

文章编号: 1008-2786-(2009)4-433-09

橡胶-大叶千斤拔复合生态系统中的植物生长 与土壤水分养分动态

庞家平^{1,2}, 陈明勇³, 唐建维^{1*}, 郭贤明³, 曾荣³

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303 2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 西双版纳国家级自然保护区区研所, 云南 景洪 666100)

摘 要: 对橡胶-大叶千斤拔复合生态系统和橡胶纯林进行连续 3 a 的对比观测研究, 结果表明在橡胶林里种植大叶千斤拔能促进橡胶生长, 橡胶平均基径、平均胸径和平均树高分别比橡胶纯林高出 11.0%、9.62% 和 3.78%。与橡胶纯林相比, 混作后土壤含水量的季节变化较为缓和且旱季含水量较高; 且 0~10 cm 和 10~30 cm 的土壤容重每年分别约下降 0.03 g/cm³ 和 0.01~0.02 g/cm³。随着种植年限的增加, 土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量都呈现出先降后升的趋势, 而在对照中土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量均呈现不断下降的趋势。表明混作后植物的生长及土壤养分状况比橡胶纯林都有所改善。

关键词: 农林复合系统; 土壤水分; 容重; 土壤养分

中图分类号: S152-7 S714

文献标识码: A

农林复合系统作为一种传统的土地利用方式, 在我国有着悠久的历史, 但对其生态功能尚缺乏系统深入的认识^[1]。作为一种可持续的土地利用方式, 农林复合系统通过利用不同物种间的生态互补功能, 不仅可提高养分的吸收利用效率、减缓水土流失、维持局部小气候的稳定、提高生物多样性、增加碳储量, 而且能充分利用水肥光热资源、提高系统生产力^[2-7]。在热带地区, 农林复合系统被认为是缓解森林砍伐的最有效的手段, 并提高当地农村人口的生活水平^[8], 缓解自然保护区的资源压力, 提高野生种的生境质量, 增加不同景观间的联系^[5,9], 能够在环境脆弱和资源短缺的地区发挥巨大作用^[10]。

橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 作为一种重要的热带经济树种, 在热带地区尤其是东南亚被广泛种植。近年来随着国际上对天然橡胶需求的增加, 橡胶种植

更是得到了迅猛的发展, 热带地区的橡胶种植面积不断扩大^[11]。在东南亚的许多地区, 橡胶林的大量发展导致天然林和次生林被取代^[12]。我国的橡胶种植始于 20 世纪初期, 在 20 世纪 50 年代由于国家对天然橡胶的大量需求, 大面积的热带雨林被砍伐开垦为橡胶园, 甚至在一些气候条件并不适宜的地区也被开垦出来种植橡胶^[11]。在西双版纳地区, 橡胶林的建立始于 20 世纪 50 年代末期, 到 1976 年只占到当地面积的 1.1%, 而到 2003 年已经达到了 11.3%^[13]。橡胶林的大面积种植已对当地的生态环境产生了重要影响。研究表明, 长期种植橡胶已导致土壤酸化、土壤有机质及养分含量下降、生物多样性降低、生态系统服务功能下降, 同时对当地气候和水环境也产生一定影响^[13-16]。

大叶千斤拔 (*Flan ingia macrophylla*) 为蝶形花

收稿日期 (Received date): 2008-10-29; 改回日期 (Accepted): 2009-03-14.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院农业项目办公室项目和云南省省院省校科技合作计划项目 (2006XY38). [Supported by the Agricultural program office of CAS and the scientific and technological cooperation projects for Yunnan Province and institutes of CAS and universities in Yunnan(2006XY38).]

作者简介 (Biography): 庞家平 (1984-), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事森林生态系统研究. [Pang Jiaping (1984-), male Born in Henan M. S Candidate Major in forest ecosystem.] E-mail: pjp_0725@163.com

* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: tangjv@xtbg.org.cn Tel: 0691-8715080

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

科千斤拔属植物,自然状态下,生长于灌草丛或次生森林边缘,在海拔 2 000 m 以下均能生长,最低降雨量需求为 1 100 mm,耐荫性及耐旱性等抗逆能力较强,也能在排水差、偶尔有积水的地方生长;并具有生长迅速,根系发达,萌发力强的特点,且能利用根瘤菌固氮,可有效地保持水土和提高土壤肥力^[17],是云南热区值得开发利用的豆科灌木类优良牧草种质资源和绿肥资源^[18]。在云南西双版纳地区,大叶千斤拔作为传统的傣药在民间广泛使用^[19]。此外,大叶千斤拔是极好的地被覆盖植物,由于叶片在自然状态下分解速度较缓慢,叶片脱落 7 周后,土壤中仍有 40% 的残留叶片(约 4 t / hm²)未被分解,大量未分解的叶片不仅有利于保持地温和土壤湿度,而且还可以有效地阻止杂草种子的萌发和早期生长速度^[20]。

针对目前西双版纳橡胶大面积单一种植、土地利用率低及其对生态环境产生严重影响的问题,根据橡胶及大叶千斤拔的生物生态学特性,我们于 2004 年在西双版纳进行了橡胶-大叶千斤拔的组合模式试验,即在橡胶的行距间种植多用途的固氮、药用及经济植物——大叶千斤拔,并与橡胶纯林做对照。其试验目的是改变目前橡胶单一种植的土地利用格局,提高单一橡胶林的土地利用效率及经济与生态效益,改善橡胶种植区域的生态环境。本文仅就新组建的橡胶-大叶千斤拔复合经营模式中的植物生长及土壤水分、养分动态等方面进行初步分析,以期为探索热带山地农业发展的新模式和热带山地的退化恢复及可持续利用途径提供科学依据。

