

高寒草甸生态系统植物库磷素贮量 及其循环特征

曹广民 鲍新奎 张金霞 王在模
(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

本文研究了磷素在高寒草甸生态系统植物库内各分室中的含量、贮量分配及其变化规律。结果表明:植物地上部分的磷素含量随季节变化呈下降趋势;地下根系磷素含量呈波动性变化。整个植物体系每年从土壤库摄取磷素 0.7685克/米^2 , 归还土壤库 0.6207克/米^2 。

关键词: 贮量; 磷; 高寒草甸生态系统; 循环

高寒草甸是青藏高原分布最广泛的天然草场,在长期适应高寒气候环境的过程中,形成其独特的生长生殖规律,这些已有详细报道(杨福国, 1981; 王启基, 1988)。对于高寒草甸植物库内磷素的贮量及其循环特征研究,仅见零星报道(左克成, 1984; 鲍新奎, 1985)。为了研究高寒草甸植物库内磷素的运动规律,为生态系统的物流研究及对人工草地的施肥、退化草场的复壮提供理论依据,本文主要研究了高寒草甸生态系统植物库内磷素的含量、贮量及各分室之间的交换数量与速率。

材料与方 法

田间试验设置于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站。其气候、土壤、植被情况已有报道(杨福国, 1981; 周兴民, 1981; 乐炎舟, 1981)不再赘述。

试验区设于冬春草场的草库仑内,在植物生育期间,放牧影响轻微。植物初级生产量(包括地上及地下两部分)参照高寒草甸生态系统初级生产力研究课题组1980—1985年的调查结果(杨福国, 1988; 王启基, 1988)。

分析样品的采集:植物地上部分的分析样品,因生长季节5月份分种困难,生物量较少,故采取混合分析样品,6—9月份采集21种主要植物种作分析样品,到枯黄死亡的冬季,采集混合的植物立枯、枯枝落叶作分析样品。同时在生长季节的5—9月份还分期采集

