

不同演替阶段野芭蕉群落土壤养分的动态变化

唐建维¹, 王秀华², 高丽洪³, 施济普¹, 张光明¹

(1. 中国科学院 西双版纳热带植物园 热带植物资源可持续利用重点实验室, 云南 勐腊 666303;
2. 西双版纳州土壤肥料工作站, 云南 景洪 666100; 3. 西双版纳州科技情报研究所, 云南 景洪 666100)

摘 要: 研究了西双版纳热带季节雨林恢复过程中野芭蕉群落的土壤养分动态。该群落的发展可分为 3 个阶段: 野芭蕉的入侵→定居→扩散。随着群落演替进程, 土壤的养分含量呈下降趋势: 土壤有机质 (O.M)、氮 (N)、磷 (P) 全量以入侵期最高, 分别为 (上层) 5.879%、0.333% 和 0.063 2%; 定居期居中, 分别为 (上层) 4.794%、0.288% 和 0.061%; 扩散期最低, 分别为 (上层) 3.54%、0.240% 和 0.044 8%; 并随土壤深度含量渐减。钾 (K) 全量以定居期最高 (1.516%)。土壤养分全含量的变化幅度是扩散期>入侵期>定居期。土壤有效性养分含量除磷以外, 总体上都比较丰富, 且随着演替过程呈现逐渐减少的趋势 (镁除外): 入侵期的表土层有效性的 N、P、K 分别为 269.24、13.91 和 198.19 mg·kg⁻¹; 定居期为入侵期的 104%、51% 和 66%, 扩散期为定居期的 73%、78% 和 96%。在各演替阶段中土壤养分全含量的季节变化都以表土层的变化最大, 中下层变化不明显; 其季节变化大小的顺序是: 扩散期>入侵期>定居期; 各养分元素季节变化幅度的顺序为 P>K>O.M>N。土壤有效性养分含量的季节变化幅度大于养分的全含量, 其变化幅度的顺序为 K>P>Mg>Ca>N, 其中以有效性 N 的含量最稳定。本研究研究结果显示土壤养分的变化明显依赖于植被的变化。

关键词: 土壤养分; 季节动态; 群落演替; 野芭蕉群落

中图分类号: S714.2; S718.54

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2013)10-0107-07

Dynamic changes of soil nutrient contents of *Musa acuminata* communities in different successional stages in Xishuangbanna

TANG Jian-wei¹, WANG Xiu-hua², GAO Li-hong³, SHI Ji-pu¹, ZHANG Guang-ming¹

(1. Key Lab. of Tropical Plant Resources sustainable utilization of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun Town, Mengla County, Yunnan 666303, China; 2. Xishuangbanna Station of Soil Fertilizer, Jinghong 666100, Yunnan, China; 3. Xishuangbanna Institute of Sci-tech Information, Jinghong 666100, Yunnan, China)

Abstract: *Musa wilsonii*, a huge herbaceous plant, usually develops a mono-dominant plant community in tropical regions. In order to understand the seasonal dynamic changes of nutrient elements of soil in different successional stages, three pioneer *Musa wilsonii* communities in different ages on the same slope which regenerated from abandoned land after slash and burn cultivation of tropical rain forest in Mamushu, Mengla County, Xishuangbanna, were chosen to be established three 25 m × 20 m permanent plots in each stages, and the soil samples were taken from three different soil layers (0~10 cm, 10~25 cm, 25~45 cm) at 5 soil sampling spots which distributed at four corners and center of each plot in November, 1998 (in the end of rainy season), March (dry and hot season), May (in the beginning of rainy season) and November, 1999, respectively. The results showed as following: (1) The contents of soil nutrients decreased with the development of wild banana forests, the total content of soil organic matter, N and P in the invasion stage were 5.879%, 0.333% and 0.0632% in top soil layer (0~10 cm), respectively, which was the richest among three different successional stages, and that in the inhabitation stages were 4.794%, 0.288% and 0.061%, respectively, while that in the expansion stages were 3.54%, 0.240% and 0.0448%, respectively. The rank of the nutrient contents for soil organic matter, N and P in different stages was invasion > inhabitation > expansion. However, the content of K in three different stages showed different patterns, which was ranked as inhabitation > expansion > invasion. At the same time, the total content of soil organic matter, N and P decreased with the soil depth. (2) The contents of available nutrients in soil decreased with the development of wild banana forests except Mg. In top soil layer (0~10 cm) the contents of available N, P and K were 269.24 mg·kg⁻¹, 13.91 mg·kg⁻¹ and 198.19 mg·kg⁻¹ in invasion stage, respectively, and that in inhabitation stage were as much as 104%, 51% and 66% of the nutrients contents in invasion stage, while that in invasion stage were as much as 73%, 78% and 96% of the nutrients content in inhabitation stage. The same characteristics of nutrients content among three different growth stages showed that nutrients content in top soil layer was richer than that in medium layer (10~25 cm) and in low layer (25~45 cm), and there was significantly difference between the top layer and in middle layer and in low layer, but no obvious difference between in middle layer and in low layer. (3) The seasonal changes of soil nutrients content in three different growth stages showed that the total

