

草原土壤-植被系统中硅、铝、铁 和锰的循环

张小川 蔡蔚祺 徐琪

(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类典型草原中 Si、Al、Fe 和 Mn 在生态系统各分室中的分配和循环。结果表明,各分室中元素的贮量顺序为: $Si > Al > Fe > Mn$, 且其贮量在年度之间有变动。草原生态系统中元素的很小一部分贮存于生物系统中, 而生物系统中元素的绝大部分贮存于根系中。内蒙古锡林河流域两类草原生态系统经过一年的运转, 输出量大于输入量, 生物系统中大部分元素的贮量减少。

各元素在生态系统各分室间的循环量大小顺序与其贮量大小顺序相符。生物活体对 Si、Al、Fe 和 Mn 的年总吸收量在羊草草原分别为 28.8、5.19、3.15 和 $0.188g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 在大针茅草原分别为 13.4、2.27、1.14 和 $0.0567g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 生态系统中元素的年矿化量在羊草草原分别为 94.1、16.1、10.5 和 $0.39g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 在大针茅草原分别为 57.3、9.12、5.24 和 $0.157g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ 。释放/吸收比大于 1。

关键词: 干草原, 土壤植被系统, 物质分配, 元素循环, 吸收, 释放。

世界草原面积约为 3300 万平方公里, 占陆地面积的 25%^[1]。我国有草原面积 43 亿亩, 另有草山草坡 10 多亿亩^[2]。可见, 草原生态系统功能的正常发挥, 对维持全球及区域性生态平衡有极其重要的作用。

草原生态系统中营养物质的循环, 主要在土壤和动植物之间进行。对这些过程的研究, 是草原生态系统功能研究的重要内容^[3]。从 1964 年开始的国际生物学规划 (IBP), 强调了生物量的观点, 从而促进了有关草原生态系统生产力和营养物质循环的研究。国外对这方面的研究较多^[7-10, 12-16]。我国北方半干旱草原生态系统中的营养物质循环的研究较少^[2]。

本文试图应用生态系统分室模型理论来研究内蒙古锡林河流域羊草——小禾草草原和大针茅——杂类草草原中 Si、Al、Fe 和 Mn 等元素的循环, 确定元素在生态系统各分室中的贮量和其在各流动途径中的数量, 为了解各成分之间相互作用的实质及各分室在物质循环中的作用提供科学资料。

材 料 与 方 法

本工作在中国科学院内蒙古草原生态系统定位站设立的两块永久样地内进行, 分别代表构成典型干草原的主体的羊草 (*Aneurolepidium chinense*) 草原和大针茅 (*Stipa grandis*) 草原。

研究地区气候属半干旱草原气候。年平均温度约 $-0.4^{\circ}C$, 最冷月 (1 月) 平均温度为 $-22.3^{\circ}C$, 最热月 (7 月) 平均温度为 $18.8^{\circ}C$ 。无霜期约 100 天, 草原植物生长期约 150 天。

本文于 1988 年 1 月 5 日收到。

年降雨量350mm左右,其中约80%集中于6—9月降落。

羊草草原样地设在海拔1200—1250m缓丘的中部。分布的土壤为暗栗钙土。大针茅草原样地设在海拔约1130m的一级玄武岩台地上,台面平坦,分布的土壤为典型栗钙土^[6]。

于1985年夏季,植物地上部分生物量达到最大时期,用收割法(1m²样方,4—5次重复)测定两类草原地上部分生物量,并采集植物样品,65—80℃烘干称重。同时用壕沟法取土,用40目筛子在水中冲洗,测定地下部分生物量。并同时采集土壤剖面样品。

用同样的方法于1986年7月至9月间,每隔半个月左右一次,分4—5次测定了两类草原生态系统地上部分的生物量。在与1985年相应时期,测定一次地下部分生物量。最后根据根系生物量的周转率估算地下部分的年生产力。

