

# 草原生态系统土壤-植被组分中 氮、磷、钾、钙和镁的循环\*

张小川 蔡蔚祺 徐琪 熊毅

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文研究了内蒙古锡林河流域两种典型草原的生产力、营养元素在生态系统中的分配及其循环。研究表明,除 C 和 N 在植物组分中贮量稍高以外, P、K、Ca 和 Mg 的 99% 以上存于土壤分室中。而植物组分中的营养元素则主要贮存于根系之中。

1985 年至 1987 年,羊草草原地上凋落物的形成量为  $234 \text{ 克} \cdot \text{米}^{-2}$ ,大针茅草原为  $88.4 \text{ 克} \cdot \text{米}^{-2}$ ;同期凋落物的消失量分别为  $219.6$  和  $91.1 \text{ 克} \cdot \text{米}^{-2}$ ;从活根向死根生物量的年转移量分别为  $1712$  和  $920 \text{ 克} \cdot \text{米}^{-2}$ ;根系的降解速率分别为  $0.00355$  和  $0.00365 \text{ 克} \cdot \text{克}^{-1} \cdot \text{天}^{-1}$ 。

文中给出了诸元素在生态系统中的循环图,讨论了两类草原生态系统中元素循环的特点。

## 一、引 言

草原生态系统是陆地上极重要的一个生态系统类型,其结构比较脆弱,功能不够完善,生产力也比较低。草原的退化、沙化及其对全球生态的影响正受到普遍的关注。

内蒙古锡林河流域的羊草草原和大针茅草原是我国北方典型草原群落。陈佐忠等曾研究了该区 122 种植物 N、P 等 9 种元素的含量<sup>[2]</sup>,及 N 素在两类草原中的贮量和分配<sup>[1]</sup>。到目前为止,尚未见到有关应用分室模型研究该类型草原生态系统中营养物质循环的报道。

本文试图用系统和分室模型来研究两类草原生态系统中 C、N 和 P 等元素循环的特征,探讨我国干旱、半干旱地区草原生态系统的功能,为草原的保护和合理利用提供理论依据。

## 二、研究地区及工作方法

(一) 研究地区:本研究在中科院内蒙古草原生态系统定位站进行。该站位于内蒙古锡林郭勒盟白音锡勒牧场境内。该区气候为半干旱草原气候类型,9 月至次年 4 月寒冷干燥,5 月至 9 月温和湿润<sup>[3]</sup>。

研究的草原类型有二,其一为羊草草原,样地位于二级玄武岩台地的缓坡上,海拔 1200—1250 米,

\* 本文系张小川硕士论文的一部分。本工作曾得到内蒙古大学仲延凯、中科院植物研究所陈佐忠、黄德华、本所沈思渊等同志及有关室组的帮助,一并致谢。

坡度小于 5 度。其二为大针茅草原,位于一级玄武岩台地上,地面平坦,海拔 1130 米左右。

(二) 工作方法: 本工作在两类草原的围栏样地内进行。1985 年在地上植物最大生物量时期,用收割法测定两样地地上部分的生物量,采集植物样品。1986 年 7—9 月,每隔半个月左右,分 4—5 次测定二个样地地上部分的生物量并采集植物样品。

于 1985 年和 1986 年的同一时期,用壕沟法取土,40 目筛子冲洗,65—80°C 下烘干法,测定地下部分生物量干重。在 1985 年采集根系样品的同时取得土壤样品。

(三) 样品测定: 土壤和植物中 P、K、Ca 和 Mg 的全量用等离子发射光谱法测定,其余项目的测定均照常规分析方法<sup>[3]</sup>。

### 三、结果与讨论

#### (一) 草原土壤-植被系统的特点

1. 土壤性质 羊草草原植被下发育的暗栗钙土,表层粘粒含量稍高 (<0.002mm, 15.9%),为砂粘壤土,其余层次为砂壤土。土壤剖面上部具块粒状结构,较疏松,向下随含水量减少而变得极紧实。根系在上层分布较密集,向下逐渐减少,母质层中极少根系分布。可能因受堆积作用的影响,剖面中 110cm 以上土壤颜色均较暗,有机质含量也较高。直至 110cm 深处无明显的钙积层出现。