收稿日期: 2013-02-22

基金项目: 中国科学院重大项目 (KZ951-A1-104); 云南省自然科学基金 (98C099M) 资助

作者简介: 唐建维 (1964-), 男, 广西全州人, 博士, 研究员, 主要从事植物生态学方面的研究; E-mail: tangjw@xtbg.org.cn

content of nutrients in top soil layer had more obvious seasonal changes than that in medium layer and in depth layer, the total content of nutrients decreased from March to the end of rainy season (November), then increased from November to March. The seasonal changes of total content of soil nutrients in three different growth stages ranked in the order: expansion > invasion > inhabitation. Compared with the seasonal changes of total content of nutrients, the content of available nutrients in soil was more obvious, particularly the contents of available K, P and Mg in soil. The seasonal changes of the contents of available nutrients in three different growth stages showed in the order: K>P>Mg>Ca>N.

Key words: soil nutrients; seasonal dynamics; community succession; *Musa wilsonii* community

在全球范围内, 生态系统正经历着前所未有的土地覆盖和土地利用的变化^[1-2]。土地管理措施(诸如火烧、放牧、耕种以及施肥等)影响生态系统的组成和有机质的分布, 以及一系列的养分循环过程, 其中包括基本元素向大气和水域的流失^[3-5]。热带地区的土地利用变化对土壤养分及其生物地化循环的影响与温带地区有较大差异, 这主要归因于该地区土壤形成时间长、气候湿热, 以及二者相结合导致的土壤高度风化。氧化土和老成土是典型的热带土壤类型, 其磷和碱性阳离子(钙、镁、钾)贫瘠, 而富含铁、铝氧化物。而磷及碱性阳离子的贫瘠导致该地区生态系统碳的吸收和储存受到很大限制^[6], 因此, 通过土地利用变化导致的磷及碱性阳离子的变化, 可以预测森林砍伐后土地利用的可持续性, 碳和痕量气体在土壤—大气间的交换。

西双版纳是我国典型的热带地区之一, 其地带性植被为热带雨林和季雨林。二十世纪五十年代之后, 由于人口压力的增长和经济开发的不断深入, 该地区大面积的原始森林遭到砍伐, 转变为农地、次生林^[7]及人工林。再之该地区长期以来的刀耕火种, 导致土壤肥力下降、生态系统生产力大幅度降低, 以致大面积土地弃耕。进入七十年代末以来, 随着环境保护意识的增强, 林业法规进一步完善, 自然保护区管理的日趋完善, 毁林开荒、滥砍滥伐得到制止, 原始森林面积锐减的局面得到有效遏制, 同时大面积次生林得以恢复。到目前为止, 国内外关于土地利用变化对土壤养分动态影响方面的研究大多偏重于特定区域或特定土壤类型的某些性状在空间上的变化或退化的评价, 很少涉及不同退化类型在时间序列上的变化^[8]。野芭蕉 *Musa wilsonii* 分布在我国南方许多地方, 在越南、老挝及东南亚其他地方也有分布^[9]。在云南南部, 由于野芭蕉具有极强的适应能力及繁殖力特点, 它广为分布在人类活动频繁的阴坡沟谷地带及潮湿肥沃的土地上。在西双版纳的热带山地上和热带季节雨林的林窗中, 常常形成以野芭蕉为优势种的先锋植物群落, 这

种先锋植物群落是季节雨林自然恢复过程中的一个阶段, 它的发展过程对土壤的养分产生何种影响? 本研究将讨论西双版纳刀耕火种撂荒坡地上野芭蕉侵入后, 随着时间的延续土壤养分的动态变化趋势。研究结果可为退化生态系统恢复的机理提供土壤养分方面的依据。

1 试验区概况与研究方法

1.1 自然环境与样地概况

试验区位于西双版纳勐腊县关累镇芒果树村外 4 km 处的山谷地带, 地理位置为北纬 21°29', 东经 101°34'。这里的年平均降雨量 1 500 ~ 1 600 mm, 主要分布在 5 ~ 10 月份的雨季(占 83%), 11 ~ 4 月份为旱季(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)和最暖月(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, 本林区的降雨量偏少, 季节变化明显, 气候偏干, 热量偏低^[10]。

