

西双版纳望天树林土壤养分含量及其季节变化

薛敬意 唐建维* 沙丽清 孟 盈

(中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态系统定位研究站, 云南勐腊 666303)

摘 要 对西双版纳望天树(*Shorea chinensis*)林地0~10 cm和10~25 cm土层的有机质、全氮、磷、钾、速效氮、磷、钾等几种营养元素的含量状态及雨季前后的变化进行了研究。结果表明:土壤的养分含量变化为旱季结束>雨季结束, 沟谷地带雨林>低山地带雨林, 并且差异显著;表土0~10 cm是养分富集区, 10 cm以下土层的养分含量锐减, 两层养分含量对比, 除钾元素以外均差异显著, 表明望天树热带雨林生存的环境与植被的生活习性, 对土壤养分的含量都有一定的影响。雨季对林地土壤的全钾和速效磷含量影响很大, 对有机质、全磷和速效钾的含量影响较小, 对氮素的影响是低山雨林>沟谷雨林。雨季期间土壤中的磷素消耗到严重缺乏的水平。

关键词 望天树林 土壤养分 西双版纳

SOIL NUTRIENT CONTENTS AND THEIR CHARACTERISTICS OF SEASONAL CHANGES UNDER *SHOREA CHINENSIS* FOREST IN XISHUANGBANNA

XUE Jing_Yi TANG Jian_Wei* SHA Li_Qing and MENG Ying

(Tropical Rainforest Ecosystem Station, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Mengla County, Yunnan Province 666303, China)

Abstract *Shorea chinensis* forest of Xishuangbanna (21°29' N, 101°34' E) is a rainforest type of tropical rainforest in South-east Asia entering into Xishuangbanna, which is significant in connecting with the flora of tropical rainforests in South-east Asia and elucidating characteristics of tropical rainforest in Xishuangbanna. In southern Mengla county, Xishuangbanna, *Shorea chinensis* forest grows on the mountain in altitude 700_900 m, the soil is latosol, annual mean temperature is 21.1 °C, and annual mean precipitation is 1 500_1 600 mm. In order to know the soil nutrient content, organic matter, total N, P, K, available N, P, K and their seasonal changes under *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna, we took soil samples in the top soil (0_10 cm) and under the top soil (10_25 cm) from 47 plots among 10 different patches of *Shorea chinensis* forest in May and November, 1999. 23 plots were located in valleys and 24 plots in lower mountainous areas. The results showed there are obvious difference in the soil nutrient content in different soil layers, in different seasons and in different areas: 1) in different soil layers, nutrients were rich in the top soil (0_10 cm) and poor under 10 cm depth. The content of nutrients under 10cm depth was about 56%_75% of the nutrients in top soil; available P content was only 0.039% of the nutrients in top soil. 2) Soil nutrient content changes with seasons; nutrients were higher before the rainy season than after the rainy season. The content of organic matter, total N, total P and total K in top soil after rainy season was 94%, 90%, 94% and 82% of the content before rainy season respectively, and the content of available N and available K in top soil after rainy season was 89%, 92% of the content before rainy season. Available P decreased sharply in top soil after rainy season; the content of available P in top soil after the rainy season was only 0.078% of the content before the rainy season. The change in nutrient content under top soil after rainy season was the same as the change in nutrient content in top soil. 3) Concerning soil nutrient content in different area, nutrients were also higher in valleys than in lower mountainous areas. The content of organic matter, total N, total P and total K in top soil in lower mountainous area were 79%, 80%, 84% and 83% of the content in valley respectively, while the content of available N, available P and available K were also lower in top soil in lower mountainous area than in valleys.

From the above results, we can conclude that seasonal changes significantly affected total K and available P, but only slightly affected total P, available K and organic matter, and affected N content more in lower mountainous areas than in valleys. In the rainy season P content in soil is very poor. The environment and plant growth rhythm of *Shorea chinensis* forest have some effects on the soil nutrient content.

Key words *Shorea chinensis* forest, Soil nutrients, Xishuangbanna

收稿日期: 2002-04-07 接受日期: 2002-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(39870024)和国家科技部 2001 年度基础研究支持项目(2001CCB00600)

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: tangjw@xtbg.org.cn; jwtang@bn.yn.cninfo.net

西双版纳的望天树林 (*Shorea chinensis* forest, SCF) 以龙脑香科植物望天树为上层优势树种, 它作为东南亚嵌入热带北缘的雨林类型, 在连接东南亚热带雨林植物区系以及在阐明西双版纳热带雨林的性质和特点上具有特别重要的意义(朱华, 1992)。近年来由于人类生产经济活动的日益加剧, 西双版纳的原始森林受到剧烈的破坏, 作为我国一级保护的稀有植物望天树并引以为上层优势种的望天树林也惨遭同样的厄运, 目前的望天树林以大小不一的 16 个斑块呈破碎的条状和块片状残存分布在勐腊县东南部 6 条河谷的两侧(朱华, 1992), 因受破碎化栖息地生境的影响, 使得该类森林群落的面积与数量都很小。到目前为止, 部分学者已对望天树的形态特征(朱华, 1992)、种群的动态(赵学农等, 1990)和种子萌发(殷寿华等, 1990)及其群落的区系组成(朱华, 1992)、林窗小气候变化(刘文杰等, 2000)等方面进行了研究。但对林地土壤养分的含量及季节变化的研究工作还未见报道。本文在这一方面进行初步研究, 对今后深入研究望天树群落的养分循环、生存环境及其保护工作均具有一定的意义。

