

橡胶人工林养分循环通量及特征

赵春梅^{1,3}, 蒋菊生^{2,*}, 曹建华¹, 熊代群², 谢贵水¹, 李晓波^{1,3}

(1. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南儋州 571737; 2. 海南农垦科技创新中心, 海南海口 571026;

3. 海南大学环境与植物保护学院, 海南儋州 571737)

摘要: 对不同树龄的 PR107 无性系橡胶人工林 N、P、K 3 种元素的养分循环通量及特征进行了研究。结果表明: (1) 橡胶林生态系统养分循环通量中养分总吸收量为 315.28 ~ 949.13 kg/hm², 总存留量为 282.78 ~ 714.51 kg/hm², 总归还量为 32.50 ~ 205.74 kg/hm², 胶乳总损失量为 10.18 ~ 37.73 kg/hm², 土壤中养分总输入量为 111.73 ~ 652.79 kg/hm², 总输出量为 315.28 ~ 949.13 kg/hm², 平均亏损量为 -249.94 kg/hm², 各循环通量都随着树龄的增加而增大, 其中 3 种养分元素的大小顺序均为 N > K > P; (2) 胶林生态系统养分循环特征参数中吸收系数随林分生长呈凸抛物线变化(先增大后减小), 归还系数逐渐上升, 存留系数不断下降, 周转时间加快, 而 6a 后, 胶林的枯落物养分平衡指数与土壤养分平衡指数开始下降, 胶园土壤养分收支失衡, 另外, 产胶对养分的利用效率在 14a 前后表现为先升高后降低; (3) 不同元素循环特征参数有差异。吸收系数、归还系数中的大小顺序为 N > P > K, 存留系数为 K > P > N, 枯落物养分平衡指数为 K > N > P, 土壤养分平衡指数为 P > N > K, 养分利用率为 P > K > N, 表明 N 的流动性大, 故循环速率最快, 循环水平最高, 其次是 K, 而 P 的循环速率最慢, 水平最低。

关键词: 橡胶人工林; 养分循环; 通量; 特征

文章编号: 1000-0933(2009)07-3782-08 中图分类号: S718.55 文献标识码: A

Feature and flux of nutrient cycling in rubber plantation

ZHAO Chun-Mei^{1,3}, JIANG Ju-Sheng^{2,*}, CAO Jian-Hua¹, XIONG Dai-Qun², XIE Gui-Shui¹, LI Xiao-Bo^{1,3}

1 Rubber Research Institute of CATAS, Danzhou, Hainan 571737, China

2 Innovation Centre of Sci & Tec of State Farms, Haikou, Hainan 571026, China

3 Environment & Plant Protection College of Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3782 ~ 3789.

Abstract: Rubber plantations are one of the most successful types of artificial forests. The flux and characteristic parameters of 3 cycling nutrient elements (N, P, K) were studied in a rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation of Clone PR107 at different ages. The results show that: (1) The flux of nutrients were found to increase with the age of the growth, which ranged as N > K > P. The total nutrient absorption, retention, return and nutrient of rubber latex in rubber plantation ecosystem were estimated to be 315.28 — 949.13 kg · hm⁻² · a⁻¹, 282.78 — 714.51 kg · hm⁻² · a⁻¹, 32.50 — 205.74 kg · hm⁻² · a⁻¹ and 10.18 — 37.73 kg · hm⁻² · a⁻¹. The nutrient input and output in soil ranged from 111.73 kg · hm⁻² · a⁻¹ to 652.79 kg · hm⁻² · a⁻¹, and 315.28 kg · hm⁻² · a⁻¹ to 949.13 kg · hm⁻² · a⁻¹, and the loss of nutrient in soil was just -249.94 kg · hm⁻² · a⁻¹; (2) Characteristic parameters of nutrient cycling changed with increasing age. Both absorption and return coefficients increased, retention coefficient decreased, and soil and litter nutrient equilibrium index declined as well after 6 years. The litter decomposition limited the rate of nutrient cycling, which resulted in nutrient imbalance in the soil. Nutrient utilizing efficiency was reduced after the first growth up to 14 years; (3) There were differences of the characteristic parameter of nutrient cycling for each element. Absorption and return coefficient both ranked in the following order: N > P > K, retention coefficient and nutrient utilizing efficiency followed the sequence K > P > N and P > K > N, but the soil and

基金项目: 国家农业部科研所基本业务费资助项目(ywf2007); 海南省自然科学基金资助项目(070835)

收稿日期: 2008-09-17; **修订日期:** 2009-02-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jjs18188@163.com

litter equilibrium index stood in the order of $P > N > K$ and $K > N > P$. It's also indicated that the liquidity of elements were the largest in N, second in K, and least in P, and so were the cycling rate and level.