1 研究区域概况

研究地点位于西双版纳傣族自治州勐腊县境内,该地区属于西南热带季风气候,干、湿季变化明显,一年可分为干热、湿热和雾凉 3 季,3~5 月为干热季,气温较高,雨量较少;6~10 月为雨季(湿热季),气候湿热,此时期集中了全年降水的 85%;11

月至次年 2 月为雾凉季,降雨较少,但早晚有浓雾,空气湿度较大,可以弥补此时期降雨量的不足。年平均气温 21.5℃,≥10℃积温 7 860℃,平均最低气温 7.5℃,年日照时数 1 828 h,年均降雨量达 1 539 mm,土壤为由白垩纪砂岩发育而成的砖红壤,pH 值在 5.0 左右。各样地基本特征见表 1。

2 研究方法

2.1 组合模式的设计

橡胶的种植采取宽行密植的方式进行,橡胶种植规格为 2.5 m × 5 m × 18 m。在所种植的橡胶林地的上、中、下三个坡位,分别选取 3 行橡胶(2 个大行),在一部分橡胶的行距间种植大叶千斤拔,另一部分作为对照,面积分别为 0.5 hm²左右;大叶千斤拔的种植规格为 0.8 m × 1.0 m。橡胶和大叶千斤拔的种植时间分别为 2004-05 和 2004-06。

2.2 植物生长调查及生物量测定

从 2004~2006 年,每年 12 月对样地内所有的橡胶个体的基径、胸径、高度和冠幅进行一次测量;大叶千斤拔则分别在每块样地的上、中、下分别选取 1 行依次对其中的 30 株个体进行基径、高度和萌枝数量的调查。采用收割法分别测定大叶千斤拔的叶、茎、根的鲜重,并对各器官样品进行取样,带回实验室,在 80℃ 下烘干至恒重后称重,以计算大叶千斤拔单株的干重和单位面积上的生物量。2005-12 对大叶千斤拔的养分元素含量进行了测定。同时于 2004~2006 年每年 12 月分别对大叶千斤拔进行 1 次砍伐,其茎、枝、叶铺盖在橡胶林下。

2.3 土壤水分测定

各个样地分别在坡上、坡中、坡下随机设置 3 个观测点,2006 年每月月底用 MK b-II 型土壤水分自动观测仪分别在 0~5 cm、5~15 cm、15~30 cm、30~50 cm、50~70 cm、70~90 cm 处观测记录各个层次的土壤含水量,每个观测点重复测定 3 次。

表 1 橡胶纯林和橡胶-大叶千斤拔复合系统样地基本特征

Table 1 Characteristics of plots in rubber plantation and rubber-*Flan ingia macrophylla* agroforestry system

样地号	纬度	经度	海拔	坡向	坡度	坡位
样地 I	21°39′06″N	101°35′50″E	656 m	SE10°	22°	下
样地 II	21°39′05″N	101°35′53″E	710 m	SE15°	18°	中
样地 III	21°39′55″N	101°36′014″E	772 m	SE12°	25°	上

2.4 土壤养分及土壤容重测定

在每个样地的坡上、坡中、坡下各随机设置 3 个样点, 挖取深度为 100 cm 的土壤剖面。2004~2006 年, 每年 12 月分别在 0~ 10 cm、10~ 30 cm、30~ 50 cm、50~ 70 cm、70~ 90 cm 进行采样, 同时在每个土层用环刀法取原状土, 测定其容重。将 3 个样点的土样按同层次等量混合, 置于室内自然条件下风干, 并进行磨碎、制样, 分别测定其土壤有机质 (SOM)、全氮 (T. N)、全磷 (T. P)、全钾 (T. K)。有机质采用硫酸、重铬酸钾氧化 – 外加加热法测定; 全氮采用浓硫酸消解, 开氏定氮法测定; 全磷采用氢氧化钠碱熔 – 钼锑抗比色法测定; 全钾采用氢氧化钠碱熔 – 火焰光度计法测定。

3 结果与分析

3.1 植物生长状况

橡胶 – 大叶千斤拔复合系统中橡胶生长状况较好 (表 2), 至 2006 – 12 橡胶的平均胸径达 3.42 cm, 年均茎生长约 1.71 cm; 平均高度达 4.11 m, 年均高生长 1.37 m。平均基径、胸径和树高分别比橡胶纯林高出 11.0 %、9.62 % 和 3.78 %。大叶千斤拔的平均基径和平均高度随年龄而增长, 至栽种的第 3 a 平均基径和平均高度分别达 2.81 cm 和 284.5 cm。这可能是由于混种大叶千斤拔能够改善橡胶的生长环境, 促进橡胶的生长, 尤其是大叶千斤拔砍伐后残体覆盖在橡胶下, 改善了林下微环境, 减少了阳光对胶地的直射, 同时减少了雨水对林下土壤的直接冲刷, 提高了胶地土壤含水量, 缓和了土壤

水分的季节波动。此外, 大叶千斤拔残体分解后补充了橡胶树根系周围土壤中的养分, 从而有效促进了橡胶的生长。

3.2 大叶千斤拔的生物量及养分元素贮量

通过对 2004~2006 年 3 a 中大叶千斤拔的生物量的测量可知 (表 3), 大叶千斤拔的生长非常迅速, 种植 0.5 a、1.5 a 和 2.5 a 后其生物量分别达到了 0.55、17.03 和 53.03 t / hm²。2004 年各器官的生物量排列顺序为: 叶 > 茎 > 根 > 果, 占总生物量的比例分别为 37.93 %、36.44 %、25.62 %、0.00 %; 到了 2005 年和 2006 年, 茎的生物量超过了叶的生物量, 各器官生物量排列顺序为: 茎 > 叶 > 根 > 果, 2005 年各器官生物量占总生物量的比例分别为: 53.65 %、17.55 %、15.74 %、13.06 %; 2006 年各器官生物量占总生物量的比例与 2005 年基本相同, 除茎稍有下降外, 叶、根、果的比例略有上升 (见表 3)。各器官的养分元素贮量均随着生物量的增加而增大。养分元素贮量的大小顺序为: C > N > Ca > K > P > S > Mg。3 a 中茎和叶中的养分元素贮量均高于根和果。以 2006 年为例, 将大叶千斤拔砍伐铺盖在橡胶林带上, 相当于对每公顷林地归还 18.10 t 的有机碳, 1.30 t 的氮, 82.94 kg 的磷和 230.54 kg 的钾到橡胶树周围的土壤中, 为橡胶的生长提供了数量可观的养分元素。

