14	5.33
12-20-20	14.44	11.29	12.90	22.29	13.38	2.04	3.21	4.20	6.14	5.25
24-25-20	15.53	18.25	10.85	21.43	15.88	1.47	1.83	1.31	2.14	2.00

¹⁾ lime; only one time application at pasture establishment(Ca(OH)₂ kg/10a).

NPK levels: N-P₂O₅-K₂O kg/10a/year, kinds of fertilizers used(see the table 2).

증가로 土壤 중 K 含量的 저하에 기인된 것으로 보인다. 그러나 牧草栽培에서는 K 要求度가 높다는 報告(李와 李, 1975; 鄭, 1984)와 비교할 경우 草地土壤에 적합한 $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比가 별도로 연구 검토되어야 할 것이다.

4. Mg/K 및 K/Mg 當量比

草地土壤의 肥沃度, 牧草의 品質 향상 및 家畜의 건강과 연관된 또 다른 土壤 중 鹽基比로서 Mg/K 및 K/Mg 當量比가 검토되고 있다. Metson(1974)은 Mg/

K 當量比는 0.5 이상, 그리고 Horvath and Todd(1968)은 K/Mg 當量比는 0.5~1.0 수준이 牧草의 정상생육과 Mg 含量을 높여 grass tetany 방지를 위한 臨界水準이라고 하였으며, Hooper(1967)는 牧草 중 Mg 臨界含量 0.2% 이상을 얻기 위해서는 土壤 중 Mg/K 當量比가 1.2는 되어야 한다고 하였다. 시험전, 후 처리별 Mg/K 및 K/Mg 當量比의 변화는 표 4와 같다.

Mg/K 當量比는 시험전 表土 上部=1.53, 表土 下部=1.46 수준이었으나, 시험후 土深別(간격: 7.5cm) 차이를 보면, 石灰의 主效果(3요소 평균)에서는 無石灰區 0.48-0.37-0.39-0.25-0.28, 石灰施用區 0.56-0.45-0.37-0.27-0.36으로 石灰施用區가 약간 높았으나, 모두 시험전(山林地)보다 크게 낮아진 當量比를 보였고, 또한 心土로 갈수록 더 낮은 比率을 보였다.

3要素의 主效果(석회 평균)에서는 K를 사용한 少肥 및 普肥區에서는 Mg/K 當量比가 낮아져 臨界水準 0.5이상(Metson, 1974)보다 낮은 表土 上部 0.47 내외, 心土 0.25 내외를 보였다. 그러나 3要素 無肥區에서 土深別(간격: 7.5cm) 차이는 0.72-1.21-0.85-0.60-1.20, 多肥區의 경우는 0.68--0.55-0.77-0.47-0.50로 少肥, 普肥區보다 상대적으로 當量比가 높았다. 이는 無肥區의 K 無施用 조건과 N 多肥에 따른 多收穫으로 K 탈취량 증가에 기인한 것으로 보인다.

시험전 表土 土壤은 Mg=0.49me/100g, K=0.32로 Mg 含量이 K보다 높아 Mg/K=1.53, K/Mg=0.65 비율을 보였으나, 草地 造成 후 Mg 無施用과 收穫物에 의한 Mg 탈취량 증가로 土壤 중 Mg 含量의 감소와, 3要素 사용에 따른 K 공급으로 土壤 중 K 함량의 증가는 草地 造成前과 다른 K>Mg 含量을 보였다. 또한 牧草 중 Mg 臨界含量 0.2% 이상의 함량을 얻기 위해서는 土壤 중 Mg/K 當量比가 1.2는 되어야 한다는 보고(Hooper, 1967)와 비교하면, Mg 施用이 없는 3要素 施用은 K 함량 증가로 Mg/K 當量比를 더욱 부적합하게 만드는 요인이 되었다. 특히 Mg/K 當量比가 Ca/Mg比 보다 더 牧草 중 Mg 함량에 미치는 영향이 크다는 報告(Grunes, 1973)를 고려하면 Mg의

절대부족으로 Mg과 K간의 상호균형이 매우 부적합하였다.