Key Words: rubber plantation; nutrient cycling; flux; feature

养分循环是森林生态系统中一个非常复杂和重要的过程,已经成为森林生态学研究热门课题之一。养分循环速率反映了森林生态系统物质循环的快慢程度,决定着森林生态系统的健康与稳定。养分循环特征参数是量化森林生态系统养分循环速率快慢的有效指标。要反映森林生态系统养分循环水平,单凭某一指标是不能实现的,正确的方法是通过若干特征参数从不同角度分析生态系统各个环节的养分循环速率,以及整体上评价森林生态系统的养分循环状况^[1]。

橡胶林是热带地区主要的人工生态系统之一,也是一个重要的经济林。国内外对橡胶林养分的研究已经取得了丰富成果,主要集中在胶园土壤养分变化^[2,3]、胶树养分含量与分配^[4~7]、胶乳养分流失^[8]、凋落物归还及分解^[9,10]等方面,然而这些研究仍停留在静态分析水平上^[11],未能反映整个胶林的养分动态变化及循环速率。关于橡胶林生态系统养分循环的研究,国外已有相关报道^[12],但在国内还未见橡胶人工林养分循环及特征的研究。为此,本文将通过对橡胶人工林养分循环特征参数的计算,分析目前橡胶林生态系统养分循环的速率,为指导合理人工施肥、提高橡胶林胶乳生产量提供理论依据。

1 试验地自然概况

试验地位于海南省儋州市,平均海拔 142.79m,年均降水量为 1961.1mm,年蒸发量 1667.3mm,湿润系数为 0.586。年平均温度为 23.5℃,绝对最高气温 40.4℃,绝对最低气温 1.5℃。全年无霜,年日照数为 2175.7h。植物可全年生长,属典型热带海岛季风气候。儋州市橡胶栽培面积 5.89 万 hm^2 ,占全省的 15.69%。胶园土壤为砖红壤,是海南具有代表性的土壤类型。

2 材料与研究方法

2.1 材料与试验设计

研究材料为不同树龄段的无性系 PR107 胶树,割制为现行普遍推广的乙烯利刺激割胶制度($S/2 \cdot d/3 + ET 2.0\%$)。本研究采用时空互代法,选择立地条件(如地势、坡度、管理措施)基本一致的海南农垦胶园,以 3a 为一个年龄段,8 个年龄段分别为:4~6a、7~9a、10~12a、13~15a、16~18a、19~21a、22~24a、25~27a,每一年龄段选择一个试验样地,8 个试验样地胶树的树龄分别为 4、6、8、14、17、19、22、24a,各样地内随机设置 3 个重复,每一重复 70~80 株胶树,株行距均为 3m×7m,约 476 株/ hm^2 。8 个树龄橡胶树的平均树高 11.4m,枝下高 2.65m,郁闭度 0.8,树围分别为 36.58、49.56、55.37、63.10、66.76、69.83、72.52、73.03cm。试验区地势比较平坦,为单一人工群落,群落结构简单,林下以当年生草本植物居多,极少见灌木,地表覆盖较好,不易形成地表径流。

2.2 采样方法

2.2.1 采样时间

土壤、胶树、枯落物现存收集以及枯落物分解的试验采样时间均为 2007、2008 年 3 月;凋落物收集为每月;胶乳采样为一年中割胶月份的上中下旬;施肥时间分别为每个季度(开割树)或每两月(未开割树)。

2.2.2 土壤、胶树采样

土壤样品采用 S 形布点取样法,在胶林行间(避开肥穴)分层(0~20cm、20~40cm)采集 5 个样点,混合各样点各层土样,用四分法保存 1.0 kg 混合土样作分析,测定土壤容重,计算土壤重量。

测定样地中所有胶树离地 1.3m 处的胸径,参照文献^[13]建立的橡胶树体生物量估算模型进行估算本试验树体的生物量。

各样地选取 3 株标准样木,分别取其不同器官(叶、枝、皮、干、根)样品至少 200g。叶片采集随机选取 9~

10 株胶树不同方向下层的稳定叶,每一叶柄的 3 片叶片取中间叶片进行混合;树枝取 3 株标准树中直径等于或小于 4cm 的枝条样本进行混合;树皮包括韧皮和表皮,取 3 株标准树的树皮样本进行混合,取样部位离地 3m 处(树干中上部);干材用生长锥进行钻木取样,部位同树皮;树根采用收获法,在标准树上选择一个方向挖根,取断面直径小于 1cm 的根系混合样。

