

DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-3142. 2013. 05. 009

范美莉, 王旭, 吴志祥, 等. 海南岛儋州橡胶林生态系统氮储量研究 [J]. 广西植物, 2013, 33 (5): 633—639

Fan ML, Wang X, Wu ZX, et al. Research on nitrogen reserves of rubber forest ecosystem in Danzhou of Hainan Island [J]. Guihaia, 2013, 33 (5): 633—639

海南岛儋州橡胶林生态系统氮储量研究

范美莉¹, 王旭^{1,2*}, 吴志祥^{3,4}, 陈德祥⁵, 杨锋⁶

(1. 海南大学 环境与植物保护学院, 海口 570228; 2. 海南低碳经济与产业技术研究院, 海口 570228; 3. 农业部儋州热带农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站, 海南 儋州 571737; 4. 中国热带农业科学院 橡胶研究所 农业部橡胶树生物学重点开放实验室, 海南 儋州 571737; 5. 中国林业科学研究院 热带林业, 研究所, 广州 510520; 6. 海南大学 农学院, 海南 儋州 571737)

摘要: 生态系统 N 储量是由乔木层、林下植被层、凋落物层和土壤层 N 储量组成的。对海南岛儋州 6 个龄级 (5、10、15、20、25、30 a) 的橡胶林进行调查采样, 并进行室内测试分析得出 N 含量, 计算得出各个层次的 N 储量和生态系统总 N 储量。结果表明: (1) 儋州一代和二代橡胶林土壤 N 含量和储量均随着土壤层次的增加而减少, 橡胶林土壤 N 含量和储量均表现为 0~20 cm 内一代小于二代, 20~40 cm 内两代相差不大, 40 cm 以下一代均明显大于二代; (2) 儋州橡胶林生态系统总 N 储量范围为 5.30~8.53 t·hm⁻², 平均为 6.447 t·hm⁻², 其中土壤 N 储量 5.727 t·hm⁻², 植物 (包括乔木和林下植被) N 储量为 0.694 t·hm⁻², 凋落物 N 储量 0.026 t·hm⁻²; 土壤 N 储量所占比例最大 (88.83%), 是橡胶林生态系统 N 储量最主要的组成部分。说明海南岛儋州橡胶林土壤总体处于缺氮状态, 有必要增施氮肥或复合肥。

关键词: 橡胶林; 生态系统; 全氮; 储量; 分布规律

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142 (2013) 05-0633-07

Research on nitrogen reserves of rubber forest ecosystem in Danzhou of Hainan Island

FAN Mei-Li¹, WANG Xu^{1,2*}, WU Zhi-Xiang^{3,4},
CHEN De-Xiang⁵, YANG Feng⁶

(1. College of Environment and Plant Protection, Hainan University Haikou 570228, China; 2. Hainan Institute for Low-Carbon Development, Haikou 570228, China; 3. Danzhou Key Field Station of Observation and Research for Tropical Agricultural Resources and Environments Ministry of Agriculture, Danzhou 571737, China; 4. Key Laboratory for Rubber Tree Biology Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences & Ministry of Agriculture, Danzhou 571737, China; 5. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 6. College of Agriculture, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Rubber forest ecosystem are consisted of the arborous layer, the understory layer, litter layer and soil layer. The rubber forest in Danzhou of Hainan Island was divided into six age levels, which were investigated by sampling, the nitrogen content indoor was tested and analyzed, and then nitrogen reserves of each layer and ecosystem could be gained. The results were as follows: (1) The soil N contents and reserves of the first generation and second

收稿日期: 2012-10-10 修回日期: 2012-12-27

基金项目: 农业部儋州热带农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站开放课题基金 (DKFS0903); 中国林业科学研究院热带林业研究所重点专项 (2007-1/03); 海南大学科技基金 (hd09xm50); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05050200)

作者简介: 范美莉 (1986-), 女, 江西吉安人, 硕士, 主要研究方向为热带林生态学, (E-mail) fanmeili119@163.com。

* 通讯作者: 王旭, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为热带林生态学, (E-mail) 75194718@qq.com。

generation rubber plantation in Danzhou all decreased with the increase of soil layer. Those of the first generation were less than the second in 0—20 cm, and these of the first and second generations were almost the same in 20—40 cm, these of the first generation were significantly more than the second under 40 cm; (2) The range of nitrogen stock of rubber plantation ecosystem in Hainan Danzhou was 5.30—8.53 t·hm⁻², the average was 6.447 t·hm⁻², thereinto, the soil was 5.727 t·hm⁻², the vegetation (include arbor and understory) was 0.694 t·hm⁻², the litter was 0.026 t·hm⁻²; the soil's nitrogen stock account for the most, reached to 88.83%, and it was the main part of rubber plantation ecosystem's nitrogen stock. The soil of rubber plantations in Danzhou was under the condition of lacking N collectively, it was necessary to fertilize with N or compound fertility.