시험전에는 K/Mg비 = 0.65 내외를 보여 臨界水準 0.5~1.0(Horvath and Todd, 1968) 범위내 수준을 보였으나, 10년 시험후에는 石灰의 主效果(3요소 평균)에서 無石灰區는 土深別(간격: 7.5cm) 2.1-2.7-2.6-4.0-3.6을 보였고, 石灰施用區에서는 1.8-2.2-2.7-3.7-2.8 수준을 보였다. 表土가 평균 2.0 이상의 높은 비율을 보였다. 이러한 K/Mg 當量比 변화 및 부적합한 특성 등은 Mg/K비에서 설명된 검토내용과 일치한다.

5. Ca/Mg 當量比

土壤 중 Ca/Mg 當量比는 5이하여야 牧草의 정상생육과 Mg 함량을 높여 grass tetany 방지를 기할 수 있는 臨界水準이라는 報告(Horvath and Todd, 1968)와 비교하면, 시험전 表土 土壤의 Ca/Mg 當量比 2.0인 것에 비해 시험 후 전 시험구 공히 시험전보다 4~8배 정도 높은 當量比를 보였다. 石灰의 主效果(3요소 평균)에서 無石灰區는 土深別(간격:7.5cm) 9.6-8.7-8.0-11.3-8.8 수준으로 臨界水準의 약 2배정도 높은 부적합한 비율을 보였고, 石灰施用區는 15.8-15.1-16.5-23.5-16.0으로 3배이상 높은 부적합한 비율을 보였다. 특히 石灰施用區에서 表土 土壤의 Ca/Mg=15.5 當量比는 無石灰區의 9.1에 비하여 1.7배정도 높아졌다. 이러한 결과는 Mg 施肥가 없는 조건에서 牧草收穫에 따른 Mg 탈취량의 증가로 土壤 중 Mg 함량이 더 감소된 반면, 石灰施用으로 Ca 함량의 증가에 기인한 것이다.

또한 3要素의 主效果(석회 평균)에서 대체로 3要素 사용수준의 증가(특히 질소)로 Ca/Mg 當量比가 증가하는 경향을 보였다. 이는 상대적으로 Mg의 무공급 및 질소 시비량 증가에 따른 Mg 탈취량이 더 증가한 것에 기인된 것으로 생각된다. 土深別 차이는 일관성 있는 변화를 보이지 않았다.

이상 검토된 鹽基間 다양한 상호비율은 Mg>

Ca>K 순으로 牧草의 정상생육에 불리한 조건임을 보여주고 있고, 表土보다는 心土가 더 부적합한 조건이었다. 이는 관행적인 石灰 및 3要素 施肥의 문제점을 나타내 주었으며, 검토된 鹽基間의 상호비율은 여러가지 家畜健康 문제 중 언급된 grass tetany의 발생가능성을 높여주는 조건들이었다. 따라서 신개간 山地 土壤은 鹽基의 含量 및 상대비가 불량한 肥沃度 특성을 가지고 있으므로 施肥養分の 量뿐만 아니라, 다양한 형태의 鹽基間 상호비율의 특성을 고려한 종합적인 草地 土壤의 개량방법이 연구 검토되어야 할 것이다.

6. 土壤保存성의 가시적 특성 변화

粗飼料 生産量の 제고를 위한 山地草地의 造成과 利用은 土壤保存 및 침식방지의 문제와 연관하여 검토되어야 한다. 걸쭉한 山地草地는 먼저 기존식생인 나무, 잡관목 및 산야초를 제거하는 개간작업을 하고 조성된다. 따라서 草地造成 및 管理利用의 부실은 草地의 生産性 저하 즉, 植生不良을 초래하고, 이는 裸地率의 증가를 가져와 곧, 토양침식도의 증가를 초래하기 쉽다. 이 결과 비옥한 表土 및 養分の 유실, 流水量의 증가, 心土의 노출, 그리고 이에 따른 굴곡, 石礫의 표면 노출과 土色의 적갈색화 등 불량한 肥沃도를 갖는 山地草地가 되기 쉽다.