2.2.3 枯落物现存、分解与归还的测定

用面积 0.25m²的铁圈在样地内取样 10 个,并将圈内的现存枯落物全部收回,按各组分称干重,计算枯落物年现存量;将混合后的新鲜枯落物称取枯叶 50g、枯枝 80g 装入 30 cm × 30cm 孔径为 1mm 的尼龙网袋中,每种枯落物 36 个分解袋,为了避免人、畜等其他因素的干扰,将网袋填埋在样地地表下 5cm 以内,设置 3 个重复,每个重复 12 袋,于 2008 年 3 月全部取出称重,计算枯落物年分解量;在样地内分别设置 5 个 1m × 1m 的尼龙网收集器,每月收集各收集器中凋落物 1 次,按叶、枝、果实等组分测定干重,计算凋落物年归还量。

2.2.4 胶乳采样与人工施肥

自割胶开始,每月上、中、下旬在样地各重复取约 30ml 胶乳混样,采集胶样时并记录样地每月的割胶株数、干含、干胶总产量。施肥方式和数量根据未开割树和开割树而定,由样地所在胶园负责人协助完成施肥种类、数量与时间的记录。

2.2.5 水文测定

本实验未考虑树干茎流、地表径流等途径的养分量,降雨输入仅参考历年资料^[14]。

2.3 样品分析

植物样与胶乳样分析:全 N 用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-半微量凯氏法测定,全 P 用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钼锑抗比色法测定,全 K 用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-火焰光度计法测定。

土样分析:全 N 用 K₂Cr₂O₇-H₂SO₄ 消化-半微量凯氏法测定,全 P 用 NaOH 碱熔法测定,全 K 用 NaOH 熔融-火焰光度法测定。

2.4 统计方法

所有数据用 Excel 2003 软件进行统计分析、作图。

2.5 养分循环特征参数的计算

采用吸收系数、存留系数、归还系数、周转时间等生物循环参数^[15,16],以及枯落物养分平衡指数^[1]、土壤养分平衡指数^[1]、养分利用效率等参数来分析养分循环的特征,其中养分吸收系数为年吸收量与根层土壤中养分贮量的比值,表明林木在各生长期对养分的吸收能力;养分存留系数为存留量与吸收量的比值,反映林木自身生长对养分的存留状况;养分归还系数(亦称循环强度)为归还量与吸收量的比值,表征元素的循环强度;周转时间为胶树养分的总贮存量除以归还量,表示养分元素经历一个循环周期所需的时间;枯落物养分平衡指数是随枯落物分解年释放的养分量与随凋落物年归还的养分量的比值,体现林地枯落物层元素的流动性;土壤养分平衡指数是土壤养分输入量与输出量的比值,输入包括凋落物归还、树干茎流归还、降雨输入、人工施肥等,输出主要指林木吸收、地表径流,该指标反映的是土壤养分收支状况;养分利用效率为养分吸收量与林木生产量的比值,可以作为研究林地养分利用效率的通用指标^[1]。

3 结果与分析

3.1 橡胶人工林养分循环通量

生物循环是发生在土壤分室和林木分室之间的养分流动过程,包括吸收、存留和归还 3 个环节,循环平衡公式为:吸收 = 存留 + 归还^[17]。林分的养分归还包括凋落物归还、林内雨和树干茎流归还,据以往研究表明,橡胶林树干茎流与林内雨归还的养分量极少于凋落物^[18],故本文只计算凋落物归还量,另外橡胶人工林的养分吸收还应该包括胶乳中养分流失。表 1~3 计算出了橡胶人工林养分循环通量,不同树龄胶林中 N、P、K 元素的总吸收量为 315.28 ~ 949.13 kg/hm²,总存留量为 282.78 ~ 714.51 kg/hm²,总归还量为 32.50 ~ 205.74 kg/hm²,胶乳总损失量为 10.18 ~ 37.73 kg/hm²。3 种养分元素在总吸收量、存留量、归还量与胶乳流失量中

的比重分别为 N 57.44%、55.08%、72.31%、52.00%; P 6.00%、6.10%、4.22%、13.66%; K 36.56%、38.83%、23.47%、34.34%。橡胶林生物循环中各通量的大小均表现为 N > K > P,可见胶树对 N 素的养分需求非常重要。