野芭蕉样地分布在 15° ~ 25° 的东北坡面的下坡位, 海拔 700 ~ 730 m, 距离谷底约 5 m, 野芭蕉林带宽度 20 ~ 50 m, 长度 400 ~ 500 m, 由于各样地所处的演替阶段不一样, 在群落的组成上各不相同, 但都是以野芭蕉占绝对优势, 根据 Elton 对不同年龄阶段植物群落的划分标准^[11], 仅丢荒 2 a 的野芭蕉幼龄群落为侵入期, 群落的高度仅为 2.5 ~ 3.5 m, 层次结构也较为简单, 可分为 2 层, 即上木层和草本层。在上木层中, 主要由野芭蕉组成, 其数量占该层总株数的 62.6%, 乔木以重阳木 *Bischofia javanica*、山香园 *Turpinia pomofera* 和长果桑 *Morus macroura* 等占优势, 该层的盖度约 15%; 而草本层则是以马唐 *Digitaria ciliaris*、莠竹 *Microstegium ciliatum* 形成令人难以穿越、高度 1.5 ~ 2.0 m 的草丛, 覆盖着整个样地。撂荒 6 a 所形成的野芭蕉群落(定居阶段), 在结构层次上已有一定的分化, 可分为乔木层、

灌木层和草本层。乔木层高度 6~7 m, 野芭蕉是该层的主体, 占该层总株数的 38.6%。优势树种有笔管榕 *Ficus superba* var. *japonica*、微毛布荆 *Vitex quinata* var. *puberula*、中平树 *Macaranga denticulata*、疏毛水芭麻 *Boehmeria pilosiuscula*、皱波火桐 *Leea crispa* 和大穗野桐 *Mallotus macrostachya* 等, 形成了一个以野芭蕉为主, 其它树种共优的层次, 该层的盖度约 40%; 灌木层高 2~3 m, 盖度 0.3 左右, 除野芭蕉及乔木层的幼树外, 主要有锈毛杜茎山 *Measa permollis*、木紫珠 *Callicarpa arborea*、红皮水锦 *Wendlandia tinctoria*、弯管花 *Chesalia curviflora*、假海桐 *Pittosporopsis kerrii* 等, 其分布较均匀。草本层除野芭蕉和上述树种的一些幼龄植株外, 以马唐、莠竹、多种蕨类、卷柏 *Selaginella delicatula* 占优势。层间植物有葛藤 *Pueraria stricta*、瓜馥木 *Fissistigma macleurei*、羽叶金合欢 *Acacia pennata* 等一些藤本植物。撂荒 12 a 所形成的野芭蕉群落(扩散阶段), 其层次结构较为复杂, 可分为乔木层(I、II)、灌木层(I、II)、草本层。乔木 I 层高 10~12 m, 主要由布荆、钝叶桂、木瓜榕及野芭蕉等高大植株组成, 盖度 0.3 左右, 平均胸径 15~18 cm, 株数仅占该层的 5.0%; 第二亚层高 4~8 m, 树种组成较为复杂, 以野芭蕉、笔管榕、红皮水锦 *Wendlandia tinctoria*、芭麻、鸡血藤、皱波火桐等占优势, 乔木 I 层的部分个体也镶嵌其中, 盖度达 0.6 左右, 平均胸径 8~10 cm。该层主要以野芭蕉占绝对优势, 株数占整个乔木层的 70% 以上。灌木第一亚层高 2~4 m, 主要是由乔木幼树组成的一个层次, 灌木种类较少, 除乔木幼树外, 以杜茎山 *Measa indica*、锈毛杜茎山、木奶果 *Baccaurea ramiflora* 等为常见; 第二亚层中除上述的一些种类外, 以弯管花、假海桐、大花哥纳香、芭麻等占优势。草本层是由一些草本植物和蕨类植物所组成的一个层次, 种类较为丰富, 草本优势植物种类除野芭蕉幼苗、幼株外, 以马唐、莠竹、篦拨 *Piper longum*、楼梯草 *Elatostema macintyreii*、柃叶 *Phrynium capitatum*、秋海棠 *Begonia cathayana*、长果砂仁 *Amomum dealbatum* 等, 蕨类植物以凤尾蕨 *Pteris finotii*、鳞毛蕨 *Dryopteris austro-yunnanensis*、三叉蕨 *Tectaria grossedentata* 等为常见, 盖度达 0.5 左右。

3 块样地的土壤为黄色砖红壤, 土层较薄 30 cm 左右, 以下为土石比例不等的坡积物, 厚度 40~60 cm, 土色为暗棕黄。

1.2 土样的采集

根据不同年龄阶段(侵入、定居、扩散)野芭蕉群落的特点, 分别设置 20 m × 25 m 的固定样地(重复 3 次)。于 11 月(雨季结束)、次年的 3 月(干热季节)、5 月(雨季开始)和 11 月 4 次采集土样。每个样地选定 5 个取样点(在样地中呈梅花型分布), 挖取剖面, 按 0~10 cm, 10~25 cm, 25~45 cm 的深度分层次取土(以下分别简称上层、中层、下层)。土样按测试项目的要求风干、磨碎、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, 氮, 磷, 钾的全量和速效氮, 磷, 钾等。测定方法: 有机质为重铬酸钾外热法; 氮为开氏法; 磷为钼锑抗比色法; 钾为原子吸收分光光度计法; pH 为 5:1 (H₂O) 电位法; 土壤水分分为烘干称重法。