Key words: rubber forest; ecosystem; total nitrogen; reserves; distribution rule

橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 原产于巴西亚马逊河流域的热带丛林,它是经济效益高的热带经济作物,也是海南目前种植面积最大的热带高效农业。N 是植物生长必需营养元素,是限制农业生态系统生产的重要因素(周卫军等,2003)。它对橡胶树的营养生长和产胶具有重要的作用,橡胶树施 N 肥过多过少,不仅会对胶树生长、光合作用、胶乳养分含量以及其他营养元素的丰缺度造成不同程度的影响(华南热带作物研究院,1981;罗世楷等,1986),而且可能导致地下水硝酸盐含量过高而影响人体健康(张云贵等,2005)。N 素营养状况很大程度上影响了橡胶林的生产力(赵春梅等,2009),特别是胶乳的质量。目前,土壤 N 素及其影响因素已成为全球气候变化问题研究的热点之一(李贵才等,2001)。

国外对陆地土壤 N 库研究起步较早,Post *et al.* (1985) 按照不同生物带比较全面的估算了全球各种生态系统类型的土壤碳 N 密度和含量。国内有关橡胶林生态系统养分循环各组分的研究内容较为详细,大多集中在养分元素的分配、积累、归还、流失以及养分平衡方面,N 素在这些方面的研究已比较成熟(周再知等,1997;赵春梅等,2008)。目前国内对土壤 N (李贵才等,2001;孟盈等,2001;苏波等,2002;周志华等,2004;许泉等,2006)、橡胶林 N 循环(曹建华等,2009;赵春梅等,2009)、橡胶林土壤 N (池富旺等,2009;王博等,2009;吴志祥等,2009;张敏等,2009) 研究比较多,但是对橡胶林 N 库及各龄级生态系统的研究较少。

本研究针对海南岛儋州 6 个样地橡胶林生态系统进行了 N 储量及分布规律的研究,研究结果有利于增加人们对橡胶林 N 元素分布规律的认识,指导人们合理进行 N 素施肥,提高橡胶生产力。同时对于研究热带地区主要人工林生态系统 N 循环具有特殊的意义。

1 材料与方法

1.1 样地概况

儋州市位于海南省西北部,108°56'~109°46'E,19°11'~19°52'N,是海南橡胶的主要种植区域,属典型热带海岛季风气候区,一年分干湿两季,5~10 月是湿季,11 月至翌年 4 月是干季,干湿季节明显。年均气温 21.5~28.5℃,全年日平均气温≥10℃的积温为 8 500~9 100℃;太阳辐射 116 kcal·cm⁻²,年平均日照时数 2 100 h;年均降雨量为 1 500~1 900 mm,是海南受台风影响最小的区域(曾昭璇等,1989);年平均相对湿度 83%,常风年均风速 (2.0~2.5) m·s⁻¹。调查样地土壤为花岗岩砖红壤,土层厚度约 100 cm,多为砂粘壤土,pH 值 4.5~5.5,有机质含量中等,富钾而缺磷(吴志祥等,2009)。每个样地设置 3 个重复,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,乔本科草本植物居多,极少见灌木。

1.2 样地设置

样地设置在同一林分内,每个林龄的橡胶林 3 个重复,样地面积为 1 200 m² (30 m×40 m)。样地设置原则:在儋州选取不同样地(橡胶更新周期约为 30 a,按 5、10、15、20、25、30 a 样地进行调查研究)、海拔、坡度、坡向,并选取该地区种植面积较广的两个橡胶树品系。对这 6 个胶林进行调查采样分析具有典型的代表性,能基本反映儋州橡胶林生态系统的氮储量。调查样地基本情况:地点、植被类型、林龄、品系、地理坐标、海拔、坡向、坡度、坡位等,并记录。

1.3 材料采集

1.3.1 乔木调查 乔木是由橡胶林内的橡胶树组成,对 1 200 m² 样地内的所有乔木胸径 (D)、树高 (H)、枝下高、树冠冠幅、生长状况等进行测量,并记载于样地

表 1 儋州采样点样地基本概况
Table 1 Basic situation of sampling sites in Danzhou

样地地点 Site	代数 Generation	林龄 Age (a)	品系 Species	地理坐标 Coordinate	海拔 Altitude (m)	株行距 Row distance (m)	树高 Height (m)	胸径 DBH (cm)
儋州西华农场 13 队	二代	5	PR107	19°30'45. 1" N, 109°21'29. 6" E	114	6×3	5. 75	9. 09
儋州西庆农场 1 队	二代	10	73397	19°31'10. 3" N, 109°29'12. 2" E	133	6×3. 2	11. 71	15. 34
儋州西联农场赤卫队	二代	15	PR107	19°34'33. 3" N, 109°33'31. 1" E	108	6×2	12. 39	17. 85
儋州两院沙田	一代	20	73397	19°30'30. 8" N, 109°29'47. 9" E	124	8×2. 6	12. 64	20. 43
儋州西联农场洛南分队 八一站	一代	25	PR107	19°33'58. 2" N, 109°31'24. 1" E	103	8×2	14. 80	22. 43
儋州南辰农场六队	一代	30	PR107	19°30'00. 5" N, 109°30'24. 9" E	129	9×2. 2	16. 47	20. 65

调查表中，胸径和树高用来计算乔木生物量。

1. 3. 2 林下植被调查采集 由于橡胶林受人为干扰极强，所以林内植被结构比较简单，大多为草本植物，灌木极少，所以只对地上草本和地下草本及根系进行调查采样。林下植被采集采用每个样地调查 3 个 1 m×1 m 小样方的方法，即 3 个重复，记载植物种名、高度、盖度等参数，然后将每个小样方内的植被全部挖取，分地上、地下部分分别称鲜重并记录，经 105℃ 杀青烘干后得生物量。

1. 3. 3 凋落物收集 在每个样地内布设 3 个 1 m×1 m 的小样方，即 3 个重复，用塑料袋收集小样方内的所有凋落物（根据项目合同书：凋落物调查技术方案及 LY/T 1211-1999 森林植物（包括森林枯枝落叶层）样品的采集与制备（即 GB/T 7831-1987），文中凋落物指未分解或半分解的枯枝落叶层），并立即称重，取部分 85℃ 烘干后换算出现存量。