3.3 土壤水分动态

土壤水分状况不仅与气候、植被、地形和土壤性质等自然要素有关, 而且受林分组成、林龄、郁闭度、枯枝落叶层厚度以及林分成熟度等林分特征的制约^[21]。由图 1 可以看出, 在橡胶纯林和橡胶 – 大叶

表 2 橡胶纯林和橡胶 – 大叶千斤拔复合系统中的植物生长情况
Table 2 The growth of plants in rubber plantation and rubber- *Floringia m acrophylla* agroforestry system

植物名称	调查时间	基径 (cm)	胸径 (cm)	高度 (cm)	冠幅 (cm × cm)	成活率 (%)
橡胶	2004. 12	0. 86 (0. 10) *	—	58. 0 (5. 0)	30. 0 × 33. 0	95. 2
	2005. 12	2. 84 (0. 41)	1. 93 (0. 34)	269. 0 (13. 6)	78. 0 × 90. 0	—
	2006. 12	4. 64 (0. 50)	3. 42 (0. 40)	411. 0 (22. 3)	135. 0 × 122. 0	—
大叶千斤拔	2004. 12	0. 97 (0. 12)	—	104. 2 (14. 4)	—	98. 6
	2005. 12	2. 66 (0. 27)	—	256. 1 (30. 9)	—	—
	2006. 12	2. 81 (0. 23)	—	284. 5 (35. 6)	—	—
橡胶 (对照)	2004. 12	0. 84 (0. 06)	—	0. 41 (0. 05)	31. 0 × 34. 0	98. 4
	2005. 12	2. 69 (0. 06)	1. 48 (0. 08)	217. 0 (11. 0)	88. 0 × 93. 0	—
	2006. 12	4. 18 (0. 35)	3. 12 (0. 26)	396. 0 (4. 2)	145. 0 × 130. 0	—

* 括弧内为标准差。橡胶: 90株; 大叶千斤拔: 270株
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3 大叶千斤拔的生物量及养分元素贮量
Table 3 The biomass and nutrient storage of *Flamingo acrophylla*

年份	组分	生物量	养分元素贮量 (kg / hm ²)						
		(t / hm ²)	C	N	P	K	Ca	Mg	S
2004	叶	0. 21	85. 30	6. 12	0. 39	1. 09	3. 45	0. 20	0. 24
		(0. 09)*	(36. 94)	(2. 65)	(0. 17)	(0. 47)	(1. 49)	(0. 09)	(0. 1)
	茎	0. 20	81. 95	5. 88	0. 38	1. 04	3. 31	0. 19	0. 23
		(0. 11)	(45. 58)	(3. 27)	(0. 21)	(0. 58)	(1. 84)	(0. 11)	(0. 13)
	根	0. 14	57. 62	4. 13	0. 26	0. 73	2. 33	0. 13	0. 16
		(0. 08)	(32. 29)	(2. 32)	(0. 15)	(0. 41)	(1. 31)	(0. 08)	(0. 09)
2005	总重	0. 55	224. 88	16. 13	1. 03	2. 86	9. 09	0. 53	0. 63
		(0. 27)	(109. 15)	(7. 83)	(0. 50)	(1. 39)	(4. 41)	(0. 26)	(0. 30)
	叶	2. 99	1 213. 79	87. 06	5. 56	15. 46	49. 09	2. 84	3. 38
		(1. 72)	(698. 85)	(50. 12)	(3. 20)	(8. 90)	(28. 26)	(1. 64)	(1. 95)
	果	2. 22	903. 16	64. 78	4. 14	11. 50	36. 53	2. 11	2. 51
		(1. 46)	(595. 96)	(42. 74)	(2. 73)	(7. 59)	(24. 10)	(1. 39)	(1. 66)
2006	茎	9. 14	3 710. 15	266. 11	17. 00	47. 25	150. 05	8. 68	10. 33
		(6. 33)	(2 570. 19)	(184. 34)	(11. 77)	(32. 73)	(103. 95)	(6. 01)	(7. 15)
	根	2. 68	1 088. 51	78. 07	4. 99	13. 86	44. 02	2. 55	3. 03
		(1. 57)	(635. 44)	(45. 58)	(2. 91)	(8. 09)	(25. 70)	(1. 49)	(1. 77)
	总重	17. 03	6 915. 59	496. 01	31. 68	88. 06	279. 69	16. 18	19. 25
		(10. 92)	(4 434. 57)	(318. 07)	(20. 32)	(56. 47)	(179. 35)	(10. 38)	(12. 34)
2006	叶	9. 39	3 812. 62	273. 46	17. 47	48. 55	154. 20	8. 92	10. 61
		(5. 18)	(2104. 64)	(150. 95)	(9. 64)	(26. 80)	(85. 12)	(4. 92)	(5. 86)
	果	6. 95	2 820. 35	202. 29	12. 92	35. 91	114. 06	6. 60	7. 85
		(4. 29)	(1 742. 61)	(124. 99)	(7. 98)	(22. 19)	(70. 48)	(4. 08)	(4. 85)
	茎	28. 25	11 471. 20	822. 76	52. 55	146. 07	463. 93	26. 84	31. 93
		(18. 58)	(7 546. 26)	(541. 25)	(34. 57)	(96. 09)	(305. 20)	(17. 66)	(21. 00)
2006	根	8. 44	3 426. 92	245. 79	15. 70	43. 64	138. 60	8. 02	9. 54
		(4. 71)	(1 911. 85)	(137. 13)	(8. 76)	(24. 35)	(77. 32)	(4. 47)	(5. 32)
	总重	53. 03	21 531. 09	1 544. 30	98. 64	274. 18	870. 79	50. 38	59. 93
		(32. 30)	(13 112. 46)	(940. 48)	(60. 07)	(166. 97)	(530. 31)	(30. 68)	(36. 90)

