

514-518

第19卷第4期
1999年7月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 4
July, 1999

高寒草甸生态系统磷素循环

曹广民, 张金霞, 鲍新奎, 周党卫

5148.158

(中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站, 西宁 810001)

摘要: 试验在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行, 实验样地设置在冬春草场上, 应用分室模型, 将高寒草甸生态系统分为大气、土壤、植物、食草动物4个分室, 主要讨论了磷素在各分室内的贮量、流动方向、流通数量及其系统磷素的供需状况。高寒草甸生态系统磷素的循环过程是: 大气分室通过降水输入土壤库磷量为 $0.36\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$; 植物从土壤库摄取速效磷 $7.06\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$, 这些磷素一部分($0.57\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$)以动物产品如骨、肉、奶、皮、毛等的形式永久迁出生态系统, 另一部分($1.37\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$)成为植物有机态, 其余部分通过土壤微生物分解归还于土壤。经过一个生长季, 土壤净损耗磷素 $1.58\text{kg}/\text{hm}^2$, 土壤速效磷素的缺乏, 已经成为限制草场生产力提高和引起草场退化的重要营养限制因子之一。

关键词: 高寒草甸生态系统; 磷素循环

The phosphorus cycling in an Alpine Meadow Ecosystem

CAO Guang-Min, ZHANG Jin-Xia, BAO Xin-Kui, ZHOU Dang-Wei (Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem, Academia Sinica, Xining, 810001, China)

Abstract: This study was carried out at Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem and the experiment plot was set on winter-spring pasture. Using a compartment model, we divided the ecosystem into four compartments, they are atmosphere, soil, vegetation and grazing animal compartments. We measured the P storage in each of the compartments, and studied the direction and the amounts of P flowing among these compartments, and its supply-requirement state in the ecosystem. the P cycling process in the Alpine Meadow Ecosystem is the following: the atmosphere compartment transfers P $0.36\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ with precipitation to the soil pool. Vegetation compartment uptakes available P $7.06\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ from the soil pool. One part of it ($0.57\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$) was taken from the ecosystem in the form of animal products and the another part ($1.37\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$) becomes vegetation organism, and the rest returns to the soil pool through decomposition. During a growth season, the soil compartment loses net P $1.58\text{kg}/\text{hm}^2$. For lack of available P in the soil pool, the P has become an important limiting factor which restricts the primary production in creasing and cause the pasture degradation.

Key words: Alpine Meadow Ecosystem; phosphorus cycling; compartments

文章编号: 1000-0933(1999)04-0514-05 中图分类号: Q148 文献标识码: A

磷素是生命活动必须的营养元素之一, 它参与细胞的分裂、物质、能量的合成与转运, 有着不可替代的功能, 因此, 在陆地生态系统物质循环研究中, 磷素被认为是物质循环研究的重要内容之一。

草地生态系统的磷素循环历来为人们所重视, 国内外报道较多^[1~5]。而对于高寒草甸, 由于天然草地宽广及人为措施限制, 磷素及其循环研究长期被忽视。然而, 随着高寒草场退化面积的急剧增加, 磷素在生产中表现出能显著提高草地生产力、延缓退化过程及它在退化草地的恢复、人工草地的持续利用中的独特作用, 使人们普遍接受了磷素贫乏已是限制高寒草甸草场生产力的重要因子的观点^[6], 因此进行高寒草甸生态系统磷素循环研究在生产上具有重要的意义。

1 试区基本情况

基金项目: 国家“八五”攀登计划和海北高寒草甸生态系统定位站基金资助项目

收稿日期: 1997-04-08; **修订日期:** 1998-04-31

试验样地设置于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站综合试验场。站区自然概况、土壤及植被特点有详细报道^[5~7]。

1.1 与物质循环有关的气候状况(海北站1980~1990年气象资料统计结果)

气温 年平均气温 -1.7°C ,牧草生长季5~9月份每月平均气温分别为 4.3 、 7.6 、 9.8 、 8.8 、 4.6°C ,牧草生长期($\geq 5^{\circ}\text{C}$)长达115d,牧草休眠期($\leq 0^{\circ}\text{C}$)长达187d。

降水 年平均降水量614.8mm,主要集中于牧草生长季5~9月份,月平均降水量分别为61.3、101.3、126.3、117.2、78.4mm,占总降水量的78.81%。

