

強酸性 火山灰土壤에 있어서 草原의 遷移에 미치는 燐酸의 役割

I. 一年生 및 多年生 草本 群落에 있어서 燐의 循環

鄭 燦 · 菅原和父* · 全炳台

The Role of Phosphorus on Plant Succession of Grassland in Andosol Region

I. P-cycle in annual and perennial plant communities

Chan Chung, Kazuo Sugawara* and Byong Tae Jean

Summary

Phosphorus(P) cycle of *Miscanthus sinensis*, *Sasa palmata* and *Artemisia princeps* for perennial plants and *Polygonum thunbergii* for annual plant were investigated in natural plant communities established in Andosol region.

1. Perennial plants contained about 50~80% P of the maximum accumulated in whole plant in under ground parts as reserve P before wintering. On the other hand, annual plant returned the most part of P in plant tissues to soil and wintered with a small amount of P in only seed.
2. The storage percentage of K was low compared to P in both perennial and annual plants. And the return of K from litter to soil proceeded rapidly because of easy leaching of K.
3. Perennial plants stored a large amount of P in reserve organs before wintering and carry it over next generation, and P holded in an individual showed a yearly increase. Consequently, P was less susceptible to depressive factor for growth of perennial plants even in poor P circumstances like Andosol region, compared to annual plant.

I. 緒 論

영양이 결핍된 토양조건하에서는 식물체자체가 영양물질을 유효하게 축적시킬 수 있는지 없는지가 식물의 植生遷移에 커다란 영향을 미친다고 알려져 있다(Heil 등, 1983, 1987).

봄부터 가을까지의 성장기에 흡수한 양분을 월동시에 어느 부위에 어느 정도 저장하는가는 식물종간에 커다란 차이가 있고 또한 이른 봄 성장개시시의 양분함량 정도는 식물의 성장속도를 좌우하여 그 후 개체의 생육 및 타개체와의 경쟁에 영향을 미친다고 생각된다.

저장양분으로서 탄수화물도 중요하지만(Okajima

등, 1964; Smith, 1967; 菅原 등, 1974), 질소(이하 N), 인(이하 P), 가리(이하 K) 등도 주요영양소로 이른 봄의 식물생육을 좌우하는 커다란 요인이 되고 있다. 특히 인산고정력이 강한 토양에서 생육하는 식물에 있어서 P은 식물생육의 커다란 제한요인이 되어 일단 식물체가 흡수한 P을 다음 세대에 어떠한 형태로 양도하는가는 그 식물의 존손에 있어서 중요한 의미를 갖는다고 생각된다. 즉 이러한 토양환경하에서는 초종에 따른 P의 흡수 및 환원양식의 차이가 植生遷移에 있어서도 커다란 요인이 될 수 있다고 생각된다.

따라서 本報에서는 火山灰土壤에서 흔히 보여지는 다년생 초본식물(이하 다년생 식물)인 *Miscanthus*

전국대학교 自然科學大學(Kon-Kuk University, College of Natural Sci., Chungju 380-150, Korea)

* 日本東北大學農學部(Faculty of Agriculture, Tohoku University, Japan)

sinensis(이하 *Miscanthus*), *Sasa palmata*(이하 *Sasa*), *Artemisia princeps*(이하 *Artemisia*) 및 일년생 초본식물(이하 일년생식물)인 *Polygonum thunbergii*(이하 *Polygonum*) 純群落에 있어서 P의 收支를 조사하여 각 초종의 P-cycle 특성을 구명하고자 한다. 또한 토양에 의한 吸着固定이 적은 K를 對照元素로써 선택하여 비교 검토하였다.

II. 材料 및 方法

調査地는 宮城縣玉造郡鳴子町の 東北大學 農學部 附屬農場內에서 *Polygonum*, *Artemisia*는 표고 200 m 지대, *Miscanthus*, *Sasa*는 표고 500~600m의 丘陵地의 각 純群落中에 설정하였다.

한편 토양은 強酸性火山灰土로 pH 5.5(H₂O), 인산 흡수계수 2,000~2,200, 유효태-P은 1.0~10.0 mg/100g로써 전형적인 酸性, 磷酸缺乏土壤이라 할 수 있다.