不同土层（0—10、10—20、20—30厘米）中的混合植物根系。分出死活根，经洗涤、烘干。

分析样品粉碎过筛，依常规分析法测定其全磷含量。

结果与讨论

1. 植物库各分室磷素含量的季节变化

将植物库分为5个分室，即地上植物活体、立枯、凋落物、活根和死根。由测定结果可知，各分室磷素含量（克/公斤）随着生长季节的更替而有不同的变化。

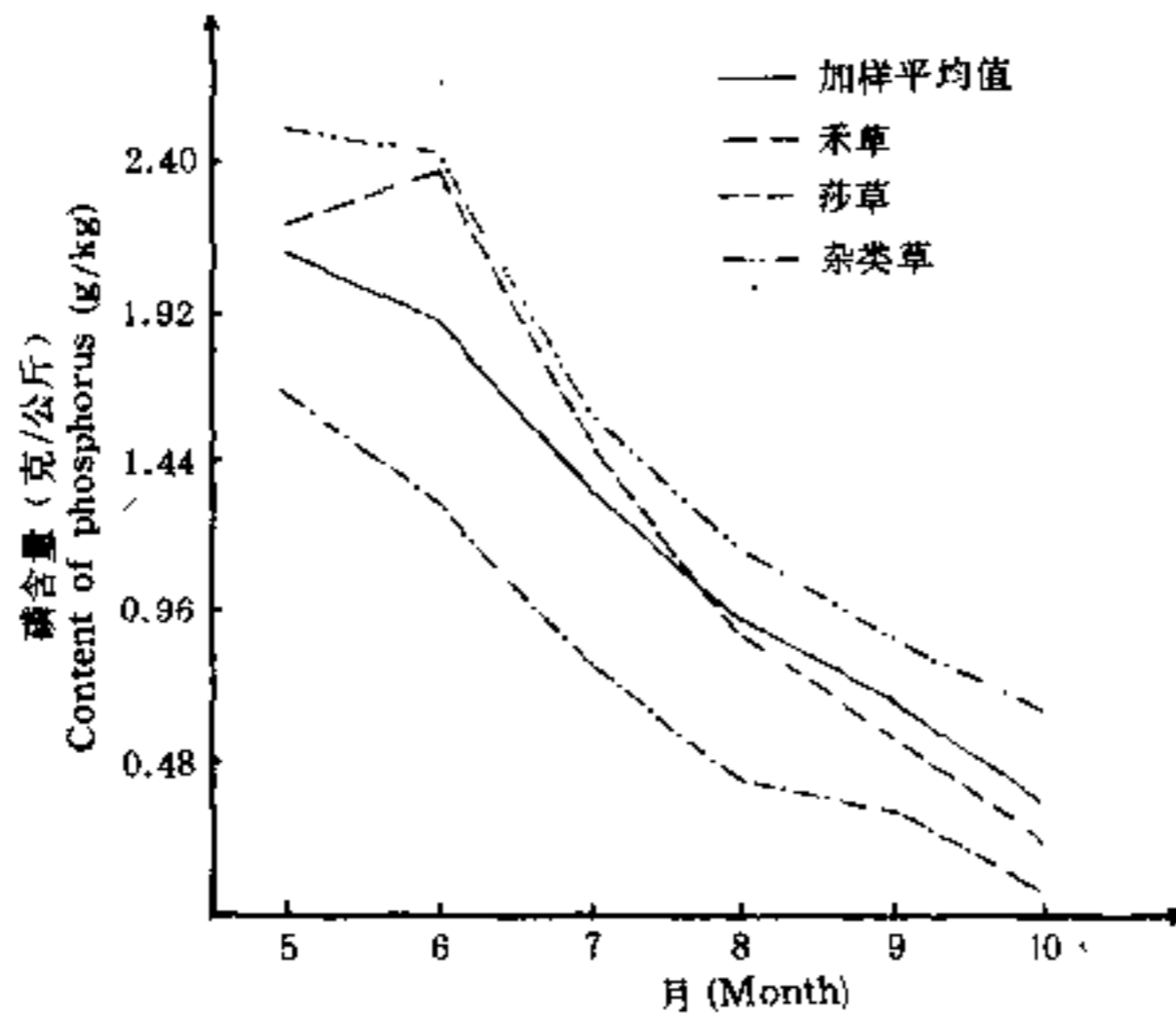


图1 植物地上部分磷素含量（克/公斤）

Fig. 1 Contents of P in plant aboveground ($g \cdot kg^{-1}$)

植物地上活体的磷素含量，从返青期（5月初）至枯黄期（10月）逐渐降低（图1）。5—10月份磷素含量在植物种间的加权平均值分别为2.107、1.888、1.342、0.917、0.679、0.361克/公斤，原因是随着植物体的扩大，细胞逐渐老化，纤维物质增加，发生了磷素的稀释效应。

在测定的21种主要植物种中，各植物种间的磷素含量差异较大，变异系数为31.99—84.12%。甘肃马先蒿各生长时期的磷素含量最高，6—10月份分别为：3.879、2.550、2.030、1.641、1.756克/公斤；矮嵩草最低，分别为0.994、0.670、0.122、0.460、0.044克/公斤，二者相差4倍左右。

依据莎草、禾草、杂类草进行分类统计，5—10月份各类植物地上活体的磷素含量均逐渐降低（图1）。但在各生育时期内的磷素含量则为杂类草>禾草>莎草。

高寒草甸植物地上活体枯黄(约9月底至10月初)后,地上的茎叶、花序等虽然死亡,但仍矗立于地表,形成立枯。同时部分叶片、老枝等脱落而滞留于地表,形成凋落物。即植物地上活体枯黄后变为立枯、凋落物两部分。其磷素含量如表1。

表1 高寒草甸植被立枯、凋落物磷素含量(克/公斤)

Table 1 Phosphorus contents of standing dead and aboveground litter in alpine meadow vegetation(g/kg)

月 份 Month	1 Jan.	4 April	6 June	7 July	8 Aug.	9 Sept.	10 Oct.	11 Nov.
立 枯 Standing dead	0.370		0.248	0.051	0.830	0.679		0.410
凋落物 Aboveground litter		0.180		0.122	0.335	0.666	0.669	

由表1可以看出,立枯、凋落物的磷素含量均随季节推进而下降。生长末期,植物地上部刚死亡而成为立枯和凋落物后,磷素含量最高。随后,由于降水的淋失、微生物的分解,逐渐降低,至次年7月份达最低值。8月份以后,随着新的、磷素含量较高的立枯及凋落物的补充,分室内的磷素含量又逐渐回升。如立枯由9、11月份至次年1、6、7、8月份的磷素含量分别为0.679、0.410、0.370、0.248、0.051、0.830克/公斤。凋落物由9、10月份至次年4、7、8月份的磷素含量分别为0.666、0.669、0.180、0.122、0.335克/公斤。

