

建瓯市丘陵山地草地生态系统营养元素循环研究

邓汉明

(建瓯市水土保持办公室, 福建 建瓯 353100)

摘要: 以野外定位试验 3 a 连续观测资料和实验室分析为基础, 从地上部和地下部 2 个角度研究了建瓯市丘陵山地草地生态系统营养元素循环。结果表明, 草地生态系统主要营养元素在土壤分室的总贮量排序为: $Al > Fe > K > Mg > Ca > Zn > N > Mn > P$, 体现了亚热带酸性土壤的化学组成特征; N, P, K 及 Ca 等营养元素循环系数较大, 是草地生态系统物质能量循环过程中的活跃元素, Al, Fe 等土壤中含量较高的元素, 循环系数较小; 揭示了在丘陵山地发展草地生态系统应增加土壤分室 N, P, K 及 Ca 等营养元素的含量和其有效性, 提高土壤分室与植被分室之间营养元素循环通量, 选育适合当地特点的草种, 从而促进水土保持生态系统的建设。

关键词: 山地; 草地生态系统; 养分循环

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)04-0009-04

中图分类号: S812.8

Characteristics of Nutrient Cycling in Mountainous Grassland Ecosystem of Jian'ou City

DENG Han-ming

(The Soil and Water Conservation Office of Jian'ou City, Jian'ou 353100, Fujian Province, China)

Abstract: Based on 3-year continuous field observations and laboratory analyses, the aboveground and the belowground nutrient cyclings were studied in mountainous grassland ecosystem of Jian'ou City. Each kind of nutrient content in the soil followed the order of $Al > Fe > K > Mg > Ca > Zn > N > Mn > P$, it indicated the chemical characteristic of acid soil in the subtropics. The active elements, such as N, P, K and Ca, played an important role in the flows of material and energy because their cycle coefficients were greater than other elements like Al and Fe. In order to develop the mountainous grassland ecosystem, it was the key way to increase contents and availability of N, P, K and Ca in the soil and nutrient fluxes between vegetation and soil. Further, from the point of the soil and water conservation, suitable native grass species can be planted for increasing biomass and surface coverage in grassland ecosystem.

Keywords: mountainous land; grassland ecosystem; nutrient cycling

1 前言

丘陵山地草地生态系统是一个开放的系统, 通过物质与能量的交流达到与外界环境的协调发展, 它应具有持续稳定的营养元素循环, 才能构成一个健康发展的生态系统。本研究把草地生态系统分为土壤和草被 2 个分室, 根据营养元素在 2 个分室中的分配及 2 个分室之间营养元素的通量, 建立丘陵山地草地生态系统营养元素循环之间的方程, 从而分析营养元素对丘陵山地草地生态系统物质生产的制约程度, 提出促进丘陵山地草地生态系统物质生产能力对策。

2 材料与方法

2.1 试验地概况

试验点位于建瓯市牛坑垅丘陵山地草地生态系统营养元素循环研究试验基地 (118°21'E, 27°03'N), 地貌类型为残丘状低丘缓坡地区, 海拔为 140 m。属于亚热带湿润季风气候, 多年平均气温 14℃~20℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 5 966℃, 年均降雨量 1 600 mm。

2.2 试验设计

在福建省亚热带山区, 自然状态下生长的草被更新周期大约为 2~3 a^[1], 为了便于观测研究, 实施 3 a

收稿日期: 2002-10-20

修回日期: 2003-03-15

资助项目: 福建省计委科技攻关项目“南方山地高效农业模式研究与应用”总课题的专题之一(85-001)

作者简介: 邓汉明(1956—), 男(汉族), 福建建瓯人, 农艺师, 主任, 主要从事水土保持管理与科研。电话(0599)3833831, E-mail: Jodhmi@21cn.com。

连续观测试验。从 1993 年开始,布设了以自然坡面为基础的草地生态系统径流小区 6 个,每个小区面积为 $5\text{ m} \times 20\text{ m}$,均为平台处理,坡壁种植宽叶雀稗 (*Paspalum thunbergii*),坡面分别种植圆叶矮冠豆 (*Chamaerista rotundifolia(pers) green*) 和绿心黑豆 (*Glycine maxvar*),均为 2 个重复。