表 1 草原土壤的化学性质  
Table 1 Chemical properties of grassland soils

草原类型 Grassl. types	深度 (cm) Depth	pH(水) 1:2.5	O.M. (%)	全 N (%)	C/N	烧失量 Ignition loss	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
羊 草 草 原	0—15	6.86	5.34	0.191	16.2	7.30	1.41	1.27	3.48	0.068	0.026
	15—25	7.27	1.97	0.119	9.60	3.55	1.21	0.94	3.73	0.051	0.022
	25—50	7.50	1.49	0.096	9.0	3.21	1.21	0.93	3.66	0.054	0.026
	55—70	7.95	1.25	0.077	9.42	3.05	1.24	0.97	3.66	0.054	0.017
	85—100	8.29	1.03	0.062	9.64	3.09	1.52	1.06	3.69	0.054	0.017
	>110	8.60	0.46	0.032	8.34	4.69	5.31	1.14	3.68	0.054	6.16
大 针 茅 草 原	0—14	8.20	3.18	0.160	11.53	4.80	1.79	1.05	3.40	0.079	0.69
	14—35	8.25	2.04	0.120	9.86	4.41	2.09	1.10	3.34	0.073	1.11
	35—60	8.45	1.27	0.073	10.09	6.33	6.05	1.32	3.31	0.053	7.02
	60—94	8.95	0.42	0.022	11.07	5.03	5.72	1.54	3.44	0.038	6.32
	>94	9.13	0.12	0.006	11.60	1.37	1.61	0.51	3.24	痕量	3.56

大针茅草原植被下为典型栗钙土。表土层的颜色为 10YR4/4,母质层为 10YR8/4。粘粒在剖面中部稍有积累,为砂粘壤土,母质层为砂土,其余层次为砂壤土。土壤剖面上部具块粒状结构,较疏松。0—35cm 土层中根系分布较密集。35cm 以下各土层石灰反应比较明显,CaCO<sub>3</sub> 的含量达 6—7%。土壤的一般性质见表 1。

2. 植被组成的特点及其生产力 据调查,羊草草原中约有植物 30 种左右,其中以禾本科、菊科、藜科等较多。植物种类组成两年中基本相同,只个别次要种出现机率稍有变化。整个来说,以大针茅和冰草占优势。植被总盖度为 50—60%,密度为 500—600

株·米<sup>-2</sup>。

根据两年的测定结果,大针茅草原样地上有 27 种植物,其中以禾本科、菊科、百合科等较多。就生物量而言,以大针茅占绝对优势。植被总盖度为 50—55%,密度为 120—150 株·米<sup>-2</sup>,都比羊草草原为低。

草原植物的种类组成及其生产力有明显的季节变动。从连续两年同一日期(8月2日)的测定结果来看,羊草草原地上部分总生物量比较接近,约为 200 克·米<sup>-2</sup>。立枯的生物量(1985 年 42.7 克·米<sup>-2</sup>, 1986 年 18.3 克·米<sup>-2</sup>)总是小于残落物的量(1985 年 83.7, 1986 年 98.7 克·米<sup>-2</sup>),表明在羊草草原立枯的凋落比较快和彻底。

表 2 草原地上部分的生产力

Table 2 The above-ground productivity of the grassland ecosystems

羊草草原 <i>Aneurolepidium chinense</i> steppe	1985.8.2		1986.8.2		大针茅草原 <i>Stipa grandis</i> steppe	1985.8.19		1986.8.18	
	生物量 Biomass		生物量 Biomass			生物量 Biomass		生物量 Biomass	
	(g·m <sup>-2</sup> )	(%)	(g·m <sup>-2</sup> )	(%)		(g·m <sup>-2</sup> )	(%)	(g·m <sup>-2</sup> )	(%)
羊 草	74.38	35.4	53.60	26.3					
大 针 茅	25.10	11.9	25.37	12.5	大 针 茅	95.34	67.4	118.22	69.1
冰 草	22.24	10.6	26.91	13.2	禾本科其它植物 <sup>(1)</sup>	7.60	5.4	18.02	10.5
禾本科其它植物 <sup>(1)</sup>	21.63	10.3	12.13	6.0	菊 科 <sup>(2)</sup>	27.56	19.5	16.05	9.4
黄囊苔草	13.10	6.2	7.01	3.4	其它植物 <sup>(3)</sup>	10.98	7.8	18.82	11.0
豆 科 <sup>(4)</sup>	23.49	11.2	6.40	3.1	总 量	141.48	100.0	171.11	100.0
菊 科 <sup>(5)</sup>	7.19	3.4	38.69	19.0					
其它植物 <sup>(6)</sup>	23.0	10.9	33.39	16.4					
总 量	210.13	100.0	203.5	100.0					