Miscanthus, *Sasa* 및 *Artemisia*는 1988년과 1989년, *Polygonum*은 1989년과 1990년의 2년간 조사하였다. 조사는 2개월간격으로 행하여 각 회마다 3개소씩 1.0 × 1.0m quadrat內의 식물을 전부 파내어 지상부는 葉, 莖, 種子 및 고사부(litter)로, 지하부는 水洗後 지하경과 근으로 분리하여 70℃에서 48시간 통풍건

조한 후 건물량을 측정하였다. 또한 채취시료는 초산-과염소산에 의한 濕式分解後 P은 Vanado molybdenum 酸 ammonium法, K는 原子吸光法으로 측정하였다.

한편 건물량과 각 성분량의 변화는 2년간의 평균치로 나타냈다.

III. 結 果

1. 現存量의 季節的 變化

Miscanthus, *Sasa*, *Artemisia* 및 *Polygonum*의 단위 면적당(m²) 지상부와 지하부의 현존량(건물량)의 변화를 그림 1에 나타냈다.

*Miscanthus*의 지상부 현존량은 봄부터 여름에 걸쳐서 급증하여 10월 상순에 최대치를 보였다. 한편 지하부는 8월에 최저치를 나타내 지상부가 최대치를 나타낸 10월서 부터 증가를 시작하여 12월 최대치를 보였다.

*Sasa*의 지상부는 일년을 통하여 커다란 변동은 나타나지 않았지만 지하부 현존량은 8월에 최저치를 보였고, 4월과 12월에 최대치를 보여 *Miscanthus*와 거의 같은 경향을 나타냈다.

*Artemisia*의 지상부 현존량은 *Miscanthus*와 거의

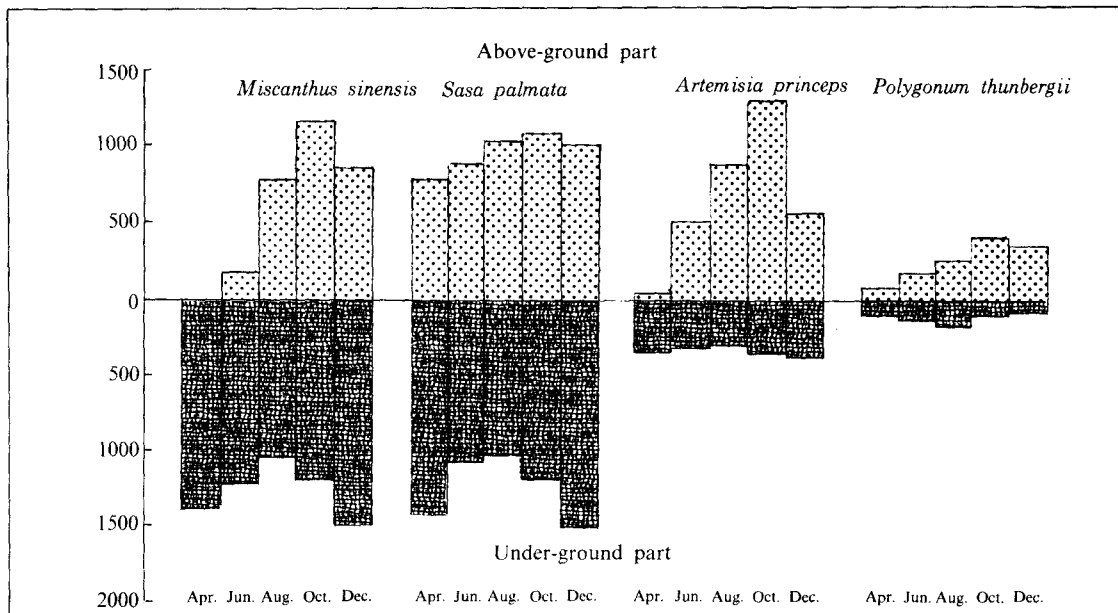


Fig. 1. Seasonal changes of dry matter yield.

같은 변화를 나타냈지만 지하부 현존량의 변동은 적었다.

