第 43 卷 第 2 期
2006 年 3 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 43, No. 2
Mar., 2006

中国红壤坡地不同林地养分动态变化与模拟研究*

陈长青[1] 卞新民[1†] 何园球[2]
(1 南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)
(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 在中国科学院红壤生态试验站对红壤坡地不同林地进行 6 a(1991~ 1996) 定位观测, 对 N、P、K 养分动态循环进行了系统分析, 建立了养分循环的分室模型。结果表明: 不同林地 N、P、K 贮量绝大部分存在土壤分室中占 97% 以上, 6 年生阔叶林、针叶林 N、P、K 年总净积累量为正, 分别为 36.51 kg hm^{-2}、29.70 kg hm^{-2}, 系统养分盈余, 另外 N、P、K 各分量积累量均为正, 表现为各营养元素系统内盈余; 对照(自然荒坡) N、P、K 年净积累总量为 - 9.59 kg hm^{-2}, 为养分流失状态, N、P、K 各分量也为流失状态。同时对有林坡地和荒坡地进行了 0~ 10 a 的系统 N、P、K 在各分室的运转状态模拟, 模拟结果表明: N、P、K 在阔叶林和针叶林系统均表现盈余, 植株地上部分累积量较大, 土壤分室 N 轻微流失, 而 P、K 盈余, 自然荒坡土壤养分有轻微流失。

关键词 红壤坡地; 林地; 养分动态; 模拟
中图分类号 S157 文献标识码 A

南方红壤主要分布于赣、湘、浙、闽、皖南的广大丘陵区, 占全国土地总面积的 11.8%。随着人口增长, 人多地少的矛盾日益突出。坡地红壤开发迅即成为农业发展的主要模式之一[1]。但不合理的垦殖导致植被遭到严重破坏[2~7], 近年来坡地退耕还林, 充分利用林木特有的防风、保水、保土特性, 对提高区域覆被率、保持土壤地力、避免流域水质污染都有一定的现实意义[8]。林分对土壤的影响已有报道[9~13], 但非长期定位试验。本研究针对红壤坡地生态恢复中存在的养分问题, 设置不同林地系统的保持水土养分设施, 并进行长期的定位观测取样, 分析土壤养分动态状况, 为红壤坡地合理开发, 种植适生的林木和提供有效的水土保持措施提供科学依据。

1 试验区概况

试验区为低丘岗地, 海拔 45~ 54 m, 相对高差 6~ 9 m, 坡度 4°~ 5°, 代表着典型低丘红壤的地貌特征, 气候属中亚热带湿润季风气候。年均温 17.6 ℃, ≥10 ℃积温为 5 527 ℃, 无霜期 262 d; 年均日照时数 1 852 h, 太阳辐射量 458 kJ cm^{-2}; 年均降雨量 1 795 mm, 蒸发量 1 318 mm, 但水热不完全同季, 降水多集中在 3~ 6 月份, 夏秋之间频发干旱, 土壤母质为第四纪红粘土, 其下为白垩纪红砂岩。

2 研究方法

2.1 林地小区设置

1990 年起建立阔叶林、针叶林和荒坡自然恢复(对照) 三个小区。阔叶林区面积 3 162 m^2, 主要树种是小叶栎(*Quercus chenii Nakai*), 覆盖度为 95%, 密度 2 500 株 hm^{-2}, 植树树龄 1 a, 树丛底下几乎没有草本植物生长; 针叶林主要是湿地松(*Pinus elliotii*) 和少量马尾松(*Pinus massoniana*), 覆盖度 90%, 面积 3 134 m^2; 植树树龄 2 a, 对照小区无灌木, 有一定量的杂草, 覆盖度为 75%, 面积 2 672 m^2, 密度 2 900株 hm^{-2}。林地为半开放式管理, 即除部分枯枝落叶被人为移出系统外, 其他为封闭式管理, 无其他耕作措施。其中林地施肥方式为穴施, 类型为厩肥和过磷酸钙, 用量厩肥为 1 000 kg hm^{-2} a^{-1}, 过磷酸钙为 350 kg hm^{-2} a^{-1}, 每年分 3 次施用; 小区汇水地段安装水位计。