表2 高寒草甸植被根系磷素含量(克/公斤)

Table 2 The phosphorus contents of roots in alpine meadow vegetation(g/kg)

分 室 Compartment	土壤深度(厘米) Soil depth(cm)	月 份 Month					平均值 Average value
		5 May	6 June	7 July	8 Aug.	9 Sept.	
活 根 Live root	0—10	0.89	0.66	0.84	0.81	0.86	0.81
	10—20	0.64	0.60	0.55	0.42	0.50	0.54
	20—30	0.63	0.60	0.55	0.40	0.22	0.48
平均值 Average value		0.72	0.65	0.79	0.75	0.80	0.74
死根 Dead root	0—10	0.71	0.53	0.64	0.88	0.47	0.65
	10—20	0.47	0.45	0.13	0.38	0.47	0.38
	20—30	0.61	0.45	0.10	0.38	0.47	0.40
平均值 Average value		0.58	0.51	0.59	0.84	0.47	0.60

高寒草甸主要建群植物群落莎草科嵩草属在长期适应高寒环境的过程中,形成了极其庞大的地下根系,集中分布于地表0—10厘米,占总根量的84.35%。在此,将高寒草甸植物根系分为活根、死根两个分室。随着生长季节的更替,它们的磷素含量变化具有明显的波动性(表2)。

表2显示,高寒草甸植物的地下根系磷素含量一般活根大于死根。但在土壤冻结前,除20—30厘米的土层外,其活根磷素含量却低于死根。这是由于活根的细胞膜保蓄能力降低,纤维物质较高,磷素含量较低之故。

对于不同土层的植物地下部分,无论活根、死根的磷素含量均由地表向下逐渐降低。在0—10、10—20、20—30厘米土层中,活根平均为0.81、0.54、0.48克/公斤;死根为0.65、0.38、0.40克/公斤。由于高寒草甸植物根系在0—10厘米土层中形成盘根错节的致密层,吸收磷素量多,而由地表向下,土壤透气性、微生物活性、土壤速效养分含量愈来愈低,致使根系的吸收能力,细胞活性越来越低。高寒草甸植物根系磷素含量的波动性变化,充分反映出高寒草甸植物生长过程中的磷素供需、迁移状况。

2. 高寒草甸植物库各分室中的磷素贮量与分配

高寒草甸植物库中的磷素贮量与分配比率随生长季节和生育阶段的变化而呈规律性改变。但是冬春草场因冬季的利用强度不同造成植物的立枯及凋落物分室中的磷素贮量、分配比率受到明显影响。

无放牧的天然高寒草甸植物库地上部分各分室磷素的贮量见表3。

表3 高寒草甸植被地上部分各分室的磷素贮量(克/米²)

Table 3 Phosphorus storage of each compartment of aboveground in alpine meadow vegetation(g/m²)

月 份 Month	4 Apr.	5 May	6 June	7 July	8 Aug.	9 Sept.
地上活体 Lives of aboveground		0.0885	0.1830	0.2611	0.2586	
立 枯 Standing dead	0.0257			0.0048		0.2062
凋落物 Aboveground litter	0.0362			0.0042		0.0134

植物活体磷素贮量的最大值出现在7月份(0.2611克/米²),磷素积累速率前期(5—6月)较快,后期(6—7月)较慢,分别为0.0032、0.0026克/(米²·天)。生长盛期后,地上活体中的部分光合产物逐渐转运至地下,使茎叶内的磷素贮量和分配比率逐渐降低。至枯黄期(9月)其总迁移量为0.0415克/米²,占植物地上活体中磷素最大贮量的15.9%,7—8月转移速率较慢,8—9月较快,分别为0.0001、0.0013克/(米²·天)。

立枯分室磷素最大贮量出现在9月下旬(0.2062克/米²),次年7月降低至最小值(0.0048克/米²)。漫长的冬季(10月至次年4月底),由立枯分室转入凋落物分室的磷量为0.1230克/米²,其速率每天为0.0006克/米²,在此期内的淋失量为0.0575克/米²,平均每天淋失速率0.0003克/米²。而在生长季节(4—7月)的淋失量为0.0209克/米²,平均每天淋失速率0.0002克/米²,均小于枯黄期。