2.3 样方处理

草地群落样方面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$,每种处理进行 4 个重复,用收割法测地上部分生物量鲜重,然后挖深,用 20 目筛在水中冲洗,测定地下部分生物量鲜重,然后在 $85\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温下烘干。经烘干处理后,把地上部、地下部分开,以备样品分析 N, P, K, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Zn 等营养元素之用。

2.4 测定方法

用氯胺法测氮;亚硝酸钴盐容量法测钾、磷;在铬黑 ET-00 指示剂存在下,用特里龙滴定钙、镁总量,用草酸盐形式测定镁;锰采用过硫酸盐光度法测定。铝用铝试剂比色法,锌用双硫脲比色试剂法测定^[2]。

3 结果分析

3.1 营养元素在山区草地生态系统各个分室中分配

草地生态系统包括草被分室和土壤分室,草被又进一步分为地上部分和地下部分,营养元素在草地生态系统各分室中的分配主要依据各分室本身的性质和分室之间相互关系的特点。

表 1 草地生态系统土壤营养元素含量

g/kg

草地群落名称	N	P	K	Al	Fe	Ca	Mg	Mn	Zn
圆叶矮冠豆+宽叶雀稗	0.68	0.25	4.01	52.00	24.50	1.19	2.77	0.34	0.78
绿心黑豆+宽叶雀稗	0.71	0.30	4.44	61.61	29.12	1.10	3.06	0.37	0.73

表 2 草地生态系统土壤分室营养元素总贮存量

kg/hm²

草地群落名称	N	P	K	Al	Fe	Ca	Mg	Mn	Zn
圆叶矮冠豆+宽叶雀稗	1999.2	735.0	11789.4	152880.0	72030.0	3498.6	8143.8	999.6	2293.2
绿心黑豆+宽叶雀稗	2016.4	852.0	12609.6	174972.4	82700.8	3124.0	8690.4	1050.8	2073.2

由表 3 可知:圆叶矮冠豆+宽叶雀稗生物量, K, Al, Fe, Ca, Mn, Zn 含量分别是绿心黑豆+宽叶雀稗的 1.05, 1.31, 1.31, 1.06, 1.30 和 1.15 倍;而 N, P, Mg 含量分别为后者的 92.66%, 74.09% 和 92.25%。在圆叶矮冠豆+宽叶雀稗各营养元素含量顺序为: Al>Ca>K>Mg>Fe>P>Mn>N>Zn; 绿心黑豆+宽叶雀稗顺序则为 Ca>Al>Mg>K>Fe>P>N>Mn>Zn。

3.1.3 山区草地生态系统营养元素的分配特点

3.1.1 山区草地生态系统土壤分室营养元素的总贮存量 由表 1 可知,在土壤分室中,全氮的含量一般为 $0.68 \sim 0.71\text{ g/kg}$, 低于 1.00 g/kg 的土壤氮低肥力指标,土壤中氮肥力较低;土壤全磷含量为 $0.25 \sim 0.30\text{ g/kg}$ 。研究^[3,4]表明,当全磷含量低于 $0.80 \sim 1.00\text{ g/kg}$ 时,土壤磷素供应贫乏;全钾含量为 $4.01 \sim 4.44\text{ g/kg}$,土壤全钾含量低于 10.00 g/kg ,钾元素很难被植物吸收利用,从而制约植物的生长发育;在土壤微量元素含量中,全锰的含量为 $0.34 \sim 0.37\text{ g/kg}$,通常情况下土壤全锰含量变化在 $0.20 \sim 0.30\text{ g/kg}$ 之间^[1];锌的含量为 $0.73 \sim 0.78\text{ g/kg}$,虽然高于 $0.01 \sim 0.30\text{ g/kg}$ 的正常值,但因土壤锌含量过高而引起植物中毒是非常鲜见的^[5]。