1 试验区概况与研究方法

1.1 研究林地自然环境

西双版纳勐腊县自然保护区位于北纬 $21^{\circ}29'$, 东经 $101^{\circ}34'$ 。这里的年平均降雨量为 1 500~1 600 mm, 主要分布在 5 月下旬~10 月的雨季(占 83%), 11 月~翌年 4 月为旱季(占 17%), 但是旱季期间林地几乎每天都有大雾、重露, 部分弥补了雨量的不足。全年平均相对湿度为 87%, 年平均温度 21.1°C , 最冷月(1 月)和最热月(5 月)的平均气温分别为 15.7°C 和 24.6°C 。与世界热带雨林分布的主要地区相比, 本地区的降雨量偏少, 干、湿季明显, 气候偏干, 热量偏低(张克映, 1963)。

在西双版纳, 望天树林分布于勐腊县境内南部, 海拔 700~900 m 之间的山地, 土壤为砖红壤(Latosol), 群落结构较为复杂, 乔木层可分为 4 层, 上层优势种几乎全为望天树组成, 高 40~60 m, 林冠不连续, 郁闭度约为 0.4; 中层主要树种有番龙眼(*Pometia tomentosa*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)、大叶白颜树(*Gironniera subaequalis*)、小叶藤黄(*Garcinia cava*)等等, 高 20~30 m, 郁闭度为 0.5 左右; 第三层主要为三桠果(*Baccaurea ramiflora*)、第四层以假海桐(*Pittosporopsis kerri*)等占优势, 高 6~20 m, 郁闭度约为 0.3; 灌木层是由大量的乔木幼树和

少量的灌木个体组成, 一般低于 5 m; 草本层则随地形、地势的不同, 种类的组成及其覆盖度呈现不同的变化, 通常以柃叶(*Phrynium capitatum*)、虾膜花(*Acanthus leucostachyus*)为常见(朱华, 1992)。在望天树林分布的范围内有众多的小河支流, 地形以低山、丘陵为主。低山望天树雨林样地(以下简称低山雨林)主要位于补蚌村附近, 是由断断续续的不同斑块联成一体面积的较大面积的低山原始林地, 在大面积低山林区内还存在着面积大小不等、分布无规律的农垦地。另外在离低山望天树林西部约 10 km 的广纳里村至景飘的南杭河流域两侧也有望天树群落, 分布在已经开发利用地区中的沟谷地带, 形成狭长的走廊状沟谷林带, 生境光照较少, 地形狭窄, 坡度较大, 谷口方向基本朝南, 是残留的片段化沟谷地带原始林(以下简称沟谷雨林)。本试验的土壤取自 10 个面积大小不同的望天树雨林斑块的 47 块样地, 可代表望天树群落在本地区不同生境中的土壤养分含量状况。

1.2 土样的采集

在广纳里至景飘直线距离约 10 km 的 5 个沟谷林带中, 根据地形分别选定了具有代表性的望天树群落样地 3~6 个, 共 23 个试验点。

在补蚌地区近 20 km^2 的低山雨林地中, 根据地理位置和地势确定 5 个试验区并各自选定具有代表性的望天树群落样地 3~6 个, 共 24 个试验点。

土样的采集分别于 1999 年的 5 月和 11 月进行, 根据不同斑块面积的大小, 在每个斑块中挖取 3~5 个剖面, 按 0~10 cm, 10~25 cm 分层采土(以下分别简称上层、下层), 土样按测试项目的要求风干、磨碎过筛、装瓶供室内测试。

1.3 分析项目与方法

分析项目为土壤有机质、全氮、全磷、全钾和速效的氮、磷、钾等。测定方法: 有机质用重铬酸钾外热法; 全氮用开氏法; 磷用 HCl-HF 消化钼锑抗比色法; 钾用原子吸收分光光度计法; 速效氮用碱解扩散法; 速效钾用乙酸铵浸提法; 速效磷用 Bray1 法; pH: H_2O 为 5.1 电位法; 土壤水分分为烘干称重法, 土壤容重为环刀法。