土温 5、10、15、20cm,年平均地温分别为 1.7 、 1.4 、 2.0 、 1.6°C 。牧草生长季5~9月份,10cm土层,月平均地温分别为 5.6 、 9.1 、 11.9 、 12.1 、 8.4°C 。

土壤湿度 高寒草甸植物根系分布层(0~20cm)的土壤湿度,植物生长季平均为41.83%(占干土),变异系数为32.66%。

1.2 试验区草场利用方式及生产状况

试区草场植被为矮嵩草草甸,为冬春草场,产草量(干重)平均为 $3286.8\text{kg}/\text{hm}^2$ ^[8],年间变异系数为22.20%。在牧草枯黄后,约每年的9月下旬至10月上旬将牛羊迁入,次年牧草返青前迁出,放牧强度一般为5.45只羊单位/ hm^2 ^[9],年平均放牧245d。

2 试验方法

定期采集植物、土壤、降水及放牧家畜粪便分析样品,依常规分析方法测定其全磷、速效磷含量,降水量、初级生产量及次级生产量等基本数据采用本站各专业组多年测定结果^[8,10],换算为流通数量。

3 高寒草甸生态系统的分室

高寒草甸草场除放牧作用外,其它人为干扰较轻,为一自然生态系统。本研究将高寒草甸生态系统分为大气、土壤、植被、食草动物4个分室。其中,植被又分为地上与地下两部分,地上部分随生长季节的变化又分为植物活体、立枯及凋落物;地下部分分为活根与死根。

4 结果与讨论

4.1 高寒草甸生态系统磷素的循环过程及各分室磷素贮量的季节动态

高寒草甸生态系统的磷素循环框图见图1。其中,各分室或组分中不带括号的数字为现存量,带括号者为年存留量,带★者为年残留量,分室连线上的数字为流通量。

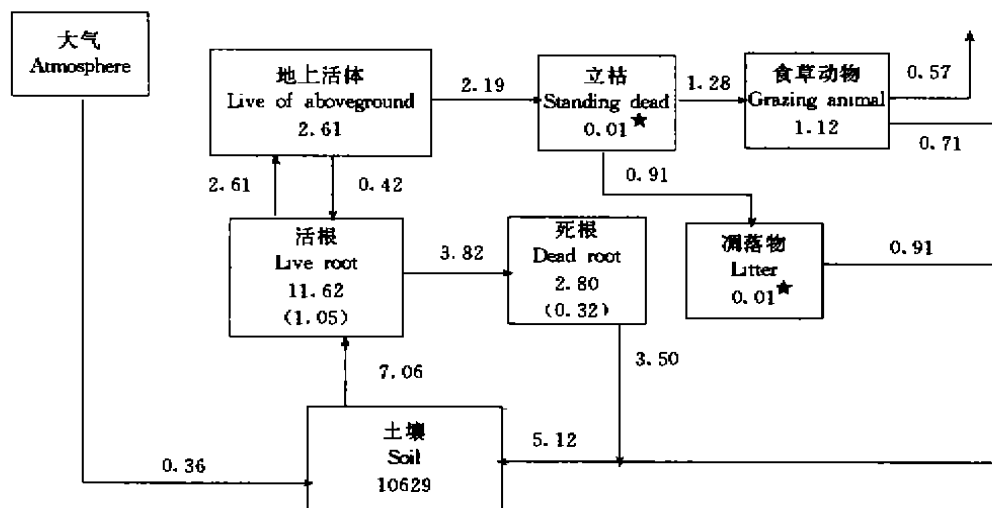


图1 高寒草甸生态系统的磷素循环($\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$)

Fig. 1 The phosphorus cycles in Alpine Meadow Ecosystem

大气分室 发育正常的高寒草甸地表有5~10cm厚的植物活根与保持原状的死根盘根错节形成的草毡表层,阻止了土壤的风蚀,加之磷素没有气态损失,故大气分室对系统表现为净输入。但在退化草地及“黑土滩”则相反。

海北高寒草甸生态系统定位站地区,大气分室通过湿沉降(降水)对系统土壤库输入的磷素状况^[11]见表1。

表1 高寒草甸生态系统降水中磷素输入量
Table 1 Input of P in the precipitation in Alpine Meadow Ecosystem