2.2 分析方法

林木生物量采用分层切割法, 分径级选 3 株林

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-407)、国家"973"项目(2005CB121107) 和国家自然科学基金(30571094) 资助
† 通讯作者: 卞新民(1952~), 男, 教授, 主要从事农业生态、耕作制度等研究。E-mail: bjxlml@sina.com
作者简介: 陈长青(1969~), 男, 讲师, 在职博士研究生, 主要从事农业生态、数字农业研究。E-mail: c7450@263.net
收稿日期: 2005- 03- 31; 收到修改稿日期: 2005- 07- 07

木平均木。伐倒后实测其生物量, 然后分层切割取样, 测定 NPK 量, 从而计算出植株地上部分养分总量。凋落物量采用样方收集称重法, 样方面积为 1 m × 1 m, 每月收集。测定凋落物总量和元素归还量, 并取一定量的凋落物, 放入细孔网袋内, 置于林下。定期取样测定凋落物的分解速率。

地下部分主要采集林木根系, 为粗根和细根混合。

土壤取样方法为"S"型 5 点分层采样法, 采样深度分为四层: 0~ 20、20~ 40、40~ 60、60~ 100 cm。

植株、水样、土样全氮用开氏法测定, 全磷用酸溶– 钼体抗比色法测定, 全钾用氢氟酸– 高氯酸法。

土壤分室各养分贮量= ∑各分层各养分含量 × 各分层土壤总重

植株地上部分各养分贮量= 单株地上部分各养分含量 × 树木密度

植株地下部分各养分贮量= 单株地下根系各养分含量 × 树木密度

凋落分室各养分贮量= 样方凋落物量 × 样方凋落物各养分含量 × 小区面积

3　结果与分析

3.1　不同林地系统 NPK 的分布

6 年生阔、针叶林系统和自然荒坡 N、P、K 总量均表现为: K > N > P。其中阔、针叶林系统的 4 个分室贮量排列为: 土壤 > 植物地上部分 > 凋落物 > 植物地下部分, 而自然荒坡的 4 个分室贮量排列为: 土壤 > 植物地上部分 > 植物地下部分 > 凋落物。而整个系统中的 N、P、K 总量绝大部分存在土壤分室中, 占到 97% 以上(表 1) 。

表 1　林地系统的各分室 NPK 空间分布

Table 1　Spatial distribution of nutrients in different forest lands (kg hm^{-2})

种类 Species	针叶林 Conifer forest			阔叶林 Broadleaf forest			自然荒坡 CK		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
植物地上部分 Ground parts of plant	99.95	14.42	54.56	191.1	13.58	92.23	15.60	1.20	9.80
植物地下部分 Living roots of plant	7.67	1.47	4.84	33.74	0.49	26.17	3.50	0.20	1.20
凋落物 Litter	18.34	1.33	2.57	74.54	4.15	19.12	3.60	0.10	1.10
土壤 Soil	6 270	1 980	22 570	5 660	2 000	29 280	6 960	1 960	29 970
整个系统 Total	6 396	1 997	22 630	5 960	2 018	29 420	6 983	1 962	29 280

3.2　不同林地系统 NPK 的生物地球化学循环

(1) 生物循环。生物循环遵循公式: 吸收= 存留+ 归还。存留量为植株体内用于植株干物质形成的量。通过植株体重量变化求得。归还量为凋落物分解以及降水淋溶回到土壤中的量。

淋溶量= 林冠透过水养分浓度 × 降水量

循环系数= 年归还量 ÷年吸收量

由表 2 计算出: 6 年生阔叶林 NPK 的年存留量占年吸收量比重为 705.4 g kg^{-1}、770.5 g kg^{-1}和 839.4 g kg^{-1}。6 年生针叶林 NPK 的年存留量占年吸收量比重为 852.4 g kg^{-1}、921.9 g kg^{-1}和 962.0 g kg^{-1}。阔叶林和针叶林吸收的养分主要用于林分积累, 但针叶林养分存留比例大于阔叶林, 阔叶林回归比例较针叶林大。

两林地中养分归还量均表现为: N > P > K, 循环系数以 N 最高、K 最低, 说明系统中 N 的循环速度最快, 周期最短, 表现易迁移的特点。阔叶林养分归还主要是降水淋溶, 针叶林养分归还则为凋落物和降水淋溶, 两者归还量几乎相当。

对于对照(自然荒坡) 来说, 系统只有杂草, 吸收的养分量较少, 整个生物循环量较小。

从 3 个系统养分生物循环来看: 吸收量最多的是阔叶林系统, 最少的为对照; 阔叶林、针叶林系统 P 吸收量相当, 对照量小; K 吸收量最多的是阔叶林系统, 最少是对照。循环系数以阔叶林 N 最高, 说明 N 在阔叶林生物循环中流动最快, 而针叶林 NPK 循环系数都不高, 说明养分元素在系统中流动比例较低, 大部分养分用于林分积累, 而自然荒坡相对较高, 主要是凋落物相对归还量高。