2 结果与分析

2.1 旱季结束时林地土壤的主要养分含量分布

根据望天树林地的分布情况, 把沟谷地带和低山地区的试验分别进行统计分析, 结果如表 1 所示, 低山雨林表土层(0~10 cm)的有机质和全氮、全

磷、全钾的含量以及有效态的氮、磷、钾含量均小于沟谷雨林: 有机质和全氮、全磷、全钾的含量分别是沟谷雨林的 79%、80%、84% 和 83%; 有效态的氮、磷、钾含量分别是沟谷雨林的 90%、54% 和 83%。进行 t 检验, 低山雨林土壤有机质和全氮含量极显著地小于沟谷雨林, 全钾和有效性磷显著地小于沟谷雨林。

下层土壤 (10~ 25 cm) 的有机质含量、氮、磷、钾的全含量与有效态含量, 低山雨林也同样底于沟谷雨林, 有机质含量约是沟谷雨林 67%。氮、磷、钾的全含量与有效态含量分别为沟谷雨林的 74%、78%、89% 和 93%、50%、93%。低山雨林土壤养分含量除了有效态氮和钾略低于沟谷雨林以外, 其余均低于沟谷雨林较多, 有效磷仅为沟谷林的 1/2。进行 t -差异检验, 低山雨林土壤有机质、全氮的含量极显著地小于沟谷雨林, 全磷和有效性磷则显著地小于沟谷雨林。

下层土壤中除全钾的含量略高于表土外, 其它养分均为表土层含量较高。下层土壤与表土层相比, 有机质、全氮、全磷和有效态的氮、磷、钾含量下降幅度很大: 沟谷雨林分别为 61%、68%、82% 和 61%、26%、64%, 低山雨林则为 53%、63%、76% 和 64%、24%、71%。有效态磷仅为上层土壤含量的 1/4。经 T 值进行差异检验, 土壤上、下层养分含量分布差异明显, 沟谷雨林和低山雨林差异呈极显著水平的是土壤有机质、全氮、有效性的氮和磷。不同的

是, 沟谷雨林的有效性钾也呈极显著的差异, 低山雨林地则是全磷的含量具有显著的差异。

2.2 雨季结束后土壤的养分含量分布

雨季结束后, 望天树雨林土壤的养分含量减少 (表 2), 上层土壤有机质含量平均为 3.358%, 是旱季结束的 95%。沟谷雨林为 3.805%, 低山雨林为 3.034%, 是沟谷雨林的 80%。两者雨季结束与旱季结束时的相对比例关系较稳定。氮、磷、钾的土壤全量为: 低山雨林分别是沟谷雨林的 80%、82% 和 75%, 与旱季结束相比, 全钾含量的差异增大。土壤中有效性的氮、磷、钾含量为: 低山雨林分别是沟谷雨林的 88%、60% 和 113%, 而低山雨林的有效性磷含量则下降到小于 $5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的严重贫瘠水平(孙波等, 1995)。这一时期, 低山雨林与沟谷雨林地的土壤养分含量差异, t -检验结果为: 土壤有机质、全氮、全钾达到极显著水平, 全磷和有效氮达到显著水平。与旱季结束相比, 全磷、全钾和有效氮的差异增大, 有效性磷的差异减小。

下层土壤 (10~ 25 cm) 有机质含量, 低山雨林低于沟谷雨林, 沟谷雨林为 2.310%, 低山雨林为 1.668%, 是沟谷雨林的 72%。雨季结束与旱季结束时, 两者土壤有机质含量比率相对稳定。土壤中氮、磷、钾的全量, 沟谷雨林为 0.143%、0.036 5%、1.240%; 低山雨林为 0.118%、0.027 9%、0.832%, 分别是沟谷雨林的 82%、76% 和 67%, 低山雨林下层土壤的养分含量与沟谷雨林的相比, t -检验结果

表 1 旱季结束望天树林土壤养分的平均含量(5 月)
Table 1 The nutrient contents in soil under SCF in the end of dry season (May)

	土层深度 Soil depth (cm)	O. M (%)	N (%)	P (%)	K (%)	A. N ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	A. P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	A. K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
沟谷 In valley ($N=23$)								
平均 Mean	0~ 10	4.073	0.230	0.045	1.309	250.333	18.887	181.989
标准偏差 Standard deviation		1.059	0.051	0.011	0.277	50.605	16.337	67.373
变异系数 Coefficient of variation		0.26	0.22	0.25	0.21	0.20	0.86	0.37
平均 Mean	10~ 25	2.476	0.157	0.037	1.331	153.901	5.020	116.596
标准偏差 Standard deviation		0.827	0.031	0.012	0.359	48.279	4.091	39.434
变异系数 Coefficient of variation		0.33	0.20	0.32	0.27	0.31	0.81	0.34
t -检验 T_{test}		5.044 2**	5.214 3**	1.966 8	0.022 4	5.849 7**	3.298 8**	3.376 1**
低山 In lower mountainous area ($N=24$)								
平均 Mean	0~ 10	3.212	0.185	0.038	1.093	224.632	10.285	151.588
标准偏差 Standard deviation		0.744	0.037	0.013	0.318	41.637	6.167	83.715
变异系数 Coefficient of variation		0.23	0.20	0.36	0.29	0.19	0.60	0.55
平均 Mean	10~ 25	1.663	0.117	0.029	1.186	143.907	2.504	108.052
标准偏差 Standard deviation		0.450	0.020	0.009	0.321	31.796	0.322	69.280
变异系数 Coefficient of variation		0.27	0.18	0.31	0.27	0.22	0.13	0.64
t -检验 t_{test}		6.588 7	9.634 5	2.500 0	< 1	6.890 6	5.429 1	1.791 7