1. 3. 4 土样采集 选择合适土壤剖面的位置，避开肥坑和施肥点，以向阳面作为观察面，相同年龄的 3 块样地中分别挖取 1. 0 m×1. 5 m（或 1. 0 m×2. 0 m）的长方形上坑，挖出的土放于向阴面或两侧，以便观察剖面特征和采样。将土壤分为五个层次：0～20、20～40、40～60、60～80 和 80～100 cm，每层采集约 1 kg 土，装袋，风干后分别过筛，用于全氮含量的测定。同时用环刀在每个层次的中间各打 3 钻，即 3 个重复，用于测定土壤容重。

1. 4 分析测定方法

1. 4. 1 植物样品分析测定方法 橡胶林植被及凋落物植物样品经过风干后放到恒温干燥箱 85℃ 烘干至恒重，密封或稍后磨碎、过筛等制样处理，而后进行全 N 含量的分析。含量分析时均采用隔 5 重复一次的方法。橡胶林植物及凋落物植物样品全 N 测

定采用凯氏法（LY/T 1269-1999：中华人民共和国林业行业标准森林植物与森林凋落物层全 N 的测定）。

1. 4. 2 土壤样品分析测定方法 将环刀样品带回实验室，采用烘干法测定土壤的含水量，含水量为质量百分比，计算土壤容重。含量分析时均采用隔 5 重复一次的方法。

土壤全 N 测定采用半微量凯式法（LY/T 1228-1999：中华人民共和国林业行业标准森林土壤全 N 的测定）。土壤中的全 N 在硫酸铜、硫酸钾与硒粉的存在下，用浓硫酸消煮，使转变为硫酸铵，然后用氢氧化钠碱化，加热蒸馏出 N，经硼酸吸收，用标准酸滴定其含量。

1. 5 全 N 计算方法

橡胶林土壤 N 库类似于森林土壤碳库的估计方法（方精云等，1996），土壤 N 库储量计算公式如下： $TN = \sum Ci Ri Di Si (1 - Gi) \times 10000 / Si$

式中，TN 为土壤 N 贮量（t·hm⁻²）；Ci 为第 i 层土壤的有机 N 含量（g·kg⁻¹）；Ri 为第 i 层土壤容重（g·m⁻³）；Di 为第 i 层土层厚度（m）；Si 为面积（m²）；Gi 为第 i 层土体中的砾石含量系数。

林下植被 N 贮量采用测定生物量来估算其 N 贮量，凋落物采用测定现存量估算其 N 贮量。

乔木层生物量根据周再知等（1995）的研究结果，用其乔木层生物量的数学模型，估算乔木层各部分及总生物量。以此估算各部分的 N 储量，得出乔木层总的 N 储量。

1. 6 数据分析与处理

原始数据的合成、统计计算以及图表制作使用 Microsoft Excel 2003 软件处理；方差分析和差异

性显著分析 (Duncan 法多重比较) 采用统计分析系统软件 SAS 9.1 处理。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限土壤 N 贮量

2.1.1 不同土层土壤容重 土壤容重是土壤物理

性质的一个重要指标, 容重大小反映出土壤透水性、通气性和根系伸展时的阻力状况 (北京林学院, 1982; 吴志祥等, 2009)。由表 2 可知, 土壤容重基本一致, 变化范围为 $1.35 \sim 1.57 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

2.1.2 不同种植年限土层 N 含量和储量 由表 3 可知: 儋州一代和二代橡胶林土壤 N 含量和储量均随着土壤层次的增加而减少。橡胶林土壤 N 含量和

表 2 样地 (林龄) 各层次土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

Table 2 Soil bulk density of sites

土壤层次 Soil layer (cm)	5 a	10 a	15 a	20 a	25 a	30 a
0~20	1.35±0.075	1.47±0.055	1.39±0.078	1.40±0.046	1.49±0.082	1.46±0.082
20~40	1.53±0.086	1.51±0.057	1.48±0.082	1.45±0.060	1.60±0.096	1.48±0.057
40~60	1.52±0.074	1.46±0.058	1.54±0.066	1.38±0.077	1.57±0.070	1.44±0.086
60~80	1.49±0.030	1.43±0.042	1.57±0.076	1.35±0.056	1.54±0.058	1.38±0.073
80~100	1.49±0.028	1.39±0.048	1.65±0.139	1.34±0.035	1.51±0.045	1.37±0.090

注: ‘±’ 后的数据是标准差。下同。

Note: Data behind ‘±’ is SE, the letter behind ‘±’ is significantly different. The same below.

储量均表现为 0~20 cm 内一代小于二代, 20~40 cm 内两代相差不大, 40 cm 以下一代均明显大于二代。由于种植橡胶树会消耗土壤中大量的 N 元素, 按照常规种植年限越长, 土壤的 N 含量和储量均越少, 而 0~20 cm 的却表现出种植年限越长, N 含量和储量却越大, 这可能是因为本研究项目

中二代均为林龄较小的橡胶林, 是大量施肥的时期, 且更新后大量枯枝落叶腐烂分解积累有机质 (特别是 5 年的幼林, 林下植被不被人为清理, 更利于有机质的积累), 使得表层土壤 N 元素也异常丰富, 雨水的淋溶作用也使 20~40 cm 内二代 N 含量和储量相差不大。

表 3 不同种植年限土层 N 含量和储量

Table 3 Soil N content and storage of different generations

土壤层次 Soil layer (cm)	一代 N 含量 FG N content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	二代 N 含量 SG N content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	一代 N 储量 FG N reserves ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	二代 N 储量 SG N reserves ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	一代 N 储量贡献率 FG contribution rate (%)	二代 N 储量贡献率 SG contribution rate (%)
0~20	0.470±0.049	0.536±0.238	1.34±0.17	1.51±0.64	22.58	27.35
20~40	0.393±0.109	0.383±0.045	1.16±0.37	1.17±0.10	19.52	21.14
40~60	0.433±0.205	0.297±0.072	1.26±0.67	0.89±0.19	21.27	16.06
60~80	0.403±0.040	0.336±0.066	1.16±0.18	1.00±0.13	19.54	18.11
80~100	0.352±0.060	0.305±0.024	1.01±0.20	0.96±0.20	17.06	17.33

注: FG 表示一代; SG 表示二代。

Note: FG stands for the first generation; SG stands for the second generation.