2 试验结果与分析

2.1 野芭蕉群落各演替阶段土壤养分含量的动态变化

根据不同季节 4 次土壤样品分析结果, 野芭蕉入侵后受植被结构的变化影响, 在不同的演替阶段, 土壤养分的全含量具有明显差异。图 1 所示, 各演替阶段土壤主要养分含量年平均数的分布呈现出随演替过程而下降的趋势。土壤有机质、氮、磷的全量, 以入侵期最高, 分别为(上层) 5.879%、0.333% 和 0.063 2%; 定居期居中, 分别为(上层) 4.794%、0.288% 和 0.061%; 扩散期最低, 分别为(上层) 3.54%, 0.240% 和 0.044 8%。从定居期到扩散期, 表土磷含量减少的幅度(26%) 大于中、下层(20%, 21%), 中层磷的全量在定居期明显减少, 定居期为入侵期的 75%。钾的全量以定居期为最高(1.516%)。在不同的演替阶段, 土壤有机质、氮、磷的全量随土壤的深度而逐渐减少, 并且各阶段中、下层土壤的养分含量的差异减小。

野芭蕉群落各演替阶段的土壤有效性养分的变化趋势与全量相仿: 除镁的含量以外, 其余均随着演替过程呈现逐渐减少的趋势。入侵期的野芭蕉群落的上层土壤有效性的 N、P、K 分别为 269.24、13.91 和 198.19 mg·kg⁻¹, 定居期为入侵期的 104%、51% 和 66%, 扩散期为定居期的 73%、78% 和 96%。

其共同之处为上层土壤的养分都高于中、下

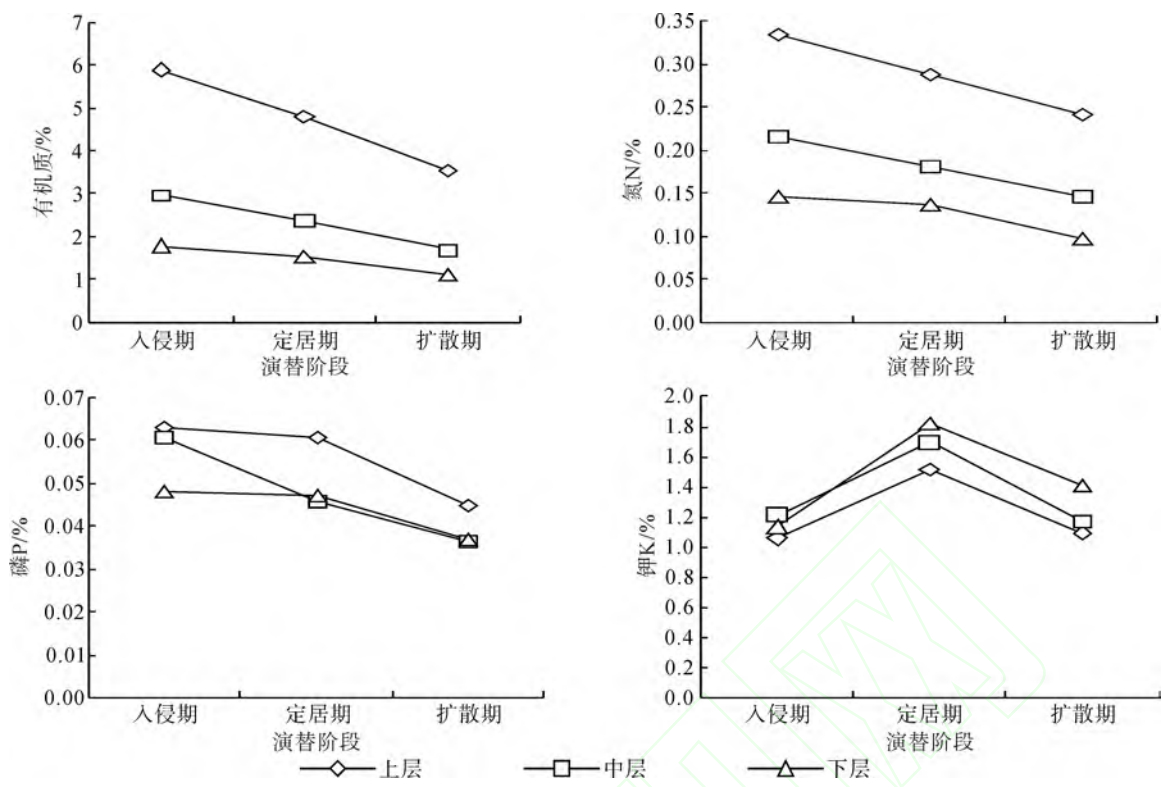


图 1 野芭蕉群落不同演替阶段土壤中主要养分的全量
Fig.1 Total contents of soil nutrients in different successional stages of *M. wilsonii* communities