注: (1)1985 年包括落草、糙隐子草、早熟禾、西伯利亚羽毛,1986 年缺少早熟禾。(2)包括扁扁豆和小叶锦鸡儿。

(3)1986 年包括冷蒿、黄蒿、麻花头、阿尔泰狗娃花,1985 年还包括大籽蒿、变蒿等。

(4)除上述提到的植物种以外的所有其他植物。(5)包括羊草、冰草、落草、糙隐子草。

(6)1985 年包括黄蒿、冷蒿、阿尔泰狗娃花、麻花头、变蒿;1986 年未见变蒿,出现线叶菊。

(7)同(4)。

大针茅草原 1986 年 8 月中旬时的地上生物量较 1985 年为高。这可能是由于 1986 年后后期降雨偏多,地上生物量一直维持在较高水平,或后期比前期有一定的增长所致。地上部分生物量最大值为 140—170 克·米<sup>-2</sup>(表 2)。与羊草草原相反,立枯的生物量大于残落物的量。这可能与大针茅在枯死后不易凋落有关。

植物根系明显地集中分布于土壤上层(表 3)。可能由于 1985 和 1986 两年中气候状况的变化,致使两年同期测定中,地下部分生物量的变化较大。1986 年前期干旱,地下生物量贮存量因向地上部分输送而减少,致使 8 月份地下部分的生物量较 1985 年同期为低。1985 年羊草草原 0—10cm 表层根系生物量占全剖面的 45%,在大针茅草原为 40%;1986 年的值分别为 50% 和 53%。全剖面根系生物量以羊草草原较高。

群落地下和地上部分生物量之比(R/S 比),同一群落比较,1985 年的比值较 1986 年的为大(表 4)。这可能与 1986 年前期干旱,地下生物量部分地消耗于维持地上部分生长有关。不同植被类型间的比较表明,羊草草原的比值恒较大针茅草原为大,这反映了两者根系特性的差异。

表3 羊草草原和大针茅草原地下部分生物量 ( $g \cdot m^{-2}$ )

Table 3 Under-ground productivity of the grassland ecosystems

深度 Depth	羊草草原 <i>Aneurolepidium chinense</i> steppe (1985.8.2)		大针茅草原 <i>Stipa grandis</i> steppe (1985.8.19)		深度 Depth	羊草草原 <i>Aneurolepidium chinense</i> steppe (1986.8.2)		大针茅草原 <i>Stipa grandis</i> steppe (1986.8.18)	
	生物量 Biomass	相对重量 (%) Relative weight%	生物量 Biomass	相对重量 (%) Relative weight%		生物量 Biomass	相对重量 (%) Relative weight %	生物量 Biomass	相对重量 (%) Relative weight %
0—5	880.0	31.0	382.7	24.0	0—5	534.8	35.9	312.5	35.9
5—10	393.9	13.9	234.2	14.7	5—10	224.6	13.8	146.6	16.8
10—20	367.7	13.0	315.0	19.7	10—20	254.6	15.6	157.1	18.1
20—30	244.0	8.6	168.2	10.5	20—30	188.3	11.6	78.6	9.0
30—100	951.0	33.5	495.4	31.0	30—50	241.8	14.9	98.4	11.3
合计	2836.6	100.0	1595.5	100.0	50—70	133.3	8.2	77.1	8.9
					合计	1627.4	100.0	870.2	100.0

表4 羊草草原和大针茅草原的根/冠比 (R/S 比)

Table 4 Root/Shoot ratios of the grassland ecosystems

项 目 Items	羊 草 草 原 <i>Aneurolepidium chinense</i> steppe		大 针 茅 草 原 <i>Stipa grandis</i> steppe	
	1985 年	1986 年	1985 年	1986 年
地下生物量 ( $0-70cm, g \cdot m^{-2}$ )	2522	1627	1485	870
地上部分生物量 ( $g \cdot m^{-2}$ )	210	204	142	171
根/冠比	12.0	7.98	10.5	5.09

## (二) 元素在生态系统中的分配

目前关于草原生态系统中的物质循环,多应用分室模型来研究。各研究者划分分室的精细程度不一,所获得的材料各异<sup>[7,8,10,15]</sup>。本文将土壤-植被系统划分为六个分室:土壤、地上植物活体、立枯、残落物、活根和死根等分室。表5中列出了C、N等元素在各室中的分配。各营养元素的绝大部分均贮存于土壤分室中。各种营养元素比较, N素在植物亚系统中所占比例较大,1985年在羊草草原为3.74%,在大针茅草原为5.78%;1986年分别为2.73和1.97%。该值年份间的差异反映了气候条件对植物生长和吸收营养元素的影响。C在生物系统中的分配比例也较大,1985年在两草原系统中分别为8.89和13.9%,1986年分别为6.87和5.99%。