项目 Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1~5月份春雪					6~9月份雨				10~12月份冬雪		
降水形态 ^①	January to May spring snow					June to September rain				October to December winter		
占年降水量% ^②	0.75	1.79	4.13	6.49	9.97	16.48	20.54	19.06	12.75	6.00	1.38	0.65
占年输入磷量% ^③	3.62	6.69	5.01	8.91	16.71	19.50	0.56	15.88	10.03	10.03	1.39	1.67

①Precipitation form ②% of annual precipitation ③% of annual input P

大气分室每年通过湿沉降作用输入高寒草甸生态系统的磷素量为0.36kg/hm²。其中,牧草生长季5~9月份(即高原暖季)输入0.23kg/hm²,占年总输入量的62.67%,而牧草停止生长后的10月份至次年4月份(高原冷季)输入量为0.13kg/hm²,占年总输入量的37.36%。

同时由表1可见,高寒草甸生态系统中,随降水输入土壤库的磷素数量并不与降水量大小成正相关,而是与降水中磷素浓度和降水量之积成正比,如生长季7月,降雨量虽占全年降水的20.54%,但降水中磷浓度(0.0016mg/kg)却是全年最低值,随降雨输入系统的磷量仅占全年输入量的0.56%。据测定,不同时期、不同形态(雨、雪)降水中磷素的浓度差异较大,其加权平均浓度春雪>冬雪>雨水。

土壤分室 土壤是高寒草甸生态系统的支持者,是物质循环的源和汇。高寒草甸分布地区的主要土壤类型为草毡寒冻雏形土和暗沃寒冻雏形土,试验区属草毡寒冻雏形土。试区土壤磷素贮量状况见表2。

表2 土壤磷素的贮量
Table 2 The P storage in soil

土层深度(cm) Soil depth	全磷 Total P	有机磷(t/hm ²) Org. P	无机磷(mg/kg) Mineral P	速效磷(mg/kg) Available P	可矿化磷(kg/hm ²) Mineralization P
0~10	0.80	0.52	0.28	6.52	5.71
10~20	0.80	0.50	0.30	4.52	3.96
20~64	3.87	1.46	2.41	3.77	12.90
合计 Total	5.47	2.48	2.99	—	22.57

试区土壤全剖面(0~64cm)磷素总贮量为5.47t/hm²,其中植物根系主要分布层0~20cm以有机磷为主,占该层总磷量的63.75%,而20~60cm土层以无机磷为主,占该土层磷素总贮量的62.27%。

试区土壤磷素贮量非常丰富,但它仅反映了该土壤的磷素容量,而植物所能吸收利用的磷素数量取决于土壤中速效磷的供给强度及补偿能力。一般土壤速效磷浓度可近似表示供给强度,试区土壤速效磷素浓度较低,0~10、10~20、30~64cm分别为6.52、4.52、3.77mg/kg,远低于其它天然草场^[11,12]。而补偿能力是指植物生长消耗磷素时土壤维持原速效磷水平的能力,在天然高寒草甸草场上,除大气分室外,速效磷素的补偿主要依靠其土体内无机磷的风化及有机磷的矿化作用来实现,但高寒草甸分布地区,气候寒冷,矿物风化过程极其缓慢,无机磷的风化数量甚微,在一个生长季内可忽略不计;土壤有机磷的矿化释放实验结果表明,自然条件下,植物生长季5~9月,其0~20cm的地温平均小于10℃,土壤湿度约为45%,依实验结果计算此条件下根系分布层土壤有机磷的最大可能矿化量仅为9.7kg/hm²,全剖面最大可能矿化量为22.57kg/hm²^[12],也远低于其它天然草场^[11,12],此值可认为是高寒草甸植物可利用磷素的最高补给容量。

植被分室 植被是高寒草甸生态系统物质、能量合成与流动的主体。试区为高寒矮嵩草草甸,多年生植物组成可分为三大类:禾草、莎草和杂类草。禾草类主要包括禾本科的异针茅(*Stipa aliena*)、羊茅(*Festuca ovina*)、早熟禾(*Poa sp.*)、洽草(*Koeleria cristata*)、藏异燕麦(*Helictotrichou tibeticum*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)等;莎草类包括矮嵩草(*Kobresia humilis*)、小嵩草(*K. pygmaea*)、苔草(*Carex sp.*)、二柱头镰草(*Scripus distigmaticus*);其它所有双子叶植物均归于杂类草。