* 括弧内为标准差

千斤拔复合系统中土壤含水量的季节动态表现出类似的规律: 1~ 3 月, 各层次的土壤含水量逐渐下降, 这一时期, 橡胶纯林中土壤含水量普遍低于 20%; 而复合系统中的土壤含水量都在 20% 以上。4~ 9 月随着雨季的来临, 降雨增加, 土壤的含水量逐步上升, 橡胶纯林中上层 (0~ 5 cm 和 5~ 15 cm) 土壤的含水量增长较快, 其中 0~ 5 cm 土壤含水量由 23. 9% 增长到 32. 2%, 而 15 cm 以下土层含水量变化则较为缓和。复合系统中各土层土壤的含水量增长都比较稳定, 其中 0~ 5 cm 土壤含水量由 27. 5% 增长到 36. 6%。10~ 12 月进入雾凉季, 降雨较少, 土壤水分又开始下降, 但由于这一时期气温

较低, 且有数量可观的雾降水补充, 该时期土壤含水量的下降较为缓和。

与橡胶 - 大叶千斤拔复合系统相比, 橡胶纯林中上层 (0~ 5 cm 和 5~ 15 cm) 土壤含水量的变化较为剧烈, 0~ 5 cm 土层的含水量从 1 月的 18. 1% 下降到 3 月的 7. 5%, 5~ 15 cm 土层的含水量从 1 月的 17. 9% 下降到 3 月的 6. 0%, 此后, 随着雨季的来临, 至雨季中期 (8 月), 两个层次的土壤含水量分别上升到 31. 6% 和 41. 5%, 变动范围分别达 24. 1% 和 35. 5%; 而在复合系统中, 0~ 5 cm 和 5~ 15 cm 土层的含水量则较为平缓, 1~ 3 月两层的土壤含水量分别从 27. 5%、27. 0% 下降到 22. 0%、

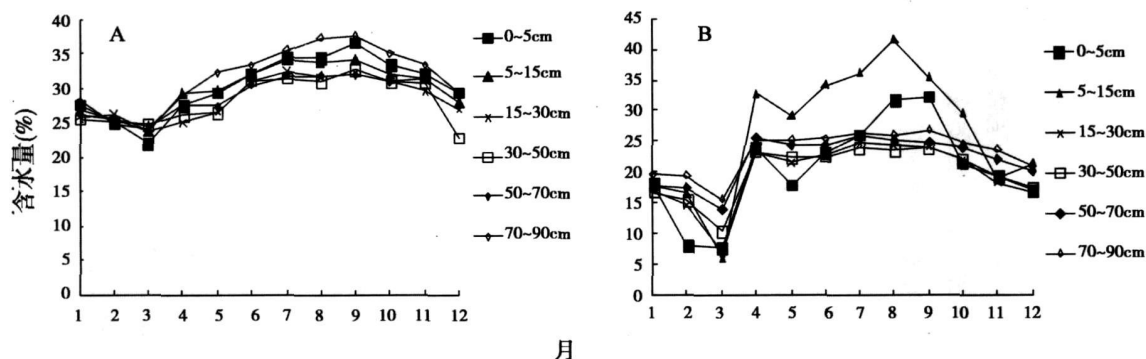


图 1 橡胶纯林和橡胶-大叶千斤拔复合系统不同土层含水量的月变化

(A: 橡胶-大叶千斤拔; B 橡胶纯林)

Fig 1 Monthly variation of soil moisture content at different soil layer in rubber plantation and rubber-*Flamingo macrophylla* agroforestry system (A: rubber-*Flamingo macrophylla* agroforestry system; B rubber plantation)

23.6%, 此后至雨季中期分别上升到 36.6% 和 34.2%, 其变动范围分别为 14.6% 和 10.6%。总体上复合系统中土壤含水量要高于橡胶纯林。这主要是在复合系统中因大叶千斤拔的种植和覆盖, 减少了土壤水分的蒸发, 使土壤中保持了较多的水分。

3.4 土壤养分动态

土壤不仅是植物群落生长发育的物质基础, 同时也受到植物群落的物种组成、结构和演替的影响, 因此土壤养分状况与地上植被存在直接联系。从图 2 可以看出, 在土壤剖面的垂直分布上, 橡胶纯林和橡胶-大叶千斤拔复合系统中土壤有机质、全氮、全磷含量均随土壤深度加深递减。而土壤全钾含量随土壤深度增加呈现上升趋势。这种情况与汪涛等^[22]的研究结果相似。

然而, 在橡胶纯林和橡胶-大叶千斤拔复合系统中, 土壤中的养分动态呈现不同的动态变化: 在橡胶纯林中, 土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量都随种植年限的增加而呈现不断下降的趋势, 其中 0~10 cm 的土壤有机质、全氮、全磷和全钾分别下降了 8.47%、5.70%、3.66% 和 4.52%。而在橡胶-大叶千斤拔复合系统中, 有机质、全氮、全磷和全钾含量均呈现出随着种植年限的增加先升后降的趋势, 其中 0~10 cm 的土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量在种植的第二年分别下降了 13.68%、3.92%、39.4% 和 1.11%, 在种植的第三年又分别上升了 12.89%、8.93%、5.00% 和 2.70%。表明混种豆科植物大叶千斤拔后, 其对土壤养分的吸收导致在种植的第二年土壤养分含量下降, 此后由于大叶千斤拔砍伐后铺盖在胶地上, 其分解后补充了土壤中的养分, 其共生固氮作用也增加了系统的氮