P、K、Ca和Mg则几乎99%以上贮存于土壤分室中,最高者达99.99%,在植物亚系统中所占的比例极小,且在两类草原中两年的结果相似。可见土壤分室在生态系统物质循环过程中起十分重要的作用,它是物质的主要贮存库和流通枢纽。

由于生态系统中各元素的总贮量主要取决于土壤分室中元素的含量,因此各元素总贮量的序列是比较稳定的。在羊草草原中的序列为:  $K > C > Ca > Mg > N > P$ ; 在大针茅草原为:  $Ca > K > C > Mg > N > P$ 。两者基本相同,只是由于大针茅草原中土壤分室里的游离  $CaCO_3$  含量较高,因而Ca的位置前移。植物亚系统中各元素的贮量在不同草原类

表5 元素在两类生态系统不同分室之间的分配百分比

Table 5 Distribution of elements among compartments in the two ecosystems

草原类型 Grassl types	分室 Compartments	C%	N%	P%	K%	Ca%	Mg%
羊草草原	地上活体	7.36* 9.08	8.81 13.69	9.0 28.63	17.3 37.22	3.63 6.09	4.37 9.06
	立枯	1.50* 0.84	0.64 0.38	0.41 0.49	0.29 0.17	0.33 0.39	0.29 0.34
	残落物	2.86* 4.37	2.19 3.21	1.75 4.94	1.23 1.80	1.78 3.99	1.26 3.25
	根系 (0—100cm)	88.27* 85.73	88.30 82.74	88.70 65.81	80.98 61.19	94.32 89.66	93.77 87.28
	土壤	91.11** 93.13	96.26 97.27	99.28 99.70	99.96 99.96	99.51 99.69	99.85 99.93
大针茅 草原	地上活体	4.57* 13.14	3.94 13.62	3.72 13.95	9.05 36.02	1.70 6.92	1.52 10.3
	立枯	2.36* 9.90	0.78 4.90	0.53 8.39	0.60 4.73	0.41 3.74	0.35 4.07
	残落物	0.80* 1.76	0.34 1.09	0.26 1.62	0.28 0.87	0.28 1.16	0.23 1.27
	根系 (0—100cm)	92.27* 74.92	94.86 80.23	95.35 58.07	89.87 58.35	97.67 87.91	97.52 84.58
	土壤	86.10** 94.01	94.22 98.03	98.96 99.65	99.95 99.99	99.83 99.95	99.87 99.98

\* 表示占植物亚系统中的百分数,分子为1985年的值,分母为1986年的值。

\*\* 表示占生态系统的百分数。

型和年度之间的变化较大,但其序列仍较稳定,例如,1985年植物亚系统中元素的储量序列在两类草原均为: C>Ca>N>K>Mg>P。

如果将整个植物亚系统中各元素储量作100%,考察元素在植物亚系统各分室中的分配(表5)。以1985年为例,可以看出,在羊草草原中除C、N、P和K外,Ca和Mg在根系中的储量均达94%左右。元素在立枯分室中所占比例最小,其次为残落物分室。大针茅草原,则有所不同,各元素在根系分室中的比例比其在羊草草原为高;在立枯中所占的比例比在残落物分室中的为高。1986年元素在根系中的比例虽较1985年为低,但仍以在残落物分室中所占的比例最小,其次仍为立枯分室。

### (三) 元素在草原生态系统中的循环

营养元素的循环是维持草原生态系统有机物质循环的重要过程。草原生态系统中的营养物质循环受到许多因素的影响。如元素在土壤-植被系统中的形态与分配,植物生物量和营养元素的含量,元素的周转率,以及营养元素输入和输出系统的数量等。考虑到半干旱地区草原生态系统中营养元素的输入(主要通过降雨)和输出(主要通过流失和挥发损失)生态系统的数量较小且基本相抵<sup>[2]</sup>,本文主要讨论物质在各分室之间的循环。

生态系统中有些过程难以全部测定,为方便计算,假定:(1)地上绿色植物体在入冬

前转变成立枯或凋落物的量可以忽略不计;(2)植物地上活体在冬季全部枯死,并全部转变成凋落物<sup>[13]</sup>;(3)植物活体转变成立枯后,不再向地下输送养分,在非植物生长季节残落物不受风的影响而移出系统之外;(4)植物体和立枯中无养分的淋失。