2.2 植被生物量

由表 4 可知, 除儋州南辰农场六队的 30 a 胶林乔木生物量有所下降外, 其余胶林乔木生物量随着样地 (林龄) 的增加而增加。不同样地 (林龄) 乔木生物量之间均差异显著与极显著。不同样地 (林龄) 林下植被生物量表现为儋州西华农场 13 队的 5 a 胶林最小, 儋州南辰农场六队的 30 a 胶林最大, 变化范围为 $0.49 \sim 2.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 不同样地 (林龄) 凋落物生物量表现为儋州西联农场洛南分队八一站的 25 a 胶林显著大于其余样地, 变化范围为 $0.80 \sim 2.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 无明显变化规律。林下植被不同样地 (林龄) 之间大多差异显著与极显著, 除 5

~15 a 之间, 20~25 a 之间外; 凋落物不同样地 (林龄) 之间大多差异不显著, 仅 25 a 与其他的都差异显著与极显著。

2.3 不同样地橡胶林生态系统 N 储量

由表 5 可知, 土壤氮储量在不同样地 (林龄) 之间的分布无明显规律性, 变化范围为 $4.60 \sim 7.61 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 只有儋州两院沙田的 20 a 胶林与儋州西联农场洛南分队八一站的 25 a 胶林之间土壤氮储量差异显著, 其余均不显著。除儋州南辰农场六队的 30 a 胶林乔木 N 储量有所下降外, 其余胶林乔木 N 储量随着样地 (林龄) 的增加而增加。不同样地 (林

表 4 不同样地（林龄）植被生物量 ($t \cdot hm^{-2}$)

Table 4 Biomass of different sites

样地地点 Site	林龄 Age (a)	乔木生物量 Arbor biomass	林下生物量 Understory biomass	凋落物生物量 Litters biomass
儋州西华农场 13 队	5	16. 55±2. 86 Ee	2. 42±0. 95 Aa	1. 90±0. 32 Bab
儋州西庆农场 1 队	10	56. 65±4. 07 Dd	1. 69±0. 18 ABab	1. 17±0. 26 Bb
儋州西联农场赤卫队	15	111. 93±3. 28 Cc	2. 06±0. 34 ABa	0. 80±0. 40 Bb
儋州两院沙田	20	121. 64±3. 27 Bb	1. 21±0. 59 BCab	1. 47±0. 34 Bab
儋州西联农场洛南分队八一站	25	162. 57±0. 83 Aa	1. 19±0. 16 BCab	2. 93±1. 20 Aa
儋州南辰农场六队	30	107. 17±0. 97 Cc	0. 49±0. 29 Cb	0. 93±0. 27 Bb

注：同列中不同大写字母表示差异显著，不同小写字母表示差异极显著。下同。

Note: Different big letters mean significant differences within the same column, different small letters mean bally significant differences within the same column. The same below.

龄）林下植被和凋落物 N 储量变化幅度均较小，其数值大小排列顺序分别与其生物量一致。不同样地（林龄）乔木氮储量之间均差异显著与极显著。除儋州西联农场赤卫队的 15 a 胶林外，不同样地（林龄）林下植被氮储量大致随着样地（林龄）的增加而减少，大多差异显著与极显著，除 5 a 与 15

a 之间，20 与 25 a 之间外，变化范围为 0. 10~0. 54 $t \cdot hm^{-2}$ 。与其他植被氮储量不同的是，凋落物氮储量无明显变化规律，不同样地（林龄）之间大多差异不显著，只有 25 a 与其他的都差异显著与极显著。

表 5 橡胶林生态系统 N 储量 ($t \cdot hm^{-2}$)

Table 5 N reserves of rubber plantation ecosystem

样地地点 Site	林龄 Age (a)	土壤 N 储量 Soil reserve	乔木 N 储量 Arbor reserve	林下 N 储量 Understory reserve	凋落物 N 储量 Litter reserve	总 N 储量 Total reserve
儋州西华农场 13 队	5	4. 66±0. 173 AB ₀	0. 69±0. 028 Fe 0.	0. 54±0. 21 Aa0.	0. 033±0. 0081 Bb5.	30±0. 22 Dd
儋州西庆农场 1 队	10	5. 45±0. 255 AB ₀	2. 28±0. 063 E ₀	0. 37±0. 03 ABa ₀	0. 018±0. 0044 Bb6.	07±0. 03 Cc
儋州西联农场赤卫队	15	6. 47±0. 516 AB ₀	4. 42±0. 088 C ₀	0. 41±0. 07 ABa ₀	0. 017±0. 0094 Bb7.	34±0. 08 Bb
儋州两院沙田	20	4. 60±0. 201 Ba ₀	4. 78±0. 170 B ₀	0. 24±0. 13 BCa ₀	0. 026±0. 0140 Bb5.	34±0. 13 Dd
儋州西联农场洛南分队八一站	25	7. 61±0. 288 Aa ₀	6. 35±0. 188 Aa ₀	0. 23±0. 03 BC ₀	0. 050±0. 0212 Aa8.	53±0. 04 Aa
儋州南辰农场六队	30	5. 57±0. 168 AB ₀	4. 20±0. 179 Dc 0.	0. 10±0. 06 Cb ₀	0. 014±0. 0051 Bb6.	10±0. 06 Cc