(2) 地球化学循环。6 年生阔叶林年 NPK 人工施肥和水文输入总量为 60.47 kg hm^{-2}, 径流输出为 23.96 kg hm^{-2}, 年 NPK 净积累总量为 36.51 kg hm^{-2}, 植株体年存留量为 71.25 kg hm^{-2}, 说明整个系统目前处在 NPK 的积累阶段, 也可以看出土壤分

表 2 不同林地系统养分生物地球化学循环

Table 2 Biogeochemical cycling of nutrients in different forest lands (kg hm^{-2} a^{-1})

处理 Treatment	营养元素 Nutrient	吸收量 Absorption	存留量 Reservation	归还 Return			循环系数 Cycling index	系统外输入 Input from outside		径流输出 Export with water
				凋落 Drop	淋溶 Eluviation	小计 Sum		施肥 Fertilization	降水 Rain	
阔叶林 Broadleaf forest	N	61.67	43.50	7.20	10.97	18.17	0.29	22.28	2.19	14.08
	P	4.40	3.39	0.11	0.90	1.01	0.23	16.20	0.36	1.36
	K	29.02	24.36	0.21	4.45	4.66	0.16	13.32	6.12	8.52
针叶林 Conifer forest	N	28.92	24.65	2.80	1.92	4.72	0.16	22.28	2.19	14.33
	P	3.97	3.66	0.13	0.18	0.31	0.08	16.20	0.36	7.24
	K	15.78	15.18	0.10	0.50	0.60	0.04	13.32	6.12	9.20
对照 CK	N	3.10	0.25	2.75	0.10	2.85	0.35	—	2.19	3.86
	P	0.41	0.03	0.36	0.02	0.38	0.24	—	0.36	1.92
	K	2.42	0.04	2.30	0.08	2.38	0.08	—	6.12	12.48

室养分处于亏缺。从 NPK 养分分量来看,每年通过人工施肥和大气降水输入到系统的 NPK 养分分别为: 24.47、16.56、19.44 kg hm^{-2},每年通过水文途径输出量为: 14.08、1.36、8.52 kg hm^{-2},表现为 N> K > P,说明 N 的迁移性在本系统中较强。系统每年净积累 NPK 分别为 10.39、15.20、10.92 kg hm^{-2},以 P 积累量最高。

6 年生针叶林系统 NPK 年人工施肥和水文输入为 60.47 kg hm^{-2},径流输出为 30.77 kg hm^{-2},养分年净积累为 29.70 kg hm^{-2},植株体年存留量为 43.49 kg hm^{-2},系统处在 NPK 的积累阶段,而土壤分室养分处于亏缺状态。系统每年净积累 NPK 分别为: 10.14、9.32、10.24 kg hm^{-2},三者积累量较均衡。

自然荒坡(对照)系统 NPK 年净积累总量为 - 9.59 kg hm^{-2},系统养分处于亏缺状态,年净积累 NPK 分别为: - 1.67、- 1.56、- 6.36 kg hm^{-2},以 K 流失量较大。

从有林地系统和对照来看,人工施肥的养分去向,有林地施用的 N 有一部分随径流流失,一部分参与林分构建和贮存于土壤库,两林地流失量相当;而 K 元素在有林地系统流失量较对照要少,说明有林地系统对 K 有固定功能,施肥 K 元素不会流失;而肥料中 P 元素在两林地表现不一样,在阔叶林中流失量小于对照,而在针叶林流失量较大,说明肥料中 P 元素在阔叶林系统中直接参与林分构建或贮存到土壤库中,无流失,而在针叶林除部分参与林分构建外,其他部分随径流流失。同时说明 P 在不同的土地利用上表现出较大的差异[14]。

从三个系统地球化学循环来看,阔叶林和针叶林系统具有养分积累功能,而对照系统养分亏缺,另外从人工输入对系统养分积累作用来看,人工输入对于系统营养平衡有正作用,因而在红壤坡地养分管理中应注重人工输入。另外从不同林地来看,P 积累量阔叶林大于针叶林,是由于阔叶林生长过程中需要 P 较多。

