

草原土壤—植物系统间元素的交换

张小川 蔡蔚祺 徐 琪

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文运用生态系统观点,研究了内蒙古锡林河流域两类草原地上部分生物量的增长过程和植物对土壤中营养元素的吸收规律,并对植物体中元素的释放归还特点,作了一些探讨。

研究生态系统中物质的循环,历来是生态学工作者重要的课题之一。无论是在农田、森林生态系统^[1,2],还是在草地生态系统^[3],都进行了大量的工作,并对物质在各系统中的运动规律有了一定的认识。

土壤—植物系统间营养元素的交换,是土壤和植物系统相互作用的一个极其重要的方面,构成生态系统中物质循环的主要途径。因此,研究土壤—植物系统间营养元素的交换,对于揭示生态系统中物质的运动规律,完善物质循环模型,具有重要意义。

一、材料与方法

研究工作在中国科学院内蒙古草原生态系统定位站的两块永久性围栏样地——羊草、小禾草草原(简称羊草草原)样地和大针茅杂类草草原(简称大针茅草原)样地^[4]内完成。

(一)生物量的测定 为了研究植物地上部分吸收土壤中营养元素的动态,于1986年7月上旬(植物大量吸收营养元素时期)至9月下旬(植物基本停止吸收土壤中营养元素并枯死凋落),分4~5次测定了二个样地地上部分的生物量。植物地上部分生物量的测定采用样方收割法(1 m²样方,5次重复)。在野外随机地于固定的样地内布置样方,按植物种类,齐地面剪下,经室内整理,烘干称重,计算得各个植物的生物量。在分析植物体中元素的含量时,依植物种在生态系统中的重要性或按科划分成几个组,并依此结果计算草原植物地上部分对土壤中元素的吸收量,讨论其吸收作用的特点。

在每次测定地上部分生物量的同时,计测草原生态系统中立枯和凋落物的量,并作相应的化学元素含量分析。

(二)植物体中元素含量的测定 植物样品经粉碎后过35目筛子备用。有机碳的测定用重铬酸钾法,全氮的测定用硫酸—重铬酸钾法。其余元素含量的测定,将植物样品用三酸(硫酸、硝酸和高氯酸)消化,制成系统分析待测液,用重量法测定硅的含量,用等离子发射光谱法测定所有其它元素的含量^[5]。

二、结果与讨论

(一)植物地上部分生物量增长动态

草原生态系统中植物种类组成及其生物量有明显的季节性和年度间的变动,这是由特定

的环境条件和其组成特点决定的。为了便于比较和显示出优势种的作用和其在系统功能中的特殊地位，将草原植物地上部分分成几个组分(表1和表2)。

李月树等(1983)认为^[6]，影响羊草草原地上部分总生物量的限制因素是生长季节前期的降水量。当然，营养元素的缺乏，尤其是草原生态系统中的关键性元素——氮素的缺乏，也严重地影响植物的生长。草原生态系统生产力的季节性动态，主要受植物群落的发育节律和环境条件所控制。各个植物种在群落生产力中的作用，与其个体的盖度、密度、高度和频度等直接有关。群落组成和结构空间分布的异质性，会使在不同地段测得的生物量有较大的差异^[7]。但是，多点测定的平均值，可以提供一个生物量动态过程的概略情况。

从表1可知，羊草草原地上部分的最大生物量，一般出现在8月2日和8月31日这两次测定时，只有“羊草”和“豆科植物”两组分为例外。群落地上部分最大生物量的出现时期与各个组分各别最大生物量的出现时期不同。从计算结果可知，羊草的地上部分生物量在群落地上部分总生物量中所占比重约在30%左右。由于从7月10日至8月2日之间，“菊科”及“其它”组分生物量的比重增大，8月2日测定时“羊草”的生物量所占比重比其它几次测定时为小。一般说来，各组分的生物量在整个群落中所占的比例变化不大。

从表1还可以知道，羊草草原大多数组分的最大增长速率出现在第一次测定的时候，其后增长速率降低较大或出现负的增长速率。“羊草”单种生物量的增长速率在7月后半月出现最大值，为 $1.0\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ，并且其生物量在整个测定时期内表现出持续增长。群落的最大增长速率也出现于7月10日至8月2日之间，达 $4.43\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。“豆科植物”这一组分比较特别，它的生物量在整个测定时期都表现出持续增长，且最大增长速率出现在8月31日至9月22日期间，即在大部分植物都基本停止生长这段时期内，表明豆科植物的快速生长时期出现较晚。