凋落物分室9月下旬的磷素贮量为0.0134克/米²,经过冬季,由立枯分室的转入磷量为0.1230克/米²,总淋失量为0.0978克/米²,平均每天淋失速率为0.0005克/米²。而在生长期(次年4—7月)的淋失量为0.03克/米²,平均每天淋失速率仅0.0004克/米²。说明生长

期凋落物中的纤维物质比例较高，分解较慢。

在放牧条件下，经过冬季至牛羊迁出草场时的次年4月底，立枯、凋落物分室中残留的磷素分别为0.0076、0.0068克/米²，远低于无放牧草场。从系统输入动物库中的磷量达0.1105克/米²，其平均每天输出速率为0.0005克/米²，其余均通过淋失作用归还土壤有机库。

高寒草甸植物地下部分各分室磷素贮量随植物的生长季节变化而异（表4），其年平均值为1.4368±0.22克/米²。

表4 高寒草甸植被地下部分各分室的磷素贮量(克/米²)

Table 4 Phosphorus storage of each compartments of belowground in alpine meadow vegetation(g/m²)

土壤深度(厘米) Soil depth(cm)	月 份 Month											
	5		6		7		8		9		5	
	分 室 Compartments											
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0—10	1.0636	0.2673	0.8413	0.2678	0.8052	0.2430	1.0623	0.3050	1.4446	0.1449	1.0823	0.2794
10—20	0.0856	0.0199	0.0516	0.0111	0.0518	0.0047	0.0449	0.0109	0.0790	0.0280	0.0871	0.0208
20—50	0.0905	0.0223	0.0520	0.0165	0.0451	0.0031	0.0324	0.0114	0.0410	0.0378	0.0921	0.0233
分室总和 Sum of compartments	1.2397	0.3095	0.9449	0.2954	0.9021	0.2508	1.1395	0.3273	1.5646	0.2107	1.2615	0.3235
总 和 Total	1.5492		1.2403		1.1529		1.4668		1.7753		1.5850	

注：I——活根，II——死根。Note: I——Live root; II——Dead root

由表4可知，高寒草甸植被地下部分活、死根的磷素现存量总是活根大于死根。但不同时期的贮量有差异。如5月份植物返青期的活根磷素现存量为1.2397克/米²；死根为0.3095克/米²，仅为活根的25%左右。地下根系磷素的输出时期为5—7月，为促进地上部分生长，此时根系磷素即向地上转移。同时，因碳水化合物及磷素等养分的输出，使生活力较弱的根系死亡，部分磷素转入土壤库。结果地下部分磷素现存量降低0.3963克/米²，降低速率为0.0066克/(米²·天)。7—9月为根系磷素累积时期，增长量为0.6224克/米²，增长速率为0.0104克/(米²·天)。

从表4还可看出，系统内年间磷素贮量不平衡。如活根分室增长量为0.0218克/(米²·年)，相当于该分室贮量的1/55；死根分室增加0.014克/(米²·年)，相当于其分室贮量的1/20，地下部分年净累积量为0.0358克/(米²·年)。

高寒草甸植被地下部分磷素主要贮存于0—10厘米的土层中，占地下总贮量的85—90%。愈向土层深处，磷素贮量愈少。如返青期时的0—10、10—20、20—50厘米土层中，其贮磷量分别为1.3309、0.1055、0.1128克/米²。

3. 高寒草甸植物库中各分室间的磷素交换

高寒草甸植物库各分室为“一统一”的有机整体。随着季节变化，植物生长发育状况

变异，磷素在植物库各分室中呈现明显的运动、迁移。

由于影响生态系统磷流的因素较多。为了便于计算，假设（1）冬春季节食草动物（牛、羊）的日采食量不变；（2）高寒草甸生态系统内磷素的分布不受风的影响而迁出系统之外；（3）冬春草场的利用时间控制在枯黄末期（9月底），至返青初期（4月底）。