일년생식물인 *Polygonum*은 지상부의 현존량 증가에 따라 지하부 현존량도 증가하는 경향을 보였다. 또한 다년생식물에 비하여 지상부, 지하부 모두 현존량은 적었다.

각 초종의 지하부 현존량에 대한 지상부 현존량의 비(T/R比)를 표 1에 나타냈다. 다년생의 *Miscanthus*

와 *Sasa*는 T/R비가 년간을 통하여 1.0 이하를 나타냈지만, 일년생의 *Polygonum*은 생육초기의 4월부터 T/R비는 1.0 이상으로 10월의 最大値는 5.94를 나타냈다. 또한 *Artemisia*는 다년생이지만 6월 이후에 1.0 이상이 되어 10월에 4.12의 最大値를 보인 후 12월에는 다시 적어지는 일년생과 다년생초본의 중간적 변화를 나타냈다.

Table 1. The ratio of above ground part to under ground part dry weight (T/R ratio).

Species	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.
M. S.		0.14	0.71	0.79	0.54
S. P.	0.52	0.79	1.00	0.83	0.66
A. P.	0.04	1.56	2.74	4.12	1.68
P. T.	1.06	1.67	1.82	5.94	5.79

M. S.: *Miscanthus sinensis*; S. P.: *Sasa palmata*;
A. P.: *Artemisia princeps*; P. T.: *Polygonum thunbergii*.

2. 식물체의 P, K함량의 계절변화

그림 2에 각 공시시료의 지상부, 지하부 및 litter의 단위면적당 P함량의 계절적 변화를 나타냈다. *Miscanthus*, *Sasa* 및 *Artemisia*의 지상부는 봄부터 여름에 걸쳐서 증가한 후, 겨울을 대비하여 감소하였지만, 지하부는 8월까지 감소하여 지상부 함유량이 최대가 되기전에 겨울을 맞이하여 증가를 시작하였다. 한편 일년생 초본인 *Polygonum*은 지상부, 지하부 모두 여름까지 증가하였고 지상부는 최대치가 10월 상순까지 이어졌지만 지하부는 8월 이후 감소하였다. litter의 P함유량은 *Miscanthus*는 특히 다른 초종에 비하여 높았고 10월을 제외하고는 지상부보다 높은 값을 나타냈다.

Sasa, *Artemisia*는 4월, 12월을 제외하고는 litter의 P함유량은 지상부의 P함유량보다 낮았고, 특히 *Artemisia* litter의 P는 지상부 보다 현저하게 낮았다. *Polygonum*은 4월을 제외하고 지상부보다 낮은 값을 보였다. 또한 litter의 P함유량의 연간 변동은 어느 초종이던 적었다.

그림 3에는 각 초종의 K함량에 대한 변화를 나타냈다. K함량은 *Miscanthus*의 지하부에서 여름까지 약간의 감소가 있었던 것 이외에는 어느 초종이던

지상부, 지하부 모두 P과 거의 같은 변화를 보였다. 그러나 P과 다른 커다란 특징은 litter의 K함량에서 나타났다. litter의 P함량은 *Miscanthus*, *Sasa* 모두 지상부치와 거의 비슷한 값을 보였다. 또한 *Artemisia*, *Polygonum*도 비교적 높은 값을 나타냈지만 litter의 K함량은 어느 초종도 지상부에 비하여 현저하게 낮은 값을 보였다.

3. 越冬前에 있어서 P, K의 貯藏器官으로의 移動

*Miscanthus*의 생육종료시 P의 이동을 표 2에 나타냈다. P함량이 최대인 10월은 지상부가 0.47, 지하부가 0.49 g/m²이었지만, 12월은 지상부는 枯死하여 생체중 P으로서는 종자중에 0.07, 지하부에 0.75g이 남았다. 따라서 월동전 10월에 지상부에 함유된 P의 약 55%가 지하부에, 약 15%가 종자로 이행된 결과가 된다. 즉 10월의 최대 함유시에 식물체 P 0.96g의 약 7%는 종자에, 약 78%가 지상부에 합계 85%가 생체로 저장된 결과가 된다. 같은 방법으로 *Artemisia*에 관해서 표 3을 보면 최대 함유량을 보인 10월의 지상부 P이 12월까지 이행된 비율은 종자에 약 32%, 지하부에 약 4% 정도가 이행되었다. 또한 식물체 P의 저장비율은 10월의 최대함유량 2.84g

