

文章编号:1001-4810(2001)01-0041-06

岩溶地区生态系统养分平衡研究^①

姚长宏¹, 杨桂芳¹, 蒋忠诚², 袁道先²

(1. 中国地质大学工程学院, 武汉 430074; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004)

摘 要:以岩溶地区生态系统中养分储存和运移为中心,综合研究了矿物分化、大气降水而引起的养分输入,淋溶流失、水土流失造成的养分输出,以及与生物导致的养分内部循环之间的相互作用和相互联系;讨论了岩溶生态系统养分的流入、保持和流失之间的平衡,并以桂林丫吉村岩溶试验场为例建立系统内各养分体系之间的反馈网络模型。

关键词:岩溶;生态系统;养分;反馈网络模型

中图分类号:S158.3;P642.25 文献标识码:A

0 前 言

碳酸盐岩地区表层水分含量低,土壤贫瘠,植被顺向演替速度慢,生态系统比较脆弱^[1]。但为了解决岩溶地区人民的衣食和农副业原料的供应问题,必须在保持生态平衡的基础上,大力发展生态农业,提高农林牧业生产。然而,生态农业与生态系统是息息相关的,因此,通过研究生态系统养分含量状况来改良土壤,调节农业生产,规划土地利用是十分必要的。

世界著名生态学家 E. P. 奥德姆(1971)曾指出,生态系统就是包括特定地段中的全部生物和物理环境的统一体。具体地说,生态系统可定义为一定空间内生物和非生物成分通过物质的循环、能量的交换和信息的传递而相互作用、相互依存所构成的生态学功能单位^[2]。针对岩溶地区环境特点,重点研究其生态系统的养分循环具有重要意义。

生态系统是一个不可分割的整体,但为了方便研究,我们从养分流动的角度将其划分为四个组分,亦即:

- (1) 来自矿物风化、大气降水的养分输入;
- (2) 由于淋溶流失、水土流失造成的养分输出;
- (3) 通过生物活动形成系统内部养分循环;

(4) 植物速效养分在土壤中的储存。
其相互关系、相互作用如图 1。

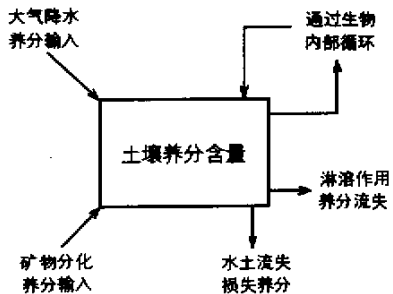


图 1 养分体系组分相互作用简图

Fig. 1 Interelation of different parts in a nutrient system

1 养分输入

众所周知,对一个圈定的生态系统,其养分主要来自土壤和岩石中矿物质的风化以及大气降水。下面将从这两个方面讨论系统的养分供给。

1.1 来自矿物风化的养分输入

岩溶地区,土壤主要由矿物质成分组成,矿物质的化学风化应是生态系统矿质养分阳离子最重要的

^① 基金项目:国土资源部大地调项目(DKD2002008)、岩溶动力学开放研究实验室资助

作者简介:姚长宏(1976—),男,水文学及水资源博士生。

收稿日期:2000-10-19

来源。据前人研究^[3],岩溶区碳酸盐岩中富含 Ca、Mg、Zn、Cu、Co 等微量元素的含量也较高(见表 1)。成分,而且 Al、Fe、Si、P、K 等常量元素和 Mn、

表 1 广西碳酸盐岩有关化学成分含量表(单位:‰)
Tab. 1 Chemical element content of carbonate rock in Guangxi

地点	Zn	Mn	Cu	Co	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
弄拉白云岩	0.012	0.113	0.012	0.002	0.43	0.11	0.54	0.06	31.42	20.40	0.06	0.014
桂林白云岩	0.002	0.043	0.070	—	0.12	—	0.28	—	37.27	14.80	—	—
石叠白云岩	0.006	0.014	0.007	0.001	0.33	0.01	0.29	0.01	31.95	20.11	0.02	0.013
茂兰白云岩	—	0.005	0.004	—	0.79	0.65	0.58	0.01	31.64	19.60	0.06	—
弄拉灰岩	0.009	0.014	0.007	0.000	0.14	0.014	0.07	0.01	50.96	4.38	0.01	0.000

风化反应生成物包含各种养分阳离子,主要储存在土壤溶液中或吸附在土壤粘土胶体表面。风化反应生成物解吸存在两种方式:其一是体系中植物根系的选择吸收和阳离子交换,另一指淋溶流失、土壤侵蚀或与有机物合成螯合物而被解吸。