依据上述假说，磷素在高寒草甸植物库各分室间的流动方向及数量见图2。

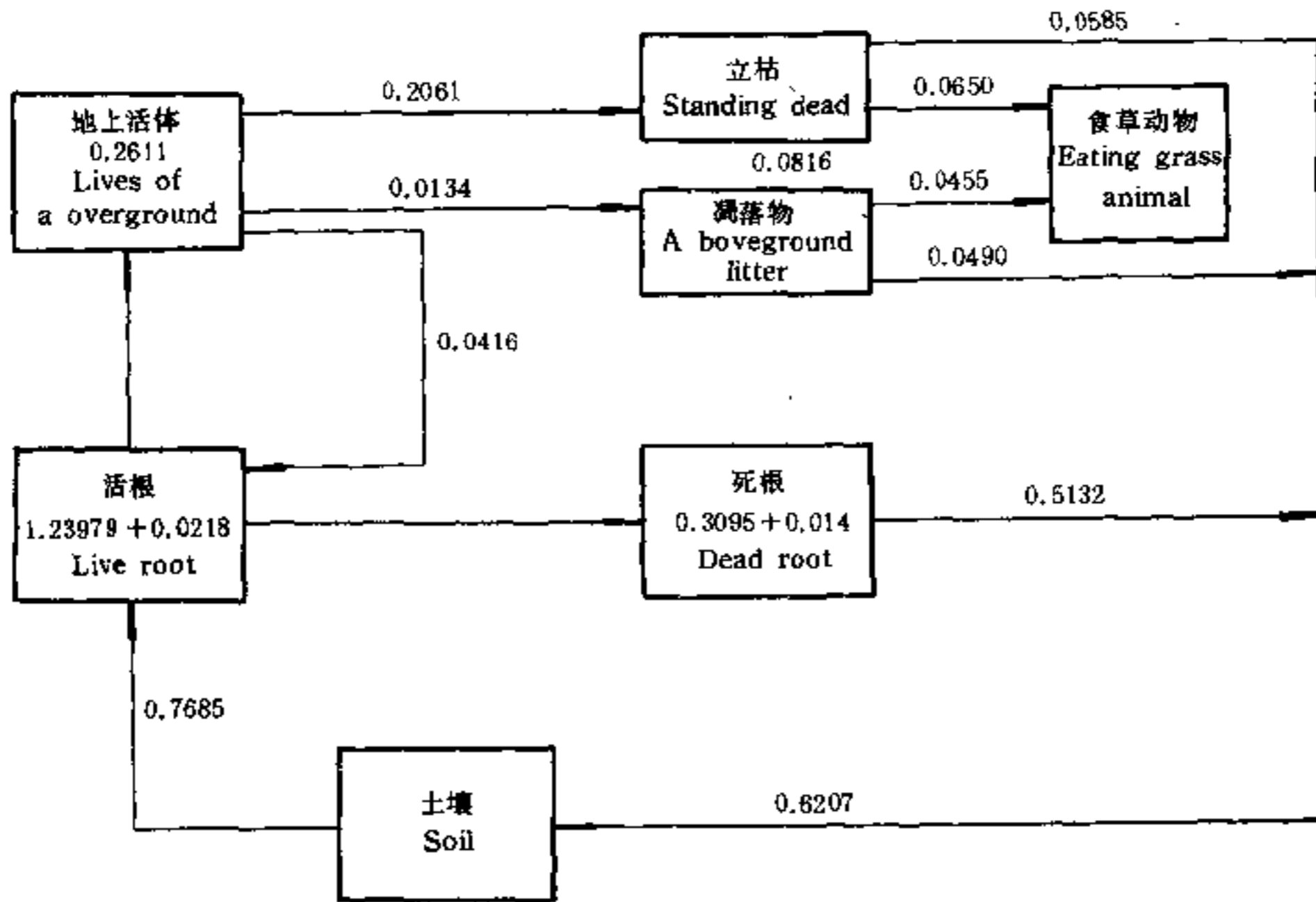


图2 高寒草甸植物库磷素的贮量与流动 (克/米²)

Fig. 2 The storage and flow of P in alpine meadow plant pool (g/m²)

从图2看出，高寒草甸植物库磷素的年吸收量（输入）为0.7685克/米²，迁移到动物库的磷量（输出）为0.1105克/米²，释放（输出）到土壤有机库的磷量为0.6207克/米²，其植物库的释放/吸收比（R/U）为0.9433，表明高寒草甸生态系统经过一年的运转，植物库中的磷素比前一年略有增加。即磷素在植物库中有存留，输入与输出量之差即为存留量。