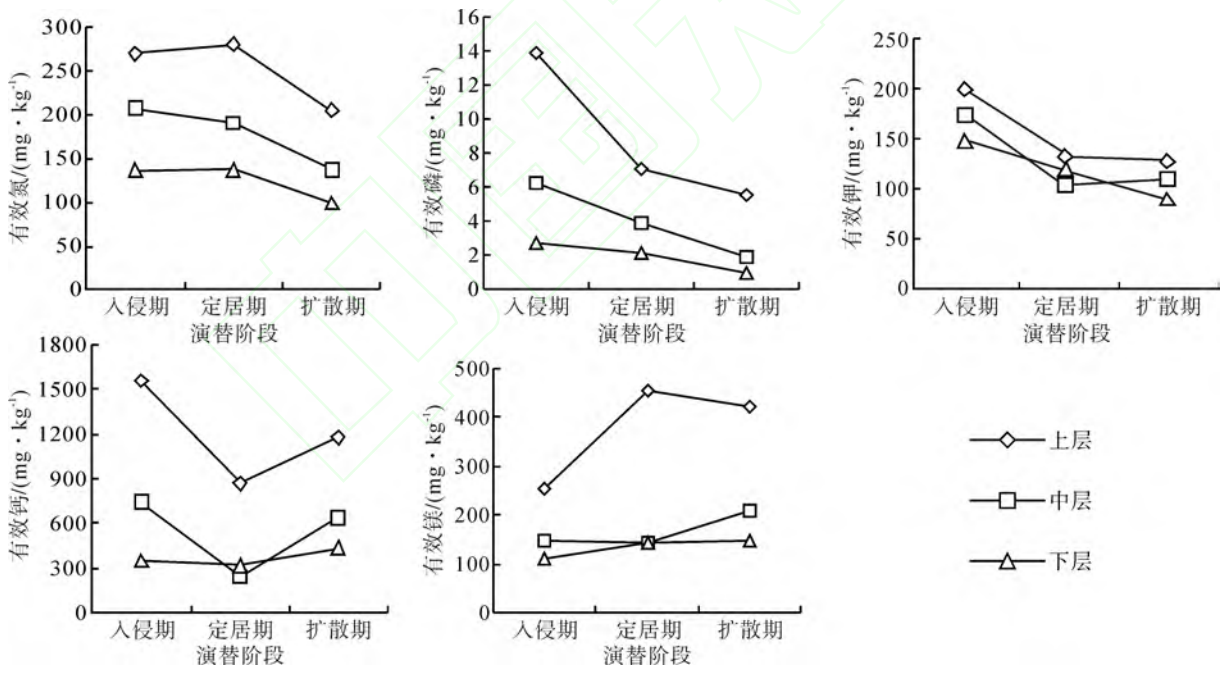


图 2 野芭蕉群落不同演替阶段土壤中主要有效性养分含量分布
Fig.2 Distribution of soil available nutrient contents in different successional stages of *M. wilsonii* communities

层, 差异明显, 而下层养分的变化幅度不大。各演替阶段土壤有效性养分的含量, 除磷以外总体上是比较丰富的。土壤中、下层速效磷缺乏, 入侵期最高, 中层为 $6.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 下层为 $2.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 扩散期最低, 中层为 $1.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 下层为 $0.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。定居期的有效 N 为 75%, P 为 42%, K

为 79%。与扩散期相比, Mg 在土壤中的含量中、下层差异不大, 与上层差异明显; 有效性 K 的分布为中、下层低于上层, 与全 K 的分布相反。

2.2 野芭蕉林土壤养分季节性变化

野芭蕉群落各演替阶段的土壤养分均以上层

的含量变化明显,表 1 为上层土壤养分全含量的季节性变化,由表 1 中的变异系数大小可以看出它们的差异。总体上看全年的土壤养分可以维持平衡,3 月份以后土壤的养分含量都有不同程度的下降,一直持续到雨季结束;此后养分含量回升,到 11 月份,除了钾的含量略高于上年同期外,其它的都略低。野芭蕉群落在长期的演替过程中土壤的养分全量的季节变化幅度是扩散期>入侵期>定居期。养分变化幅度顺序为 P>K>O.M>N。