测定地下部分生物量,目前尚存在种种困难<sup>[6,9]</sup>。本文假定根系最大生物量中70%为活根,30%为死根<sup>[14,16]</sup>。陈佐忠等<sup>[1]</sup>报道,羊草草原根系的周转率为0.55,大针茅草原为0.49。根据地下活根生长及死亡、死根形成及分解消失之间的平衡关系<sup>[3]</sup>,由此计算得羊草草原死根的年形成量为1712克·米<sup>-2</sup>,死根的分解率为0.00355克·克<sup>-1</sup>·天<sup>-1</sup>;大针茅草原该两值分别为920克·米<sup>-2</sup>和0.00365克·克<sup>-1</sup>·天<sup>-1</sup>。

根据立枯的形成和凋落,残落物的形成和消失之间的平衡关系,计算得到,1985年夏天至1986年夏天期间,羊草草原凋落物的形成量为234克·米<sup>-2</sup>,大针茅草原为88.4克·米<sup>-2</sup>。同期凋落物的消失量分别为219.6和91.1克·米<sup>-2</sup>。

根据上述结果,进一步计算得元素在两类草原生态系统各分室之间的循环量<sup>[3,11,13,15]</sup>,如图1及2所示。

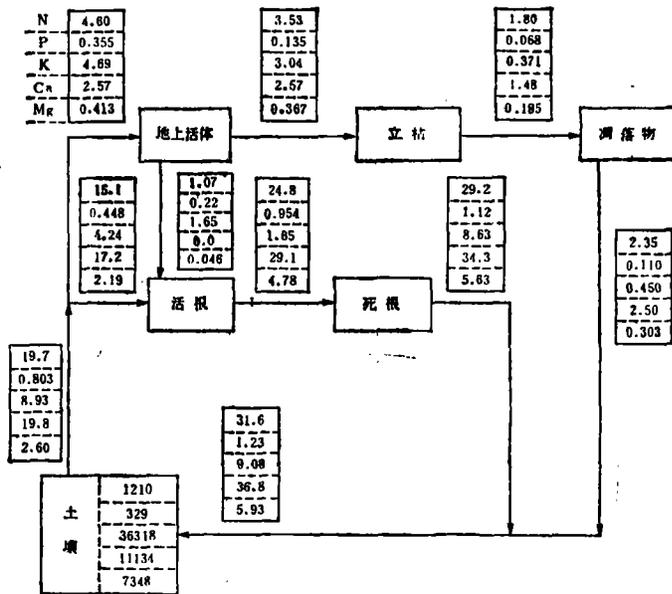


图1 羊草草原生态系统中 N、P、K、Ca 和 Mg 的循环 (g·m<sup>-2</sup>·yr<sup>-1</sup>)

Fig. 1 Cycling of N,P,K, Ca and Mg in *Aneurolepidium chinense* ecosystem

从元素循环图可以看出,尽管土壤中Ca和Mg的贮量以大针茅草原系统中的为高,但各元素在各分室之间的年转移量却以羊草草原系统中的较大,其存留量的减少亦如此。但两类草原的释放/吸收比(R/U比)无多大差别,说明其物质平衡状况是相似的。

1) 陈佐忠等,1986: 内蒙古锡林河流域羊草草原和大针茅草原地下部分生产力和周转值的测定。草原生态系统研究(资料),第六集。

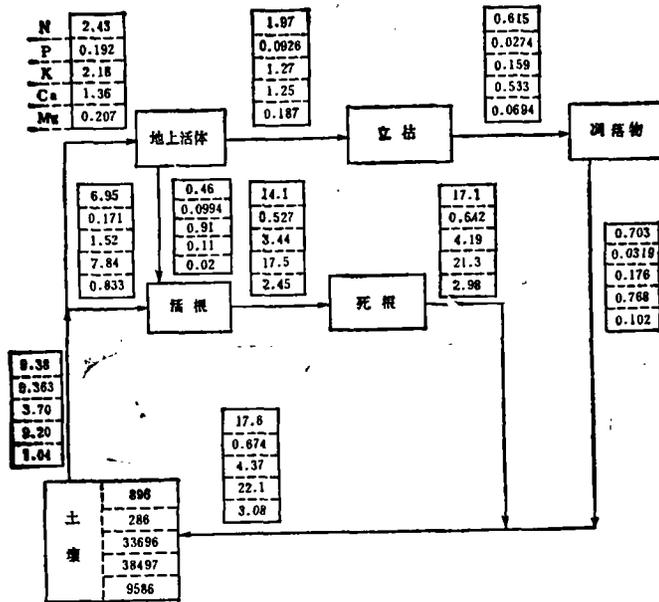


图2 大针茅草原生态系统中N、P、K、Ca和Mg的循环 (g·m<sup>-2</sup>·yr<sup>-1</sup>)  
 Fig. 2 Cycling of N, P, K, Ca and Mg in *Ssipa grandis* ecosystem