3.3 系统养分元素循环动态模拟

3.3.1 建模 根据实验设计,林地系统养分元素循环由 4 个分室构成(见图 1)。

其中 x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示该元素在植物地上部分、凋落物、土壤和植物地下部分中的养分含量 (kg hm^{-2}), U_{m3}为外界输入量。

建模思路:

$$dx_i/dt = F - F', \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{1}$$

x_i 为分室中的某养分含量, F, F' 分别为输入和输出该分室养分通量。其中:

$$F = U_{0i} + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{n} f_{ji} \tag{2}$$

$$F' = f_{i0} + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{n} f_{ji}, \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, n) \tag{3}$$

式中, U_{0i}、f_{i0}分别表示由系统外部进入分室 i 或由分室 i 输出系统外部的养分通量。f_{ji}、f_{ij}分别表示由第 j 分室到第 i 分室或由第 i 分室到第 j 分室的养分通量。

假定养分通量 f 只与源物质数量成正比

即:

$$f_{ji} = a_{ij} x_i \tag{4}$$

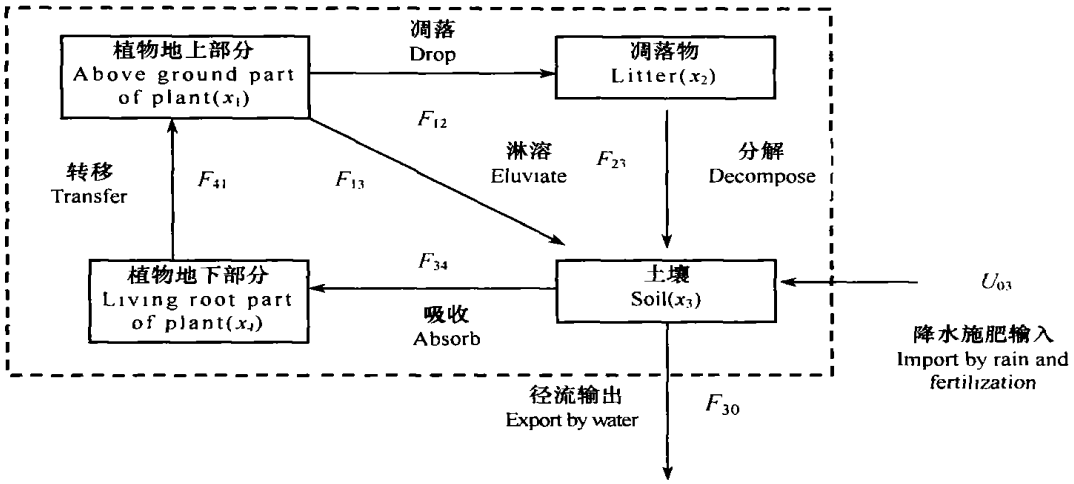

图 1　林地系统的养分循环流程

Fig. 1　Flux process of nutrients in a forest system

$$f_{ij} = a_{ji}x_j \tag{5}$$

则模型可变为:

$$dx_i/dt = (U_{0i} + \sum_{\substack{j=1 \\ i\neq j}}^{n} a_{ji}x_i) - (a_{i0}x_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i\neq j}}^{n} a_{ij}x_i) \tag{6}$$

将 a_{ij} 定义为周转率, 它表示物质从 i 分室到 j 分室的流通性, 用实验所测数据计算。

根据以上建模思路对于各个分室(x_i)来说, 其养分元素的动态变化可用数学模型描述为:

$$dx_1/dt = a_{41}x_4 - a_{12}x_1 - a_{13}x_1$$

$$dx_2/dt = a_{12}x_1 - a_{23}x_2$$

$$dx_3/dt = U_{03} + a_{23}x_2 + a_{13}x_1 - a_{34}x_3 - a_{30}x_3$$

$$dx_4/dt = a_{34}x_3 - a_{41}x_4$$

3.3.2　不同林地系统 NPK 循环模拟结果　为做模型检验以第 4 年林木的各分室初始值作为模拟初态, 同时考虑到针叶林和阔叶林有人工施肥, 而对照无人工施肥, 施肥量大小同前。以 1 a 为步长, 10 a 为终值, 用龙库塔法解微分方程组, 通过计算机依次模拟出系统各分室 0~ 10 a NPK 动态, 0 a 即系统模拟初始值(林地第 4 a 实际观测值), 结果见图 2~ 图 7。