由实验数据可知,在草地生态系统中,圆叶矮冠豆+宽叶雀稗,土壤的容重为 1.47 t/m^3 ;绿心黑豆+宽叶雀稗,土壤的容重为 1.42 t/m^3 。因此,根据表 1 的试验结果,草地生态系统土壤分室中的营养元素的总贮存量如表 2 所示。

3.1.2 山区草地生态系统草被分室营养元素的总贮存量 草被分室营养元素的含量既取决于草被自身对营养元素的吸收能力,也决定于土壤供给营养元素的水平,因此,草被的灰分化学组成可以反映出各种草类对于营养元素的需求,通过各草种灰分营养元素的组成求得建瓯市山区草地生态系统草被分室营养元素的总贮存量如表 3。

表 4 可以看出建瓯市牛坑垅试验站山区草地生态系统营养元素在各分室中的分配情况,它具有如下特点:在两个山区草地生态系统中,土壤分室营养元素的总贮存量具有相同的顺序特点,即: Al>Fe>K>Mg>Ca>Zn>N>Mn>P,在土壤分室中 Al, Fe 元素含量较高,而与牧草生长关系密切的 N, P 和 K 元素含量明显偏低,对牧草的生长发育非常不利。山区草地生态系统土壤分室营养元素含量的这种特点体现了亚热带土壤酸性较高的化学组成特征。

土壤分室是山区草地生态系统营养元素的巨大贮存库,其中,圆叶矮冠豆+宽叶雀稗草地生态系统有 99.86%的 K,99.98%的 Al 和 Fe,99.13%的 Ca,99.74%的 Mg,99.67%的 Mn 和 99.93%的 Zn 贮存在土壤分室中;在绿心黑豆+宽叶雀稗的生态系统的土壤分室中集中了系统 99.84%的 N,99.83%的

P,99.96%的 Al 和 Fe,99.08%的 Ca,99.60%的 Mg;99.76%的 Mn 和 99.94%的 Zn,因而,草被吸收的营养元素仅占草地生态系统营养元素总量的不足 1%,数量较小。

草被分室营养元素中 N,P,K,Ca 的含量明显不足,而 Al,Fe 则相对富集。

表 3 草被分室营养元素的总贮存量

kg/hm²

草地生态系统	分室名称	生物量	N	P	K	Al	Fe	Ca	Mg	Mn	Zn	
圆叶矮冠豆+宽叶雀稗	圆叶矮冠豆	地上部活生物体	1344	0.980	1.625	3.257	3.550	1.664	6.182	2.251	0.161	0.159
		地下部活生物体	128	0.055	0.120	0.248	0.506	0.229	0.175	0.215	0.005	0.021
		地上立枯	336	0.245	0.406	0.814	0.887	0.420	1.546	0.563	0.040	0.040
		地下死根	32	0.014	0.030	0.621	0.127	0.057	0.044	0.054	0.001	0.005
	宽叶雀稗	地上部活生物体	6510	0.840	2.695	13.040	9.368	4.557	18.879	14.993	2.734	0.898
		地下部活生物体	1799	0.585	0.989	2.902	14.514	7.309	1.580	1.520	0.077	0.284
		地上立枯	723	0.093	0.299	1.448	1.040	0.506	2.097	1.665	0.304	0.100
		地下死根	200	0.065	0.110	0.323	1.614	0.813	0.176	0.169	0.009	0.032
	总计		11072	2.877	6.274	22.653	31.606	15.555	30.679	21.430	3.331	1.539
	绿心黑豆+宽叶雀稗	绿心黑豆	地上部活生物体	1850	1.560	4.138	6.151	1.454	0.694	8.788	7.261	0.130
地下部活生物体			354	0.091	0.406	0.767	1.826	0.863	1.089	0.531	0.018	0.061
地上立枯			327	0.276	0.731	1.087	0.257	0.123	1.553	1.283	0.023	0.039
地下死根			62	0.016	0.071	0.134	0.320	0.151	0.191	0.093	0.003	0.011
宽叶雀稗		地上部活生物体	4964	0.640	2.005	9.943	7.143	3.475	14.396	11.432	2.085	0.685
		地下部活生物体	1372	0.446	0.755	2.213	11.069	5.574	1.205	1.159	0.059	0.217
		地上立枯	551	0.071	0.228	1.104	0.793	0.386	1.598	1.269	0.231	0.076
		地下死根	153	0.050	0.084	0.247	1.234	0.622	0.134	0.129	0.007	0.024
总计		9634	3.150	8.468	21.640	24.096	11.888	28.954	23.157	2.556	1.335	