土壤和植物样品经处理备用。土壤和植物样品中有机质、全氮和硅的含量的测定皆用常规方法^[4]。其余金属元素含量的测定用等离子体发射光谱法。

结 果 与 讨 论

1. 草原土壤-植被系统的特点

本文所研究的栗钙土,是北方半干旱草原区的地带性土壤,其机械组成(国际制)以细砂(0.2—0.02mm)部分占优势,在羊草草原一般达73%以上,在大针茅草原为63%以上。后者2—0.2mm的粗砂粘粒含量比重较大。两者的粘粒(<0.002mm)组成在16%以下。

两类草原类型下土壤皆显石灰性,以表层的pH值稍低。有机质、全氮、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO的含量均以羊草草原大于大针茅草原。羊草草原土壤未见母质层;大针茅草原样地在94cm以下为母质层。母质层中各元素的含量与其上各层有较大差别,这是成土作用和草原植被生物累积作用造成的(表1)。

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

草原类型	深度 (cm)	pH 1:2.5 0.01mol CaCl ₂	有机质 %	全 氮 %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %
羊 草 草 原	0—15	6.57	6.34	0.191	68.65	13.71	3.27	0.091
	15—25	6.87	1.97	0.119	73.73	13.51	2.57	0.070
	25—50	7.14	1.49	0.096	74.64	13.60	2.63	0.059
	55—70	7.84	1.25	0.077	74.52	13.70	2.65	0.059
	85—100	7.94	1.03	0.062	74.12	13.97	2.78	0.067
	>110	8.14	0.48	0.032	70.76	13.13	2.36	0.059
大 针 茅 草 原	0—14	7.75	3.18	0.150	73.20	12.98	2.73	0.075
	14—35	7.89	2.04	0.120	71.33	13.06	2.80	0.068
	35—60	8.00	1.27	0.073	55.55	13.01	2.89	0.072
	50—84	8.15	0.42	0.022	59.94	13.18	2.78	0.077
	>94	8.22	0.12	0.006	82.78	9.25	1.18	0.029

据两年的调查结果, 在羊草原样地出现14个科38种植物, 在大针茅草原出现15个科34种植物, 出现的植物种数以在羊草原较多。群落地上部分的总生物量及残落物的生物量以羊草原样地较大, 立枯的生物量以大针茅草原样地较高(表2)。

以两年的测定结果表明, 羊草原地下部分生物量分别为2837(0—100cm)、

1627(0—70cm) $g \cdot m^{-2}$; 在大针茅草原分别为1596(0—100cm)、870(0—70cm) $g \cdot m^{-2}$ 。根系的生物量在羊草原较大, 这可能与羊草原样地土层较深厚, 剖面中无明显的钙积层等障碍性层次及土壤中营养元素的含量较高有关。两类草原地下部分的生物量为地上部分的5—12倍(即根/冠比)。

2. 诸元素在生态系统各分室中的分配

本文将土壤-植被系统划分为六个分室: 地上活体、立枯、残落物、地下活根、死根及土壤分室等。由于区分活根和死根较困难, 在讨论营养元素在土壤-植被系统的分配时, 只讨论了活根和死根的总和, 即根系分室。而在讨论物质循环时, 则根据前人的工作结果和地下部分的动态性质, 将活根和死根区分开来讨论。表3给出了营养元素在草原土壤-植被系统间的分配。Si、Al、Fe和Mn在两类草原生态系统、土壤及生物系统各分室中, 一般以硅的贮量最大, 铝的贮量次之, 铁和锰的贮量最小。这表明诸元素在土壤和植物系统各分室中的贮量顺序具有同一性的特点。