表 3　林地系统 NPK 循环 0~ 10 a 模拟结果

Table 3　Results of simulation of NPK cycling in different forest systems within 0~ 10 years

处理 Treatment	年均净积累量 Net accumulation ($kg\ hm^{-2}\ a^{-1}$)		
	N	P	K
阔叶林 Broadleaf forest	24.06	17.04	26.13
针叶林 Conifer forest	20.83	11.38	118.4
对照 CK	-0.51	-0.12	-3.06

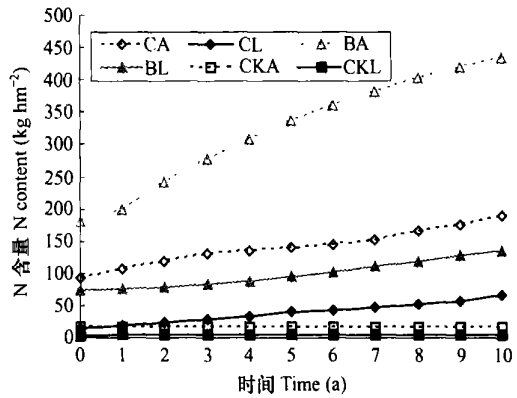

图 2　针、阔叶林和对照地上部分和凋落物 N 循环模拟

Fig. 2　N cycling simulation of ground parts and litter of conifer, broadleaf forests and CK

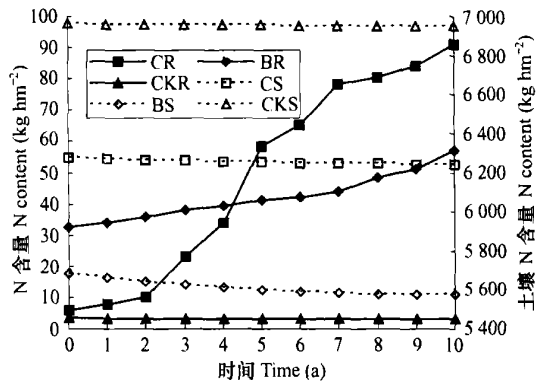

图 3　针、阔叶林和对照地下部分和土壤 N 循环模拟

Fig. 3　N cycling simulation of living root and soils of conifer, broadleaf forests and CK

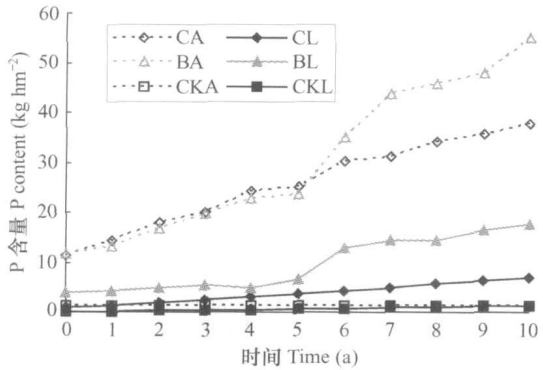

图 4 针、阔叶林和对照地上部分和凋落物 P 循环模拟

Fig. 4 P cycling simulation of ground parts and litter of conifer, broadleaf forests and CK

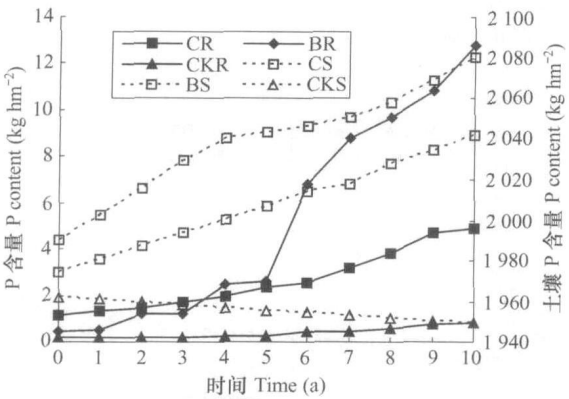

图 5 针、阔叶林和对照地下部分和土壤 P 循环模拟

Fig. 5 P cycling simulation of living roots and soil of conifer, broadleaf forests and CK