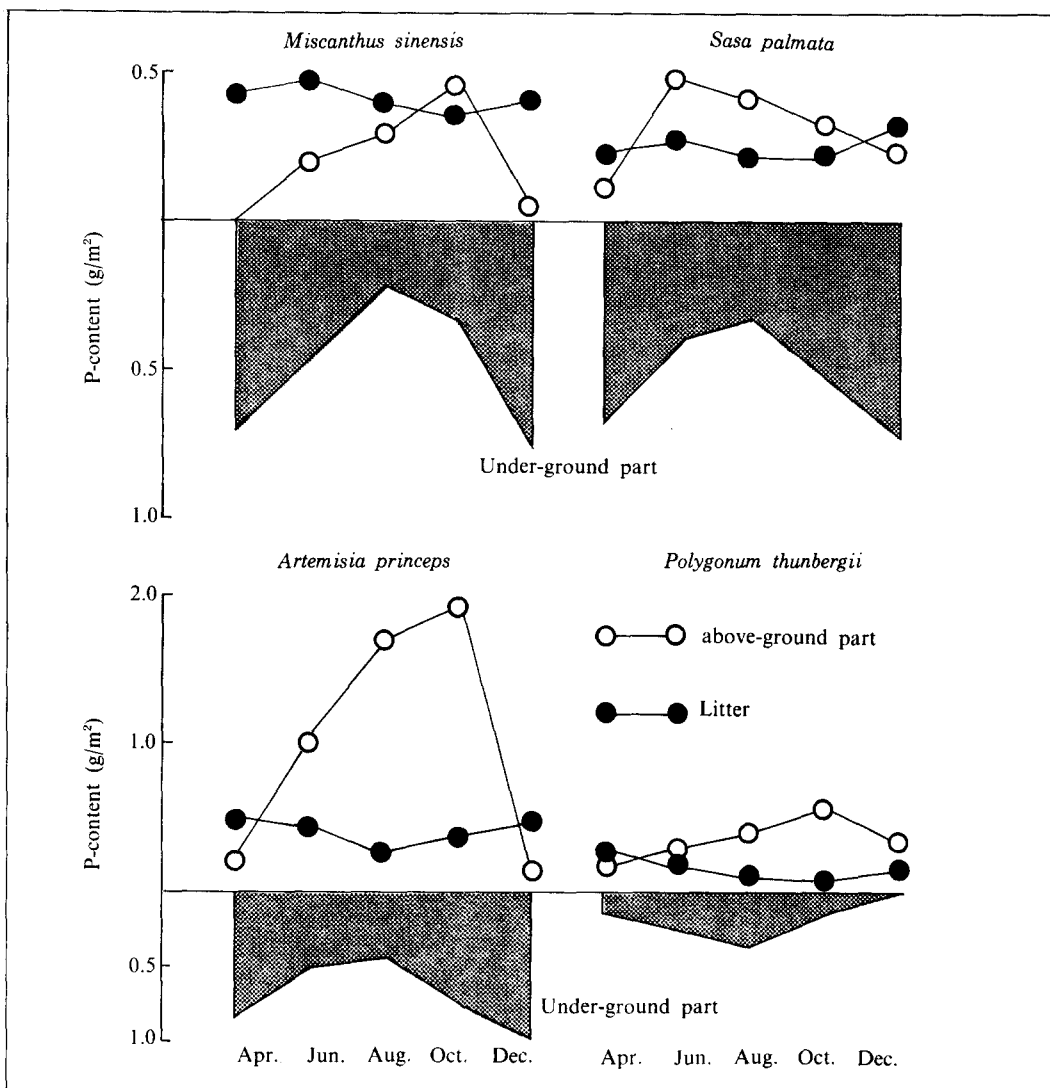


Fig. 2. Seasonal changes of P-content in Above- and Under-ground part and Litter.