橡胶人工林土壤分室中养分输入途径包括枯落物分解释放、降雨输入、树干茎流和人工施肥等,养分输出途径主要是胶树吸收和地表径流。由于胶园地势平坦,地表草本植物覆盖较好,地表流失量较小,本文暂不考虑地表径流,因此土壤养分输入输出计算结果会比实际稍小。表 1~3 可以看出,不同树龄胶林土壤中养分总输入量为 111.73~652.79 kg/hm²,总输出量为 315.28~949.13kg/hm²,平均亏损量为 -249.94 kg/hm²,而 N、P、K 元素的盈亏量分别由 43.64、41.97、14.96 (kg/hm²) 降至 -197.96、-0.61、-105.33 (kg/hm²)。胶树产胶初期(6~8a),胶园土壤养分还处于盈余状态,高产期(10a)之后,土壤中 N 和 K 元素持续亏损,亏损程度随着树龄增大而加剧,P 素也由盈余开始减少,并接近亏损状态,此外,幼龄(4a)胶园土壤中各元素都处于缺乏状态。

表 1 橡胶人工林生态系统 N 循环通量(kg/(hm²·a))

Table 1 The flux of N element cycling in rubber plantation ecosystem

树龄 Age(a)	吸收 Absorption	存留 Retention	归还 Return	胶乳流失 Latex loss	枯落物分解 Decomposition	降雨输入 Rain input	施肥 Fertilizer	干胶产量 Latex output
4	177.47	152.46	25.01	-	12.72	19.91	35.21	-
6	205.30	169.75	30.13	5.42	22.86	19.91	286.41	750.00
8	291.41	238.46	43.73	9.22	28.73	19.91	286.41	1172.22
14	368.90	282.50	72.78	13.62	38.67	19.91	286.41	1644.44
17	454.58	343.27	95.64	15.67	48.09	19.91	286.41	1705.56
19	519.38	386.20	115.71	17.47	56.86	19.91	286.41	1772.22
22	571.80	413.66	138.25	19.89	67.52	19.91	286.41	1833.33
24	560.21	407.09	140.22	12.90	70.93	19.91	286.41	1461.11

表 2 橡胶人工林生态系统 P 循环通量(kg/(hm²·a))

Table 2 The flux of P element cycling in rubber plantation ecosystem

树龄 Age(a)	吸收 Absorption	存留 Retention	归还 Return	胶乳流失 Latex loss	枯落物分解 Decomposition	降雨输入 Rain input	施肥 fertilizer	干胶产量 Latex output
4	16.65	15.41	1.24	-	0.36	0.14	2.80	-
6	19.85	16.96	1.53	1.36	0.55	0.14	61.13	750.00
8	27.46	22.32	2.27	2.87	0.81	0.14	61.13	1172.22
14	38.80	30.54	4.56	3.70	1.22	0.14	61.13	1644.44
17	47.56	38.07	5.57	3.92	1.49	0.14	61.13	1705.56
19	59.13	46.72	7.97	4.44	1.80	0.14	61.13	1772.22
22	63.98	50.74	8.41	4.83	2.10	0.14	61.13	1833.33
24	63.26	50.60	9.29	3.37	2.13	0.14	61.13	1461.11

表 3 橡胶人工林生态系统 K 循环通量(kg/(hm²·a))

Table 3 The flux of K element cycling in rubber plantation ecosystem

树龄 Age(a)	吸收 Absorption	存留 Retention	归还 Return	胶乳流失 Latex loss	枯落物分解 Decomposition	降雨输入 Rain input	施肥 Fertilizer	干胶产量 Latex output
4	121.16	114.91	6.25	-	7.28	12.00	21.31	-
6	175.13	162.94	8.79	3.40	12.13	12.00	165.96	750.00
8	210.57	192.23	11.77	6.57	13.06	12.00	165.96	1172.22
14	227.41	195.46	22.58	9.37	16.65	12.00	165.96	1644.44
17	263.74	220.01	33.39	10.34	20.48	12.00	165.96	1705.56
19	295.78	240.24	43.89	11.65	25.01	12.00	165.96	1772.22
22	313.35	250.11	50.23	13.01	30.06	12.00	165.96	1833.33
24	313.00	248.78	56.23	7.99	34.18	12.00	165.96	1461.11