诸元素在不同分室之间的贮量在年度之间有变动。除大针茅草原中的铝外, 两类草原地上活体中诸元素的贮量以1986年的值大于1985年的值, 即1986年地上部分对土壤中元素的吸收较多。羊草原立枯分室中元素的贮量以1985年的值较大, 表明进入1985年以后, 立枯分室中元素的归还量大于立枯形成中元素输入的量; 而在大针茅草原中结果正相反。残落物分室中元素的贮量在两类生态系统均以1986年的值较大(大针茅草原中的Mn例外), 这是一年中从残落物矿化释放的元素量小于残落物形成中元素的输入量的缘故。由于通过死根矿化向土壤中元素的归还量大于死根形成中元素的输入量, 因此两类草原生态系统根系中元素的贮量以第一年的值大于第二年的值。生物系统和土壤-植被系统中诸元素的贮量均以第一年的值较大, 这是生物系统诸分室变化的总结果。

把生物系统中元素的贮量作为100%, 则可知1985年羊草原中Si、Al、Fe和Mn的97.3%、97.0%、98.5%和96.2%贮存于根系分室中; 大针茅草原根系中诸元素的贮量分别为生物系统中贮量的98.5%、99.1%、99.5%和98.7%。1986年根系中元素的贮量比例较1985年低, 但仍表明生物系统中元素的绝大部分贮存于根系分室中, 地上活体、立枯和残落物等分室中元素贮量只占生物系统中元素贮量的很小一部分。羊草原中, Si、Al和Fe的贮量均以:

残落物分室 > 地上活体分室 > 立枯分室; Mn的贮量在两年中均以:

地上活体 > 残落物 > 立枯分室。

在大针茅草原, Si和Al在1985年, Mn在1985年、1986年两年中的分配型式均是:

表2 两类草原地上部分生物量($g \cdot m^{-2}$)

Table 2 Above-ground biomasses of two grasslands

项 目	羊 草 草 原		大 针 茅 草 原	
	1985	1986	1985	1986
绿色体总量	210.13	203.5	141.48	171.11
立 枯	42.74	18.25	72.03	126.09
残 落 物	83.67	98.70	25.82	23.16

表 3 元素在生态系统各分室中的分配($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
Table 3 Allocation of elements among compartments of the ecosystems

草原类型	分室	Si	Al	Fe	Mn
羊 草 原	地上活体	1.77* 2.30	0.106 0.129	0.088 0.108	0.0132 0.0151
	立 枯	0.705 0.427	0.0855 0.0458	0.0598 0.0475	0.0021 0.00148
	残 落 物	2.84 3.67	0.377 0.484	0.192 0.681	0.0109 0.0138
	根 系	183 45.8	19.7 9.17	19.1 5.40	0.657 0.298
	生物系统 之 和	188 52.0	20.3 9.81	19.4 8.24	0.883 0.328
	土 壤	412740 412740	87000 87000	23148 23148	670 670
	生态系统 之 和	412928 412729	87020 87010	23167 23154	671 670.3
大 针 茅 草 原	地上活体	1.19 1.92	0.168 0.131	0.0184 0.0246	0.0064 0.0081
	立 枯	0.904 1.95	0.0948 0.227	0.0591 0.123	0.00226 0.00685
	残 落 物	0.615 0.778	0.0748 0.0834	0.0491 0.0802	0.00196 0.00184
	根 系	198 22.1	32.3 4.35	21.4 2.28	0.858 0.0971
	生物系统 之 和	201 28.7	32.6 4.80	21.5 2.49	0.867 0.113
	土 壤	390132 390132	83129 83129	23520 23520	884 884
	生态系统 之 和	390333 390159	83126 83134	23542 23522	885 884.1

*: 线上为1985年的测定值, 线下为1986年测定值。

*: Figures above the lines were got in 1985 and those below the lines were got in 1986.