据文献报道, 美国一年生草原系统中, 从死根和凋落物矿化的N为 90.3 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>[16]。印度草原中N的矿化量仅为 47.7 和 30.2 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>(表 6)。本研究表明, 羊草草原N的总矿化量为 316 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>, 大针茅草原为 178 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>, 比上述数值均高, 但根系仍是主要的释放源。一年生草原中P的总矿化量为 12.7 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>[16]。而羊草草原为 12.3 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>, 大针茅草原为 6.74 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>, 比一年生草原为小。

表6 不同草原类型中N和P循环行为的比较  
 Table 6 Cycling of N and P in various grasslands

地点·草原类型 Grassl. types	地上部分吸收占总吸收量%		归还量 (Kg·ha <sup>-1</sup> ·yr <sup>-1</sup> ) Amount released				资料来源 References
	% of uptake by above-ground plant parts		N		P		
	N	P	总量 Total	从根系 Through Roots	总量 Total	从根系 Through Roots	
美国一年生草原	53	81	90.3	—	12.7	—	[16]
印度 Erianthus 草原	51	—	47.7	42.7	—	—	[15]
印度 Arundinella 草原	56	—	30.2	27.4	—	—	[15]
中国羊草草原	23.4	44	316	292	12.3	11.2	本文
中国大针茅草原	25.9	53	178	171	6.74	6.42	本文

从表 6 还可以看出, 本文所研究的羊草草原和大针茅草原中, 地上部分吸收的氮量占总吸收量的比例, 较美国的一年生草原和印度的两类草原中的相应值为低, 表明该两类

草原中植物对氮的吸收以通过地下部分的吸收为主。进一步把N的循环图与 Bokhari, Tiwari 和 Mishra 等人的结果比较后发现, N素在地上部分各分室间的循环, 其数量关系与上述作者的结果相似, 唯有在地下部分中差异较大。

造成上述矿化量及地下部分中元素循环行为的差异的原因, 可能是: (1)各研究者所取地下部分界面深度不同。本研究采样的范围比较深(0—100cm), 因此根系的生物量及各元素在地下部分中的周转量相对显得比较大; (2)草原植被类型不同, 羊草草原和大针茅草原地下部分生物量在整个植物系统中所占比重较一年生草原等的为大; (3)计算中采用的某些参数可能有偏差。

就元素的吸收、释放来说, 地上、地下各分室在生态系统中所起的作用是明显不同的, 地下部分各分室常起主导作用(表7), 只有羊草草原生态系统中P、K两元素被地上部分吸收的量大致和被地下部分吸收的量相当。诸元素总矿化量的90%以上都通过地下死根的矿化实现。两种类型的草原相比较, 大针茅草原地上部分的相对吸收量和地下部分的相对矿化量都比羊草草原稍高。

表7 生态系统各分室在元素循环中的作用(%)

Table 7 Function of different compartments in the cycling of nutrients in the two grassland ecosystems

项目 Items	N	P	K	Ca	Mg
地上部分吸收占总吸收量	23.4*	44.2	52.5	13.0	15.9
	25.9	52.9	58.9	14.8	19.9
地下部分吸收占总吸收量	76.6	55.8	47.5	87.0	84.1
	74.1	47.1	41.1	85.2	80.1
地上部分转入死体量占总转入死体量	12.5	12.4	29.2	8.11	7.13
	12.3	14.9	27.0	6.68	7.11
地下部分转入死体量占总转入死体量	87.5	87.6	70.8	91.9	92.9
	87.7	85.1	73.0	93.3	92.9
残落物归还土壤占总归还量	7.60	8.90	5.0	6.80	5.10
	3.90	4.70	4.10	3.60	3.20
地下死根释放量占总归还量	92.4	91.1	95.0	93.2	94.9
	96.1	95.3	95.9	96.4	96.8