3.2 橡胶人工林养分循环特征

图 1 ~ 图 8 表示出不同树龄橡胶人工林生态系统养分循环各特征参数的范围及变化规律。

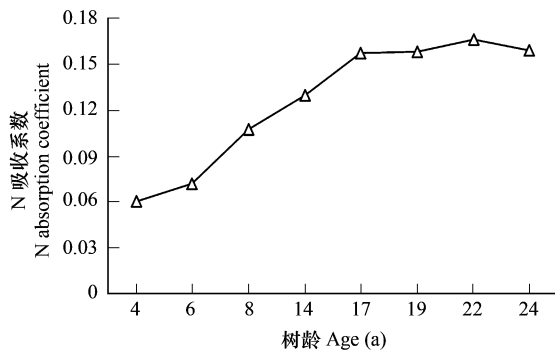


图 1 不同树龄 N 素吸收系数

Fig. 1 The N absorption coefficient under different ages

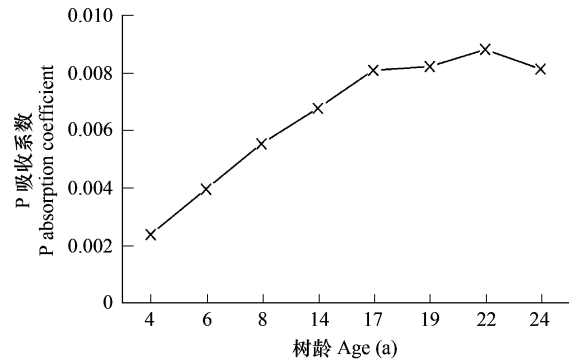


图 2 不同树龄 P 素吸收系数

Fig. 2 The P absorption coefficient under different ages

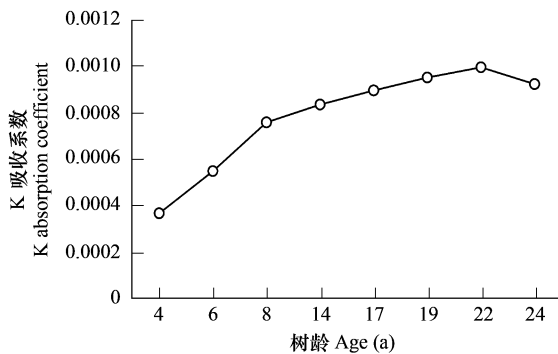


图 3 不同树龄 K 素吸收系数

Fig. 3 The K absorption coefficient under different ages

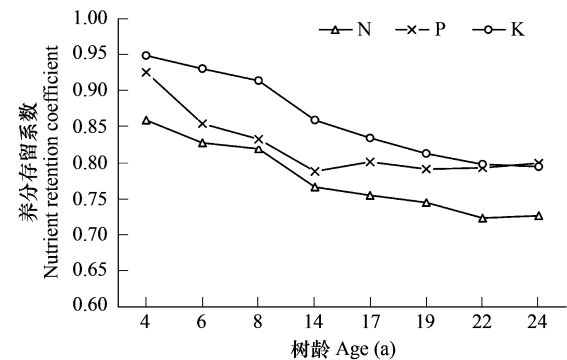


图 4 不同树龄养分存留系数

Fig. 4 The nutrient retention coefficient under different ages

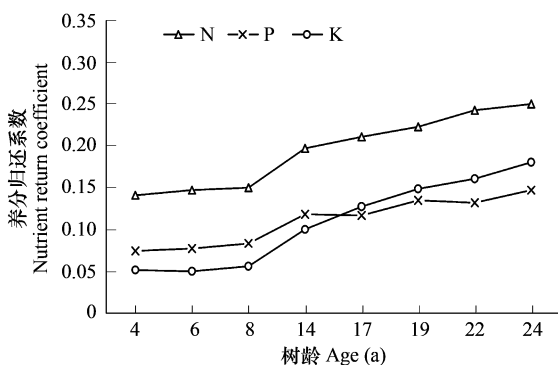


图 5 不同树龄养分归还系数

Fig. 5 The nutrient return coefficient under different ages

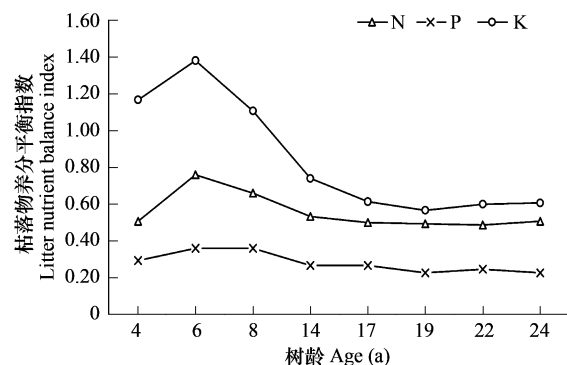


图 6 不同树龄枯落物养分平衡指数

Fig. 6 The nutrient balance index of litter under different ages

图 1 ~ 3 中不同树龄胶树对各养分元素的吸收系数分别为 N 0.06 ~ 0.17、P 0.002 ~ 0.009、K 0.0004 ~ 0.001, 可见胶树对养分元素的吸收能力大小为 $N > P > K$, 并且所有吸收系数都随林分生长呈凸抛物线变化 (先增加后减少)。图 4 中胶树对各元素的存留系数大小范围为 N 0.72 ~ 0.86、P 0.79 ~ 0.92、K 0.79 ~ 0.95, 比较其大小: $K > P > N$, 且 3 种元素存留系数都随树龄增加而减小, P 在中龄 (14a) 后变化较小。归还系数中