表 4 营养元素在草地生态系统中的分配

kg/hm²

草地生态系统名称	分室名称	生物量	N	P	K	Al	Fe	Ca	Mg	Mn	Zn
圆叶矮冠豆+宽叶雀稗	草被	11 072	2.9	6.3	22.7	31.6	15.6	30.7	21.4	3.3	1.5
	土壤	1 999.2	735.0	11 789.4	152 880.0	72 030.0	3 498.6	8 143.8	999.6	2 293.2	
	总计	11 072	2 002.1	741.3	11 812.1	152 911.6	72 045.6	3 529.3	8 165.2	1 002.9	2 294.7
绿心黑豆+宽叶雀稗	草被	9 634	3.2	8.5	21.6	24.1	11.9	29.0	23.2	2.6	1.3
	土壤	2 016.4	852.0	12 609.6	174 972.4	82 700.8	3 124.0	8 690.4	1 050.8	2 073.2	
	总计	9 634	2 019.6	860.5	12 631.2	174 996.5	82 712.7	3 152.9	8 713.6	1 053.4	2 074.5

3.2 山区草地生态系统的营养元素循环

山区草地生态系统的营养元素循环遵循“吸收=存留+归还”的原则^[6-8]。存留量即指每年净积累在草地群落植物体内的营养元素量;归还量则是指每年通过枯枝落叶和地下死根归还给土壤的营养元素量。因此,草地生态系统的营养元素循环是一个动态方程,根据福建省山区草地生态系统结构,系统和分室(x_i, i = 1, 2, 3)营养元素状态方程可以表示为:

$$\frac{dx_i}{dt} = (U_{o,i} + \sum_{j=1}^3 a_{j,i} x_j) - (\sum_{j=1}^3 a_{i,j} x_i + V_{i,o}) \quad (1)$$

式中: U_{o,i}, V_{i,o}——分别为外界环境进入系统及从系统流出的营养元素量; a_{i,j}, a_{j,i}——分别代表营养元素从 i 分室流入 j 分室及从 j 分室入 i 分室的流通率。

对应于建瓯市牛坑垅试验站,山区草地生态系统各分室的营养元素循环包括如下环节:草被地上部分(x₁)通过分解淋失和枯枝落叶归还土壤,地上部营养元素向下转移和土壤分室营养元素由草被根系向上的输送,其中,因草被植株矮小,由分解淋失而减少的营养元素量较小,可以不予考虑。

草被的地下部分(x₂)的营养元素循环主要有地上部分向地下部分的营养元素输送和通过死根进行

的营养元素向土壤的归还过程,它们的根系从土壤中吸收营养元素并向地上部运移;所以用地上部生物体中营养元素的贮存量 and 地下部向土壤的营养元素归还量来表示。

草地生态系统土壤分室(x_3)的营养元素循环则是指地上部枯枝落叶和地下部死根归还土壤的营养元素量,土壤通过根系对于植物营养元素的供给量以及大气通过降水对土壤的营养元素转入和由径流而引起的土壤营养元素流失,因此,草地生态系统各分室营养元素动态方程为:

$$\frac{dx_1}{dt} = -a_{13}x_1 + a_{21}x_2 \quad (2)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -a_{12}x_1 - (a_{23} + a_{21})x_2 + a_{23}x_3 \quad (3)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_{13}x_1 + a_{23}x_2 - a_{32}x_3 + u_{0,3} - V_{3,0} \quad (4)$$