大针茅草原的情况与在羊草草原有些差别(表2)。各组分地上部分的最大生物量出现较晚。大针茅和其它禾本科植物及群落总生物量的最大值均出现在9月22日。优势种大针茅在群落地上部分总生物量中所占比例有随着植物的生长而逐渐增高的趋势，一般在70%以上，因而其它禾本科植物和杂类草的生物量在群落地上部分总生物量中所占的比例较小。群落的外貌及生态系统的一些功能主要由大针茅在其中的作用所决定。

表1 羊草草原地上部分生物量及其增长速率

组 分	生物量 (g/m^2)				增长速率($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$)		
	7月10日	8月2日	8月31日	9月22日	23**	29	22
					7月10日至 8月2日	8月2日至 8月31日	8月31日至 9月22日
羊 草	30.7	53.6	75.5	80.4*	1.00*	0.76	0.22
大 针 茅	11.8	25.4	40.6*	17.3	0.59*	0.53	-1.06
冰 草	19.8	26.9	37.6*	30.9	0.31	0.37*	-0.30
禾 本 科	9.80	12.1	32.4*	29.3	0.10	0.70*	-0.14
黄囊苔草	3.94	7.01*	5.05	4.39	0.13*	-0.07	-0.03
豆 科	5.83	6.40	9.67	20.1*	0.03	0.11	0.47*
菊 科	13.2	38.7*	18.9	27.8	1.11*	-0.68	0.41
其 它	6.65	33.4*	28.1	31.2	1.16*	-0.18	0.14
总 量	101.7	203.5	247.8*	241.2	4.43*	1.53	-0.30

*: 为最大生物量和生物量最大增长速率出现时期; **: 取样间隔时间(天)。

表2

大针茅草原植物地上部分生物量及其增长速率

组 分	生物量 (g/m ²)					增长速率(g/m ² ·d)			
	7月11日	8月1日	8月18日	9月2日	9月22日	21**	17	15	20
						7月11日至 8月1日	8月1日至 8月18日	8月18日至 9月2日	9月2日至 9月22日
大针茅	65.8	129.4	118.2	121.9	145.0*	3.03*	-0.66	0.24	1.15
禾本科	7.23	13.0	18.0	11.5	18.3*	0.27	0.30	-0.44	0.34*
菊科	14.7	21.1	16.1	28.8*	14.1	0.30	-0.29	0.85*	-0.74
其它	16.5	12.5	18.8*	8.94	11.0	-0.19	0.37*	-0.66	0.10
总量	104.3	176.0	171.0	171.0	188.0*	3.42*	-0.29	0.0	0.86

*、**：同表1。

表2的结果表明，构成大针茅草原主体的大针茅的生物量的增长速率也在7月后半月出现最大值，为3.03g/m²·d，比同时期羊草草原中羊草的增长速率为大。同期内群落生物量增长速率却为3.42g/m²·d，比羊草草原群落为低。可能由于后期降雨较多的关系，在最后的测定时期，两个群落中个别组分的生物量仍表现出正的增长速率。

(二)植物对土壤中元素的动态吸收

根据上述两个草原各种植物的地上部分生物量和植物体中元素的浓度，可换算得各时期植物群落地上部分中元素的含量(g/m²，下同)和元素含量在不同时段的增长速率(表3，表4)。

从表3可以看出，虽然计算元素在各个时期的含量，是以群落总生物量为基础计算的，但在羊草草原群落地上部分中元素含量最大值的出现时期在各个元素间不一致。前面提到各组分的增长节律不同，从这里可知，群落对各个元素的吸收节律也不一样。而且，群落中各元素的最大含量的出现时间与群落地上部分最大生物量的出现时间也不一致。前者分别出现在8月2日和9月22日，而后者出现在8月31日。这是一个很有趣的现象，表明植物地上部分生物量达到最大值时，植物对土壤中元素的吸收未必也达到了极大值。