表 1 野芭蕉群落不同演替阶段土壤表层(0~10 cm)养分全含量年度平均值和变异系数(n=4)
Table 1 Annual mean values and variable coefficients (n=4) of total nutrients content (%) in soil surface layer (0~10 cm) in different successional stages of *M. wilsonii* communities

时期	取样时间	有机质 O.M	氮 N	磷 P	钾 K
入侵期	11 月	6.625	0.357	0.077	1.139
	3 月	6.030	0.331	0.073	1.124
	5 月	4.740	0.278	0.045	0.900
	11 月	6.220	0.366	0.079	1.222
	年平均	5.903	0.333	0.068	1.096
	变异系数	0.814	0.039	0.016	0.138
定居期	11 月	5.111	0.265	0.065	1.492
	3 月	5.010	0.279	0.063	1.523
	5 月	4.860	0.311	0.058	1.570
	11 月	4.450	0.284	0.065	1.680
	年平均	4.858	0.285	0.063	1.566
	变异系数	0.291	0.019	0.003	0.082
扩散期	11 月	3.908	0.269	0.061	1.221
	3 月	3.450	0.245	0.057	0.161
	5 月	2.950	0.201	0.035	0.962
	11 月	3.870	0.250	0.040	1.361
	年平均	3.544	0.241	0.048	1.176
	变异系数	0.447	0.029	0.013	0.166

土壤有效性养分含量的季节变化如表 2 所示,从变异系数的状况来看,有效性养分的季节性变化幅度大于养分的全含量。变化幅度顺序为有效性的 K>P>Mg>Ca>N,其中有效性氮的含量最稳定,次年 11 月份野芭蕉林入侵期、定居期及扩散期的土壤含量(256.5、248.6 及 184.9 mg·kg⁻¹)略低于上年同期(279.6、254.9 及 191.7 mg·kg⁻¹)。土壤有效性磷含量在旱季变化较大,入侵期在 3 月份最高,以后含量减少;扩散期的含量变化幅度很小,也是从 3 月份以后含量开始减少;定居期则是由 5 月份后含量开始减少,直至 11 月份。次年 11 月份野芭蕉群落入侵、定居和扩散期土壤表层的有效性磷含量(14.13、8.16 和 4.83 mg·kg⁻¹)明显高于上年同期(8.88、5.46 和 3.71 mg·kg⁻¹)。土

壤有效性钾含量的季节变化规律类似于有效性磷,但是在定居期与扩散期的土壤有效性钾含量及季节变化规律相近。土壤有效性钙和镁的含量及季节变化规律为定居期变化幅度最大。

表 2 野芭蕉群落不同演替阶段土壤表层(0~10 cm)有效性养分含量年度平均值和变异系数(n=4)
Table 2 Annual mean values (mg/kg) and and variable coefficients (n=4) of available nutrient contents of in soil surface layer (0~10 cm) in different successional stages of *M. wilsonii* communities

时期	取样时间	有效性养分				
		氮 N	磷 P	钾 K	钙 Ca	镁 Mg
入侵期	11 月	279.59	8.88	76.61	1 331.13	290.51
	3 月	258.42	20.47	109.78	1 486.01	259.13
	5 月	282.46	12.14	163.10	1 379.53	237.16
	11 月	256.50	14.13	143.30	1 868.10	211.60
	年度平均	269.24	13.90	123.19	1 561.70	249.60
	变异系数	0.05	0.35	0.31	0.13	0.13
定居期	11 月	254.97	5.46	72.83	1 044.88	598.25
	3 月	276.95	3.64	78.52	443.63	269.25
	5 月	339.90	10.88	243.32	584.80	243.68
	11 月	248.63	8.16	130.1	1 116.00	496.50
	年度平均	280.11	7.04	131.19	868.17	401.92
	变异系数	0.15	0.45	0.60	0.38	0.43
扩散期	11 月	191.67	3.71	44.15	1 192.13	392.25
	3 月	213.65	7.72	87.93	1 048.01	533.88
	5 月	228.96	5.82	256.60	1 096.13	473.92
	11 月	184.90	4.83	117.30	1 301.00	337.60
	年度平均	204.79	5.52	126.49	1 180.38	434.41
	变异系数	0.10	0.31	0.73	0.09	0.20

3 结论与讨论

(1) 在西双版纳热带地区,野芭蕉林是退化生态系统恢复与重建季节雨林的初级阶段。在刀耕火种撂荒地上,野芭蕉通过地下种子库中种子的萌发,形成以其为优势的先锋植物群落。在群落的各个层次中都占有较大的优势,并随着演替的进行,野芭蕉的个体数量和优势度更趋明显,群落各层次的物种组成也更为复杂^[12],导致土壤养分的积累转入植被的生物积累。因此野芭蕉入侵退化生态系统的演替作用为正向发展趋势,土壤养分含量的下降不能看成是土壤退化的依据,而是由荒地野芭蕉生态系统土壤转变为森林生态系统土壤的发育过程,其发展方向是逐步形成综合指标相对稳定的森林土壤,故土壤养分的量化指标在这种情况下用来评价演替过程中的野芭蕉林地土壤是不适宜的。因为群落在演替过程中物种多样性的丰富及多种层次的空间结构的复杂化,