N、P、K 分别为 0.14 ~ 0.25、0.07 ~ 0.14、0.05 ~ 0.18, 而 N 归还水平是 P、K 的 2 倍左右, P 和 K 的归还水平相当(图 5)。从 6a 至 24a, 橡胶人工林 N、P、K 元素养分循环的周转时间分别由 12.32、21.56、32.21a 减少到 6.14、10.02、12.96a, N 周转时间最短, 其次是 P, K 最长。

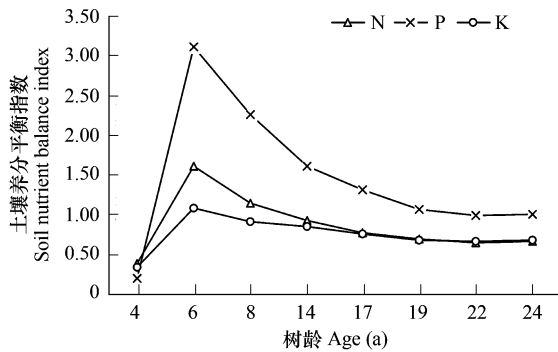


图 7 不同树龄土壤养分平衡指数

Fig. 7 The nutrient balance index of soil under different ages

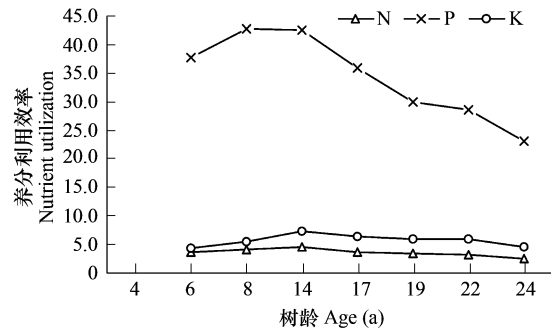


图 8 不同树龄养分利用效率 REI

Fig. 8 The revised Chapin index REI under different ages

枯落物养分平衡指数反映的是林地枯落物层中养分平衡动态, 当指数 < 1 时, 说明林地枯落物分解小于归还而处于富集状态, 当指数值 > 1 时, 说明林地枯落物分解大于归还而处于衰减状态, 当指数值为 1, 说明枯落物层中归还与分解处于平衡状态。图 6 中橡胶人工林的枯落物养分平衡指数范围分别为 N 0.49 ~ 0.76、P 0.23 ~ 0.36、K 0.57 ~ 1.38, 各年龄段胶林的枯落物层中 N、P 元素都处于富集状态, 分解释放速率减慢, 而 P 的积累程度高于 N 和 K, K 在 8a 前(除 4a 以外)表现为衰减, 8a 之后也开始出现富集, 另外, 3 种元素的枯落物养分平衡指数在 14a 之后达到稳定值, 表明胶林枯落物层中养分处于动态平衡。

土壤养分平衡指数反映出了林分土壤的养分收支状况, 而土壤养分收支状况既是指导人工施肥的理论依据, 也是林地养分循环水平的直接反映。土壤养分平衡指数是土壤分室中养分输入与输出的比值。图 7 可以看出, 胶林土壤养分平衡指数的变化趋势除幼龄(4a)外, 随着树龄的增加, N、P、K 元素分别从 1.60、3.11、1.08 降至 0.65、0.99、0.66, 下降速率由快到慢, 胶园土壤的养分输入输出状态由平衡变为不平衡。此外, P 素的土壤养分平衡指数比 N、K 都高, 而 N 和 K 相差不大。

胶林更新砍伐之前, 以产胶为经营目的, 胶树对养分的利用效率应该是单位产量的干胶对养分的吸收量来反映, 吸收量多说明养分利用效率低, 反之则高。图 8 表明, 随着树龄的增加, N、P、K 元素的养分利用效率都呈先升高后降低的趋势, 14a 时均达到高峰。胶林的平均养分利用效率分别为 N 3.45、P 33.34、K 5.56, 而 P 的利用效率远远高于 N 和 K, K 比 N 稍高。