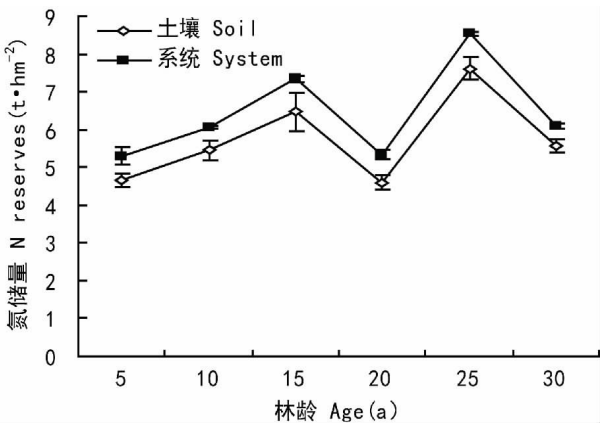


图 1 不同样地（林龄）橡胶林土壤及生态系统 N 储量
Fig. 1 N reseres of soil and ecosystem of rubber plantations in different sites (ages)

由图 1、图 2 可知，儋州不同样地（林龄）橡胶林土壤 N 储量和生态系统总 N 储量变化曲线均呈“双峰”趋势；乔木层 N 储量呈现出“单峰”趋势，除 30 a 龄林外，其它林的乔木层 N 储量随着样地（林龄）的增加而增加；林下植被层 N 储

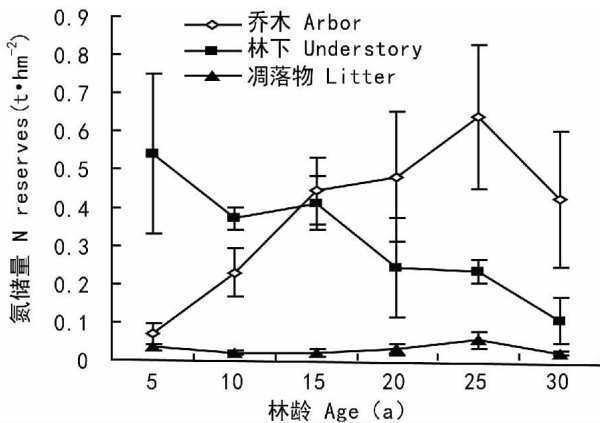


图 2 不同样地（林龄）橡胶林乔木层、林下植被和凋落物 N 储量
Fig. 2 N reseres of arbor layer, understory and litters of rubber plantations in different sites (ages)

量表现出与样地（林龄）、乔木层相反的关系，整个变化曲线是随着样地（林龄）的增加而下降的；凋落物层 N 储量呈现先下降再上升再下降的变化曲线。

由表 6 可知，儋州橡胶林生态系统总 N 储量

为 $6.447 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中土壤 N 储量 $5.727 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 植物 (包括乔木和林下植被) N 储量为 $0.694 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 凋落物 N 储量 $0.026 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。土壤 N 储量所占比例最大, 比例范围 $86\% \sim 91\%$, 平均比例为 88.83% ; 植物占 10.76% ; 土壤和植物累计贡献率为 99.59% ; 凋落物层 N 储量所占比例微乎其微, 几乎可以忽略不计。由上可知, 土壤 N 储量是橡胶林生态系统 N 储量最主要的组成部分。

表 6 橡胶林系统不同层次 N 储量及所占百分比

Table 6 N storage and percent of different layers of rubber ecosystem ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)

各层次 Layer	N 储量 N reserve	合计 Total	贡献率 Contribution rate (%)	累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)
土壤 Soil	5.727	6.447	88.83	88.83
乔木 Arbor	0.379		5.86	94.69
林下植被 Understory	0.315		4.90	99.59
凋落物 Litter	0.026		0.41	100

3 结论与讨论

3.1 不同种植年限土壤 N 贮量

不同土层土壤容重基本一致, 变化范围为 $1.35 \sim 1.57 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。儋州一代和二代橡胶林土壤 N 储量均随土壤层次的增加而减少, 介于 $0.99 \sim 1.43 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间, 这与前人研究结果一致 (张伟等, 2009; 吴志祥等, 2011)。各土层 N 储量所占比例为 $17.06\% \sim 27.35\%$, $0 \sim 40 \text{ cm}$ 深土壤占 $42.10\% \sim 48.49\%$, $0 \sim 60 \text{ cm}$ 深土壤占 $63.37\% \sim 64.55\%$, 这与海南霸王岭热带山地雨林 (原始林 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 深土壤 N 储量占 52.5% , $0 \sim 50 \text{ cm}$ 深 N 储量占 73.8% , 其中土壤深度为 100 cm) 研究结果 (骆土寿等, 2000) 相比所占比例均较小。可能是因为原始林凋落物较多且林下植被丰富, 林郁闭度大有利于保水保肥, 从而积累有机质, 使得原始林浅层氮储量比例均比人工橡胶林的大。一代和二代表层土 ($0 \sim 20 \text{ cm}$) N 含量最大分别为 0.470 、 $0.536 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均小于自然植被土壤 N 含量 ($0.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 并严重低于橡胶树正常生长土壤全 N 含量 ($0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层) 建议值 ($0.8 \sim 1.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) (何康等, 1987), 说明海南岛儋州橡胶林土壤氮元素表现出较缺乏的状态。