\* 分子为羊草草原中的值, 分母为大针茅草原中的值。

Tiwari 还讨论了草原生态系统中N的释放/吸收比。本文得到的结果与该作者所列几个类型草原的差别较大。一是吸收总量和释放总量比较大; 二是存留量为负值, R/U 比大于1。这与美国的高草普利列草原有些相似(表8)。元素的释放/吸收比可以指示出元素在生态系统中的流动型式。存留量为负值, 表明生态系统经过一年的运转, 植物亚系统中的元素含量比前一年减少。R/U 比大于1, 表明植物系统中元素的年输出量超过输入量。但以上只是一年测定的结果, 输入和输出间的平衡, 只有经过多年测定才能作出评价<sup>[7]</sup>。

所研究的两类草原生态系统中, 除N素以外, 其余元素的R/U比均大于1。其中Mg的R/U比均大于2, 表明吸收和释放之间平衡的偏转较大。对非演替的草原生态系统, 元素的吸收和释放在多年之间将趋向于平衡。

表 8 不同草原类型中氮的年吸收、存留和释放量 ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ )

Table 8 The annual uptake, retention and release of nitrogen in different grasslands

草原类型 Grassl. types	吸收 Uptake	存留 Retention	经凋落物释放 Release from litter	经死根释放 Release from dead roots	总释放 Total release	释放/吸收比 R/U ratios
印度 Erianthus 群落	87.4	39.7	5.0	42.7	47.7	0.55
印度 Arundinella 群落	55.5	25.3	2.8	27.4	30.2	0.54
美国短草普利列	69.3	17.8	12.1	39.4	51.5	0.74
美国混合普利列	77.0	25.3	26.2	25.5	51.7	0.67
美国高草普利列	58.9	-2.2	20.4	40.7	61.1	1.04
中国羊草草原	197	-86	23.5	292	316	1.59
中国大针茅草原	93.8	-66.2	7.03	171	178	1.90

#### 四、结 语

草原土壤-植被系统构成了草原生态系统的主体部分。研究其中营养元素的循环,是进一步开展草原生态系统中物质循环研究的基础。

研究特定草原类型下营养元素在草原土壤-植被系统中的分配,是草原生态学研究的内容之一。本文研究的结果表明,土壤-植被系统中营养元素的极大部分贮存于土壤库中,而植被亚系统中营养元素则主要贮存于根系中。这两点对于保持草原生态系统的稳定性有比较重要的意义。土壤-植被系统中营养元素的绝大部分存在于土壤库中,这是一条对陆地生态系统较为普遍适用的结果。这样,营养元素不致因地上部分植物体的输出系统之外而在短时间内急剧减少。植被亚系统中营养元素主要贮存于根系中,则当遇到不良气候条件时,营养物质可从地下贮藏物中,向地上部分输送,维持地上部分生长,减少不良环境条件对生态系统能量输入(光合作用)的影响,维持系统的相对稳定性。

通过本文的讨论,明确了营养元素在各分室之间流动的相对数量关系,为将草原生态系统的功能与陆地上其他类型草原生态系统的功能作进一步的比较研究提供了基础资料。从研究结果可知,地上部分活体的生物量及其中元素的贮量、通过该分室的元素量都很少。虽然草原生态系统具有缓冲性能,如果地上部分植物体被放牧动物过分啃食,仍将带来不良后果,造成草场的严重退化。这为我们合理利用和有效地保护草场提供了某些依据。另外,地上部分植物体中营养元素的相对贮量以碳和氮的比例较高,如果将一定量的牧草移出系统之外,碳和氮的损失相对来说较其它元素为大。但碳主要是由光合作用产生的,而氮的输入途径较少,故导致氮的不平衡性可能较其它元素更为严重。

#### 参 考 文 献

- [1] 陈佐忠等,1983: 羊草草原和大针茅草原氮素贮量及其分配。植物生态学与地植物学丛刊,第7卷2期,143—151页。
- [2] 陈佐忠等,1985: 内蒙古锡林河流域122种植物的元素化学特征。草原生态系统研究,第1期,112—130页,科学出版社。
- [3] 张小川等,1989: 关于草原生态系统中养分循环的计算。土壤,第21卷3期,158—159页。