Table 2. P-distribution before wintering in *M. sinensis* (g/m^2).

Plant part		Oct.	Dec.	Dec-Oct.	Storage %
Above-ground	S + L	0.47	0.00	-0.47	0.00
	Seed	0.00	0.07	0.07	7.29
	S + L + seed	0.47	0.07	-0.40	7.29
Under ground		0.49	0.75	0.26	78.13
Total		0.96	0.82	-0.14	85.42

Storage % shows the proportion of each item's in Dec. to total P in Oct.

Note: S: Stem, L: Leaf.

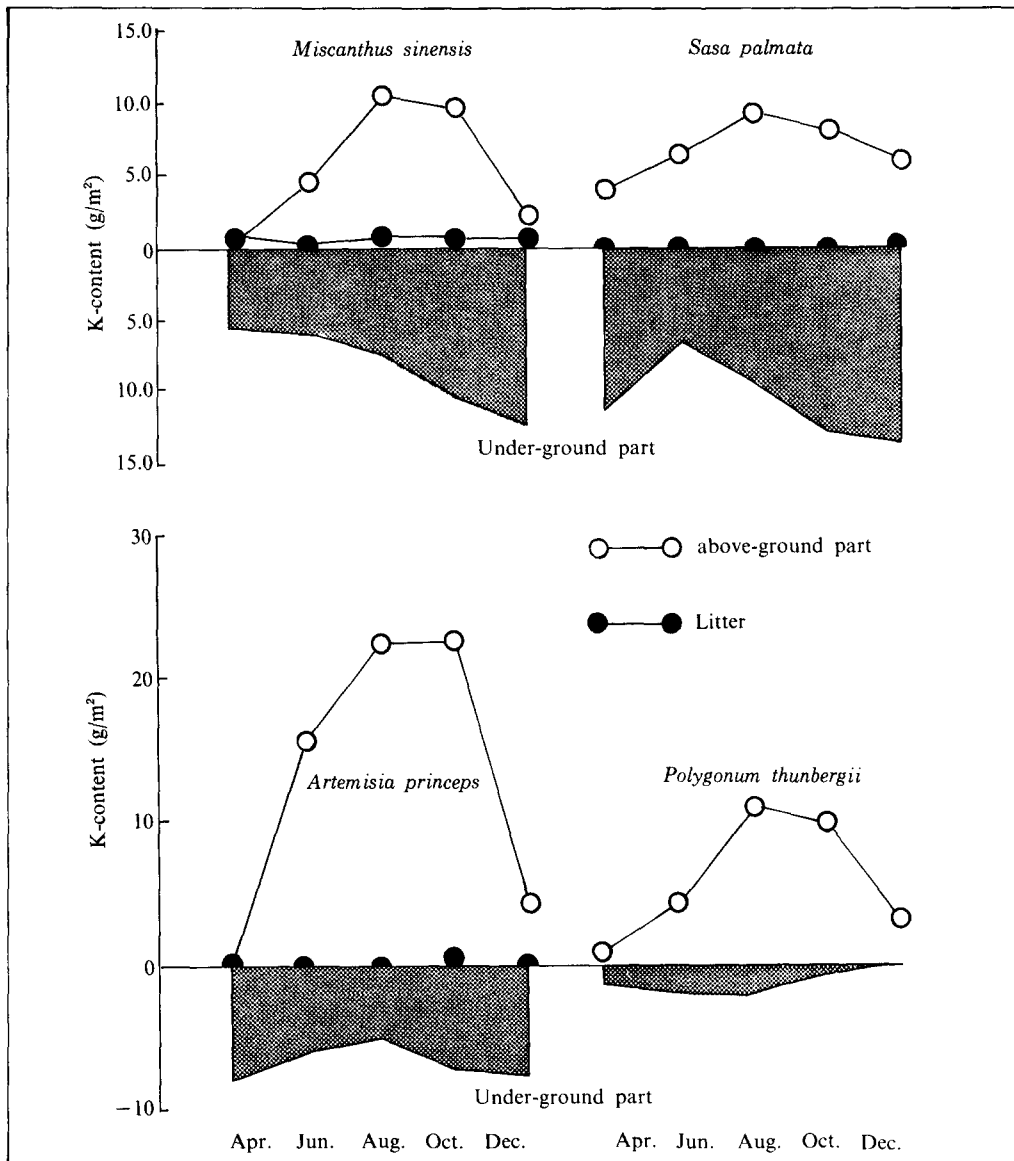


Fig. 3. Seasonal changes of K-content in Above- and Under-ground part and Litter.