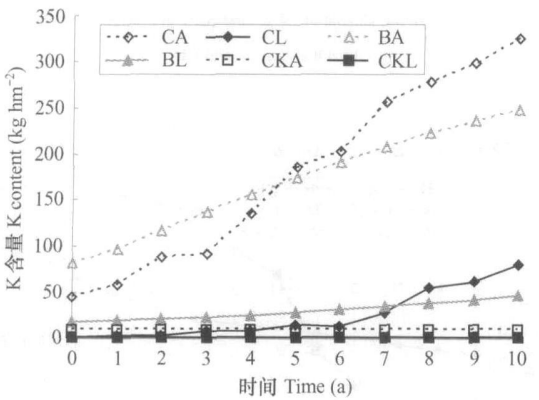

图 6 针、阔叶林和对照地上部分和凋落物 K 循环模拟

Fig 6 K cycling simulation of ground parts and litter of conifer, broadleaf forest and CK

模拟结果表明: 针、阔叶林系统均处在养分积累阶段, 植物地上部分、凋落物和植物地下部分 NPK 均随时间推移不断累积, 植物地上累积量最高, 只是

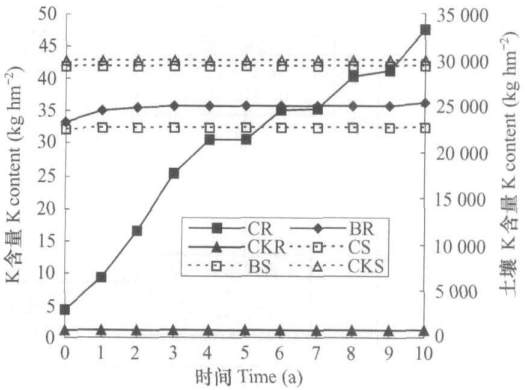

图 7 针、阔叶林和对照地下部分和土壤 K 循环模拟

Fig. 7 K cycling simulation of living roots and soil of conifer, broadleaf forests and CK

CA: 针叶林地上部分; CL: 针叶林凋落物; BA: 阔叶林地上部分; BL: 阔叶林凋落物; CKA: 对照地上部分; CKL: 对照凋落物; CR: 针叶林地下部分; CS: 针叶林土壤; BR: 阔叶林地下部分; BS: 阔叶林土壤; CKR: 对照地下部分; CKS: 对照土壤。图 3、图 5、图 7 次坐标轴为土壤数据

营养元素的贮量排列针叶林为: K> N> P, 阔叶林为: N> K> P, 说明阔叶林吸收的 N 量大于针叶林, 凋落分室是随凋落物的增加 NPK 出现不断累积, 植物地下部分随林木的生长而增加, 但针叶林生长速度快于阔叶林, NPK 积累量也是不断在增加的, NPK 积累量也有所增加。土壤分室均随时间推移, N 贮量稍微下降, 而 PK 贮量上升, 这是因为植株体吸收 N 量较多, PK 量相对较小的缘故。

对照(自然荒坡)中, 植物地上部分、凋落物和植物地下部分 NPK 贮量基本上保持不变。土壤中 NPK 有所流失, K 随径流流失量较大, 而 P 流失量较小。

3 个系统平均每年的净积累量, 针叶林和阔叶林 NPK 净积累量为正, 而对照为负。从单个营养元素来看, 针叶林 K 净积累量最高, 而对照 K 流失量最高。

总而言之, 针叶林和阔叶林, 养分流向均表现为积累到植株体中, 特别是地上部分积累较多, 针叶林表现为 K 积累多, 而阔叶林为 N 积累较多, 这与林木性质相关, 而土壤中养分流失很少, 主要是林木具有较好防止水土流失特性, 所以对坡地利用来看, 造林或退耕还林是很好的红壤坡地利用形式。但林木有不同的效应, 针叶林湿地松前期生长较慢, 全年都可挡风, 对土壤保护性较好, 在冬季也有一个绿色环境; 部分阔叶林生长快, 抗风, 阻燃, 但主要树种小叶栎冬季落叶对风雪遮挡作用一般。

3.3.3　模型验证　　为了验证模型的准确性, 因土壤数据相对变动较小, 而数据值较其他数据高一个数量级, 故选择针叶林 3 个分室 ——植株地上部分、地下部分和凋落物进行模型验证, 取针叶林第 5~ 6年的实测值和模拟值第 1~ 2 年进行配对相关分析, 并将实测值与模拟值用 1∶1 作图进行检验(如图8), 针叶林地上部分、凋落物分室误差率见表 4。结果为模拟值与实测值呈极显著相关, 相关系数 r 为0.994 8。从误差率来看, 均在 10% 以下, 说明模型有较高的准确性。