程中的某一时刻各分室中贮存的化学元素的数量。这些元素在分室与分室之间的转移, 彼此连接起来就是物质流动或称为物质循环^[1]。Si、Al、Fe和Mn的循环都是沉积型循环, 主要蓄库是岩石圈和土壤圈, 与大气圈几乎无关。草原生态系统中营养元素的收支估算受到许多因素的影响, 但考虑到输入(主要是降雨)和输出(主要是流失、淋失等)数量很小且基本相抵, 本文主要讨论元素在各室之间的循环。

由表4可知, 两类草原生态系统对元素的总吸收量、归还量或存留量的绝对值均依Si>Al>Fe>Mn的顺序, 这主要是由元素的含量大小顺序决定的。尽管土壤中除Fe以外的元素的含量以羊草草原大于大针茅草原, 但由于羊草草原地上和地下部分生物量较大, 诸元素在生态系统各分室之间的循环量无一例外地都以羊草草原大于大针茅草原。

根据计算结果可以得到元素在各分室之间的循环图(图1和图2)。元素循环方向指示线上的值为元素的循环量, 框内数值为该分室中各元素的流入和流出的平衡值。框内数值大于零,

地上活体>立枯>残落物分室。
Si和Al在1986年的分配型式是:

立枯>地上活体>残落物分室,
Fe在两年中的分配型式均是:

立枯>残落物>地上活体分室。
这种分配型式是由生态系统的组成结构和各组分中元素的含量的变动所决定的。

把生态系统中元素的总贮量作为100%, 则可知1985年羊草草原中Si、Al、Fe和Mn的99.95%、99.98%、99.92%和99.85%贮存于土壤库中; 在大针茅草原分别为: 99.95%、99.96%、99.91%和99.85%。各元素在生物系统中所占比重极小, 两年的测定结果相同。因此, 土壤库在生态系统物质循环过程中起十分重要的作用, 是营养元素的主要贮存库和流通枢纽。由于生态系统中元素的绝大部分贮存在土壤库中, 因此生态系统中元素的含量不会因生物系统或其中某分室中元素含量的变化而有剧烈变化, 这对于维持生态系统的稳定性有极其重要的意义。土壤库中元素的贮量, 特别是有效养分元素的贮量, 会在一定程度上影响生态系统可以支持的生物系统的大小, 影响生态系统的某些功能特点。

3. 元素在生态系统各分室间的循环

营养元素的分配, 表示在物质循环过程

表示经过一年的循环，该分室中元素的贮量增加，否则贮量减少。由图可知，两类草原地上活体吸收的元素在生长季节末或部分转入地下根系中贮存，或全部转入立枯分室中。在羊草草原的立枯、残落物和地下根系诸分室中，四元素的贮量均减少，而在土壤分室中的贮量增加，贮量变化最大的是元素 Si。在大针茅草原除 Mn 在立枯分室中的贮量稍有增加外，在生物

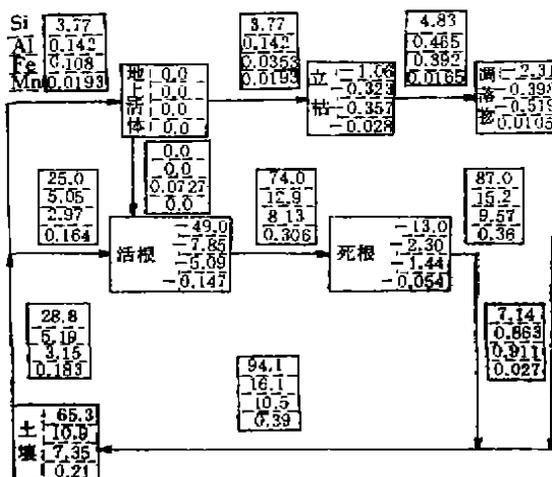


图1 羊草草原生态系统中Si、Al、Fe、Mn的循环
Fig.1 Cycling of elements in *Aneurolepidium chinense* ecosystem