** $t_{0.01}=2.704$ * $t_{0.05}=2.021$ (n_1+n_2-2)> 40
O. M: 有机质 Organic matter A. N: 有效性氮 Available nitrogen A. P: 有效性磷 Available phosphorous A. K: 有效性钾 Available potassium
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表明: 土壤有机质、全氮、全磷、全钾和有效性氮都具有极显著的差异。与旱季结束相比, 低山雨林下层土壤的全钾、全磷和有效性氮的含量与沟谷雨林之间的差异增大, 土壤的速效磷含量差异减小。与表层土壤的变动基本一致。

雨季结束后土壤上、下两层的养分分布差异依然存在, 与旱季结束时相比, 沟谷雨林的变化为: 有效性磷和钾的含量从 t -检验的极显著差异变为显著的差异, 其差异减小; 低山雨林的全磷含量从 t -检验的显著差异变为极显著的差异, 其差异增大。

2.3 雨季对望天树林地土壤养分变化的影响

到目前为止, 对森林土壤养分的季节动态变化研究报道不多, 这可能是元素在土壤内的季节性变化幅度较小及其分布差异无一定规律性的原因。本文的研究结果表明西双版纳望天树林地土壤中有些养分季节性变化是很明显的。表 3 为旱季结束和雨季结束后, 望天树林表层土壤(0~ 10 cm) 的养分含量状况。根据红壤林地土壤养分的标准(孙波等, 1995), 速效磷含量旱季结束时为轻度贫瘠(10~ 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 雨季结束后为中度贫瘠(5~ 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。与海南省的雨林土壤的养分含量相比: 高于海南雨林的有机质(2. 45%)、全磷(0. 014%) 和有效性的氮(135 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、磷(4. 55 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、钾(10~ 80 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); 低于海南的全钾(2. 23%) 含量(赵其国等, 1991)。望天树雨林在雨季结束后, 林地土壤

的养分都有不同程度的减少, 土壤有机质及氮、磷、钾的全量, 分别是旱季结束的 95%、91%、95% 和 83%, 其中全钾的减少幅度较大, 有机质和全磷的含量相对稳定, 有效态的氮、钾为旱季结束时的 90% 和 91%, 而有效态磷仅为 53%, 减少幅度最大。 t -检验的结果为: 雨季结束与旱季结束时, 土壤中养分含量有显著差异的是全氮和有效性氮, 具有极显著差异的是全钾和有效性磷。

2.4 雨季结束与旱季结束时土壤养分的分布差异比较

表 4 为望天树雨林雨季结束与旱季结束时土壤养分含量的比值。结果表明: 经过一个雨季后, 沟谷雨林土壤养分都有减少的趋势。而低山雨林除去有效态钾呈上升趋势以外, 其它的养分都有不同程度的减少。根据土壤养分在雨季结束与旱季结束时的含量对比, 其差异的 t -检验结果表明, 沟谷雨林土壤养分含量差异显著的为: 表土层(0~ 10 cm) 的全钾、有效性磷和钾, 而下层土壤(10~ 25 cm) 养分的差异不明显; 低山雨林土壤养分含量差异极显著的为: 表土层的有效性磷和下层土壤的全钾; 差异显著的为: 表土层的全氮、全钾和有效性的氮。总体上林地的土壤表层养分下降幅度的顺序为有效态磷> 全钾> 有效态氮> 全氮> 有机质> 全磷。雨季对低山雨林土壤的养分影响大于沟谷雨林, 对表土层(0~ 10 cm) 的影响大于下层土壤(10~ 25 cm)。

表 2 雨季结束望天树林地土壤的养分含量(11 月)
Table 2 Nutrient contents in soils under SCF at the end of rainy season (Nov.)