3.2 植被生物量

除儋州南辰农场六队的 30 a 胶林乔木生物量有所下降外, 其余胶林乔木生物量随着样地 (林

龄) 的增加而增加。这与自然规律是相符的, 植物随着生长发育重量增加, 到衰落期时各器官萎缩退化, 重量减少。橡胶树分为 5 个龄级: 幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林 (根据 2005 年海南省林业局公布的《海南省重点公益林区划界定实施细则》中生态公益林龄组划分标准划分), 25 a 林为成熟林, 在此之前树一直在生长, 光合作用占主导, 生物量一直增加, 而乔木层的 N 储量与生物量是成正比关系的, 所以 25 年前 N 储量均呈上升趋势; 30 a 林为过熟林, 各个器官组织逐渐衰老, 生物量减少, 所以 30 a 胶林反而呈下降趋势。不同样地 (林龄) 乔木生物量之间均差异显著与极显著。

不同样地 (林龄) 林下植被生物量表现为儋州西华农场 13 队的 5 a 胶林最小, 儋州南辰农场六队的 30 a 胶林最大, 变化范围为 $0.49 \sim 2.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 不同样地 (林龄) 凋落物生物量变化范围为 $0.80 \sim 2.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 无明显变化规律, 与凋落物的积累程度和分解速度有关。林下植被不同样地 (林龄) 之间大多差异显著与极显著, 除 $5 \sim 15 \text{ a}$ 之间, $20 \sim 25 \text{ a}$ 之间外; 凋落物不同样地 (林龄) 之间大多差异不显著, 只有 25 年与其他的都差异显著与极显著。

3.3 不同样地橡胶林生态系统 N 储量

3.3.1 不同样地橡胶林植被 N 储量 除儋州南辰农场六队的 30 a 胶林乔木 N 储量有所下降外, 其余胶林乔木 N 储量随着样地 (林龄) 的增加而增加, 变化范围为 $0.069 \sim 0.635 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均为 $0.379 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与赵春梅等 (2009) 的研究结果 (海南儋州地区胶树 N 素现存量的平均值为 $0.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 相比小 $0.201 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 可能由于橡胶林样地 (林龄) 的不同, 赵春梅等研究的是 4、6、8、14、17、19、22、24 a 的橡胶林, 不包含老林, 使得数据偏高。

不同样地 (林龄) 林下植被和凋落物 N 储量变化幅度均较小, 其数值大小排列顺序分别与其生物量一致。不同样地 (林龄) 乔木氮储量之间均差异显著与极显著。除儋州西联农场赤卫队的 15 a 胶林外, 不同样地 (林龄) 林下植被氮储量大致随着样地 (林龄) 的增加而减少。橡胶林在开割 (大约 7 a 开割) 后, 林下植被几乎就会被清理干净, 随着样地 (林龄) 的增加, 林内郁闭度增加和植被的定时清理, 使得林下植被 N 储量随着样地 (林龄) 增加反而下降, 所以这可能与橡胶林人为干扰强有关。儋州南辰农场六队的 30 a 胶林凋落物氮储量突然降至最低点, 可能与更新期人为收集有关, 如填

埋做肥坑、人为收集枯枝落叶和乔木等用作柴火。

与其他植被氮储量不同的是,凋落物氮储量无明显变化规律,不同样地(林龄)间大多差异不显著,只有儋州西联农场洛南分队八一站的 25 a 胶林与其他的都差异显著与极显著。变化范围为 0.014~0.033 t·hm⁻²,平均为 0.026 t·hm⁻²,与赵春梅等(2009)的研究结果(海南儋州地区凋落物 N 素现存量的平均值为 0.063 t·hm⁻²)相比小 0.037 t·hm⁻²,这可能与采样时间、样地的经营管理方式(除草、堆肥)和采样地点等的不同有关。N 储量与样地(林龄)之间曲线变化不定,无关系及规律可循,可能与凋落物人为干扰性强有关。

3. 3. 2 不同样地橡胶林土壤 N 储量 不同样地(林龄)橡胶林土壤氮储量呈“双峰”趋势,在不同样地(林龄)之间的分布无明显的规律性,变化范围为 4.60~7.61 t·hm⁻²,平均 5.73 t·hm⁻²,只有 20 与 25 a 土壤氮储量差异显著,其余均不显著。不同土层 0~40 cm 氮储量为 2.59 t·hm⁻²,与赵春梅等(2009)的研究结果(海南儋州地区土壤层 0~40 cm N 素现存量的平均值为 3.07 t·hm⁻²)相比小 0.48 t·hm⁻²,可能由于以下原因造成的:①橡胶林样地(林龄)的不同,赵春梅等研究的是 4、6、8、14、17、19、22、24 a 的橡胶林;②采样点和时间的不同;③采样方法的不同,赵春梅等的研究方法是采集 5~10 个样点,混合各样点各层土样,用四分法取部分混合土样做分析,而本文中的土样采集方法是分别采样分别分析,所以可能更准确一些。与海南霸王岭热带山地雨林(原始林土壤 100 cm 深 N 储量 9.58 t·hm⁻²)研究结果(骆士寿等,2000)相比小 3.85 t·hm⁻²,这可能是因为原始林凋落物较多且林下植被丰富,使得土壤氮素养分归还较多,土壤氮素含量较高。由土壤 N 储量计算公式可以看出,土壤 N 储量与土壤 N 含量成正比关系,15~20 a 此时的产胶量比较大,从土壤中吸收的 N 元素比较大,所以 20 a 土壤 N 储量反而下降了,25 a 橡胶林由于林子逐渐衰老,枝干叶凋落增加,根逐渐腐烂,加大了土壤养分归还,进而 N 储量有所增加,30 a 林子进入衰老状态,曲线再次下滑。这可能与土壤有机质含量、微生物活动、环境因子、土壤呼吸、土壤 N 矿化速率等有关(赵春梅等,2009)。

