

# 红壤丘岗区人工林恢复过程中的土壤养分状况

何园球<sup>1</sup> 沈其荣<sup>2</sup> 王兴祥<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 南京农业大学 南京 210095)

**摘要** 针对红壤丘岗区的自然条件和地形特点,在岗地上坡布置了一组人工林恢复实验,研究植被恢复过程中林地土壤的养分状况。12年的研究结果表明:人工恢复的阔叶林和混交林土壤养分前期下降,3年以后一直上升,总体出现盈余;原状的稀疏马尾松林和自然恢复植被土壤养分一直处于下降状况,前期(1~3年)下降快,后期较慢,目前仍在缓慢下降,特别是自然恢复植被,土壤养分处于严重的退化状况。在开发利用红壤丘岗地过程中,必须注意增加地表覆盖度,避免盲目开垦,减少水分和养分流失,使这类土壤资源得以持续利用。

**关键词** 红壤;人工林;土壤养分

**中图分类号** S157.9

红壤丘陵岗地是我国南方红壤区主要地貌景观之一,面积达80万km<sup>2</sup>,占红壤区总面积的36.7%。该区气候温暖,雨量丰沛,生物物质循环活跃,土壤和生物类型多样,是我国南方农业综合开发与林果发展的重要基地。然而,长期以来的不合理开垦,林地遭到毁灭性的破坏,大部分林地退化为草丛、稀疏马尾松或灌木,一些地区出现光板地,水土流失严重,土壤肥力下降,季节性干旱等环境资源退化过程仍继续进行。为了重建该区的生态系统,迅速恢复植被,各地种植了大量的人工林。那么,人工林对水土流失和土壤肥力的影响如何?目前尚存在不同的意见。因此,本文针对这一问题,在长期定位研究基地上,探讨几种人工林在恢复过程中对土壤养分状况和动态的影响,提出合适的红壤岗地植被恢复的建议,这对充分发挥红壤资源的巨大潜力,维持该区农业持续发展和环境友好将有十分重要的意义。

## 1 材料和方法

研究地点设在中国科学院红壤生态实验站内(北纬28°15'20",东经116°55'30"),年均降雨量1785mm,年均温17.8℃,≥10℃积温5528℃,无霜期262天;土壤为第四纪红粘土,地形为低丘岗地,原状植被为稀疏马尾松和草坡。

在丘岗顶部设立4hm<sup>2</sup>的综合积水区,区内设立稀疏马尾松(原状植被)、阔叶林(砍伐马尾松后人工

栽种小叶栎)、针阔混交林(砍伐马尾松后人工栽种小叶栎和湿地松)以及自然荒坡(砍伐马尾松后自然恢复)等4个面积为0.4hm<sup>2</sup>的小积水区。

在上述积水区内,布置水分、养分和凋落物等长期实验装置,测定降水、地表径流水、土壤渗漏水、泥砂等的数量、动态和几种养分元素含量,测定林木生长量、凋落量、地被物和相应的养分元素含量等。

## 2 研究结果

### 2.1 人工林地土壤养分形成基础

研究养分状况的主要任务之一,就是从宏观上探讨一个地区土壤的养分水平及变化总趋向,这从根本上决定于该土壤的养分平衡状况。研究表明,从几年到十几年的时间段内,人工林地养分水平变化表现出和林地土壤养分平衡大趋势相一致的趋向<sup>[1]</sup>。

**2.1.1 土壤养分的来源** 人工林土壤养分来源主要有降雨、凋落物、地被物及昆虫排泄物等途径。

(1) 降水及动态:统计结果表明,该区年均降雨量为1760.3mm,最大为2548.3mm,最小为1040.7mm,极差为1507.6mm,变异系数为0.19。3~6月为雨季,占年降雨量的58.96%,变异系数小,其它月份占41.04%,变异系数大。这种降雨时空分布不均的特征,使红壤区域具备了易发生水土流失、土壤易板结、养分贫瘠化以及春夏涝、伏秋旱,干