	土层深度 Soil depth (cm)	O. M (%)	N (%)	P (%)	K (%)	A. N ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	A. P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	A. K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
沟谷 In valley ($N = 23$)								
平均 Mean	0~ 10	3. 805	0. 207	0. 043	1. 123	224. 667	9. 388	143. 889
标准偏差 Standard deviation		1. 117	0. 042	0. 014	0. 320	40. 185	9. 129	41. 682
变异系数 Coefficient of variation		0. 29	0. 20	0. 32	0. 17	0. 18	0. 97	0. 29
平均 Mean	10~ 25	2. 310	0. 143	0. 036 5	1. 240	153. 327	3. 747	112. 606
标准偏差 Standard deviation		0. 685	0. 027	0. 013	0. 239	30. 228	2. 920	41. 764
变异系数 Coefficient of variation		0. 30	0. 19	0. 36	0. 19	0. 20	0. 78	0. 37
t -检验 t -test		5. 626 6**	5. 214 3**	1. 629 1	< 1	6. 951 2**	2. 845 2**	2. 626 0*
低山 In lower mountainous area ($N = 24$)								
平均 Mean	0~ 10	3. 034	0. 167	0. 035 2	0. 845	198. 724	5. 610	162. 198
标准偏差 Standard deviation		0. 722	0. 029	0. 006	0. 216	38. 479	2. 216	91. 418
变异系数 Coefficient of variation		0. 24	0. 17	0. 18	0. 26	0. 19	0. 39	0. 56
平均 Mean	10~ 25	1. 668	0. 118	0. 027 9	0. 832	122. 622	2. 267	115. 534
标准偏差 Standard deviation		0. 482	0. 022	0. 003	0. 213	29. 218	1. 05	67. 534
变异系数 Coefficient of variation		0. 29	0. 19	0. 11	0. 26	0. 24	0. 46	0. 58
t -检验 t -test		6. 061 7**	5. 257 5**	4. 812 1**	< 1	6. 865 8**	3. 761 4**	1. 547 1

** $t_{0.01} = 2.704$ * $t_{0.05} = 2.021, (n_1 + n_2 - 2) > 40$ O. M, A. N, A. P, A. K: 同表 1 See Table 1

表 3 望天树林表土(0~ 10 cm)养分的平均含量对比(N= 47)
Table 3 The nutrient contents in 0- 10 cm soil under SCF (N= 47)

	O. M (%)	N (%)	P (%)	K (%)	A. N (mg• kg ⁻¹)	A. P (mg• kg ⁻¹)	A. K (mg• kg ⁻¹)
旱季结束(5月) At the end of dry season (May)							
平均 Mean	3. 528	0. 202	0. 041	1. 195	236. 81	14. 359	165. 99
标准偏差 Standard deviation	0. 954	0. 047	0. 013	0. 315	47. 29	12. 695	76. 95
变异系数 Coefficient of variation	0. 27	0. 23	0. 31	0. 26	0. 20	0. 88	0. 46
雨季结束(11月) At the end of rainy season (Nov.)							
平均 Mean	3. 358	0. 184	0. 039	0. 995	212. 56	7. 625	152. 43
标准偏差 Standard deviation	0. 979	0. 04	0. 012	0. 247	41. 09	7. 03	69. 23
变异系数 Coefficient of variation	0. 29	0. 22	0. 30	0. 25	0. 19	0. 92	0. 45
t-检验 t-test	0. 906 9	2. 136 3*	0. 736 7	3. 242**	2. 499 9*	3. 049 4**	0. 844 8

** $t_{0.01} = 2. 704$ * $t_{0.05} = 2. 021, (n_1 + n_2 - 2) > 40$ O. M, A. N, A. P, A. K: 同表 1 See Table 1

表 4 林地土壤养分含量雨季结束与旱季结束时的比率
Table 4 Ratio of soil nutrient contents in SCF compared in the end of rainy season with those in the end of dry season

雨季结束(11月)/旱季结束(5月) In the end of rainy season (Nov.) / in the end of dry season (May)	O. M	N	P	K	A. N	A. P	A. K
沟谷 In valley (N= 23)							
0~ 10 cm	0. 93	0. 90	0. 96	0. 86 [*]	0. 90	0. 50 [*]	0. 77 [*]
10~ 25 cm	0. 93	0. 91	0. 98	0. 93	0. 99	0. 75	0. 97
低山 In lower mountainous areas (N= 24)							
0~ 10 cm	0. 94	0. 90 *	0. 92	0. 77 [*]	0. 88 [*]	0. 54 ^{**}	1. 07
10~ 25 cm	1. 01	0. 92	0. 96	0. 70 ^{**}	0. 85	0. 90	1. 07