输入, 从而在种植的第三年土壤的养分状况有所上升。

3.5 土壤容重

对每个重复中坡上、坡中、坡下 3 个剖面土壤容重的观测结果表明 (图 3), 整个土层土壤容重的变动范围在 1.27~1.47 g/cm³, 表现出随土壤深度增加容重增大的趋势。混种大叶千斤拔后, 0~10 cm 土壤容重每年约下降 0.03 g/cm³, 10~30 cm 土壤容重每年下降 0.01~0.02 g/cm³, 30~50 cm、50~70 cm 二个层次的土壤容重变化不大, 70~90 cm 略有所增大, 容重约增加 0.01~0.02 g/cm³。而橡胶纯林土壤容重随种植年限增加略有增大, 0~10 cm 土壤容重约增加了 0.01 g/cm³, 10~30 cm 土壤容重约增加了 0.02 g/cm³。t-检验表明: 种植 2 a 后, 橡胶-大叶千斤拔复合系统各层次土壤容重均低于对照, 但差异不显著。

4 结论与讨论

研究表明, 人工纯林由于树种单一, 归还到土壤中的养分种类较为单一且总量较少, 此外由于地被物破坏和对土壤的翻动, 引起土壤有机质和养分的下降, 土壤侵蚀加剧, 进而导致土壤薄层化和砂化, 使人工林土壤产生退化^[23-25]。在传统的橡胶林里每年的养分归还量仅有雨林的 30%^[26], 而输出相对较大, 橡胶林的枯落物量较低, 枯落物中养分含量也较低且含有乳汁, 不易被微生物分解。此外西双版纳绝大多数橡胶林属于丘陵山地, 坡度大, 坡面长, 林下植被少, 土壤冲刷严重, 淋融作用强烈, 表土

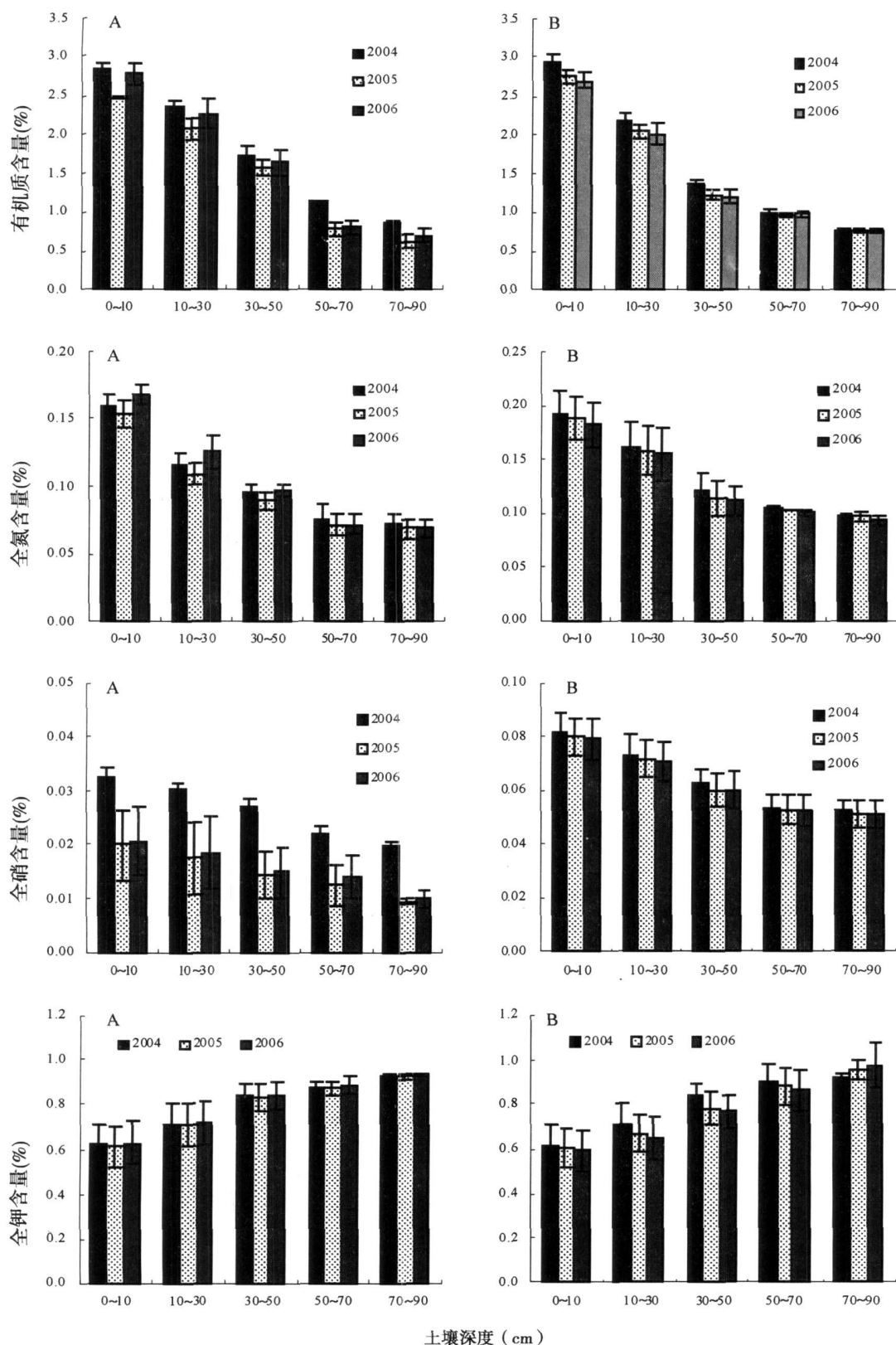


图 2 橡胶纯林和橡胶-大叶千斤拔复合系统的土壤养分含量动态

(A: 橡胶-大叶千斤拔; B: 橡胶纯林)