Table 3. P-distribution before wintering in *A. princeps* (g/m²).

Plant part		Oct.	Dec.	Dec-Oct.	Storage %
Above-ground	S + L	2.02	0.00	-2.02	0.00
	Seed	0.00	0.65	0.65	22.89
	S + L + seed	2.02	0.65	-1.37	22.89
Under ground		0.82	0.90	0.08	31.69
Total		2.84	1.55	-1.29	54.58

Storage % shows the proportion of each item's in Dec. to total P in Oct.

Note: S: Stem, L: Leaf.

Table 4. P-distribution before wintering in *P. thunbergii* (g / m²).

Plant part		Oct.	Dec.	Dec-Oct.	Storage %
Above-ground	S + L	0.66	0.00	-0.66	0.00
	Seed	0.00	0.25	0.25	32.47
	S + L + seed	0.66	0.25	-0.41	32.47
Under ground		0.11	0.00	-0.11	0.00
Total		0.77	0.25	-0.52	32.47

Storage % shows the proportion of each item's in Dec. to total P in Oct.

Note: S: Stem, L: Leaf.

Table 5. K-storage % before wintering in three species.

Species	Seed	Under-ground	Total
<i>M. sinensis</i>	0.74	58.64	59.38
<i>A. princeps</i>	12.05	22.46	34.51
<i>P. thunbergii</i>	7.64	0.00	7.64

Storage % shows the proportion of each item's in Dec. to total K in Oct.

Note: S: Stem, L: Leaf.

이 종자에 약 23%, 지하부에 약 32%, 합쳐서 약 55%가 생체로서 저장되었다. *Polygonum*은 12월에 이미 고사하였지만 표 4에서 보는 바와 같이 월동전 10월의 최대함량 0.77g의 약 33%가 종자중 P으로 저장되었다.

월동전 3초종의 K 貯藏率을 표 5에 나타냈다. *Miscanthus*는 최대함유시의 1% 이하를 종자에, 약 59%를 지하부에, 즉 전체로서 59%가 월동시에 존재하였다. 같은 방법으로 *Artemisia*는 최대함유시의 12%가 종자에, 22%가 지하부에 합계 약 34%가 저장되었고, *Polygonum*은 최대함유시의 약 8%가 종자에 존재하였다.

IV. 考 察

다년생 초본식물은 개체로써 월동하여 이른 봄의 幼芽는 주로 지하기관에 저장된 다량의 저장물질을 이용하여 급속한 성장을 하는 생산구조를 갖고 있다. 한편 일년생 초본식물은 종자로부터 출발하여 초기생육은 종자중의 저장양분에 의존하기 때문에 幼齡期の 生長은 종자저장양분의 多少, 발아시의 환경에 대한 영향을 받기 쉽다. 따라서 이른 봄 식물

체간의 경쟁에 있어서 多年生植物은 一年生植物에 비하여 안정되고 급속한 생장이 가능하리라는 점에서 유리한 입장에 있다.

본 시험의 다년생식물인 *Miscanthus*, *Sasa*도 4월부터 8월까지 지상부의 증가는 그 기간의 지하부의 감소를 수반하여, 이른 봄의 생장은 지하부의 저장양분에 크게 의존하는 양식이 인정되었다. 한편, 같은 다년생식물인 *Artemisia*는 지상부의 증가에 따른 지하부의 변화가 없었으므로 이른 봄의 생장이 지하부의 저장양분에 의존하는 비율은 *Miscanthus*나 *Sasa*에 비하여 낮다고 생각된다. 또한 일년생식물인 *Polygonum*은 지상부, 지하부의 증가와 감소가 동시에 진행되어 광합성산물의 지상, 지하부에의 배분이 거의 일정한 비율로 나타났다. 즉, 지하부가 저장기관이 아니라는 것을 이것으로 추측할 수 있다.