磷素在高寒草甸植物库中运动，其存留量为0.0373克/米²。其中活根、死根、立枯及凋落物分室存留比率见表5。其地下部分占总存留量的95.98%。

高寒草甸植物库磷素的年吸收量为0.7685克/米²，地上部分吸收0.2611克/米²，占总吸收量的34%。其中0.0416克/米²在枯黄期又转移至地下根系贮存，故地上部分实际年净积累磷素为0.2195克/米²，占总吸收量的28.56%。地下根系年净积累量为0.5490克/米²，占总吸收量的71.44%。说明高寒草甸生态系统植物库养分的积累贮存主要在地下根系，这是该系统养分迁移流动中不同于其它系统的主要特点。

表5 磷素在植物库中的存留百分率

Table 5 Percentage of P retention in plant pool(%)

分 室 Compartments	占总吸收量的百分率 % of total absorption	占总存留量的百分率 % of total retention P
活 根 Live root	2.84	58.45
死 根 Dead root	1.82	37.53
立 枯 Standing dead	0.13	2.68
凋落物 Aboveground litter	0.07	1.34

系统内年归还土壤有机库的磷量为0.6207克/米²。其中地上枯枝落叶归还0.1075克/米²，占总归还量的17.32%；通过根系死亡分解归还0.5132克/米²，占82.68%。

植被地上部分年内磷素净输入量为0.2195克/米²，其中0.2061克/米²转变为立枯，经过冬季，立枯中转变为凋落物的磷量为0.0946克/米²。地上部分磷素净吸收量中的另外0.0134克/米²在枯黄前就直接进入凋落物分室。故此，地上部分磷素净吸收量中的56.72%成为立枯，43.28%成为凋落物。

参 考 文 献

- 王启基、杨福园、史顺海，1988，高寒矮蒿草甸地下生物量形成规律的初步研究，高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集，73-81，科学出版社。
- 乐炎舟、鲍新奎、张金霞、赵宝莲，1980，高山草甸上营养物质与植物生长的关系研究，中国草原，3：28-33。
- 乐炎舟、左克成、张金霞、赵宝莲、王在模、郭建华，1981，海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点，高寒草甸生态系统第1集，19-34，科学出版社。
- 张小川、蔡蔚祺、徐 琪、熊 毅，1980，草原生态系统土壤-植物组分中氮、磷、钾、钙和镁的循环，土壤学报，2：140-150。
- 杨福园、王启基、史顺海，1988，矮蒿草甸生物量季节动态与年间动态，高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集，16-71，科学出版社。
- 杨福园，1981，高寒草甸生态系统定位站自然概况，高寒草甸生态系统，第1集，1-8，甘肃人民出版社。
- 周兴民、李建华，1981，海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及地理分布规律，高寒草甸生态系统，第1集，9-18，甘肃人民出版社。
- Cole C V, Innis, G. S. J. W. B. Stewart, 1978, Simulation of phosphorus cycling in semiarid grasslands, Grassland simulation model, 205-230.
- Wielgolaski F E, 1975, Primary productivity of alpine meadow communities, Ecological Studies 16, 123-128.
- Zuo Ke-cheng, Le Yan-zhou, Zhang Jin-xia, Wang Zai-mo, Zhao Baolian, 1986, Preliminary approach to nitrogen and phosphorus exchange between soil and plants in native alpine meadow in Qinghai Plateau, 574-580.

THE PHOSPHORUS STORAGE AND CYCLING FEATURE OF PLANT POOL IN ALPINE MEADOW ECOSYSTEM

Cao Guangmin Bao Xinkui Zhang Jinxia Wang Zaimo

*(Northwest Plateau Institute of Biology, The
Chinese Academy of Sciences)*

Abstract

This paper deals with the phosphorus storage and its cycle character of plant pool in alpine meadow.

Field experiment which grazed effect a little were set up at the Haihei Alpine meadow ecosystem reaserch station. collected 21 species of plant analysed it as sample and according to a conventional method determined.

Results showed that the phosphorus content of aboveground appeared decreased trend, but belowground was fluctuated when season was replacement. The absorption of phosphorus by plant system was $0.7685 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ from soil pool, and the return was $0.6207 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ to soil pool.

Key words: Phosphorus, Alpine Meadow Ecosystem, Cycle