Fig 2 The dynamics of Nutrient content at different soil layers in rubber plantation and rubber-Flemingia macrophylla agroforestry system (A: rubber-Flemingia macrophylla agroforestry system; B: rubber plantation)

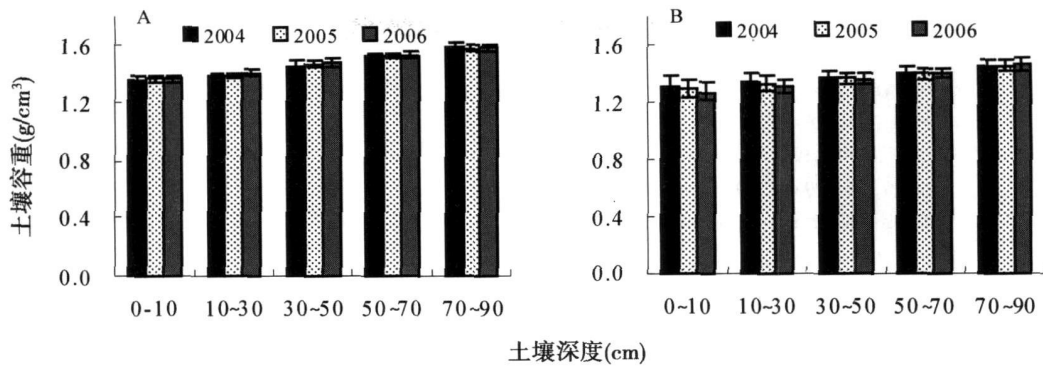


图 3 橡胶纯林和橡胶 - 大叶千斤拔复合系统不同土层土壤容重的年际变化

(A: 橡胶 - 大叶千斤拔; B 橡胶纯林)

Fig 3 Annual variation of soil bulk density at different soil layers in rubber plantation and rubber-*Flemingia macrophylla* agroforestry system (A: rubber-*Flemingia macrophylla* agroforestry system; B: rubber plantation)

层厚度减少, 土壤退化的状况不容忽视^[27]。Palm *et al.*^[28]研究也认为, 由于地表缺乏覆盖, 大量的 N 通过淋洗、径流、侵蚀或以气体形式散发到大气中而从系统中损失。

农林复合系统能够显著提高地表覆盖度, 同时系统的凋落物增加, 对雨水的截蓄能力增强; 间作后降低了地表的空气流通, 同时能够减少阳光直射地面, 高温期林内温度下降, 从而减少了土壤水分蒸发^[29]。张劲松等^[30]对银杏 - 小麦间作系统的研究表明: 间作系统能够显著降低小麦的蒸腾速率, 使 0 ~ 100 cm 土壤储水量提高 6.84%。本实验通过在橡胶林里间种大叶千斤拔, 在旱季, 林地表层 (0~5 cm) 的土壤最低含水量 (3 月) 要比橡胶纯林高出 14.5%, 即使在雨季中期, 土壤表层的最高含水量 (8 月) 也要比橡胶纯林高出 4.4%, 表明间种大叶千斤拔能够改善土壤含水量。Budehn ^[31]的研究也证明大叶千斤拔凋落物覆盖使得表层土壤 (0~5 cm) 湿度高出对照组 4.6%, 是几种地表覆盖材料中效果最好的。

农林复合系统中应用豆科植物不仅能通过生物固氮作用满足植物自身的氮素需求, 而且能通过富含氮凋落物的分解向土壤归还更多的氮素, 提高土壤的氮素水平和有效性^[32], 从而改变了氮素的生物地球化学循环途径^[33]。本研究的对比试验结果表明, 在橡胶林中种植大叶千斤拔, 并将其茎、枝、叶覆盖在林地上, 并通过其分解, 使其各器官内的养分元素释放到土壤中, 有效地提高了土壤肥力。Hagger *et al.*^[34]研究也表明, 在热带地区, 农林复合经营能够增加土壤有机质和总有机氮含量。此外, 因为大

叶千斤拔地上部分的覆盖, 导致了林地土壤温度、水分条件以及其他非生物因子的改变, 同时使土壤微生物、土壤动物种类组成和结构也发生变化。在这些因素的综合影响下, 使复合系统中的土壤有机质和养分元素较橡胶纯林有所改善。土壤养分和水分状况的改善, 势必对植物的生长产生影响。Forrester^[35]对蓝桉 (*Eucalyptus globules*) 和黑荆树 (*Acacia mearnsii*) 混交林的研究认为: 混交能够加速养分循环, 改变 C 的分配, 而且通过林冠分层减少对光的竞争, 从而提高了生产力。沈国防等^[36]对杨树 (*Populus spp.*) - 刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 混交林的生产力研究表明, 其生产力提高主要是因为林地内含氮较高的凋落物分解, 改善了林地的土壤养分 (特别是氮素养分)。Banful *et al.*^[37]研究发现大叶千斤拔的凋落物覆盖层能够促进车前草 (*Plantago asiatica*) 的生长, 使车前草的产量显著提高。周再知等^[38]研究了橡胶 - 砂仁复合系统的生物量及营养元素的空间格局进行后认为, 间作能够促进橡胶的生长主要是由于胶林间作后改善了林内小气候和土壤养分状况。林位夫等^[29]回顾了我国胶园间作的历史后也认为, 合理的间作能够促进间作物的生长, 同时能够提高胶园土壤含水量。本实验通过在橡胶林内种植大叶千斤拔也取得了相同的效果, 并且由于大叶千斤拔的固氮效应, 林内土壤养分状况也有所改善。说明在橡胶林内间种大叶千斤拔是一种切实可行的农林复合系统, 能够在提高林地生产力的基础上实现可持续经营, 至于其对胶水生产的影响, 还有待进一步实验验证。