일반적으로 傾斜山地의 가장 좋은 土壤保存 방법은 山林植生을 잘 유지관리하는 것이다. 降雨量에 대한 流水量의 비율(%)을 보면 混合林 4.9%, 밭 21.1%, 裸地/土壤流失地 56% 정도이고, 土壤流失量은 混合林 0.15, 밭 10.0, 土壤流失地는 188.4에 달한다는 報告(Spatz, 1984)와 같이 混合林이 잘 관리보존된 傾斜山地는 土壤保存성이 매우 양호한 것을 알 수 있다.

또한 作物體系(作物)別 토양침식도의 변화를 보면, 土壤流失量이 裸地>참깨>울무>땅콩>클로버>混播草地(農振廳, 1989) 순으로 크고, 그리고 유

사한 報告(嚴 등, 1982; 柳, 1987))에서 나지(100)>옥수수(57)>보리-콩(13)>보리-고구마(7)>목초(0.2) 순으로 큰 침식도를 보이는 것과 같이 優良草地의 경우 土壤保存성이 매우 양호한 것을 알 수 있다. 또한 土壤과 植物間의 생태계 구성관계를 보면 강우에 의한 流失量은 지표피복율이 낮을수록(裸地率이 높을수록), 降雨強度가 클수록, 그리고 傾斜도가 높을수록, 傾斜面의 길이가 길수록 많아지는 관계가 있다(農技研, 1978; 農振廳, 1989). 그리고 土性別 토양 유실량은 식양토>식토>양토>사양토순(農振廳, 198; 農技研, 1978)으로 細粒質일수록 큰 특성이 있다. 이러한 植生, 作物, 傾斜度 등의 특성들은 山地草地의 土壤保存性 향상을 위한 기본적인 指標가 된다.

본 試驗에서 경사산지의 草地造成 및 管理를 위한 10년간 石灰 및 3要素 시험 후 土壤侵蝕성과 연관된 土壤의 가시적 변화와 특성을 조사한 결과는 표 5와 같다. 地表面의 侵蝕度는 일반적으로 시비관리에 따른 收量性(植生, 裸地率)의 차이와 밀접한 연관성을 보였다. 시비관리가 양호한 조건에서는 收量/植生이 양호하고, 土壤保存성이 증대하였으며, 불량한 조건에서는 토양침식도가 크게 증가하였고 土木工學的인 공사가 따르지 않는 한 개간전 土壤과 같은 조건으로 환원하기 어려울 정도로 土壤流失度가 높았다.

3要素 無施用區는 植生/收量 不良으로 지표면 裸地率의 증가를 가져왔으며, 이에 따라 심한 侵蝕性 즉, 심한 침식(3등급), 心土의 노출, 赤褐色 土色, 상당량의 表土 및 心土의 細粒質 토양의 침식/유실 등의 특성을 보였다. 이에 따라 地表面이 屈曲된 微地形을 보였고, 土壤內의 石礫이 노출되어 地表面 被覆率이 18.8% 정도에 달하였다.

3要素 무질소 少肥區(0-10-10kg/10a/년)에서는 無肥區와 비슷한 경향을 보였으나, 침식등급은 보통-심한 침식정도(2-3등급), 石礫의 피복율은 평균 7.9%로 無肥區보다는 상대적으로 침식도가 낮아졌다.

Table 5. Visible characteristics of surface soils in the status of exposed gravels, cobbles and stones, erosion, and soil colour after a 10-year experiment, as affected by the lime and NPK application rates

Treatment N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/10a)	visible characteristics of surface soils				soil colour	
	covering rates (%)			micro-relief (rolling)		erosion (1-4)*
	no lime	lime	avg.			
0- 0- 0	18.8	18.8	18.8	common-severe	3	red. brown
0-10-10	14.3	1.4	7.9	common	2~3	red. brown
6-15-15	1.3	0.3	0.8	flat	2	brown
12-20-20	0.1	0.1	0.1	flat	1**	dark brown
24-25-20	0.1	0.1	0.1	flat	1**	dark brown
avg.	6.9	4.1				

* erosion grades: 1(slightly eroded), 2(eroded), 3(severely eroded), 4(gully)

** slightly eroded, and surface soil covered with the humus layer derived from grass residues.

그러나 동일한 무질소 少肥區에서도 石灰施用區는 無石灰區보다 침식도가 다소 약하여 石礫의 피복율이 無石灰區 14.3% 보다 훨씬 낮은 1.4% 수준으로 크게 土壤保存성이 양호하였다. 이는 石灰施用으로 荳科牧草의 정착율이 높아 상대적으로 裸地率이 낮아졌기 때문이다.