** $t_{0.01} = 2. 704$ * $t_{0.05} = 2. 021, (n_1 + n_2 - 2) > 40$ O. M, A. N, A. P, A. K: 同表 1 See Table 1

3 讨 论

1) 西双版纳以望天树为上层优势种的热带雨林经过长期的演替,形成本地区的一种结构复杂、物种多样性丰富并且相对稳定的顶极森林生态系统。明显的干湿季分布,较高的森林覆盖度,林下高温、高湿的小气候,促进了土壤中的生物活动,使该类森林具有雨季前后养分的差异与生物、气候条件变化同步的特点。作为养分归还主要途径之一的凋落物,每年返回到土壤中的凋落物达 11. 56 t• hm⁻², 接近世界热带雨林平均凋落物量 (6~ 12 t• hm⁻²) 最大值(郑征等, 2000)。其凋落高峰具有突出明显和持续时间较长的特点, 3 月和 4 月的凋落量最大, 分别为 2. 63 t• hm⁻² 和 2. 83 t• hm⁻², 约占年凋落量的 23. 4% 和 25. 1%(郑征等, 1990), 为雨季期间土壤养分的强烈交换提供了物质基础。在雨季, 不仅土壤中的水分含量增加, 而且气温较高, 使植物生长发育旺盛, 而水热条件是生物活性及养分迁移的基础, 从而导致土壤养分的消耗量> 累积量; 而旱季期间, 则是土壤养分的累积量> 消耗量, 与何园球等(1993) 在海南省吊罗山对雨林的研究结果相一致。雨季期间, 望天树林的土壤全钾和全磷的含量大幅度减少, 表明养分的供求矛盾仍然存在。Foth (1978) 认为: “事实上, 在演替顶极的森林或草地中, 其土壤有机

质含量年年都维持恒定, 土壤中的循环氮量保持大体恒定”。在对氧化土壤的养分研究中表明: “强度风化的砖红壤表现更为明显, 不仅仅是钾素淋失, 而且土壤溶液中只能维持极低的磷素平衡浓度, 下层土壤比上层更加明显, 说明了凋落物是植被有效养分的重要来源, 这时林木扎根很深从风化度较浅的深层土壤中吸取养分, 同时依靠广布土壤上层的根系吸收凋落物矿化释放出的养分”。由于该类森林肥沃土壤层极薄, 导致土层 0 ~ 10 cm 与 10~ 25 cm 的养分含量, 在统计上具有极显著差异。表明望天树雨林较薄的表土层养分富集明显, 并且养分的含量变化大于下层。林地表土受生物作用影响, 系统内快速、强烈的养分分解-吸收-补充是其肥力保持稳定的主要机制。

2) 虽然在沟谷雨林周围垦区不断扩大的情况下, 生境破碎化程度远大于低山雨林的生境, 但是雨林强烈的养分运动在沟谷的天然屏障中得到一定程度的保护, 减缓了气候变化引起的生态系统与大气候的水热交流, 这一点得益于“西双版纳的静风、热量和雨量有效性高的气候特点”(张克映, 1963)。因此沟谷雨林受大气候的影响小于低山雨林, 水汽和热量与大气的交换也小于低山雨林, 晴好天气时, 沟谷内的湿度大于低山地带, 间接地促使沟谷雨林的蒸腾量小于低山雨林, 导致植被从土壤中吸收养分

而产生差异。植物的蒸腾作用受到湿热向空气输送的通量影响(牛文元, 1981)。Foth (1978) 认为:“许多热带土壤粘土含量高, 并有较多的无定形粘土, 其结果是有效地保护了有机质, 使之免遭分解。”同时他还指出:“一个地区的土壤粘粒含量和有机质含量之间, 存在着相关性。较多地联合供应水和养分, 有利于在较细质地的土壤中生产和积累更多的有机质。粘粒还吸附具有分解力的酶, 使酶变得不活跃了。吸附于粘粒的有机分子在微生物分解作用中可部分地受到保护。土壤中的有机质含量增加, 氮素及磷素含量亦增加, 因为它们是有机的质的重要组成部分。”沟谷雨林土壤中有机质及养分的平衡值, 无论是旱季结束时还是雨季结束时均大于低山雨林, 表明沟谷雨林土壤的粘土含量大于低山雨林。

西双版纳望天树雨林土壤的有机质含量, 总的来说季节变化所导致的差异不明显, 地貌的不同所导致的差异明显。在全年期间, 低山雨林的上下层土壤有机质含量都极显著地小于沟谷雨林; 受有机质分解释放养分的直接影响, 土壤的全氮含量, 同样也具有极显著的差异; 低山雨林土壤的全磷和全钾含量, 在旱季结束时极显著地小于沟谷雨林, 雨季结束时, 差异增大, 变成极显著地小于沟谷雨林。表明沟谷雨林土壤养分平衡值高于低山雨林, 低山雨林土壤养分受雨季的影响, 减少的幅度大于沟谷雨林。从两个季节土壤养分的对比可以看出, 不论是沟谷雨林, 还是低山雨林, 大部分养分的动态变化趋势几乎是一致的。