4 讨论与结论

(1) 不同树龄橡胶树对各养分元素的吸收、存留、归还存在差异

不同年龄段橡胶林吸收和存留的养分量也不同^[19]。据测定, 4a 胶树积累的 N、P、K 养分量分别为 426、30、188 kg/hm², 而 33a 胶树积累的对应该养分量则分别为 1779、278、1233; 周再知等人报道橡胶与砂仁间作复合系统营养元素的年吸收量为 1083.43 kg/hm², 是纯胶林的 2.1 倍^[7]。本研究中, 橡胶林生物循环中养分吸收、存留、归还量都随树龄增加而增大, 胶乳中养分流失量的变化与不同树龄干胶产量一致, 干胶产量越高, 胶乳养分流失就越大, 反之越小。另外, 胶林树木中不同元素的吸收量、存留量、归还量也存在差异, 其大小均表现为 N > K > P, 这与胶树生理生长过程对不同元素的利用机制有关。

(2) 不同树龄橡胶人工林土壤养分平衡变化

胶园土壤养分状况分析, 已成为了橡胶林营养指导施肥和平衡施肥的重要部分^[20]。而胶园土壤肥力状况又一直令人担忧, 近年来许多学者对土壤中养分元素状况进行了研究, Abraham^[21]等发现在植胶 10a 后, 土

壤中 K 下降了 10%, 但 P 素变化不明显 2003 年中国热带农业科学院橡胶研究所对海南、云南、广东三大垦区胶园土壤进行的测评结果表明, 土壤肥力呈下降趋势。本研究中也发现胶园土壤养分收支严重失衡。结果表明, 4~24a 龄橡胶林养分平均亏损量为 249.94 kg/hm^2 , 其中 N、P、K 元素的盈亏量分别由 43.64、41.97、14.96 (kg/hm^2) 降至 -197.96、-0.61、-105.33 (kg/hm^2), 而来自凋落物和树体淋溶归还的养分较少, 胶园土壤养分失衡、肥力下降的现象很大程度上与不同树龄胶林的施肥方式及水平有关。

(3) 不同树龄橡胶人工林中各养分元素循环特征有差异

随着树龄的增加, 胶树中各元素的吸收系数都呈凸抛物线变化(先增大后减小), 归还系数逐渐增大, 存留系数不断减小, 周转时间逐渐缩短, 然而枯落物养分平衡指数下降, 养分分解释放速率减慢, 土壤养分平衡指数降低, 说明橡胶林养分循环速率又在逐渐减慢。比较 3 种元素, 其中 N 流动性大, 故循环速率最快, 循环水平最高, 其次是 K, P 的流动性最小, 循环速率最慢, 水平最低。此外, 胶树产胶过程对养分的利用效率先升高后降低, 说明后期虽然产量提高, 但却是以消耗更多的养分为代价。

综上所述, 橡胶人工林养分循环通量都随着树龄增加而不断增大, 但胶园土壤的养分收支状况仍出现严重失衡。从胶林养分循环特征来看, 虽然吸收、归还系数都在增大, 但是枯落物分解释放养分速率减慢, 导致土壤养分平衡指数降低, 从而减慢了整个胶林养分循环速率。因此, 为充分发挥橡胶林生态系统的自我调节功能和提高胶乳产量, 需要根据胶林在不同生长和生产期对不同养分元素的需求状况, 进行科学的经营管理和人工施肥, 改善胶园土壤肥力, 维持橡胶林养分循环的正常运行, 以提高林地生产力。

References:

- [1] Liu Z W, Zhao X G. On the characteristic parameters of nutrient cycling in forest ecosystem. *Journal of Northwest Forestry College*, 2001, 16(4): 21–24.
- [2] Liu C Q, Song X K. Distribution of root activity of young rubber trees. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1986, 7(1): 19–24.
- [3] Aweto A O. Physical and nutrient status of soils under rubber (*Hevea brasiliensis*) of different ages in South Western Nigeria. *Agricultural Systems-UK*, 1987, 23(1): 63–72.
- [4] Liao J F. The contents of trace elements in rubber trees in Hainan province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1999, 38 (suppl.): 121–125.
- [5] Guan D S, Luo L. Chemical element concentrations of tropical plant leaves in Hainan province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(2): 28–32.
- [6] Rodrigues M do R L, Neves C S V J, Silva A C, et al. Nutrient content and redistribution in leaves of *Hevea brasiliensis* and *Pinus oocarpa*. *Semina Londrina*, 2000, 21(1): 61–66.
- [7] Zhou Z Z, Zheng H S, Yang Z J, et al. Research on spatal pattern of biomass and nutrient element in plantation of rubber intercroppen with amomum longiligulare. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 225–233.
- [8] Cao J H, Jiang J S, Yang H, et al. Loss of mineral elements due to latex export under five tapping systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2563–2570.
- [9] Ren Y H, Cao M, Tang J W, et al. A comparative study on litterfall dynamics in a seasonal rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(5): 418–425.
- [10] Philip A, Philip V, George E S, et al. Leaf litter decomposition and nutrient release in a fifteen year old rubber plantation. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 2003, 16(1/2): 81–84.
- [11] Cao J H, Jiang J S, Zhao C M, et al. Advances on nutrient circulation under rubber plantation ecosystem. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2007, 27(3): 48–56.
- [12] Murbach M R, Boaretto A E, Muraoka T, et al. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. *Scientia Agricola*, 2003, 60(2): 353–357.
- [13] Zhou Z Z, Zheng H S, Yi G T, et al. Biomass equations for rubber tree in southern China. *Forestry Research*, 1995, 8(6): 624–629.
- [14] Jiang J S, Wang R S. Industrial ecology of rubber in Hainan. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press, 2004. 105–106.
- [15] Mo J M, Sandra, Kong G H, et al. Nutrient distribution and cycling of a Masson's pine planted forest in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 635–640.
- [16] Wen Z M, Liang M L. The productivity and the biocycling of nutrient elements of Masson pine. *Journal of Guangxi Agricultural College*, 1991, 10

(1):49—57.

- [17] Pan W C, Tian D L, Lei Z X, *et al.* Studies on nutrient cycling in Chinese fir plantations. *Journal of Central South Forestry College*, 1983, 3(1): 1—17.
- [18] Wang L F (Edited). *Weather on rubber*. Beijing: Weather Press, 1989. 69—70.
- [19] Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, South China University of Tropical Agriculture. *Chinese cultivation of tropical crops*. The China Agricultural Press, 1998. 93—94, 122—126.
- [20] He K, Huang Z D eds. *Rubber culture in the northern part of tropical area*. Guangdong Science & Technology Press, 1987. 212—213.
- [21] Abraham J, Philip A, Punnoose K I. Soil nutrient status during the immature phase of growth in a rubber plantation. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 2001, 14(2):170—172.

参考文献:

- [1] 刘增文,赵先贵. 森林生态系统养分循环特征参数研究. *西北林学院学报*, 2001, 16(4):21~24.
- [2] 刘崇群,宋星科. 幼龄橡胶树根系活力分布的研究. *热带作物学报*, 1986, 7(1):19~24.
- [4] 廖金凤. 海南橡胶树枝和叶中的微量元素含量. *中山大学学报(自然科学版)*, 1999, 38:121~125.
- [5] 管东生,罗琳. 海南热带植物叶片化学元素含量特征. *林业科学*, 2003, 39(2):28~32.
- [7] 周再知,郑海水,杨曾奖,等. 橡胶-砂仁复合系统生物产量、营养元素空间格局的研究. *生态学报*, 1997, 17(3):225~233.
- [8] 曹建华,蒋菊生,杨怀,等. 胶园生态系统养分循环研究:不同割制对 PR107 胶乳矿质养分流失的影响. *生态学报*, 2008, 28(6):2563~2570.
- [9] 任泳红,曹敏,唐建维,等. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究. *植物生态学报*, 1999, 23(5):418~425.
- [11] 曹建华,蒋菊生,赵春梅,等. 橡胶林生态系统养分循环研究进展. *热带农业科学*, 2007, 27(3):48~56.
- [13] 周再知,郑海水,尹光天,等. 橡胶树生物量估测的数学模型. *林业科学研究*, 1995, 8(6):624~629.
- [14] 蒋菊生,王如松. 海南橡胶产业生态. 北京:中国科学技术出版社, 2004. 105~106.
- [15] 莫江明, Sandra Brown, 孔国辉,等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征. *生态学报*, 1999, 19(5):635~640.
- [16] 温肇穆,梁木梁. 马尾松的生产力和营养元素生物循环. *广西农学院学报*, 1991, 10(1):49~57.
- [17] 潘维涛,田大伦,雷志星,等. 杉木人工林养分循环研究. *中南林学院学报*, 1983, 3(1):1~17.
- [18] 王利溥编著. *橡胶树气象*. 北京:气象出版社, 1989. 69~70.
- [19] 中国热带农业科学院, 华南热带农业大学. *中国热带作物栽培学*. 北京:中国农业出版社, 1998. 93~94, 122~126.
- [20] 何康,黄宗道. *热带北缘橡胶树栽培*. 广州:广东科技出版社, 1987. 212~213.