다년생 식물에 관해서는 河原(1979)이 보고한 *Sasa*와 小池(1971)의 *Miscanthus*에서도 거의 비슷한 결과가 나타났다. 이처럼 개체의 건물변화로부터 본 저장양분의 대부분은 탄수화물이지만(Okajima 등, 1964; Smith, 1967; 菅原 등, 1988), 식물생육에 不可缺少한 N, P 외에 mineral도 당연히 이중에 포함된다.

幼齡期の 植物은 이러한 저장양분과 토양양분

수준이 개체의 생육을 좌우하는 커다란 요인이 될 수 있다.

P-고정력이 큰 토양지대의 식물생육은 식물의 주요 영양소중에서 특히 P이 생육의 제한 요인이 되기 쉽다. 즉 본 연구를 행한 強酸性 火山灰土壤에서는 磷酸吸收係數가 2,000 이상이고 토양의 P고정력이 커서 토양에 환원된 P도 강하게 토양에 고정되어 토양용액중의 유효태-P은 되기 어렵다. 식물은 이처럼 低 P환경하로부터 P을 흡수하여 물질생산을 하지 않으면 안된다.

따라서 이와같은 土地帶에서는 식물중에 의한 P의 흡수, 저장, 환원형태의 차이가 植生遷移에도 커다란 관계가 있다고 생각된다.

본 결과로부터 각 초종의 계절적인 P의 변화를 보면 다년생의 *Miscanthus*, *Sasa* 및 *Artemisia*는 겨울을 맞이하여 지상부로부터 지하부에 다량으로 P을 이동시켜 저장하는 경향을 나타냈다. 한편 일년생의 *Polygonum*은 지상부로부터 지하부 이행의 경향은 나타나지 않고 종자중의 양분으로써 남겨두는 외에는 전부 토양에 환원되었다. 즉 *Miscanthus*는 생육종료시의 12월에 종자와 지하경에 최대함유시 P의 약 85%를 저장하는 것에 비하여 *Polygonum*은 종자만의 저장으로 종자저장의 비율은 다년생식물에 비하여 높았지만 생체로써의 저장비율은 32%로 극히 낮은 값을 보였다. 또한 *Artemisia*는 약 55% 정도의 P이 저장되어 같은 다년생 식물인 *Miscanthus*에 비하여 저장비율이 낮았고 다년생과 일년생의 중간적인 P저장형태를 나타냈다.

畠川 등(1963)도 *Miscanthus* 초지에서 *Miscanthus*를 중심으로 하는 식물의 염류 수지를 조사하여 양분이 극대치에 달한 시기와 冬期와의 비교로부터 N와 P은 지상부에 있어서 감소량의 80~90%가 지하경으로 이동하였다고 보고하였다.

이와 같이 일년생 식물은 종자저장의 비율이 크고(鄭 등, 1990), 또한 다년생 식물에 비하여 일반적으로 종자량이 크기 때문에 같은 종자로부터의 출발은 일년생 식물이 다년생식물에 비하여 발아개체의 성장속도도 빠르고 개체정착은 유리하다고 생각된다. 그러나 본 시험의 결과에서도 나타났듯이 다년생식물의 일단 정착된 개체는 양분을 월동부에 높은 비율로 저장하여 토양에의 환원비율을 적게 하는 양식을 나타냈다. 즉 다년생 식물은 토양용액중에

저농도로 존재하는 양분이라도 생육 season을 반복함에 따라서 식물체내에 서서히 축적시키는 것이 가능하다.