- [4] 姜毅, 1985: 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站的建立和研究工作概述. 草原生态系统研究, 1—11 页, 科学出版社。
- [5] 中国科学院南京土壤所主编, 1978: 土壤理化分析. 上海科学技术出版社。
- [6] S.B. 查普曼等, 阳含熙等译, 1980: 植物生态学的方法. 科学出版社。
- [7] Bokhari, U. G. et al, 1975: Standing state and cycling of nitrogen in soil-vegetation components of prairie ecosystems. *Annals of Botany*, 39: 273—285.
- [8] Dickinson, N. M., 1984: Seasonal dynamics and compartmentation of nutrients in a grassland meadow in Lowland England. *J. of Applied Ecology*, 21(2): 695—701.
- [9] Head, G. C., 1970: Methods for the study of production in root systems. In: J. Phillipson (ed.), *Methods of Study in Soil Ecology*, UNESCO, 151—157.
- [10] McGill, W. B. et al, 1981: Phoenix-A model of the dynamics of carbon and nitrogen in grassland soils. In: "Terrestrial Nitrogen Cycles (Clark, F. E. et al eds.), *Ecol. Bull.*, (Stockholm) 33: 49—116.
- [11] Mishra, L. C., 1979: Nitrogen cycling in grassland at Kanpur, India. *Plant and Soil*, 53(3): 361—371.
- [12] Noy-Meir and Harpaz, 1978: Agro-Ecosystems in Israel. In: Frissel, M. J. (ed.) *Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems*. 143—166. N. Y., Elsevier Scientific Pub.
- [13] Risser, P. G. et al, 1982: Ecosystems analysis of the tall-grass prairie: nitrogen cycle. *Ecology*, 63(5): 1342—1351.
- [14] Sauer, R. H., 1978: A simulation model for grassland primary producer phenology and biomass dynamics. In "Grassland Simulation Model" (Innis G. S. ed), Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.
- [15] Tiwari, S. C., 1985: Cycling of nitrogen in soil-vegetation components of grasslands in Garhwal Himalayas. *Soil Sci. Soc. Indian J.* 33(3): 555—560.
- [16] Woodmansee, R. G. et al, 1980: Nitrogen and phosphorus dynamics and budgets in annual grasslands. *Ecology*, (4): 893—904.

## CYCLING OF NITROGEN, PHOSPHORUS, POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM IN GRASSLAND SOIL- VEGETATION SYSTEMS

Zhang Xiaochuan, Cai Weiqi, Xu Qi and Hseung Yi

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

The productivity and allocation of nutrient elements and the biological nutrient cycling in two typical grasslands in the Xilin River Valley, Inner Mongolia were studied. Results obtained showed that the above-ground biomass was about  $210 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in *Aneurolepidium chinense* steppe (A. C. S.) and around  $140\text{—}170 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in *Stipa grandis* steppe (S. G. S.). The under-ground biomass was  $2837 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in A. C. S. and  $1596 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in S. G. S. (0—100 cm) in 1985, and  $1627$  and  $870 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  (0—70 cm) in 1986, respectively. The Root/Shoot ratio varied from one grassland type to another and from year to year being in the range of 5—12.

The soil-vegetation components of the grassland were divided into six compartments: the soil, the living shoot, the standing dead, the litter, the living root and the dead root compartment. It was found that the largest amount of nutrient elements existed in the soil compartments. In 1985, only 3.74% of the N and 8.89% of the C in A. C. S., and 5.78% of the N and 13.9% of the C in S. G. S. were found in the organo-systems, 99% of the P, K, Ca and Mg were found in the soil compartments. And the largest amount of the nutrients in the organo-systems were found in the under-ground plant compartments. The compartments of litter and the standing dead

had the least amount of nutrient elements stored. The order of nutrient element contents in the grassland ecosystems was as follows:  $K > C > Ca > Mg > N > P$  in A.C.S. and  $Ca > K > C > Mg > N > P$  in S. G. S.

The amount of litter formed from 1985—1986 was  $234.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in A. C. S. and  $88.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in S. G. S.. The amount of litter disappeared in the same period was  $219.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  and  $91.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  respectively. By assuming that 30% of the root biomass was dead root and that the turnover rate was 0.55 in A. C. S. and 0.49 in S. G. S., it is concluded that the amount of root died in the year was  $1712 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  and the root decomposition rate was  $0.00355 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$  in A. C. S.. In S. G. S., those figures were  $920 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  and  $0.00365 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$  respectively.

Finally, the cycling diagrams of the nutrient elements were given. Amount of N mineralized in A. C. S. was  $316 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ , in which only 7.6% was released by the above-ground litter; it was  $178 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  in S. G. S., in which only 3.9% was released by the above-ground litter. Amount of P mineralized was  $12.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  in A. G. S. and  $6.74 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  in S.G. S., in which only 8.9% and 4.7% were released by the above-ground litter, respectively. It was the root system that acted dominantly in the uptake and release of nutrient elements. The Release/Uptake ratios of nutrients were larger than one, which indicates that the uptake of nutrients from soil was less than the release of nutrients to soil by the organo-systems in the year.