旱与洪涝频繁发生的客观条件<sup>[2]</sup>。

(2) 凋落物的数量及季节变化：森林从土壤中吸收的养分通过凋落物的形式归还给土壤。10年的动态测定数据表明：小叶桉林地的凋落量平均每年为  $3.97\text{t}/\text{hm}^2$ ，马尾松为  $1.48\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林为  $2.68\text{t}/\text{hm}^2$ ，对照（自然恢复）为  $0.34\text{t}/\text{hm}^2$ 。凋落量的年动态与林木的生长量相一致，即前期1~4年凋落量少，后期凋落量大；凋落物中以凋落叶为主，凋落枝较少。人工林凋落物的凋落过程具有明显的季节性特征，多在生长结束后出现高峰。不同林型凋落物的季节变化有较大的不同，小叶桉林主要集中在7~8月，凋落物量约占全年总量的80%（图2）；而马尾松林主要集中在8~11月，尤以9月份最高，8~11月份凋落量约占全年的80%；混交林则主要集中在8~12月，以8月最高（图1）。此外，病虫害对人工林的凋落量和凋落过程也产生一定影响。

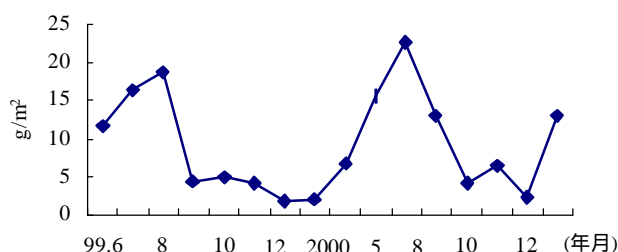


图1 按树混交林凋落物动态

Fig. 1 Dynamics of litter under eucalypt mixed-forest

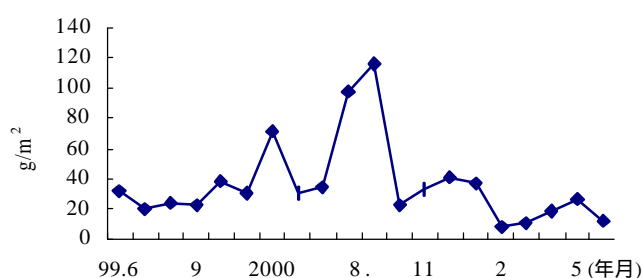


图2 阔叶林凋落物动态

Fig. 2 Dynamics of litter of broadleaf-forest

(3) 昆虫排泄物的数量及变化：人工林在其生长过程中几乎每年都要遭受病虫的侵害，形成大量的昆虫排泄物。如马尾松林在每年的6~9月会出现不同程度的虫害，其中1999.7月份最为严重，昆虫排泄物达  $804\text{kg}/\text{hm}^2$ ，8月份也有  $112\text{kg}/\text{hm}^2$ ；小叶桉林中8月份达  $320\text{kg}/\text{hm}^2$ 。10年的平均结果表明：小叶桉中昆虫排泄物为  $0.67\text{t}/\text{hm}^2$ ，马尾松为  $0.88$

$\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林为  $0.74\text{t}/\text{hm}^2$ ，对照为  $0.05\text{t}/\text{hm}^2$ 。这对提高人工林土壤肥力起积极的作用。

(4) 地被物的种类和数量：地被物以白茅、刺芒野古草等禾本种植被为主，每年春天发芽，并生长到冬天枯死，返回给土壤。地被物的数量小叶桉林地为  $0.87\text{t}/\text{hm}^2$ ，马尾松林地中为  $1.21\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林地中为  $0.97\text{t}/\text{hm}^2$ ，对照为  $1.57\text{t}/\text{hm}^2$ 。

2.1.2 土壤养分支出 人工林地养分支出主要有林木吸收以及地表径流和土壤渗漏损失等途径<sup>[3]</sup>。

(1) 林木和地被物吸收：12年的数据表明，地上部生物量小叶桉为  $93.7\text{t}/\text{hm}^2$ ，马尾松为  $26.4\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林为  $82.6\text{t}/\text{hm}^2$ ，自然草坡为  $5.3\text{t}/\text{hm}^2$ 。但前期生物量小，后期生物量很大，如4年生小叶桉的地上部生物量为  $8.2\text{t}/\text{hm}^2$ ，马尾松为  $2.4\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林为  $6.5\text{t}/\text{hm}^2$ 。