系统中矿物质风化作用对于体系养分储存来说是一个极其重要的来源。这种养分输入的种类和数量受生物活动及水分运动的影响相当大。如果水热配套,植被发育的热带、亚热带岩溶地区,风化强烈,养分输入多;而水热配套差,植被发育不好的高寒地区,

风化微弱,养分供给少。

1.2 来自大气降水的养分输入

大气降水主要为雨、雪,其化学成分变化很大,主要受地域、降水季节、大气污染程度、气象条件和降水过程等因素影响。一般而言,大气降水总可溶固体相对较少,其主要阳离子养分含量远低于与地球岩石层充分交换的地下水,也低于一般的河水 and 海水^[4],见表 2。但在自然条件下,系统中的某些养分却主要来源于大气降水,如 N、O 等。

表 2 自然水化学成分对比表(单位:meq/kl)
Tab. 2 Contrast among natural water

种类	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ 阳	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ 阴	中性分子
大气降水	0.01	<0.01	0.05	<0.01	—	0.58	0.09	0.06	—	<0.01
长江水	1.44	0.80	0.37	—	2.61	2.12	0.28	0.12	2.52	—
黄河水	1.95	1.49	2.0	—	5.44	2.65	1.73	0.85	5.23	—
海洋水	20.0	106.0	459.0	9.70	594.7	2.40	53.4	536.0	591.8	—

另外,据前人研究^[5],降雨量与降水化学成分相结合影响着土壤某些粘土矿物的形成。在降雨量低和养分供给量高的有利环境下,粘土吸附土壤溶液中 Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺而形成蒙脱石。当降雨量增多与酸性加强时,易生成高岭石型粘土矿物,作为残留物遗留下来。此外,如果粘土矿物从雨水中获得阳离子,实际上减弱了土壤中的风化作用。

总之,碳酸盐岩地区,降水量、降水化学成分(H⁺、阴离子以及养分阳离子)将影响土壤风化作用的进展,以及土壤酸度和土壤养分含量状况。

2 养分输出

万方数据
土壤中的养分以各种形式存在于土壤溶液中或

吸附在粘土表面。如果发生大气降水,随着地表径流和地下渗流,相应会造成水土流失和土壤养分的淋溶流失。

2.1 由水土流失引起的养分输出

岩溶地区植被覆盖率低,地形坡度大,母岩成土作用缓慢,水土流失是其主要环境问题之一。土壤侵蚀是多种环境因子综合作用的结果,可用通用的土壤流失方程式^[6]进行量化表征:

$$A = 0.224R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

式中 A——土壤流失量 (kg/m² · a);
K——土壤可溶性因子;
S——坡度因子;
P——土壤侵蚀控制措施因子;
R——降雨侵蚀力因子;

L ——坡长因子;
 C ——作物经营管理方式。

如果不存在较强烈的人为活动,岩溶区水土流失量主要受植被、土壤、降水、坡长、坡度等因素控制。众所周知,水土流失的结果是土壤不断变薄、养分和粘粒物质减少、土壤退化,植被逆向演替,形成石山荒漠化。土壤侵蚀对土壤养分的影响主要表现为^[7]:

- (1) 土质砂性重,保土保水保肥能力差;
- (2) 土壤养分流失,养分含量低;
- (3) 土壤中养分含量失调,速溶性矿物成分含量偏低;
- (4) 生态系统受干扰,养分循环被破坏。

2.2 由淋溶流失造成的养分输出

当降水入渗土壤后,便携带着土壤溶液中的养分,向地下渗流。这一过程中,被携的养分一部分可能伴随水循环,在岩溶环境中再分配,形成特殊的岩溶环境;大部分作为淋溶输出物,从土壤中流入地下水或以泉的形式排出而完全丧失。由表 3 可知岩溶地区大量的养分被流失。

表 3 弄拉岩溶泉水与土壤水元素含量(mg/l)

Tab. 3 Contrast between soil water and spring water

	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	Al	PO ₄	Fe
土壤水20cm	18.06	8.28	2.13	0.3	11.1	0.8	0.1	0.2211
土壤水50cm	112.76	24.04	3.86	1.92	24.0	0.02	0.14	0.0224
兰电堂泉水	78.85	39.0	0.43	0.03	1.9	0.14	0.018	0.0184

淋溶作用对体系养分储存起很重要的负作用,其养分输出量的大小直接决定于体系养分的贫富。经过比较,淋溶作用主要受下列因素支配:大气降水的渗入量和基岩的渗透性、降水类型、地形以及现有溶媒中矿物溶解度和溶解速度。