参考文献:

方精云,刘国华,徐嵩龄. 1996. 中国陆地生态系统碳库 [C] // 现代生态学热点问题研究. 北京: 中国科学技术出

版社: 251—267

北京林学院. 1982. 土壤学 [M]. 北京: 中国林业出版社: 56
何康,黄宗道. 1987. 热带北缘橡胶树栽培 [M]. 广州: 广东科技出版社: 213—222

曾昭璇,曾宪中. 1989. 海南岛自然地理 [M]. 北京: 科学出版社: 6—96

Cao JH (曹建华), Jiang JS (蒋菊生), Xie GS (谢贵水), et al. 2009. Study on nutrient cycle of ecosystem in rubber plantation——nitrogen cycle in clone PR107 (橡胶人工林生态系统养分循环研究——无性系 PR107N 素体循环) [J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 25 (21): 339—350

Li GC (李贵才), Han XG (韩兴国), Huang JH (黄建辉), et al. 2001. The influence factor research advance of soil nitrogen mineralization of forest ecosystem (森林生态系统土壤 N 矿化影响因素研究进展) [J]. *Ecol Sci* (生态学报), 21 (7): 1 187—1 195

Luo SK (罗世楷), Lin XK (林勐枯), Miao X (妙霞). 1986. The different use dosage experiment of nitrogen and phosphorus on rubber (橡胶树 NP 肥不同施用量试验) [J]. *Trop Agric Sci* (热带农业科学), (3): 11—14

Luo TS (骆士寿), Chen BF (陈步峰), Chen YF (陈永富), et al. 2000. Variation of the soil carbon and nitrogen for initial stage after the felling in Tropical Montane Rainforest of Bawangling, Hainan Island (海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期土壤碳 N 储量) [J]. *For Res* (林业科学研究), 13 (2): 123—128

Post WM, Pastor J, Zinke PJ, et al. 1985. Global patterns of soil nitrogen storage [J]. *Nature*, 317 (17): 613—616

Wu ZX (吴志祥), Xie GS (谢贵水), Tao ZL (陶忠良), et al. 2009. Characteristics of soil carbon and total nitrogen contents of rubber plantations at different age stages in Danzhou, Hainan Island (海南儋州不同树龄橡胶林土壤碳和全氮特征) [J]. *Ecol Environ Sci* (生态环境学报), 18 (4): 1 484—1 491

Wu ZX (吴志祥), Xie GS (谢贵水), Yang C (杨川), et al. 2011. Soil nutrient characteristics of rubber plantations at different age stages in western area of Hainan Island (海南岛西部不同林龄橡胶林土壤养分特征) [J]. *J Hainan Univ: Nat Sci Edit* (海南大学学报·自然科学版), 29 (1): 42—48

Xu Q (许泉), Rui WY (芮雯雯), Liu JL (刘家龙), et al. 2006. Spatial variation of coupling characteristics of soil carbon and nitrogen in farmland of China (我国农田土壤碳 N 耦合特征的区域差异) [J]. *J Ecol Rur Environ* (生态与农村环境学报), 22 (3): 57—60

Zhang M (张敏), Zhou XM (邹晓明). 2009. Comparison of soil C and N in rubber plantation and seasonal rain forest (热带季节雨林与人工橡胶林土壤碳 N 比较) [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 20 (5): 1 013—1 019

Zhang YG (张云贵), Liu HB (刘宏斌), Li ZH (李志宏), et al. 2005. Study of nitrate leaching potential from agricultural land in northern China under long-term fertilization conditions (长期施肥条件下华北平原农田硝态 N 淋失风险的研究) [J]. *Plant Nutr Fertilizing Sci* (植物营养与肥料学报), 11 (6): 711—716

Zhang W (张伟), Lin QH (林清火), Luo W (罗微), et al. 2009. Spatial distribution of soil nutrients in soil profile under different fertility of a rubber plantation (不同肥力橡胶园土壤中养分的垂直分异规律) [J]. *J Southwest Univ: Nat Sci Edit* (西南大学学报·自然科学版), 31 (1): 150—154

Zhao CM (赵春梅), Jiang JS (蒋菊生), Cao JH (曹建华). 2009. Research headway of rubber's Nitrogen (橡胶林 N 素研究进

(下转第 678 页 Continue on page 678)