山区草地生态系统的吸收、存留和归还等系数反映了生态系统营养元素循环能力的大小,而循环系数(归还/吸收)反映了在山区草地生态系统内部草被分室和土壤分室之间营养元素循环的关系。在圆叶矮冠豆+宽叶雀稗草地生态系统中,各营养元素循环系数的大小顺序依次是: $N > K > P > Ca > Al > Fe, Zn > Mg > Mn$,其中,N的循环系数量大,为0.145,Mn的循环系数量小,为0.106;而在绿心黑豆+宽叶雀稗草地生态系统中,各营养元素循环系数的大小顺序依次是: $P > N > Ca, Mg > K > Zn > Al, Fe > Mn$,其中,P的循环系数最大,为0.132,Mn的循环系数最小,为0.103。具体如表5所示。

表 5 各群落营养元素循环状况

群 落	循环项目	kg/(hm ² ·a)								
		N	P	K	Al	Fe	Ca	Mg	Mn	Zn
圆叶矮冠豆 +宽叶雀稗	吸收量	2.877	6.274	22.653	31.606	15.555	30.679	21.430	3.331	1.539
	存留量	2.460	5.429	19.447	27.938	13.759	26.816	18.979	2.977	1.362
	归还量	0.417	0.845	3.206	3.668	1.796	3.863	2.451	0.354	0.177
	循环系数	0.145	0.135	0.142	0.116	0.115	0.126	0.114	0.106	0.115
黑皮绿心豆 +宽叶雀稗	吸收量	3.150	8.468	21.246	24.096	11.888	38.954	23.157	2.556	1.335
	存留量	2.737	7.354	19.074	21.492	10.606	25.178	20.383	2.292	1.185
	归还量	0.413	1.114	2.572	2.601	1.282	3.476	2.774	0.264	0.150
	循环系数	0.131	0.132	0.119	0.108	0.108	0.120	0.120	0.103	0.112

注:循环系数指吸收量/归还量。

4 讨 论

4.1 草地生态系统营养元素的循环特点

营养元素循环是山区草地生态系统的重要特性和持续发展的物质基础,通过对营养元素在草地生态系统各分室中的分配、循环的研究,我们可以看出如下特点。在草地生态系统中,氮、磷、钾、钙等4种营养元素循环系数(吸收/归还)较大。这说明氮、磷、钾、钙在草地生态系统物质能量循环过程中比较活跃,是草地生态系统发展必不可少的营养元素;试验资料表明,在草地生态系统土壤中,由于土壤具有较强的酸性,pH值为4.39~4.96,氮、磷、钾、钙供应不足,土壤肥力较低,严重制约了草地群落的生长发育,使生物生产能力不高,牧草质量差,给草地资源的开发利用带来了一定的困难。

在草地生态系统中,铝、铁作为土壤的大量元素,含量较高,在酸性环境下具有很大的活性,容易被草被吸收利用,试验资料表明,在草被系统中,圆叶矮冠豆+宽叶雀稗草地群落吸收铝的能力为31.606 kg/(hm²·a),绿心黑豆+宽叶雀稗草地群落则为24.096 kg/(hm²·a),但是其循环系数较低,分别只

有0.116和0.108;而铁的吸收能力则分别为15.555 kg/(hm²·a)和11.888 kg/(hm²·a),相应的循环系数为0.115和0.108,被吸收的铝、铁绝大多数仍存在草被中,因此,草被中铝、铁的含量较高,以圆叶矮冠豆为例,其中铝的含量为2.918 g/kg,是富铝植物平均含铝量指标1.000 g/kg的3倍。

4.2 提高草地生态系统生物量的措施

鉴于草地生态系统各主要营养元素循环系数之间大小的差异,缺乏营养元素良性循环的环境条件,这主要是由于草地生态系统中土壤酸性强,氮、磷、钾、钙等营养元素贫乏,铝、铁等含量较高的缘故。为提高草被生物量和质量,应调节好草地生态系统营养元素循环的机理,因此采取的措施如下。