在岩溶地区,由于存在大量的岩溶管道,地下水主要以管道流形式存在,流动速度较快。当土壤溶液从上层淋溶到基岩管道后,很快就被流失,造成土壤层营养成分稀缺,土地贫瘠。地形主要影响坡地水分流动的途径,陡坡将促进地面径流,缓坡则倾向于加速渗漏的进行。降雨次数与强度的差异,对于不同溶质的运移很重要。在岩溶区,如果排水和入渗不受限制,随着降雨强度的增大和次数的增多,更加有利于速溶性矿物成分的溶解,并造成大量流失;反之,随着降雨强度的减小和次数的减少,地表水入渗量降低,并可能形成一种溶解和沉淀交互出现的土壤结构,有利于养分的储存。

3 系统内部养分循环

针对淋溶作用向下流失养分,系统可能采用两种方式來保持:一是依靠土壤动物群活动把淋溶组分,从土壤下层运移到上层进行再分配;另一为通过植物吸收作用产生的系统内部养分循环。

动物的活动,特别是蚯蚓和其它掘穴动物,能够将部分底土搬移到表层,有效地补偿了养分的淋溶流失,起着保持表土富含养分的作用,并改善土壤结构,有利于植物生长。因此,土壤动物对土壤养分保持起正作用。

借助根部从土壤中吸取水和养分,植物产生了生态系统的**所有**生物**质**。这些生物**质**无论是被草食动物吞食进入生物链,还是通过植物的茎、枝、叶等凋落物直接覆盖于土壤表层,最终均被细菌、真菌和无脊椎动物消耗分解而将养分还原于土壤层,使土壤养分得到保持。值得注意的是,植物茎、枝、叶等凋落物中养分的含量,因物种的不同和同一种植物生长期的不同而存在很大的差异,一般地来说,凋落量和以凋落物形式归还于土壤的养分总量随树龄的增长而呈增长的趋势^[8]。另外,动物活动量、植物根系吸收量,或来自组织分解的归还量都与植物生长量密切相关,而养分供给又是一支配植物生长量的重要因素。显然,养分循环和养分供给是相互联系的,它们之间存在正反馈机制。总之,养分循环一方面保持系统养分,提高养分储量;另一方面,增强了系统抗干扰能力,促进生态系统良性循环和发展。

4 综合模型

模型化是研究错综复杂生态系统的**有效方法之一**,通过模型,可以对系统的输入、输出、储存和环境条件进行简化、抽象和类比,从而研究系统养分阳离子的动态平衡。阳离子平衡模型有两种形式:一种为流动模型(如图 2),该模型描述了养分阳离子的迁移,详细地说明了转变中的各种过程,但没有指出各种过程与各个因素之间可能存在的反馈关系,也未指明各种过程发生的比率。因此,需要建立一个如图 3 那样的网络模型来表示这些错综复杂的反馈关系。模型中,箭号表示:“对所指向的过程产生影响”,当一个因素的强度或作用力增大(或减少)会导致另一个因素的增大(或减少)则在两因素之间用正数表示;但若情况相反,两因素之间存在负反馈机制,则用负权值连接。