在羊草草原，群落地上部分对各元素的最大吸收速率都出现在测定初期(7月10日至8月2日)。除其中Al和Mn的含量在此后还持续有增长，其余元素先后出现负的吸收速率。植物体中金属元素含量的减少，可能是它们从地上部分向地下部分转移的结果。至于植物体中氮素的含量，以多少比例转移地下，以多少比例从植物体中输入大气层及其它组分，值得深入研究。

从表4可知，大针茅草原群落地上部分中各元素含量最大值出现的时间也不一样，但有几个元素的最大含量与群落地上部分最大生物量同期出现(9月22日)。群落地上部分对各元素的最大吸收速率也大都出现在测定的早期。比较特别的一点是，最大吸收速率出现后，地上部分生物量中氮的含量的降低速率比在羊草草原小得多。这可能与羊草草原植物生物量中C/N较小有关。羊草草原地上部分植物体的C/N平均为21—25，而在大针茅草原平均为29左右。这样，在生长后期可以从大针茅草原地上植物体中以生理转移或物理的、化学的方式转移的氮素就比在羊草草原少得多，因而不可能出现很高的氮素减少速率。

(三)植物体衰老和降解过程中元素含量的变化

植物对土壤中营养元素的最大吸收量和吸收速率(元素含量增长速率)，是土壤—植物系

表3 羊草草原植物群落地上部分中元素的含量及其增长速率

元 素	元 素 含 量 (mg/m ²)				增 长 速 率 (mg/m ² ·d)		
	7 月10日	8 月 2 日	8 月31日	9 月22日	23**	29	22
					7 月10日至 8 月 2 日	8 月 2 日至 8 月31日	8 月31日至 9 月22日
N	2572	4590*	4556	3537	87.7*	-1.17	-46.3
Si	882	2300	3310	3770*	61.7*	34.8	15.9
Ca	812	2120	2110	2570*	56.9*	-0.34	15.9
Al	62.8	129	131	142*	2.88*	0.069	0.38
P	159	355*	309	135	8.52*	-1.59	-6.0
Fe	15.7	108*	25.6	35.3	4.01*	-2.84	0.33
Mn	5.29	15.1	17.4	19.3*	0.43*	0.079	0.066
Mg	173	413*	376	367	10.4*	-1.28	-0.31
K	1950	4690*	4170	3040	119*	-1.79	-39.0

*:元素含量或其增长速率的最大值。**:取样间隔天数。

表4 大针茅草原植物群落地上部分中元素的含量及其增长速率

元 素	元 素 含 量 (mg/m ²)					增 长 速 率 (mg/m ² ·d)			
	7 月11日	8 月 1 日	8 月18日	9 月 2 日	9 月22日	21**	17	15	20
						7 月11日至 8 月 1 日	8 月 1 日至 8 月18日	8 月18日至 9 月 2 日	9 月 2 日至 9 月22日
N	1731	2434*	2406	2177	1967	33.5*	-1.65	-15.3	-10.5
Si	867	1790	1920	2010	2570*	44.0*	7.65	5.29	32.9
Ca	759	1140	1260	1360*	1250	18.1*	7.06	5.88	-6.47
Al	56.5	114	131	80.3	136*	2.74	1.00	-2.98	3.28*
P	94.4	185	192*	153	92.6	4.31*	0.41	-2.29	-3.55
Fe	23.2	22.2	24.6*	22.4	23.8	-0.048	0.14*	-0.13	0.082
Mn	3.17	8.13	8.13	7.0	9.14*	0.24*	0.0	-0.066	0.13
Mg	128	186	207*	201	187	2.76*	1.24	-0.35	-0.82
K	1240	2180*	1920	1350	1270	44.8*	-15.3	-33.5	-4.71

*, **:同表3。

统间元素交换的一个方面。下面试图通过分析植物体衰老和降解过程中元素含量的特征性变化,来讨论土壤—植物系统间元素交换的另一个方面,即植物体中元素的释放和归还土壤。

植物在内部生理机制控制下或外部环境条件的影响下,在植物体凋落和降解过程中,元素的含量表现出一定的特征性变化。以残落物中某元素的含量为基础,求得该元素在其它组分中的比值,由此得出各元素含量在3个阶段(绿色植物体、立枯和残落物)间的变化图式(图1)。