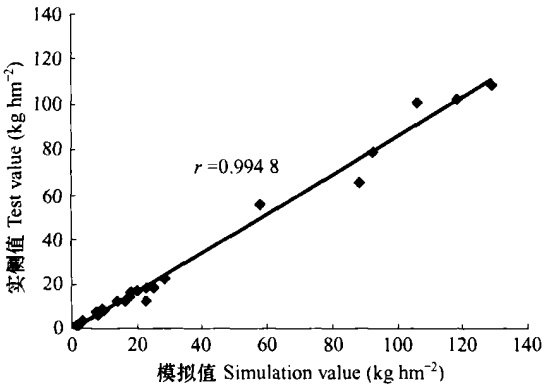

图 8　针叶林模拟值与实测值比较

Fig 8　Comparison of simulation values with test values of conifer forest

表 **4**　针叶林地上部分、凋落物分室第 **1** 年模拟值与第 **5** 年实测值比较

Table 4　Simulation value of the first year and test value of the fifth year of ground parts and litter of conifer forest (kg hm^{-2})

项目 Item	地上部分 Ground parts			凋落物 Litter		
	N	P	K	N	P	K
模拟值 Simulation value	106.2	14.19	57.91	18.44	1.32	2.61
实测值 Test value	100.3	13.36	55.42	16.93	1.30	2.41
误差率1) Error(%)	5.98	6.21	4.49	8.92	1.54	8.30

1) 误差率= (模拟值- 实测值) ÷实测值 Error= (Simulation value-Test value) ÷Test value

4　结　论

1) 6 年生阔叶林、针叶林系统的四个分室 NPK 贮量绝大部分存在土壤分室中, 占到97% 以上。

2) 6 年生阔叶林系统 NPK 年净积累量为 36.51 kg hm^{-2}, 针叶林系统净积累量为 29.70 kg hm^{-2}, 两者净积累量均为正, 系统养分盈余。相比阔叶林较针叶林净积累量大。对照(自然荒坡) 系统每年净积累 NPK 为- 9.59 kg hm^{-2}, 表明目前处在 NPK 的流失阶段。

3) 和对照相比, 人工施肥对养分积累起一定作用, 因而对于红壤坡地养分平衡管理来看, 适当施肥有利于植株生长和养分积累。

4) 对不同林地系统进行 0~ 10 a NPK 循环模拟结果表明: 阔叶林和针叶林系统模拟的 10 a 阶段内处于养分积累, 随着时间推移, 植物地上部分、地下部分和凋落物分室 NPK 在不断积累, 而土壤分室养分 N 量亏缺, PK 贮量增加, 而在自然荒坡中, 养分处于流失状况, 植物地上部分、地下部分和凋落物分室 NPK 基本不变, 而土壤分室养分 NPK 均亏缺。模型经试验资料验证得知, 该模型具有较高精确度和实用价值, 可以作为林地养分循环模型使用。

总体来看, 红壤坡地栽种林木和人工施肥有利于保持土壤肥力, 且可增加一定的林业收入, 对红壤丘陵区农业可持续发展有其重要意义。

参 考 文 献

[1] 张贤明, 董闻达, 李德荣, 等. 江西红壤坡地果园水土保持措施效益之研究. 水土保持学报, 2001, 15(2): 102~ 104. Zhang X M, Dong W D, Li D R, *et al*. Benefits of soil and water conservation measurement on orchard slope land of red soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(2): 102~ 104

[2] 赵其国. 红壤物质循环及其调控. 北京: 科学出版社, 2002. 7~ 39. Zhao Q G. Substance Circulation and Control on Red Soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 2002. 7~ 39

[3] 徐明岗, 文石林, 高菊生. 红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应. 水土保持学报, 2001, 15(1): 77~ 80. Xu M G, Wen S L, Gao J S. Effects of different forage planting model on soil and water conservation and environments in red hilly regions (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(1): 77~ 80

[4] 丁军, 王兆骞, 陈欣, 等. 南方红壤丘陵区人工林地水文效应研究. 水土保持学报, 2003, 17(1): 141~ 144. Ding J, Wang Z Q, Chen X, *et al*. Hydrological effect of artificial forest in red soil hilly region of South China (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(1): 141~ 144

[5] 杨一松, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤丘陵区不同利用模式的水土保持与生态环境效应. 水土保持学报, 2004, 18(5): 84~ 87. Yang Y S, Wang Z Q, Chen X, *et al*. Effects of different utilization model on soil and water conservation and ecology in red soil region of South China (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(5): 84~ 87