参考文献 (References)

- [1] Zhao Y, Zhang B, Wang MZ. Assessment of competition for water, fertilizer and light between components in the alley cropping system [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (006): 1792~1801 [赵英, 张斌, 王明珠. 农林复合系统中物种间水肥光竞争机理分析与评价 [J]. 生态学报, 2006, 26 (006): 1792~1801]
- [2] Nair V D, Galetz D A. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: The Florida experience [J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 61 (1): 269~279
- [3] Chen B, Zhang TL. Hydraulic ecological characteristics of alley cropping systems and its productivity in low hilly red soil region [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16 (004): 1~5 [陈斌, 张桃林. 低丘红壤区农林间作系统的水分生态特征及生产力 [J]. 生态学杂志, 1997, 16 (004): 1~5]
- [4] Zhang JS, Cui GD. Summary on the water ecological characteristics of agroforestry system [J]. *World Forestry Research*, 2003, 6 (001): 10~14 [张劲松, 崔国栋. 农林复合系统的水分生态特征研究述评 [J]. 世界林业研究, 2003, 6(001): 10~14]
- [5] Mcneely JA, Schroth G. Agroforestry and Biodiversity Conservation - Traditional Practices, Present Dynamics and Lessons for the Future [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15 (2): 549~554
- [6] Roshekko J M, Lasco R D, Angeles M S. Smallholder agroforestry systems for carbon storage [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2007, 12(2): 219~242
- [7] Dossa E L, Fernandes E C, Reid W S, *et al*. Above- and below-ground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation [J]. *Agroforestry Systems*, 2008, 72 (2): 103~115
- [8] Ashley R, Russell D, Swallow B. The policy terrain in protected area landscapes: challenges for agroforestry in integrated landscape conservation [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15 (2): 663~689
- [9] Griffith D M. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity after fire [J]. *Conservation Biology*, 2000, 14 (1): 325~326
- [10] Nair P K. Directions in tropical agroforestry research: past, present and future [J]. *Agroforestry Systems*, 1997, 38 (1): 223~245
- [11] Zhang H, Zhang G L, Zhao Y G, *et al*. Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 93 (1): 109~116
- [12] Wemer C, Zheng X, Tang J, *et al*. N₂O, CH₄ and CO₂ emissions from seasonal tropical rainforests and a rubber plantation in Southwest China [J]. *Plant and Soil*, 2006, 289 (1): 335~353
- [13] Li H, Aile T M, Ma Y, *et al*. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2007, 16(6): 1731~1745
- [14] Zhang H, Zhang G L. Landscape-scale soil quality change under different farming systems of a tropical farm in Hainan, China [J]. *Soil use and Management*, 2005, 21 (1): 58~64
- [15] Xu J, Fox J, Vogler J B, *et al*. Land-use and land-cover change and farmer vulnerability in Xishuangbanna prefecture in southwest China [J]. *Environmental Management*, 2005, 36 (3): 404~413
- [16] Hu H, Liu W, Cao M. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglin Xishuangbanna, Southwest China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 146: 147~156
- [17] He J L. The Cultivation of *Flan ingia macrophylla* and how restoring lac insect *Kerria lacca* (Kerr) [J]. *Forestry of China*, 1991 (2): 34~34 [何竟良. 大叶千斤拔的栽培与如何放养紫胶虫 [J]. 中国林业, 1991 (2): 34~34]
- [18] Liu C D. The breeding technology of *Flan ingia macrophylla* [J]. *China Forestry Science and Technology*, 2006, 20 (002): 68~70 [刘德朝. 大叶千斤拔扦插繁殖试验 [J]. 林业科技开发, 2006, 20 (002): 68~70]
- [19] Wang Y J, Peng C Z, Zhang Y Y. The breeding technology of *Flan ingia macrophylla* [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2006, 29 (008): 763~764 [王云娇, 彭朝忠, 张永云. 大叶千斤拔扦插繁殖试验 [J]. 中药材, 2006, 29 (008): 763~764]
- [20] Zhao Q. *Flan ingia macrophylla* - excellent forage germplasm resource in tropical area of Yunnan [J]. *Journal of Sichuan Grassland*, 2002 (004): 31~32 [赵茜. 大叶千斤拔 - 云南热区优良牧草种质资源 [J]. 四川草原, 2002 (004): 31~32]
- [21] Crave A, Gascueodoux C. The influence of topography on the time and space distribution of soil surface water content [J]. *Hydrological Processes*, 1997, 11 (2): 203~210
- [22] Wang T, Zhu B, Gao M R. Nutrient content in different land use types in a watershed in the soil of central hilly area of Sichuan, China [J]. *Journal of Mountain Research*, 2006, 24 (Suppl): 88~91 [汪涛, 朱波, 高美荣. 紫色土丘陵区小流域不同土地利用方式下土壤养分含量特征: 典型农林复合生态系统案例分析 [J]. 山地学报, 2006, 24 (增): 88~91]
- [23] Ji X, Chen L X, Xue H X. Changing rules of soil nutrients and microelements in Korean pine plantations of different ages [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2007, 35 (007): 27~29 [纪雪, 陈立新, 薛洪祥. 不同林龄红松人工林土壤养分及微量元素的变化规律 [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35 (007): 27~29]
- [24] Pang X Y, Liu Q, Liu S Q, *et al*. Changes of soil fertility quality properties under subalpine spruce plantation in western Sichuan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (2): 261~267 [庞学勇, 刘庆, 刘世全, 等. 川西亚高山云杉人工林土壤质量性状演变 [J]. 生态学报, 2004, 24 (2): 261~267]
- [25] Wu W D, Zhang T L. Changes of soil fertility quality properties under artificial Chinese fir forest in red soil region [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2001, 8 (3): 285~294 [吴蔚东, 张桃林. 红壤地区杉木人工林土壤肥力质量性状的演变 [J]. 土壤学报, 2001, 8 (3): 285~294]
- [26] Zhang P, Liu H M, Chen A G, *et al*. Study on Degradation of Tropical Hillslope in Using in Xishuangbanna [J]. *Journal of Mountain Research*, 2001, 19 (1): 9~13 [张萍, 刘宏茂, 陈爱国, 等. 西双版纳热带山地利用过程中的土壤退化 [J]. 山地学报, 2001, 19 (1): 9~13]
- [27] Li C L, Yan S X. Change of nutrients in rubber plantation in Xishuangbanna [J]. *Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Technology*