针对酸性土壤应促进草地生态系统铝、铁的循环,减少其在植物体内的存留。在草地生态系统土壤中适当施用石灰,以降低土壤酸性,提高pH值,减少难溶性磷酸盐的形成,提高草地生态系统中磷的利用效率;改善硝化细菌、共生和非共生固氮细菌的生活环境,促进豆科草被的固氮作用和草地群落枯枝落叶的分解。

(下转第20页)

- [6] 李希来,等. 青海黑土滩草地成因及治理途径[J]. 中国草地,1995(4):11—15.
- [7] 张建平,刘淑珍,周麟,等. 西藏那曲地区主要草地土壤退化分析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(6):6—11.
- [8] 郑远昌,等. 青藏高原东北部草场荒漠化问题初探[C]. 青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京:气象出版社,1995. 135—140.
- [9] 周立,等. 高寒草甸生态系统非线性振荡行为周期性的研究(1—3) [M]. 高寒草甸生态系统—4. 北京:科学出版社,1995. 219—262.
- [10] 鲍新奎,等. 草毡表层的形成环境和发生机理[J]. 土壤学报,1995,32 增刊(1):45—52.
- [11] 王秀红,郑度. 青藏高原高寒草甸资源的可持续利用[J]. 资源科学,1999,21(6):38—42.
- [12] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 青藏高原[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [13] 周兴民,等. 青藏高原退化草地的现状、调控策略和可持续发展[M]. 高寒草甸生态系统—4. 北京:科学出版社,1995. 263—268.
- [14] 黄文秀. 青海省草地资源开发与可持续发展[C]. 青海资源环境与发展研讨会论文集. 北京:气象出版社,1996. 106—109.
- [15] 王改玲,白中科. 安太堡露天煤矿排土场植被恢复的主要限制因子及对策[J]. 水土保持研究,2002,9(1):38—40.

(上接第 12 页)

在草地生态系统土壤中增施有机及化学肥料,提高土壤营养元素含量,促进草地生态系统各分室之间营养元素循环的通量与草被对营养元素的吸收利用效率,尤其是厩肥及农家肥使用,能改善土壤物理结构,且分解慢,肥力持久,也避免了营养元素的流失。

根据当地生态环境特点,做好草种的选育,培育出适合当地特点的草种进行推广种植,尤其是山区土层较薄,土壤肥力低,酸性较强,更应选育抗逆性强、耐瘠薄、耐酸性、生物量高的优良草种,如豆科植物圆叶决明,羽叶决明、禾本科植物百喜草等草种^[9,10],能有效地提高丘陵山地草地生态系统生物量和地面覆盖度,从而促进水土保持生态系统建设。

[参 考 文 献]

- [1] 郭继勋,祝适成. 羊草草甸枯枝落叶的分解、积累与营养物质含量动态[J]. 植物生态学与地植物学学报,1998,12(3).
- [2] 严祖生. 土壤肥力研究方法[M]. 北京:农业出版社,1998. 287—290.
- [3] 黄炎和,卢程隆. 闽南侵蚀劣地土壤肥力特征及其培肥措施[J]. 水土保持通报,1993,13(2):1—4.
- [4] 周鸣铮. 土壤肥力学概论[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1985. 230—241.
- [5] 赵微平. 土壤和农作物养分的测定及施肥(修订本) [M]. 北京:化学工业出版社,1983. 36.
- [6] 谌小勇,潘维铸. 杉木人工林生态系统中氮素的动态特征[J]. 生态学报,1998,9(2).
- [7] 陈建,钟章成. 芒萁群落中营养元素循环特点[J]. 生态学报,1991,11(4).
- [8] 李飞. 红壤丘陵森林生态系统矿质元素循环的计算机模拟[J]. 自然资源学报,1993,8(1).
- [9] 周伏建. 福建省土壤侵蚀与综合治理[J]. 水土保持通报,2000,20(4):58—59.
- [10] 林明添,等. 山地绿肥高产栽培与综合利用[M]. 福州:福建科学技术出版社,1998. 67—252.