[6] 孙波, 张桃林, 赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价. 土壤, 1995, (3): 119~ 128. Sun B, Zhang T L, Zhao Q G. Evaluation of infertile soil in red hilly regions of South China (In

Chinese). Soils, 1995, (3): 119~ 128

[7] 水建国, 柴锡周, 张如良. 红壤坡地不同生态模式水土流失规律的研究. 水土保持学报, 2001, 15(2): 33~ 36. Shui J G, Cai X Z, Zhang R L. Water and soil loss in different ecological models on sloping land of red soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(2): 33~ 36

[8] 陈欣, 王兆骞, 杨武德, 等. 红壤小流域不同利用方式对土壤磷素流失的影响. 生态学报, 2000, 20(3): 374~ 377. Chen X, Wang Z Q, Yang W D, *et al*. Effects of sloping land use patterns on phosphorus loss in a micro-watershed of red soil area, Southern China (In Chinese). Acta Ecologic Sinica, 2000, 20(3): 374~ 377

[9] 杨玉盛, 何宗明, 林光耀, 等. 退化红壤不同治理模式对土壤肥力的影响. 土壤学报, 1998, 35(2): 276~ 282. Yang Y S, He Z M, Lin G Y, *et al*. Effect of different improving patterns on fertility of severely degraded granitic red soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 276~ 282

[10] 杨承栋, 焦如珍, 盛炜彤. 江西省大岗山湿地松林土壤性质的变化. 林业科学研究, 1999, 12(4): 392~ 397. Yang C D, Jiao R Z, Sheng W T. Change of soil properties under slash pine in Dagangshan, Jiangxi Province (In Chinese). Forest Research, 1999, 12(4): 392~ 397

[11] 薛立, 赖日石, 陈红跃, 等. 深圳宝安区生态风景林典型造林地土壤养分、微生物和酶活性的研究. 林业科学研究, 2002, 15(2): 242~ 246. Xue L, Lai R S, Chen H Y, *et al*. Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of model of forestation land of ecological scenic forests in Baoan, Shenzhen (In Chinese). Forest Research, 2002, 15(2): 242~ 246

[12] 薛立, 邝立刚, 陈红跃, 等. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究. 土壤学报, 2003, 40(2): 280~ 285. Xue L, Kuang L G, Chen H Y, *et al*. Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of different stands (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(2): 280~ 285

[13] 薛立, 赖日石, 陈红跃, 等. 不同阔叶树种的生长及其对赤红壤肥力的影响. 土壤学报, 2003, 40(5): 795~ 799. Xue L, Lai R S, Chen H Y, *et al*. Growth of different broad leaved trees and its effects on latosolic red soil fertility (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 795~ 799

[14] Yang J C, Huang J H, Pan Q M, *et al*. Soil phosphorus dynamics as influenced by land use changes in humid tropical, southwest China. Pedosphere, 2005, 15(1): 24~ 32

NUTRIENT DYNAMICS OF FORESTS ON RED SOIL SLOPES AND SIMULATION

Chen Changqing[1] Bian Xinmin[1†] He Yuanqiu[2]

(1 Key Lab of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

Abstract In the Ecological Experimental Station of Red Soil of Chinese Academy of Sciences, a six-year (1991~ 1996) stationary experiment had been carried out on a red soil slope land with different forests to study systematically dynamic circulation of N, P and K and establish a compartment model of nutrient circulation. The results indicate that a major part of N, P and K was stored in the soil compartment in different forest lands, amounting to above 97%. The annual total net accumulation of N, P and K was positive for six-year old broadleaf forest and conifer forest, being 36.51 kg hm^{-2} and 29.70 kg hm^{-2}, respectively. The entire system was gaining in nutrient reserve, and N, P and K were all accumulating, showing surplus in the system. As a contrast, the annual total net accumulation of N, P, K in control (nature wild slope) was − 9.59 kg hm^{-2}, suggesting an outflow of nutrients, N, P and K from the system. Meanwhile, simulation of N, P, K circulation in different compartments of the forest slope land and wild slope land within 0~ 10 years was described. The results indicate that N, P and K were in surplus in the broadleaf forest and conifer forest systems, and their accumulation in the ground parts of the plants was significant, but, in the soil compartment N was losing, and P and K were gaining. The results also show that nutrients in the soil compartment on the nature wild slope suffered slight loss.

Key words Slope land of red soil; Forest land; Nutrientdynamic; Simulation