3要素 少肥區(6-15-15kg/10a/년)에서는 침식등급이 보통등급(2등급)으로 낮아졌으며, 표면침식이 적고, 微地形은 평면을 유지하였으며, 土色이 갈색을 띠는 등 土壤保存성이 크게 향상되었다. 또한 地表土壤의 유실이 적어 石礫 被覆率이 無石灰區 1.3%, 석회시용구 0.3%로 크게 낮아졌다.

3요소 普肥區(12-20-20와 多肥區(24-25-20kg/10a/年)에서는 土壤侵蝕이 거의 나타나지 않는 1등급 침식도를 보였다. 양호한 收量性(植生, 被覆率)에 기인하여 牧草 잔해물이 地表에 피복되어 地表面에 얽은 유기질/잔해물층을 형성하였다. 이에 따라 表土의 土色이 암갈색을 띠는 등 양호한 土壤保存성을 보였다. 地表面의 석력 피복율은 모두 0.1% 이하로 表面에 거의 노출되지 않았다.

IV. 摘 要

길뿌림 山地草地의 造成, 收量, 植生 및 牧草品質 등에 미치는 3要素(N-P₂O₅-K₂O: 0-0-0; 0-10-10; 6-15-15; 12-20-20; 24-25-20 kg/10a/year)와 消石灰 (0, 250kg/10a; 造成時만 施用)의 施用效果를 究明하는 10年間 試驗後, 별도로 土深別 土壤의 化學性 등을 조사하였으며, 本報에서는 치환성 鹽基間 다양한 상호비율 및 土壤 保存성의 가시적 변화를 검토하였다.

1. 土壤肥沃度 특성 및 grass tetany 臨界水準과 관련하여, 치환성 鹽基飽和比 Ca:Mg:K(% of CEC)와 Ca:Mg:K(K=1), $K/\sqrt{Ca+Mg}$, Mg/K, K/Mg 및 Ca/Mg 當量比를 처리별 및 土深別로 검토하였다. 시험전, 후 이들 比率는 대체로 불균형 및 부적합 하였으며, Mg 施用이 없는 石灰 및 3要素 施肥는 이들 鹽基比를 더욱 부적합하게 하였다. 대체로 Mg>Ca>K 순으로 불량한 요인을 보였다.

2. 石灰 施用은 Ca 飽和比, Ca/Mg 및 Ca:K 當量比를 상승시켰고, $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比는 하락시켰으나

적정비 수준에는 크게 미흡하였다. 3要素 수준에서 無肥區 및 多肥區(질소다비)는 少肥區와 普肥區에 비해 K飽和比 및 $K/\sqrt{Ca+Mg}$ 當量比가 더 낮았다.

3. 土壤 保存性은 시비관리에 따른 收量性/植生率과 밀접한 연관성을 보였다. 3要素 無施用區는 收量/植生の 불량으로 심한 침식(3등급), 心土의 노출, 적갈색 土色, 石礫의 노출(피복율 18.8%)을 보였다. 施肥量의 증가에 따라 土壤 保存性이 향상되었고, 3要素 普肥區 및 多肥區에서는 侵蝕이 거의 없고(1등급), 地表面에 유기질/잔해물의 퇴적층이 형성되었으며, 表土는 암갈색을 띄었고, 石礫의 지표 피복율은 모두 0.1% 이하로 거의 노출되지 않았다. 石灰 施肥로 인한 荳科牧草의 收量/植生の 양호는 土壤 保存性을 증대시켰다.