将各种变化型式下出现的元素归纳于表5。可见,从绿色植物转变至立枯再到残落物阶段,大多数元素含量的变化型式是从高到低再升高(N、P、K、Ca和Mg),其次是逐渐升高型(Si、Al、Fe和Mn),C的含量的变化型式不太规则。研究表明,大部分元素的含量在不同年份之间的变化型式相同,表明这些元素含量的变化型式有一定的规律性。

立枯中氮的含量比在绿色植物体中有较大的降低,可能与植物枯死前氮素大量向地下根系转移有关,磷的变化也是如此[8]。从立枯到残落物阶段,氮的含量又增加。而植物体从活

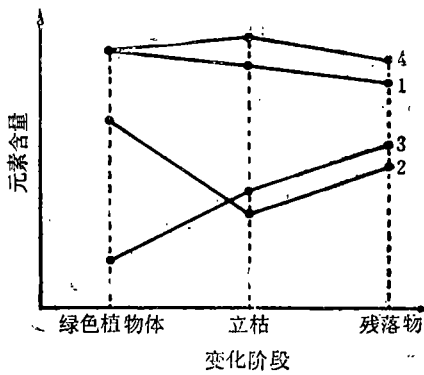


图1 植物体元素含量在3个阶段中的4种变化图式(概念模型)

和 Mg 等元素含量的降低,还可能与生长后期某些植物种子掉落有关。植物种子中这些元素的含量一般都比较高[11]。

表5 植物体中元素含量在三个阶段中的变化型式

植被类型	1	2	3	4
羊草草原		N、P、K、Ca、Mg	Si、Al、Fe、Mn	C
大针茅草原	C	N、P、K、Ca、Mg	Si、Al、Fe、Mn	

的速度有差别。某些元素归还土壤的速度慢,当生态系统中有立枯和凋落物大量积累时,这些元素也被积累起来,可能影响其在土壤中的有效性和周转。这是我们在管理生态系统时必须加以考虑的。

体转变至残落物(经立枯)过程中, C 的含量逐渐降低。这说明在凋落物分解过程中,有机碳因微生物呼吸作用而被释放,氮素则可在分解有机物料的微生物体中积累而损失较慢[9]。Mishra (1979)认为,从地上活体转变至残落物时,植物体中氮的含量减少,可能是由于植物体被风化或遭淋失所引起,或与枯死前氮素在体内生理转移有关。Ca、Mg 和 K 等金属元素在植物衰老过程中含量的降低,可能是其在植物生长后期遭雨水淋洗所致[8],这与 N 和 P 的变化原因有所不同。另外,植物衰老后体内 N、P、K、Ca

和 Mg 等元素含量的降低,还可能与生长后期某些植物种子掉落有关。植物种子中这些元素的含量一般都比较高[11]。

Si、Al和Fe 的含量变化型式说明,这几个元素在植物衰老前既很少向地下部分转移,在凋落物分解过程中也很少损失。因此,在转变过程中植物体内元素含量逐渐增加。这可能与这几个元素在植物体内的移动性差有关,随着有机碳的逐渐释放,它们在残落物中逐渐富集。

由此可见,各元素从植物体释放至土壤

参 考 文 献

- [1] Clark, F. E. et al. (eds.), Terrestrial nitrogen cycles, Ecol. Bull. (Stockholm) Vol. 33, 1981.
- [2] Frissel, M. J. (ed.), Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems. Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
- [3] Coupland, R. T. (ed.), Grassland ecosystems of the world: analysis of grasslands and their uses, Cambridge Univ. Press, 1979.
- [4] 姜恕, 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, 第1期, 1—11, 科学出版社, 1985年。
- [5] 中国科学院南京土壤所, 土壤理化分析, 上海科技出版社, 1978。
- [6] 李月树等, 羊草种群地上部分生物量形成规律的探讨, 植物生态学与地植物学丛刊. 第7卷, 第4期, 1985。
- [7] 王义凤, 内蒙古地区大针茅草原中主要种群生物量季节动态的初步观察, 草原生态系统研究. 第1期, 64—74, 科学出版社, 1985。
- [8] Morton, A. J., J. of Ecology, 65(3) 993—999, 1977.
- [9] Risser, P. G. et al, Ecology, 63(5) 1342—1351, 1982.
- [10] Mishra, L. C., Plant & Soil, 67: (1—3): 305—314, 1979.
- [11] Woodmansee, R. G. et al., Ecology, 21(1) 24—31, 1980.