植物地上部分萌发始于4月底5月初,称为地上活体,9月下旬生长季结束后死亡,转变为立枯、枯枝落叶。其磷素贮量的季节动态见表3。

植物地上部分年最大摄取磷量 $2.61\text{kg}/\text{hm}^2$,最大摄取时期在生长季的7月份,此期前的5~6月份,植物地上部分处于磷素的净积累时期,7月份后,植物地上部分所积累磷素一部分以光合产物输送至地下根系存贮,作为植物越冬及翌年生长的营养储备,转入地下部分磷的数量占其最大摄取量的16.09%。

植物活体在生长季结束后,成为立枯及枯枝落叶,其磷素总贮量占地上最大摄取磷量的83.91%。在冬春季节立枯多数被牛羊所采食,剩余部分大多在牲畜践踏下凋落于地表通过分解释放,归还于土壤。由于高原气候寒冷,植物生长季短,立枯及枯枝落叶在次年往往分解不完,而在地表残留,其残留磷量分别为 0.01 、 $0.01\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

植物活根不断吸收土壤中的磷素养分,供给地上部分及自身生长的需求,衰老根系死亡成为死根,通过微生物分解作用,释放所含磷素归还于土壤,构成整个系统的磷素循环。高寒草甸植物地下部分的磷素贮量见表4。

植物地下根系磷素贮量平均为 $14.32 \pm 2.46\text{kg}/\text{hm}^2$,以活、死根状态存在的磷素贮量分别占总贮量的80.52%、19.48%。高寒草甸植物地下部分磷素贮量的季节性波动变化,正反映了系统内植物生育过程中物质流动的动态过程。

经过一个生长季,高寒草甸植物地下部分年净生产量中含磷素 $4.87\text{kg}/\text{hm}^2$,同期因根系死亡损失其71.87%,其余28.13%以有机态存留于根内。

食草动物 在冬春季放牧中,消耗立枯草内磷素 $1.28\text{kg}/\text{hm}^2$,占植物地上最大摄取磷量的49.04%^[3]。这些磷素的一部分转变为动物体磷,它们终究以骨、肉、乳、皮、毛等动物产品的形式大多迁出生态系统,其数量占动物消耗磷素的44.53%,其余部分转移入动物粪便,在现时放牧制度下,约50%的粪便排在放牧地,所含磷素的其余部分则作为厩肥或燃料(炉灰也倾入厩肥中),被运往农区和人工草地。其中施入人工草地的厩肥所含磷素部分又以动物粪便形式返回天然草地,其量占动物消耗磷量的9.22%,厩肥中磷素其余部分成为永久消耗。

4.2 高寒草甸生态系统的磷素循环对牧业生产的影响

由高寒草甸生态系统磷素循环过程可见,经过一个生产季,系统净损耗磷素 $1.58\text{kg}/\text{hm}^2$,其中通过放牧作用,以畜产品永久消耗磷量占36.07%,植物有机体固定磷量(死活根年净增)占63.93%。高寒草甸植物体系每年从土壤携出速效磷素 $7.06\text{kg}/\text{hm}^2$, $0\sim 20\text{cm}$ 根系分布层每年最大可矿化磷量为 $9.67\text{kg}/\text{hm}^2$, a ,因此,试区土壤磷素供给能力是与目前生产力水平相适应的。

高寒草甸生态系统磷素赤字循环,对牧业生产极为不利。80年代中期,青藏高原高寒地区冬春草场,人们忽视草场客观载畜能力,放牧强度曾高达7~9只羊单位/ hm^2 ,远高于合理载畜值 4.667 只羊单位/ hm^2 ,经

表3 高寒草甸植物地上部分磷素贮量的动态(kg/hm^2)

Table 3 The dynamic of P storage in Alpine Meadow Ecosystem

项目 Items	月 份 Month				
	4	5	6	7	8
地上活体 ^①	—	0.89	1.83	2.61	2.59
立枯 ^②	0.25	—	—	0.01	—
枯枝落叶 ^③	0.36	—	—	0.01	—