(2) 地表径流：不同植被地表径流量主要集中在4~7月，占全年的80%~83%；泥沙流失主要集中在5~7月，占全年80%左右。12年的结果表明，年均地表径流量马尾松为  $6607\text{t}/\text{hm}^2$ ，阔叶林为  $5922\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林为  $5970\text{t}/\text{hm}^2$ ，自然草坡为  $7973\text{t}/\text{hm}^2$ 。

(3) 土壤渗漏：渗漏水季节特征明显，主要集中在4~6月，占总渗漏量的63.2%~74.3%。12年的结果表明，年均地表径流量马尾松为  $2335\text{t}/\text{hm}^2$ ，阔叶林为  $3443\text{t}/\text{hm}^2$ ，混交林为  $3166\text{t}/\text{hm}^2$ ，自然草坡为  $1140\text{t}/\text{hm}^2$ 。

2.1.3 养分含量 雨水、地表径流水和土壤渗漏水中元素含量随季节、降雨量大小、降雨时间和降雨强度的不同而出现很大的差异。一般来说，雨季、降雨量大、降雨强度大，水中元素含量低，反之相反；林木的枝干和凋落叶也与季节关系密切。因此，在多次测定的基础上求出了参与林地土壤养分循环的几种主要物质的平均养分含量（表1和表2），并以此值计算土壤养分的收支情况<sup>[4]</sup>。

## 2.2 土壤养分平衡

根据以上各养分循环的途径和参数，计算了人工林土壤的养分平衡状况如表3。

从表3可以看出，不同的人工林地土壤有机质和养分出现较大的分异：原状的稀疏马尾松林地除P以外，其它均亏损，重新栽种的阔叶林和混交林地土壤有机质和养分均有赢余，而自然恢复植被土壤有机质和养分严重亏损；不同元素盈余以K最多，

表 1 红壤地表径流、渗漏水养分浓度 (mg/L)

Table 1 Nutrient contents in runoff and leaching in red soil (mg/L)

林型	地表径流			深层渗漏		
	N	P	K	N	P	K
马尾松	0.55	0.034	1.08	1.09	0.046	6.93
针阔林	0.51	0.039	1.00	1.06	0.060	2.05
阔叶林	0.52	0.045	0.88	1.06	0.038	2.81
自然草坡	0.67	0.044	1.09	0.98	0.044	1.25

表 2 主要林木和雨水中的养分含量 (g/kg)

Table 2 Nutrient contents in rainwater and trees (g/kg)

品 名	器 官	N	P	K
针叶树	枝 干	2.61	0.50	1.28
	凋落叶	6.65	0.79	3.64
阔叶树	枝 干	4.03	0.37	1.25
	凋落叶	20.76	1.08	2.28
地被物		20.8	1.10	2.30
昆虫排泄物		48.5	5.30	39.80

表 3 人工林地土壤的养分平衡 (%)

Table 3 Nutrient balance in artificial forest soil (%)

项目	有机质	N	P	K	速效 K ( K <sub>2</sub> O )
针叶林	-4.6	-8.0	5.3	-13.9	-6.6
阔叶林	8.3	25.5	14.8	58.2	34.9
混交林	9.2	21.1	15.6	65.5	45.3
自然草坡	-35.5	-70.0	-57.1	-59.2	-43.2

P、N 次之，而有机质含量最少。这说明混交林和阔叶林由于覆盖度大，凋落量大，加之凋落叶中养分含量高，地表径流小，因而有利于养分积累，使土壤有机质和 N、P、K 水平提高；原状的稀疏马尾松林覆盖度小，凋落量小，凋落物中养分含量低，同时，地表径流量大，因而不利于养分积累，使土壤有机质和 N、P、K 水平下降；自然恢复植被有很少的植被覆盖，凋落返回土壤的养分少，加之养分流失量较大，故土壤处于严重的退化状况。这说明，在开发利用红壤低丘岗地的过程中，必须增加地表覆盖度，避免盲目开垦，同时，选择合适的林被品种和合理的搭配方式，使这类土壤资源得以持续利用。