需要林地土壤提供充足有效养分, 才能保持较大的净初级生产力, 将有利于增加林木吸收养分, 减少土壤养分的流失。许多研究表明, 在相同环境下的各种不同类型植被中, 森林生态系统是最稳定且环境效益最高^[13-16]。

(2) 野芭蕉林土壤养分含量动态特点为: 野芭蕉入侵期地表的养分全量明显高于原季节雨林撈荒地和定居期、扩散期。但在有效性养分方面, 除 N 略低 (1.0%) 外, P、K 含量均以原季节雨林撈荒地高于野芭蕉群落各演替阶段, 尤以 K 含量最高。定居期土壤养分含量稳定性较好, 钾素累积明显; 而扩散期处于缺磷状态, 土壤其它养分也显不足。野芭蕉林随时间跨度和植被结构的变化, 表现出: 土壤养分的含量逐渐减少, 地上植被由于生物量的增多而蓄积更多的养分。土壤的养分的变化规律反映出土壤发育对植被依赖的敏感程度。

(3) 西双版纳的野芭蕉林在演替过程中土壤的养分含量呈下降趋势, 说明了植被与土壤之间的养分交换强烈, 植被的生物量及其类型的结构调整对土壤养分收支平衡都有一定的影响^[17-18]。植物群落的种类组成、空间结构和乔、灌、草比例起着重要作用。植物的凋落物和残体的养分回归量和速率及生物因素等是影响土壤养分的直接因素。据报道: 在环境相似, 有机质总量相近的生态系统中, 热带森林大部分有机质和养分元素存在于活树中^[19]。如原始季雨林上层土壤的养分含量^[20] 低于本研究的野芭蕉林, 其有机质、氮、磷、钾含量仅为野芭蕉入侵期的 50%、51%、55% 和 79%, 为扩散期的 83%、71%、79% 和 76%。

(4) 野芭蕉入侵退化的生态系统后, 经过长期的演替, 形成物种丰富、结构复杂且相对稳定的次生林生态系统。随着演替的进程, 草本覆盖率的逐渐减小, 林木的逐渐增加, 使每年经草类枯根、死叶分解提供的有机质逐步减少, 土地渐渐变得依赖林木每年的凋落物在土表分解提供的有机质^[21-22]。森林系统的功能趋于完善, 林下的温度和湿度相对提高, 促进了地表有机物的分解, 使林下有机质积累减少, 甚至为负积累。据西双版纳次生林土壤微生物的研究报道: 随着演替时间的延长, 土壤转化酶活性增强, 而接触酶活性增强较少, 表明土壤有机残体的分解强度随着演替时间的延长而增加, 腐殖质再合成的强度增加不大^[23]。综上所述, 随着野芭蕉正向演替的进程, 土壤养分含量逐步下降, 并且随土壤深度增加下降幅度减缓, 在热带地区依靠植被自我调节的土

壤养分都与有机质的变化密切相关^[17]。

(5) 野芭蕉入侵刀耕火种撈荒地后, 继而形成野芭蕉群落, 其生态环境将有利于次生林木种类的生长和恢复, 随着演替的进行, 喜阳性的草本逐步退出。根据 Whittaker (1966) 的研究: “典型的生物量累积率在多年生草地是 1.5 ~ 3; 灌木林是 2 ~ 12; 幼林是 10 ~ 30; 成熟林是 20 ~ 50”。对广东省亚热带典型的生物量累积率的研究结果为一年生草地是 1.3; 灌木林是 3.2; 30 年生常绿阔叶林是 10.1; 100 年生常绿阔叶林是 24.3”^[13]。在野芭蕉群落长期的演替过程中, 系统内的营养元素循环由以草本为主的类型逐步改变为幼林为主的类型, 养分的积累逐步由地表转移到植被的生物量中, 土壤养分的平衡比率受各植被类型养分周转的差异而变化^[24-26]。从以草本为主的野芭蕉林到已具有森林结构的次生林的正向演替, 系统内生物量和养分累积率逐步增加, 是形成土壤养分负增长的主要原因。在雨林的顶极期, 土壤养分收支平衡或者收入略高于支出^[14]。