束分裂”现象的一种早前期表现形式？这些都需要引起重视，进行进一步的研究与探讨。

致谢 感谢韩榕教授的指导，感谢山西师范大学分子细胞研究室提供的便利条件。

参考文献：

- 金萍. 2001. 细胞核肌动蛋白的分子特性及肌动蛋白在细胞内动态分布的研究 [D]. 长春：东北师范大学
- 韩榕. 2002. He-Ne 激光对小麦增强 UV-B 辐射损伤的修复效应及机理 [D]. 西安：西北大学
- Chen T (陈婷), Huang BQ (黄百渠). 2001. The progress in the research of the nuclear actin (核内肌动蛋白的研究进展) [J]. *J Northeast Norm Univ* (东北师大学报), 33 (3): 96—100
- Chen Y (陈颖), Wang G (王刚). 2003. Actin in higher plants (高等植物体内的肌动蛋白) [J]. *Bull Biol* (生物学通报), 38 (1): 13—15
- Guo AH (郭爱华), Gao LM (高丽美), Li YF (李永锋), et al. 2010. Influence of enhanced ultraviolet-B radiation on microtubule cytoskeleton in wheat root-tip cells (增强紫外线 B 辐射对小麦根尖细胞微管骨架的影响) [J]. *Chin J Cell Biol* (中国细胞生物学学报), 32 (2): 256—260
- Guo AH (郭爱华), Gao LM (高丽美), Li YF (李永锋), et al. 2010. Influence on microtubule in wheat mesophyll cell exposed to enhanced ultraviolet-B radiation and He-Ne laser irradiation (增强 UV-B 辐射和 He-Ne 激光对小麦原生质体微管骨架的影响) [J]. *Guihaia* (广西植物), 30 (2): 280—285
- Han R (韩榕), Wang XL (王勋陵), Yue M (岳明). 2002. Effects of the enhanced UV-B radiation on the body cell mitosis of the wheat (增强 UV-B 辐射对小麦体细胞分裂的影响) [J]. *Acta Gen Sin* (遗传学报), 29 (6): 537—541
- Kosta M, Umberto DB. 1993. Cytochemical localization of actin and myosin aggregates in interphase nuclei in situ [J]. *Mol Cell Biochem*, 209: 189—199
- Koszul R, Kim KP, Prentiss M, et al. 2008. Meiotic

chromosomes move by linkage to dynamic actin cables with transduction of force through the nuclear envelope [J]. *Cell*, 133: 1 188—1 201

Lenart P, Bacher CP, Daigle N, et al. 2005. A contractile nuclear actin network drives chromosome congression in oocytes [J]. *Nature*, 436: 812—818

Li J (李璟), Wen BG (温博贵), Wu JY (吴健谊), et al. 2001. Actin is a component of the nuclear matrices of rat hepatocytes (肌动蛋白是大鼠肝细胞核基质的组分之一) [J]. *J Shantou Univ Med Coll* (汕头大学医学院学报), 14 (1): 13—16

Liu W (刘炜), Sun DL (孙德兰), Wang H (王红), et al. 2001. Influence of low temperature on spatial-temporal changes of Ca^{2+} in winter or spring wheat (低温处理对冬、春小麦细胞 Ca^{2+} 时空变化的影响) [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 43 (12): 1 218—1 223

Nickola IV, Maja II, Aanna AU, et al. 1997. Association of actin with DNA and nuclear matrix from Guerin ascites tumour cells [J]. *Acta Bot Sin*, 39: 691—696

Weng CH (翁朝红), Wang ZY (王志勇), Cai MY (蔡明夷), et al. 2009. Observation on silver-staining nucleoli in different ploidies of large yellow croakers (*Pseudosciaena crocea* Richardson) (不同倍性大黄鱼核仁数目银染观察) [J]. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), 31 (6): 136—141

Wang H (王华), Xing M (邢苗). 2001. Actin is located in the nucleus and nuclear matrix of HeLa cells (HeLa 细胞核和核骨架含有肌动蛋白) [J]. *Acta Gen Sin* (遗传学报), 28 (3): 211—216

Wang J (王晶), Jiang L (蒋磊), Wang Y (王艳), et al. 2009. UV-Binduced G1/S arrest in *Arabidopsis* root tips (UV-B 辐射对拟南芥细胞周期 G1/S 期转变的影响) [J]. *Chin Bull Bot* (植物学报), 44 (4): 426—433

Zhang J (张娟), Han R (韩榕). 2008. The influence of He-Ne laser irradiation on the damage of cell chromosome in wheat by enhanced UV-B radiation (He-Ne 激光对增强 UV-B 辐射小麦细胞染色体损伤的影响) [J]. *J Shanxi Norm Univ: Nat Sci Edit* (山西师范大学学报·自然科学版), 22 (2): 66—70

(上接第 639 页 Continue from page 639)

- 展) [J]. *Trop Agric Sci* (热带农业科学), 29 (3): 44—50
- Zhao CM (赵春梅), Cao JH (曹建华), Jiang JS (蒋菊生), et al. 2008. Nutrient accumulation, distribution and biology cycle of rubber plantation (橡胶人工林养分积累、分配与生物循环) [J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 24 (10): 467—470
- Zhao CM (赵春梅), Jiang JS (蒋菊生), Cao JH (曹建华). 2009. The Nitrogen cycling model of rubber plantation ecosystem (橡胶人工林生态系统 N 素循环模型) [J]. *For Resour Manag* (林业资源管理), (3): 66—70
- Zhou WJ (周卫军), Wang KR (王凯荣), Zhang GY (张光远). 2003. The fertilization that is combined with organic and inorganic impacts on the soil's N supply and the crop's pro-

duction of the rice paddy of red soil (有机无机结合施肥对红壤稻田土壤 N 素供应和水稻生产的影响) [J]. *Ecol Sci* (生态学报), 23 (5): 912—917

Zhou ZH (周志华), Xiao HY (肖化云), Liu CQ (刘丛强). 2004. Research status and advances of biogeochemical cycling nitrogen in soils (土壤 N 素生物地球化学循环的研究现状与进展) [J]. *Earth and Environ* (地球与环境), 32 (3—4): 21—26

Zhou ZZ (周再知), Zheng HS (郑海水), Yin GT (尹光天), et al. 1995. Biomass equations for rubber tree in Southern China (橡胶树生物量估测的数学模型) [J]. *For Res* (林业科学研究), 8 (6): 624—629