그러나 일년생식물은 저장기관이 종자뿐이기 때문에 결과적으로 많은 양분이 고사부와 함께 토양에 다시 환원된다. 한편 對照元素인 K에 관해서 보면 K는 P에 비하여 생체내의 저장비율이 낮을 뿐만아니라 litter중의 농도변화도 P과는 커다란 차이가 있다. 즉 식물유체중 토양으로의 양분환원에서 P은 litter의 분해에 의해서 서서히 방출되어 지지만 K는 식물고사체가 아직 분해되지 않은 상태에서 대부분 용출하여 급속히 토양에 환원된다. 또한 K는 P과는 달리 토양고정이 적기 때문에 용탈이 없다면 토양용액중의 농도도 높게 유지되어 식물에 의한 재이용도 용이하게 진행된다. 결국 P과 K는 식물로부터 토양에의 환원속도와 식물의 재이용속도가 다르다.

이와 같이 強酸性 火山土地帶에서는 특히 P이 식물생육에 대하여 커다란 제한요인이 되어 초종에 의한 저장, 환원형의 차이로부터 생기는 식물개체의 P이용효율의 차이가 이와 같은 지대의 식생천이에 있어서는 커다란 요인이 되는 것이 본 시험의 결과로부터도 推察되었다.

V. 摘 要

生活型이 다른 多年生草本植物인 *Miscanthus sinensis*, *Sasa palmata*, *Artemisia princeps*와 一年生草本植物인 *Polygonum thunbergii* 群落의 P의 動態를 조사하여 強酸性 火山灰土地帶草原의 植生遷移와의 관련에 관하여 검토하였다.

1. 다년생 식물은 월동시 지하경을 중심으로 하는 저장기관에 식물체의 최대 P함량의 50% 이상을 저장하였다. 이것에 비하여 일년생 식물은 식물체 P의 대부분을 다시 토양에 환원하여 최대치의 약 30%에 달하는 P을 종자중 P으로서만 저장하는 저장 양식을 나타냈다.

2. 대조원소로 본 K는 P에 비하여 어느 초종이던 저장비율이 낮았고 토양에의 환원비율이 높았다. 또한 K는 P과는 달리 litter가 분해되지 않는 상태에서 급속히 용출하여 토양에 환원된다.

3. 다년생 식물은 P의 토양환원비율이 적고 생체 중에 많은 P를 저장하여 다음 세대에 저장 P을 양도하기 때문에 개체의 이용가능한 P은 連年的으로 커져 일년생 식물에 비하여 低 P環境下의 생육에 있어서 P이 제한인자가 되기 어렵다.

VI. 引用文獻

1. Heil, G.W. and M. Bruggink. 1987. Competition for nutrients between *Calluna vulgaris* (L.) Hull and *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Oecologia* 73:105-108.
2. Heil, G.w., M.J.A. Werger, W. De Mol, Van Dam and B. Heyne. 1988. Capture of atmospheric ammonium by grassland canopies. *Science* 239:764-765.
3. Koike, K. 1971. Seasonal and yearly of biomass and litter in the *Miscanthus sinensis* community. *JIBP Synthesis* 13:141-147.
4. Okajima, H. and Dale Smith. 1964. Available carbohydrate fractions in the stem bases and seed of timothy, smooth bromeass, and several other northern grasses. *Crop Sci.* 4:317-320.
5. Smith, D. 1967. Carbohydrate in grasses. II. Sugar and fructosan composition of the stem bases of bromeass and timothy at several growth stages and in different plant parts at anthesis. *Crop Sci.* 7:62-67.
6. 河原輝彦. 1979. ササ群落に関する研究(V). チマキザサ純群落の養分量. *日林誌.* 61(10):357-361.
7. 翠川文次郎, 岩城英夫, 門司正三. 1963. 霧ヶ峰牧野荒廢防止ならびに改良に関する調査報告書. 長野縣農政部. 1-62.
8. 菅原和夫, 伊澤健. 1974. 草類の可溶性炭水化物の生理化學的研究. 第2報. 越冬および早春期におけるオ-チャ-ドグラス貯藏炭水化物の經時的變化. *日草誌.* 20(4):199-204.
9. 菅原和夫, 伊澤健. 1988. オ-チャ-ドグラ(*Dactylis glomerata* L.) 再生時の葉身の發育と窒素榮養. *日草誌.* 33(4):332-337.
10. 鄭 燦, 菅原和夫, 伊藤巖. 1990. 野草地における P의 動態に関する研究. *日草誌.* 36(別):87-88.