①Lives of aboveground;②Standing dead;③Litter

表4 高寒草甸植被地下部分磷素贮量的季节性变化(kg/hm^2)

Table 4 Seasonal change of P in belowground in Alpine Meadow Ecosystem

深 度 Depth(cm)	月 份 Month				
	5	6	7	8	9
剖面合计 ^①	15.22	12.41	11.53	14.66	17.76
平均 ^②	14.32 ± 2.46				

①Profile total;②Mean

过冬春季节放牧作用,地表立枯、凋落物消失殆尽。鼠类活动增加,草场急剧退化,形成大面积“黑土滩”。从磷素营养来看,随放牧强度的增加,不仅放牧作用本身增加了磷素营养输出,使地上部分归还量降低;同时放牧强度增加,使草场优势植物种群发生演替(由禾草型向嵩草型),植物根系绝对数量、地下/地上比相应增加,植物地下根系固定磷量增大,它们均加速了土壤养分失调进程,使土壤的养分状况发生恶化,不能满足牧草生长需求,从而导致了草场退化。

在退化草地土壤研究中,人们常常发现退化草地特别是鼠丘上土壤的速效磷浓度比未退化草地还高1~2mg/L,甚感困惑,似乎磷素与高寒草场退化无关。这是一种误解,土壤磷素的贫乏与否不能只看它的浓度,还要看它的补偿能力。未退化草场土壤速效磷素具有持续的补充能力,能不断满足牧草生长需求,但在退化草地特别是“黑土滩”型退化草地,由于鼠类活动对土壤的翻动,土壤变得疏松,虽增加了土壤磷素的风化、矿化强度,但土壤可矿化有机物质层(草皮层)剥蚀、风蚀殆尽,故磷素的可补偿能力很低,补施磷肥是治理退化高寒草地行之有效的选择措施之一。

在人工草地建设方面,增施磷肥能有效提高草地生产力,减缓退化进程。在本实验研究地区新开垦的人工草地上,设立补施磷肥与对照处理,结果施肥处理可维持十多年的稳定高产,而对照处理产草量很低,2~3a就发生退化。

由此可见,对高寒草场实行科学管理,严格控制放牧强度,在退化草地治理及人工草地建设中,增施磷肥,使高寒草场磷素营养维持基本平衡,是高寒草场保持可持续发展的重要措施之一。

参考文献:

- [1] 张小川,蔡蔚祺,徐琪,等.草原生态系统土壤-植物组分中氮磷钾钙镁的循环.土壤学报,1990,27(2):140~150.
- [2] Vernon Cole C, George S Inns and J w B Steward. Simulation of phosphorus cycling in semiarid grassland. *Grassland simulation model*, 1978, 205~230.
- [3] Wood manse R G and Duncan D A. Nitrogen and phosphorus dynamics and budgets in annual grassland. *Ecology*, 1980, 61(4):893~904.
- [4] 乐炎州,鲍新奎,张金霞,等.高山草甸土营养物质与植物生长关系的研究.中国草原,1980,3:28~33.
- [5] 杨福园.高寒草甸生态系统定位站自然概况.见:高寒草甸生态系统.北京:科学出版社,1981.1~8.
- [6] 乐炎州,张金霞,等.海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点.见:高寒草甸生态系统.甘肃人民出版社,1982.19~33.
- [7] 周兴民,李健华.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.见:高寒草甸生态系统.北京:科学出版社,1981.9~18.
- [8] 杨福园,王启基,史顺海.矮嵩草草甸生物量的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.北京:科学出版社,1988.61~72.
- [9] 王启基,皮南林,等.放牧藏系绵羊营养状况的初步研究.高原生物学集刊.北京:科学出版社,1986.8:77~87.
- [10] 王启基,杨福园,史顺海.矮嵩草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.北京:科学出版社,1988.83~93.
- [11] 鲍新奎,曹广民,赵宝莲.高山土壤有机磷的净矿化作用.高寒草甸生态系统论文集.北京:科学出版社,1993.(3):227~23.
- [12] 左克成,张金霞,王在模,等.青海海北高寒草甸生态系统降水中养分含量的初步研究.高原生物学集刊.北京:科学出版社,1986.5:35~43.