V. 引用 文 獻

1. Bear, F.E. and S.T. Toth. 1948. Influence of calcium on availability of other cations. *Soil Sci.* 65:69-75.
2. Bussler, W. 1966. Die Bestimmung eines Nährstoff-gleichgewichtes auf Grundsystematischer Nährstoff-Variationen nach Homes. *Kali-Briefe, Fachgebiet 2,2 Folge*, 1-10.
3. Fine, L.O., and D.G. Shannon. 1976. Growth and composition of sudangrass on high Ca, low Mg soil. *Agron. J.* 68:671-674.
4. Grunes, D.L. 1979. Grass tetany of cattle and sheep. 113-140. In: A.G. Matches(ed.). *Anti-quality components of forages*. CSSA. U.S.A.
5. Hooper, L.J. 1967. The uptake of Mg by herbage and its relationship with soil analysis data. 160-173. In: W. Dermott(ed.). *Soil K and Mg. Min. Agri., Fish. Food Tech. Bull. London.*
6. Horvath, D.J. and J.R. Todd. 1968. Mg supplements for cattle. *Proc. 23 Texas Nutr. Conf. Texas Agri. Exp. Stn., College station.* 96-104.
7. Metson, A.J. 1974. Mg in New Zealand soil. I. Some factors governing the availability of soil Mg. A review. *N.Z.J. Exp. Agri.* 2: 277-319.
8. Spatz, G. 1984. 산지 초지농업과 토양침식의 위험, 경사지에서 있어서 초지 및 사료작물재배 (DSE Seminar), DSE-RDA. 96-101.
9. Weinberger, P. 1979. 韓國에 있어서 山地의 草地改良技術. *韓草誌*, 1(2):7-13.
10. Weinberger, P. 1982. 山地 草地造成을 爲한 林野地의 諸特性. *韓草誌*, 3(1):10-11.
11. Welch, C.D. and W.L. Nelson. 1950. Ca and Mg requirements of soybean as related to the degree of base saturation of the soil. *Agron. J.* 42:9.
12. 農技研. 1978. 主要試驗研究業績과 研究方向. 農村振興廳, 農技研. 77-81.
13. 農振廳. 1974. 新開墾地 營農技術. 農村振興廳, 11-55.
14. 農振廳. 1983. 農事試驗研究 調查基準. 農村振興廳, 改正 第1版; 植物環境 및 飼料作物編. 5-32, 149-154.
15. 農振廳. 1984. 山地 草地造成과 利用. 農村振興廳. 42-46, 120-127.
16. 農振廳. 1989. 농토배양 10개년사업 종합보고서. 農村振興廳. 436-448.
17. 嚴基泰, 洪鍾雲, 柳寅秀. 1982. 밭 土壤管理. 가리연구회. 38-42.
18. 柳寅秀. 1978. 山地土壤의 特性 및 改良. *韓土肥誌*, 11(4):247-262.
19. 柳寅秀. 1987. 밭 토양관리와 시비. 가리연구회. 139, 207, 105-111.
20. 李鍾基, 李根常. 1975. 제주도 초지개발에 있어서 토양학적 문제점. *한토비지*, 8(3):153-160.
21. 鄭連圭. 1984. 초지토양관리와 비료. 가리연구회. 299-303.
22. 鄭連圭. 1984. 척박지의 초지개발에 따른 문제

- 점. 경사지에서 있어서 초지 및 사료작물재배 (DSE Seminar), DSE-RDA. 85-95.
23. 鄭連圭, 朴炳勳, 李鐘烈 외. 1982. 石灰 및 3要素 施用水準이 걸뿌림 山地草地에 미치는 影響(I,II, III,IV報), 韓畜誌, 24(6):493-516.
24. 鄭連圭, 李鐘烈. 1985. 傾斜度別 3要素 施用水準이 걸뿌림 山地草地에 미치는 影響(I,II報), 韓草誌, 5(3):195-206.
25. 鄭連圭, 李鐘烈. 1986. 山地傾斜度 및 3要素 施用水準이 草地土壤 및 牧草中 無機養分の 相互均衡과 grass tetany 危險性에 미치는 影響. 韓草誌, 19(3):231-238.
26. 鄭二根, 洪鐘雲, 金泳燮, 趙大永. 1974. 酸性 新開墾地 土壤의 鹽基飽和度와 大豆收量. 韓土肥誌, 7(1):23-27.
27. 許奉九, 趙仁相, 閔庚範, 嚴基泰. 1984. 우리나라 土壤의 代表的인 物理化學的 特性. 韓土肥誌, 17(4):330-336.