3) 磷素的缺乏是西双版纳望天树群落林地土壤肥力的主要限制性因素之一, 土壤下层(10~25 cm)的有效性磷, 长期处于严重贫瘠(小于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的状况, 土壤中磷素含量, 地表始终大于下层, 说明凋落物释放出磷对植物的吸收极其重要。Bear (1964) 认为“土壤的表层常常有丰富的磷, 是被根吸收, 通过枯枝落叶转到表层, 并且大部分土壤磷是有机态的。”Foth (1978) 认为“但是强度风化的磷质, 在土壤 pH 值为 4.5~4.8 之间, 磷素很快被土壤固定, 主要形成铁-磷和闭蓄态磷(占全磷含量的 70%~85%), 溶液中只能维持极低的平衡浓度, 表土溶液中的磷在下渗的过程中很快被固定。植被要吸取磷素就要吸收极大比例的水分, 因为磷从土壤粘粒表面扩散到水膜里并迁移到达植物根部的速度与浓度取决于土壤水分。”西双版纳望天树群落林地植物吸收土壤中的磷量, 对土壤水分状况及植被蒸腾量的依赖性很强。沟谷雨林和低山雨林土壤含

水量, 3 月平均为 17.07% 与 18.85%; 5 月平均为 25.31% 与 28.62%; 11 月平均为 25.99% 与 30.36%, 土壤深层 1 m 以下含水量终年保持在 22%~29% 之间, 在有效性水分较高的情况下, 全年土壤不缺水。很明显地表明, 植被的蒸腾量差异和土壤粘粒的多少, 都直接影响着根系对土壤水分和养分的吸收, 因此低山雨林土壤有效态磷大约为沟谷雨林的一半。全磷的含量低山雨林上层土壤在旱季结束与雨季结束时分别为 0.0384% 和 0.0352%, 沟谷雨林为 0.048% 和 0.0457%, 表明低山雨林磷的减少量大于沟谷雨林, 其矿化程度和生物循环速度更强烈、更快。根据德国化学家李比西的最小因子定律的原理(骆世明等, 1987), 有效性磷的缺乏是植被吸收养分的主要障碍因子。

4) 望天树雨林土壤养分含量的季节性变化受到水热条件的影响很大。在本研究中, 不论是在沟谷内, 还是位于低山地区的望天树雨林, 土壤中各养分的季节性动态变化趋势相同, 变化的幅度为低山雨林大于沟谷雨林, 养分的全含量和有效态的含量经过雨季均有不同程度的减少, 这与鼎湖山林地在雨季期间土壤的养分含量增加的规律相反(夏汉平等, 1997), 其主要原因是旱季, 鼎湖山的森林小气候为:“1~3 月和 10~12 月低温干燥, 土壤微生物活性低, 有机质分解慢(张德强等, 2000),”西双版纳望天树雨林的小气候则是低温潮湿, 3、4 月进入干热季节。但是土壤养分的季节变化的原理是类似的, 以磷素为例, 根据西双版纳的气候特点, 12~2 月为冬季(张克映, 1963), 由于低温潮湿, 有机物难以矿化, 土壤磷素的活化比较困难, 而且这时的微生物将相当的磷素固定。3~5 月, 由于干热的旱季水分胁迫, 造成雨林的凋落物高峰期, 此时, “耐旱的放线菌增加, 降解凋落物中较难分解的成分(张萍, 1995),”“干旱期间微生物继续生长并积累营养(潘超美等, 2000),”土壤中的全磷与有效性的磷均有不同程度的增加。当 5 月下旬, 雨水明显增加, “进入雨季后, 气温较高, 大量细菌繁殖, 达到全年的最多数量时, 加速了解凋落物中较简单易分解的成分(张萍, 1995),”部分被固定的磷得以释放, 加之微生物的更新换代, 部分微生物中的磷也被矿化, 但是这一时期, 生长旺盛的植物要从土壤中吸取大量的养分。有效态磷的平衡值, 是植物从土壤中吸收的磷与由土壤、微生物和凋落物中释放出有效态磷的差额, 同时也受到土壤粘粒的吸附作用的影响, 形成平衡值的大小不等情况。雨季结束, 气温下降, 在望天

树群落的顶极雨林内, 土壤养分含量变化又开始了新的一个周期。

4 结 论

西双版纳望天树群落生境位于其适宜生存环境的最北缘, 土壤水热条件变化易受地形和气候特点的影响, 土壤的养分含量差异幅度较大, 差异最大的为有效性磷, 可以达到 50% 左右, 沟谷雨林土壤中养分富集程度大于低山雨林。望天树土壤养分的消耗量雨季大于旱季, 有机物的矿化是有效养分的重要来源之一, 造成表土层 (0~10 cm) 与下层 (10~25 cm) 土壤的养分差异极为明显, 因此地表的肥力是十分宝贵的。

位于低山的望天树雨林土壤养分在雨季期间消耗量大于沟谷雨林, 经对比检验, 雨季结束后, 土壤中的全磷、全钾和有效性氮比旱季结束时差异扩大。有效性磷的差异减小是因为含量过低, 同时也表明全磷经矿化释放出的有效性磷, 相对而言仍然是供给不足。有效性钾在土壤中分布均匀而且差异不明显, 取决于本身的化学性质活泼和适度的水热条件。