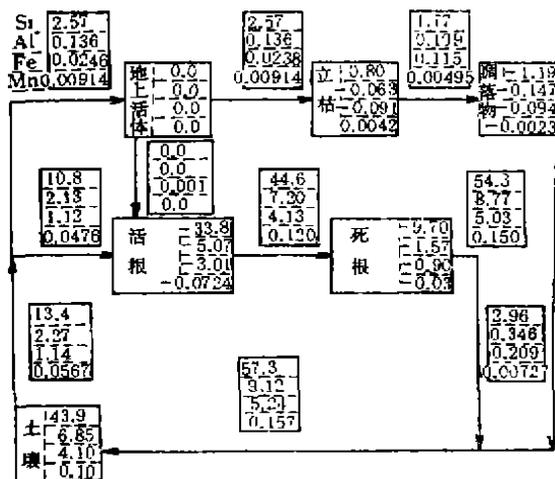


图2 大针茅草原生态系统中Si、Al、Fe和Mn的循环
Fig.2 Cycling of elements in *Stipa grandis* ecosystem

表4 元素在生态系统各分室之间的循环(g·m⁻²·a⁻¹)

Table 4 Flow of elements among compartments of the ecosystems

项目	元素	Si	Al	Fe	Mn
①净总吸收量		28.8*	5.19	3.15	0.183
		13.4	2.27	1.14	0.0567
②从活体转移至死体总量		77.8	13.0	8.17	0.325
		47.2	7.34	4.15	0.129
③有留量 = ① - ②		-49.0	-7.81	-5.02	-0.142
		-33.8	-5.07	-3.01	-0.0723
④矿化量		94.1	16.1	10.5	0.39
		57.3	9.12	5.24	0.157
⑤释放/吸收比 = ④/①		3.26	3.10	3.33	2.13
		4.28	4.02	4.60	2.77

*: 线上为羊草草原的值, 线下为大针茅草原的值。

系统诸分室中的贮量均减少，土壤分室中的贮量增加。

生态系统中元素的释放/吸收比可以反映元素的平衡状况。经过一年的运转，两类草原生态系统中诸元素的矿化量（释放量）均大于被地上、地下部分吸收的量，释放/吸收比大于1（表4），表明输出生物系统的营养元素量超过了输入的量，输入和输出之间没有达到平衡。存留量为负值，表明活有机体（主要是地下根系）中的元素贮量减少。

由于地下部分生物量远大于地上部分生物量，决定了地上部分在生物系统的物质循环中所做的贡献较小（表5）。被地上部分吸收量占总吸收量的比例以Si和Mn的值较大，在羊草草原为13.1%和10.5%，在大针茅草原为19.2%和16.1%，Al和

表5 草原生态系统中元素循环行为的比较
Table 5 Comparison of the functions of the compartments in the cycling of elements

草原类型	地上部分吸收量 占总吸收量(%)				通过凋落物的归还 量占总归还量(%)			
	Si	Al	Fe	Mn	Si	Al	Fe	Mn
羊草草原	13.12	7.43	3.43	10.5	7.5	5.6	8.9	7.7
大针茅草原	19.25	9.99	2.16	16.1	6.2	3.8	4.0	4.5

Fe的相应值在两类草原均不足10%。诸元素的总归还量中,通过地上凋落物归还的比例在两类草原均不足10%。尽管如此,地上部分在提供第二性生产力方面却起着关键性的作用。如能通过施肥、灌水等措施提高地上部分的第一性生产力,或在不增加草原总第一性生产力的情况下,调整地上、地下生物量之间的比例,以增加地上部分的第一性生产力,对提高草原的第二性生产力和发挥草原生态系统的功能,具有十分重要的意义。

高质量的草原土壤除有维持草原生态系统的稳定作用外,研究结果还表明,无论是在生物量大小上,还是在元素的贮量和物质的周转量大小上,草原植物地下部分比地上部分起更大的作用。在干草原地带,水分常常成为提高草原生态系统第一性生产力的限制因素。而非非常强大(生物量)和密集分布的根系系统,对于克服这些逆境条件,从而获得高的第一性生产力,具有十分重要的意义。

但是,至今为止,地下部分的行为在很大程度上还是未知领域。环境条件如何影响根系生物量、因子之间如何相互作用及控制根系的生长,地上和地下部分间的相互作用及地下部分和土壤之间的相互作用等方面,还有许多问题有待深入研究。解决这些问题,对于草原生态系统的保护和第一性生产力的提高,具有重要的理论意义和现实意义。