- ogy, 2001, 24 (1): 1~6 [李春丽, 严世孝. 西双版纳橡胶园养分变化 [J]. 云南热作科技, 2001, 24 (1): 1~6]
- [28] Pahn C A, Swift M J, Womer P L. Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1996, 58 (1): 61~74
- [29] Lin WF, Zhou ZY, Huang SE. A review and prospect of intercropping in rubber plantation in China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18 (1): 43~52 [林位夫, 周钟毓, 黄守锋. 我国胶园间作的回顾与展望 [J]. 生态学杂志, 1999, 18 (1): 43~52]
- [30] Dechert G, Veldkamp E, Anas I. Is soil degradation unrelated to deforestation? Examining soil parameters of land use systems in upland Central Sulawesi, Indonesia [J]. *Plant and Soil*, 2004, 265 (1): 197~209
- [31] Budelman A. The performance of selected leaf mulches in temperature reduction and moisture conservation in the upper soil stratum [J]. *Agroforestry Systems*, 1989, 8 (1): 53~66
- [32] Liu XY, Zeng DH. Research advances in interspecific interaction in agroforestry system [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26 (9): 1464~1470 [刘兴宇, 曾德慧. 农林复合系统种间关系研究进展 [J]. 生态学杂志, 2007, 26 (9): 1464~1470]
- [33] Zhang JS, Song ZM, Meng P, et al. Study on the water and heat effects of ginkgo-wheat intercropping [J]. *Forest research*, 2002, 15 (4): 457~462 [张劲松, 宋兆民, 孟平, 等. 银杏—小麦间作系统水热效应的研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15 (4): 457~462]
- [34] Haggard J P, Tanner E V, Beer J W, et al. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25 (10): 1363~1378
- [35] Forrester D. Mixed-species plantations of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing trees [D]. Australian National University, 2004.
- [36] Shen GF, Jia LM, Zhai MP. The soil amelioration effect of poplar-black locust mixed plantation on sand soil and the interaction of mutual supplement of nutrient between tree species [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34 (5): 12~20 [沈国舫, 贾黎明, 翟明普. 沙地杨树刺槐人工混交林的改良土壤功能及养分互补关系 [J]. 林业科学, 1998, 34 (5): 12~20]
- [37] Banful B, Dzietor A, Ofori I, et al. Yield of plantain alley cropped with *Leucaena leucocephala* and *Flacoringia macrophylla* in Kumasi, Ghana [J]. *Agroforestry Systems*, 2000, 49 (2): 189~199
- [38] Zhou ZZ, Zheng HS, Yang ZJ, et al. Research on spatial pattern of biomass and nutrient element in plantation of rubber intercropped with *Annonum longiligulare* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17 (3): 225~233 [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 [J]. 生态学报, 1997, 17 (3): 225~233]

The Dynamics of Plant Growth and Soil Moisture and Nutrient in the Rubber Plantation and Rubber-*Flacoringia macrophylla* Agroforestry System in Xishuangbanna, Southwest China

PANG Jiaping^{1, 2}, CHEN Mingyong³, TANG Jianwei¹, GUO Xiaoming³, ZENG Rong³

(1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Mengla 666303 Yunnan, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049 China;

3 Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong 666100 China)

Abstract This paper presents the comparison of dynamics on the plant growth and soil moisture and nutrient between the rubber plantation and rubber-*Flacoringia macrophylla* agroforestry system which was a new constructed agroforestry model. The average base diameter, average diameter at breast height (DBH) and average height of the rubber tree in rubber-*F. macrophylla* agroforestry system increased by 11.0%, 9.62% and 3.78% as much as the rubber plantation, respectively. Moreover, higher soil moisture in dry season and less seasonal fluctuation were observed in rubber-*F. macrophylla* agroforestry system than those in rubber plantation. The content of soil organic matter (SOM), total nitrogen (T.N), total phosphorus (T.P) and total potassium (T.K) declined in the second year and then increased in the third year. Soil bulk density decreased to 0.03 g/cm³ and 0.01~0.02 g/cm³ at 0~10 cm and 10~30 cm layer for each year in rubber-*F. macrophylla* agroforestry system, respectively. But in rubber plantation, SOM, T.N, T.P, T.K declined and soil bulk density increased with planting years. The results indicated that the growth of the rubber tree and the soil moisture and nutrient content were improved in rubber-*F. macrophylla* agroforestry system which demonstrated that it was an effective way for restoring the degraded tropical mountain land and for sustainable development of rubber monoculture.

Key words agroforestry; rubber plantation; soil moisture content; soil bulk density; soil nutrient content; Xishuangbanna