2.3 土壤养分动态

图 3~7 反映了人工林在 12 年生长过程中土壤的养分动态变化：从图 3、4、7 中可以看出，稀疏马尾松林以及其林被破坏后恢复的自然植被中，土

壤养分和有机质一直处于下降状况，以植被破坏后的前 1~3 年下降最快，以后下降较慢，到 2000 年仍在缓慢下降，不同的养分尤以有机质、全 N、全 K 下降较快，有机 P 下降较慢；稀疏马尾松林被破坏后栽种阔叶林和针阔混交林后，其养分总体来说在前期 1~3 年处于下降状况，且下降较快，3 年以后一直上升，到 2000 年上升缓慢，其中有机质、全 N、全 K 上升较快，全 P 上升较慢（图 5、6、7）。这主要是稀疏马尾松林和自然恢复的林被覆盖度小，植物归还量小，养分流失量大之故，而阔叶林和针阔混交林前期覆盖度小，养分归还量小，流失量大，因而养分处于下降，后期随着林被的生长，植被覆盖度增加，养分归还量增加，流失量减少，因而土壤养分上升。这说明，红壤丘岗地开发利用种植人工林时，应种植混交林，避免种植针叶林，同时前期应套种牧草或旱作，增加地表覆盖度，减少前期土壤养分的急剧下降<sup>[5]</sup>。