(6) 根据表层土壤养分全量的季节变化的测定结果, 变幅的大小顺序为: 扩散期 > 入侵期 > 定居期。这与干物质和养分的年转化率有关, 一般来说年转化率由草本到林木是降低, 并且矿化速率和植物的养分吸收由草本到林木是提高。草本与林木在各个季节的生长发育过程、植物生理特点及对土壤发育的影响差异, 都是土壤养分季节变化的原因, 在热带地区尤为明显^[16, 27]。野芭蕉林的三个演替阶段, 各种类型植物的比例关系的逐步变化, 是影响土壤养分全量的季节性动态周期改变的主要原因。

参考文献:

- [1] Meyer W B, Turner B L. Human population growth and global land-use cover change[J]. *Annual Review of Ecological System*, 1992, 23: 39-61.
- [2] Ojima D S, Galvin K A, Turner B L. The global impact of land-use change[J]. *Bioscience*, 1994, 44(5): 300-304.
- [3] Ewel J J, Mazzarino M J, Berish C W. Tropical soil fertility changes under monocultures and successional communities of different structure[J]. *Ecological Application*, 1991, 1(3): 289-302.
- [4] Matson P A, Parton W J, Power A G, *et al.* Agricultural intensification and ecosystem properties[J]. *Science*, 1997, 277(5325): 504-509.
- [5] Neill C J, Melillo J M, Steudler P A, *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the

- southwestern brazilian Amazon[J]. Ecological Application, 1997, 7(4): 1216-1225.
- [6] Sollins P G, Robertson G P, Uehara G. Nutrient mobility in variable-and permanent-charge soils[J]. Biogeochemistry, 2005, 6(3):181-199.
- [7] 唐建维, 张家和, 宋启示, 等. 西双版纳次生山乌柏林的群落学特征分析 [J]. 中南林学院学报, 1992, 12(1): 74-82.
- [8] 张桃林, 王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向 [J]. 自然资源学报, 2000, 15(3): 280-284.
- [9] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志 (第二卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 725-733.
- [10] 张克映. 滇南气候特征及其形成因子的初步分析 [J]. 气象学报, 1963, 33(2): 210-230.
- [11] Elton C S. The ecology of invasions by animals and plants. [M]. London: Methuen Press, 1958.
- [12] 唐建维, 施济普, 张光明, 等. 西双版纳野芭蕉先锋植物群落的结构特征及其演替动态 [J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 37-49.
- [13] 管东生. 华南亚热带不同演替阶段植被类型的初级生产力和养分 [J]. 生态学杂志, 1996, 15(3): 11-14.
- [14] 何园球, 赵其国, 王明珠. 我国热带亚热带森林土壤养分循环特点与成土过程研究 [J]. 土壤, 1993, 25(6): 292-298.
- [15] 孙波, 张桃林. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价 [J]. 土壤, 1995, 27(3): 119-128.
- [16] 夏汉平, 余清发, 张德强. 鼎湖山 3 种不同林型下的土壤酸度和养分含量差异及其季节动态变化特性 [J]. 生态学报, 1997, 17(6): 645-653.
- [17] 赵其国, 王明珠, 何园球. 我国热带亚热带森林凋落物及其对土壤的影响 [J]. 土壤, 1991, 23(1): 8-15.
- [18] 张景, 蒋新革, 何介南, 等. 森林土壤有机碳含量与不同形态氮含量的相关性 [J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(7): 114-118.
- [19] Nielson G A, Hole F D. A study of the natural processes of incorporation of organic matter into soil in the University of Wisconsin Arboretum. Wisconsin[M]. Wisconsin: Academy Sciences, 1963, 52: 213-227.
- [20] 薛敬意, 唐建维, 沙丽清, 等. 西双版纳望天树林土壤养分含量及其季节变化 [J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 373-379.
- [21] 陈荣均, Ronald D H, Corlett R T. 山坡地植物燃料品种的能量和养分分析 [J]. 应用生态学报, 1997, 8(2): 147-150.
- [22] 张德强, 余清发, 孔国辉. 鼎湖山秀风常绿阔叶林凋落物层化学性质的研究 [J]. 生态学报, 1998, 18(1): 96-100.
- [23] 张萍. 西双版纳次生林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究 [J]. 生态学杂志, 1995, 14(1): 21-26.
- [24] 杜占池, 钟华平. 红三叶人工草地营养元素的生物循环 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(2): 149-156.
- [25] 高洪, 廖利平, 汪思龙. 广西六万林场马尾松、杉木、红椎、火力楠营养元素的含量与分布 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(增刊): 182-184.
- [26] 张国斌, 田大伦, 方晰, 等. 会同退耕还林不同造林模式下土壤有机碳分布特征 [J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(2): 8-12.
- [27] 郑文教, 邵成, 王良睦. 福建和溪亚热带雨林凋落物营养元素动态 [J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(4): 38-43.

[本文编校: 文凤鸣]