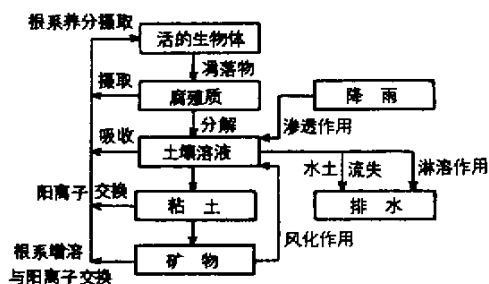


图 2 阳离子平衡流动模型

Fig. 2 Flow model of cation

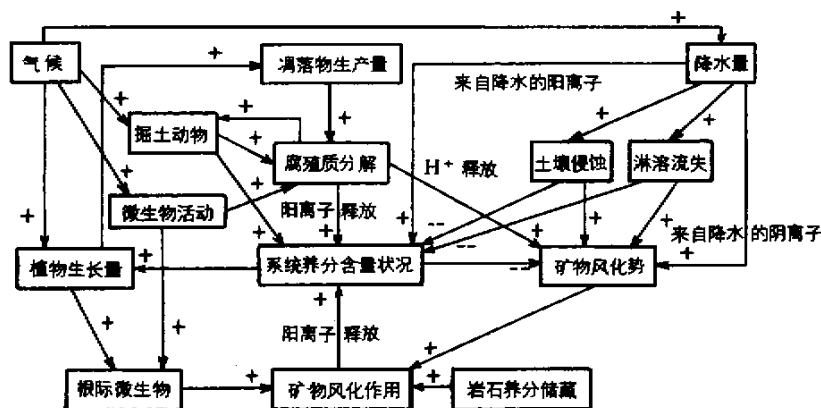


图 3 阳离子平衡反馈网络模型

Fig. 3 Feedback network model of cation

当然,为了实时地了解生态系统养分含量状况,或为了掌握体系养分动态运行,还需要确定网络模型的初始条件和边界条件,即确定各个转化环节中有关物质的数值及其变化率。

5 应用

桂林丫吉村岩溶试验场位于桂林市东南郊约 8km 的丫吉村附近,是桂林岩溶峰丛洼地与峰林平原的交界地带,其总面积达 2km²。区内最高峰为 652m,而两侧的平原标高仅有 150m 左右,地表坡度较大。据桂林市气象台的观测资料统计,年平均气温为 18℃,年平均降雨量为 1915.2mm。在有利的湿热条件下,场区峰丛洼地灌木丛生,茅草茂盛,植被覆盖率高。

场区出露地层以上泥盆统融县组(D₃r)上部灰岩为主,岩石成分为浅灰至灰白色致密质纯中厚层状泥

图 3 中,只存在三个负反馈关系。分别为:

- (1) 淋溶作用对土壤溶液养分含量状况影响;
- (2) 土壤侵蚀对土壤溶液养分含量状况影响;
- (3) 养分含量对风化势的影响。

前文虽已详细阐述了系统养分的流入、流出和循环,但对于整个系统而言,内部有效养分的储存更有意义,它是植物生长量的制约因素,同时也对土壤性质和土壤水质存在重大影响。很显然,来自矿物风化、大气降水的养分输入起着提高体系养分含量的作用,而淋溶流失、土壤侵蚀(如果存在农业活动,还应包括农副产品的生产)等则会使土壤养分含量降低。

亮晶颗粒灰岩。经过样品化学分析,融县组(D_3r)上部灰岩富含养分(如表4)。

表 4 融县组(D₃r)灰岩微量元素含量统计表 (单位: ppm)

Tab. 4 The statistics of trace element content
of D_{3r} carbonate rock

层位	样品数	Mn	Ti	Ni	Cu	Pb	Zn	Sr	Ba	Fe
4	9	100	12	10	10	2	100	100	100	500
3	9	100	12	9	11	9	78	100	89	700
2	13	100	12	0	11	10	0	110	0	1400
1	9	100	12	0	0	8	0	180	0	2000

在亚热带湿热的气候及有利的岩性、构造和植被条件下,场区岩溶发育,构成特殊的水文地质环境。降雨以洼地、落水洞、溶蚀裂隙等途径补给岩溶水文系统,然后通过岩溶管道由东向西流动,并在峰林平原的边缘以一系列泉形式(S_{31} 、 S_{32} 、 S_{29} 、 S_{291} 等)排出地表。

由于缺乏实测数据,本文只能根据环境各因素,定性地给出场区坡地和洼地底部阳离子平衡反馈网络模型。

5.1 峰丛坡地阳离子平衡反馈网络模型

桂林丫吉村岩溶试验场峰丛地表坡度大,大气降

雨主要以地表坡流为主,水土流失严重;土壤层厚度较薄,养分贫瘠,覆盖植被主要以多年生荆棘类为主,凋落物生产量低。据考察,掘穴动物以蚂蚁为主,活动能力有限。其定性模型如图 4。