参 考 文 献

- [1] 云南大学生物系编, 1982, 《植物生态学》, 第302—326页, 人民教育出版社。
- [2] 陈佐忠等, 1985, 内蒙古锡林河流域12种植物的元素化学特征, 草原生态系统研究, (1), 112—113页, 科学出版社。
- [3] 朔自治等编, 1982, 中国草原资源及其培育利用, 第1—10页, 农业出版社。
- [4] 南京土壤所主编, 1978, 《土壤理化分析》, 第62—71, 142—156, 237—247, 235—361页, 上海科学技术出版社。
- [5] 姜 恕, 1985, 中国科学院内蒙古草原生态系统定位的建立和研究工作概述, 草原生态系统研究, (1), 1—11页, 科学出版社。
- [6] 徐 琪, 1982, 土壤生态系统的特点及其研究进展, 土壤学进展, (4), 1—13页。
- [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] Bulow-Olsen, A., 1980, Nutrient cycling in grassland dominated by *Deschampsia flexuosa*(L.) Trin. and grazed by nursing cows. *Agro-Ecosystems*, 3(6):206—220.
- [9] Coupland R.T., (ed.) 1979, *Grassland ecosystem of the world: analysis of grassland and their uses*. Cambridge Univ. Press.
- [10] 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.
- [11] French, N.R., (ed.) 1979, *Perspectives in grassland ecology*. Springer-Verlag.
- [12] Innis, G.S., 1978, *Grassland Simulation model*. Springer-Verlag.
- [13] Jones, M.B. et al., 1979, Biogeochemical cycling in annual grassland ecosystems. *Botanical Review*, 45(2):111—144.
- [14] Tiwari, S.C., 1985, Cycling of nitrogen in soil-vegetation components of grasslands in Garhwal Himalayas. *J. of the Indian Soc. of Soil Sci.*, 33(3):565—560.
- [15] West, N.E. et al. 1984, Comparison of P distribution and cycling between adjacent native semidesert shrub, and cultivated grass-dominated ecosystems. *Plant and Soil*, 81(2):151—164.
- [16] Yadava, P.S. 1980, Distribution and cycling of nitrogen in soil-vegetation components of a tropical grassland. *Tropical Ecology*, 21(1):24—31.

CYCLING OF SILICON, ALUMINIUM, IRON AND MANGANESE IN GRASSLAND SOIL-VEGETATION COMPONENTS

Zhang Xiaochuan Cai Weiqi Xu Qi
(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

The allocation and cycling of Si, Al, Fe and Mn among compartments of two typical grassland ecosystems in Xilin River Basin, Inner-Mongolia, were studied in this paper. The results showed that the order of the amount of elements stored in the compartments of the two ecosystems was: Si > Al > Fe > Mn, and that the amount of elements stored in the compartments was different from year to year. It was found that only a few amount of the elements in the ecosystem was stored in the organo-systems, moreover, most of which was stored in the roots. The output was larger than the input in the year so that the amount of elements stored in the organo-systems was decreased eventually.

The amount of elements cycling between the compartments was in the same order as that of the amount of elements stored. The annual total uptake by living plants of *Aneurolepidium chinense* steppe were $28.8\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $5.19\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $3.15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $0.183\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ for Si, Al, Fe and Mn, respectively, and those of *Stipa grandis* steppe were $13.4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $2.27\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $1.14\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, and $0.0567\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ for Si, Al, Fe, and Mn, respectively. The annual total release in A. C. S. were $94.1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $16.1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $10.5\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $0.39\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ for Si, Al, Fe, and Mn, respectively, in S. G. S. those figures were $57.3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $9.12\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, $5.24\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $0.157\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively. The release/uptake ratios of all the elements in the two ecosystems were larger than one, which indicated that releases exceeded uptakes by 2 to 4.6 times.

Key words: grassland ecosystem, soil-vegetation component, allocation, cycling of element, release, uptake.