磷素在土壤中的稳定性和有效态磷素的缺乏是西双版纳望天树群落林地土壤肥力的主要限制性因素之一, 植物为了吸收更多的磷素, 一方面把根扎得更深, 从深处吸收母质风化释放出的磷, 另一方面扩大地表根系与土壤的接触面积吸取有机物释放出的磷和其它养分。在旱季的干热期, 地表水分的减少, 使土壤深层的根系吸收更加重要, 由于幼苗、幼树的根系短浅, 使其生长发育在旱季受到较大的影响。

参 考 文 献

Bear, F. E. 1964. Chemistry of the soil. New York: Reinhold Press. 233, 240, 245.
Foth, H. D. 1978. Fundamentals of soil science. New York: John Wiley & Sons, Inc. 127~129, 207, 224, 312~316, 330~333.
He, Y. Q. (何园球), Q. G. Zhao (赵其国), M. Z. Wang (王明珠) & H. Shi (石华). 1993. Research on characteristics of nutrient cycling and soil forming process of forest soils in tropics and subtropics of China. *Soils (土壤)*, **25**: 292~298. (in Chinese with English abstract)
Liu, W. J. (刘文杰), Q. J. Li (李庆军), G. M. Zhang (张光明), J. P. Shi (施济普) & K. J. Bai (白坤甲). 2000. Microclimatic characteristics of canopy gaps in *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **24**: 356~361. (in Chinese with English abstract)

Luo, S. M. (骆世明), L. H. Chen (陈华) & F. Yan (严斧). 1978. *Agroecology*. Changsha: Hunan Academic Press. 149. (in Chinese)
Niu, W. Y. (牛文元). 1981. *Physical geography*. Beijing: Science Press. 198. (in Chinese)
Pan, C. M. (潘超美), F. Yang (杨风), H. S. Zheng (郑海水), Z. J. Yang (杨曾奖) & Y. J. Li (李幼菊). 2000. Study on soil microbial biomass in rubber plantation intercropping with *Amomum villosum* or *Coffea arabica*. *Soil and Environmental Sciences (土壤与环境科学)*, **9**: 114~116. (in Chinese with English abstract)
Sun, B. (孙波), T. L. Zhang (张桃林) & Q. G. Zhao (赵其国). 1995. Integrated evaluation of impoverishment of soil nutrients in red earth hilly regions in south China. *Soils (土壤)*, **27**: 119~128. (in Chinese with English abstract)
Xia, H. P. (夏汉平), Q. F. Yu (余清发) & D. Q. Zhang (张德强). 1997. The soil acidity and nutrient contents, and their characteristics of seasonal dynamic of Dinghushan Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **17**: 645~653. (in Chinese with English abstract)
Ying, S. H. (殷寿华) & J. G. Shuai (帅建国). 1990. Study on fruiting behaviour, seedling establishment and population age classes of *Parashorea chinensis*. *Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究)*, **12**: 415~420. (in Chinese with English abstract)
Zang, D. Q. (张德强), W. H. Ye (叶万辉), Q. F. Yu (余清发), G. H. Kong (孔国辉) & Y. C. Zhang (张佑倡). 2000. The litter fall of representative forests of successional series in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **20**: 938~944. (in Chinese with English abstract)
Zhang, K. Y. (张克映). 1963. An analysis on the characteristics and forming factors of climate in the south part of Yunnan. *Acta Meteorologica Sinica (气象学报)*, **33**: 210~230. (in Chinese with English abstract)
Zhang, P. (张萍). 1995. Ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms in secondary forests in Xishuangbanna. *Chinese Journal of Ecology (生态学杂志)*, **14**: 21~26. (in Chinese with English abstract)
Zhao, Q. G. (赵其国), M. Z. Wang (王明珠) & Y. Q. He (何园球). 1991. Forest litter and its effect on soil in tropical and subtropical China. *Soils (土壤)*, **23**: 8~15. (in Chinese)
Zhao, X. N. (赵学农), M. Cao (曹敏) & A. J. He (和爱军). 1990. A preliminary study on the dynamics of *parashorea chinensis* population in Xishuangbanna region, Yunnan. *Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究)*, **12**: 405~414. (in Chinese with English abstract)
Zheng, Z. (郑征), L. H. Liu (刘伦辉), A. J. He (和爱军), G. F. Jing (荆桂芬) & G. W. Liu (刘国武). 1990. Litterfall and leaf consumption by animals in humid seasonal rainforest in Xishuangbanna, China. *Acta Botanica Sinica (植物学报)*, **32**: 551~557. (in Chinese with English abstract)
Zheng, Z. (郑征), Z. L. Feng (冯志立), M. Cao (曹敏), H. M. Liu (刘宏茂) & L. H. Liu (刘伦辉). 2000. Biomass and net primary production of primary tropical wet seasonal rainforest in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **24**: 197~203. (in Chinese with English abstract)
Zhu, H. (朱华). 1992. Research of community ecology on *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究)*, **14**: 210~230. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 黄建辉 责任编辑: 张丽赫