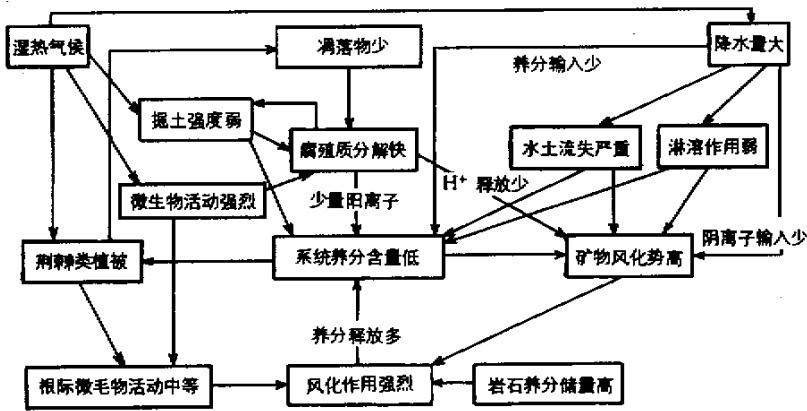


图 4 峰丛坡地阳离子平衡反馈网络模型
Fig. 4 Feedback network of cation balance in sloping field

5.2 洼地底部阳离子平衡反馈网络模型

场区内岩溶洼地星罗棋布,分割地表排水网,使雨水、地表坡流主要靠底下排水网排泄,养分淋溶流

失严重;土壤层较厚,富含养分,覆盖植被主要以多年生灌木为主,凋落物生产量中等;掘穴动物有蚯蚓、蚂蚁等,活动能力较强。其定性模型如图 5。

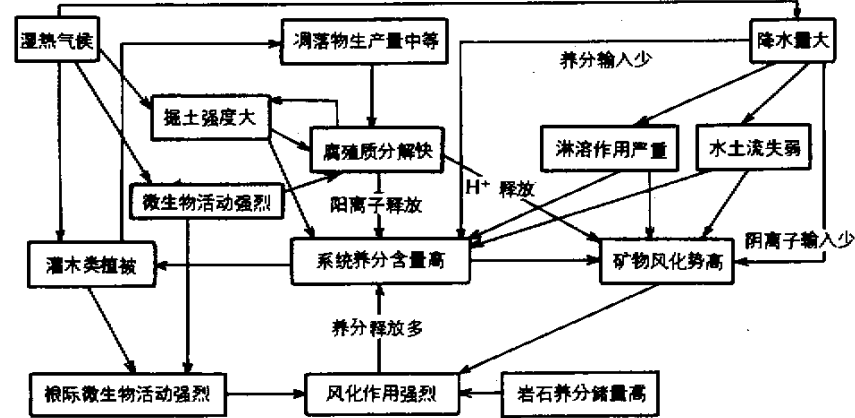


图 5 岩溶洼地阳离子平衡反馈网络模型
Fig. 5 Feedback network of cation balance in depression

6 结 语

本文从均衡的角度讨论了岩溶地区生态系统养分的储存和运移,并建立了养分平衡反馈网络模型;在此基础上定性分析了桂林丫吉村岩溶试验场峰丛洼地的养分平衡状况。虽然本文在系统养分平衡问题

上作出了初步探讨,但仍需在以下几个方面作进一步补充完善:

- (1) 定位取样分析,收集资料,量化反馈网络模型;
- (2) 充实完善反馈网络模型,考虑人为因素影响(如农业活动、农田改造、封山育林等);

(3) 另外,结合系统水循环及其地质环境,综合对土地资源作出适宜性评价和生产潜力分析。

参考文献:

[1] 袁道先,蔡桂鸿等著.岩溶环境学[M].重庆出版社,1988.
[2] 金岚主编.环境生态学[M].高等教育出版社,1992.
[3] 蒋忠诚.广西弄拉白云岩环境元素的岩溶地球化学迁移[J].中国岩溶,1997,16(4).

[4] 中献宸主编.天然水化学[M].中国环境科学出版社,1994.
[5] S. T. 特鲁吉尔著,赵磊译.土壤与植物系统[M].科学出版社,1985.
[6] M. J. 柯克比,R. P. C. 摩根编著.土壤侵蚀[M].水利电力出版社,1987.
[7] 王经武等.水土流失对生态环境的影响及对策[J].南昌水专学报,1999,18(2).
[8] 陈立新,陈祥伟等.落叶松人工凋落物与土壤肥力变化的研究[J].应用生态学报,1998,9(6).

THE NUTRIENT BALANCE OF THE ECOSYSTEM IN KARST AREA

YAO Chang-hong¹, YANG Gui-fang¹, JIANG Zhong-cheng², YUAN Dao-xian²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China)

Abstract: Under the combined influence of many environmental factors, the nutrient flow and circulation of ecosystem is quite complex. In this paper, the authors synthetically studied the interaction and interrelation between the nutrient input due to mineral weathering and atmospheric precipitation, the nutrient output due to eluviation and erosion, and the inner circulation because of biological agents. The nutrient balance among input, output and conservation was discussed in a systematic method. In the end, the feedback network model of Experimental Site——Yajiecun Site in Guilin city which indicates the interaction and interrelation of different nutrient components was set up. The network model conduce to restore ecosystem, reasonable use land and develop agriculture in karst areas.

Key words: Karst area; Ecosystem; Nutrient; Feedback network model
万方数据