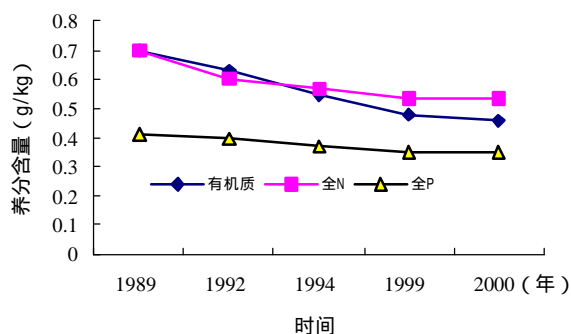


图3 自然荒地土壤养分动态

Fig. 3 Dynamics of nutrients in natural wastelands soil

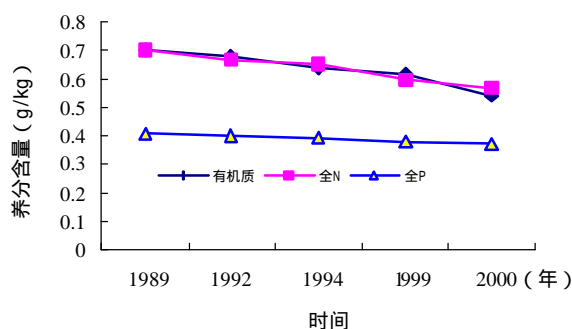


图4 针叶林地土壤养分动态

Fig. 4 Dynamics of nutrients in conifer forest soil

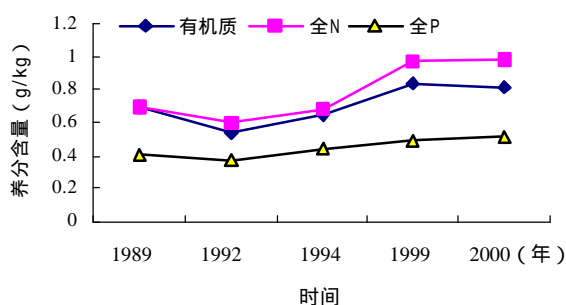


图5 阔叶林土壤养分动态

Fig. 5 Dynamics of nutrients in broad-forest soil

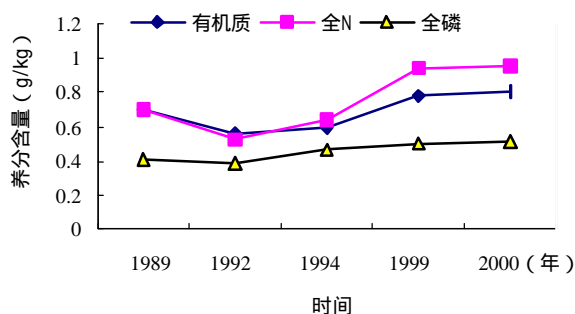


图6 混交林土壤养分动态

Fig. 6 Dynamics of nutrients in mixed-forest

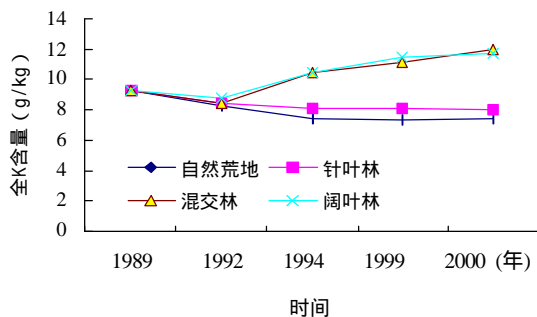


图7 土壤全K动态

Fig. 7 Dynamics of total K in soil

### 3 初步结论

1. 人工林恢复过程中土壤养分来源有凋落物、地被物、降雨及昆虫排泄物等途径，以凋落物为主，养分的收入与林被的生长关系密切，前期少，后期多；养分流失主要有林被吸收、地表径流和土壤渗漏等途径，以林被吸收为主，地表径流损失随植被的恢复而减少，土壤渗漏则相反。

2. 人工林地土壤养分状况：随着人工林植被的恢复，林地土壤养分出现较大的分异：阔叶林和混

交林土壤养分出现盈余，使有机质和N、P、K水平提高；原状的稀疏马尾松林和自然恢复植被土壤养分出现亏损，使土壤有机质和N、P、K水平下降，特别是自然恢复植被，土壤处于严重的退化状况。

3. 土壤养分动态变化：在12年人工林植被恢复过程中，原状的稀疏马尾松林和自然恢复植被土壤养分一直处于下降状况，前期下降快，后期较慢，目前仍处于缓慢的下降过程中，其中有机P下降较慢，其它较快；人工恢复的阔叶林和混交林土壤养分前期下降，且下降速率较快，3年以后一直上升，其中有机质、全N、全K上升较快，全P上升较慢。

4. 在开发利用红壤丘岗地过程中，必须增加地表覆盖度，避免盲目开垦，选择合适的林被品种和合理的搭配方式，在种植人工林时，应种植混交林，避免种植针叶林，同时前期应套种牧草或旱作，减少土壤水分和养分流失，使这类土壤资源得以持续利用。

### 参考文献

- 1 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方6省农田养分平衡现状评价和动态变化研究. 中国农业科学, 2000, 33 (20):

- 63~67
- 2 谭清美, 王明珠等. 低丘红壤区水资源的时空变异及综合利用开发, 红壤生态系统研究第三集, 北京: 农业出版社, 1995, 260~270
- 3 何园球. 红壤农业生态系统水分循环、平衡及其调控研究. 1996, 土壤, 30 (1): 20~24
- 4 He Yuanqiu. Nutrient Cycling and Balance in Red Soil Agroecosystem and Related Management Options. *Pedosphere*, 2000, 10 (2): 107~116
- 5 王明珠, 何园球, 张斌. 江西低丘红壤开发模式的优化与应用. 江西农业学报, 1995, 第 7 卷增刊

## DYNAMIC OF NUTRIENTS IN ARTIFICIAL FOREST SOIL IN LOW HILL RED SOIL REGION

He Yuanqiu<sup>1</sup> Shen Qirong<sup>2</sup> Wang Xingxiang<sup>1</sup>

( 1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008*; 2 *Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095* )

**Abstract** A long-term experiment based on the natural conditions and geomorphologic characteristics of the red soil area was conducted on top of a low hill of red soil derived from the Quaternary red clay in the Ecological Experiment Station of Red Soil, the Chinese Academy of Science, located in Yingtan (28°15' 30" N, 116°55' 30" E), Jiangxi Province to study dynamics of nutrients in the process of artificial rehabilitation of forests. Results of the 12 years-long experiment show that the soil nutrient budget of broadleaf forests and mixed forests tended to be in deficit in the first 1~3 years and began to turn the other way round afterwards and eventually gained in surplus.. But under original sparse natural mason pine forests and under naturally restored vegetation, the soils were losing nutrients rapidly in the first three years and slowly in the later years. They are still losing, but very slow. Especially in the soil under naturally restored vegetation, the nutrient loss is so serious that the soil is on the brink of degradation. It is, therefore, essential that special attention be paid to restoring vegetation coverage, avoiding random reclamation, and controlling water and soil loss so as to protect the soil resources for sustainable utilization.

**Key words** Red soil, Artificial forest, Soil nutrient character