

西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力比较

唐炎林, 邓晓保, 李玉武, 张顺宾

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

摘要: 以西双版纳热带季节雨林与橡胶林的土壤机械组成、土壤有机质、全N、全P、全K为研究对象, 对2种土壤在质地、结构与肥力上的差异进行了研究。结果表明: 季节雨林与橡胶林的土壤在机械组成上差异较大, 达1%的极显著水平; 季节雨林砂粒含量较高, 粉粒与粘粒含量相对较低, 3个剖面0~100 cm不同深度层次3种土壤颗粒所占比例平均为砂粒47.76%~57.43%, 粉粒22.75%~23.69%, 粘粒19.53%~29.50%, 因此属于砂质粘壤土类型; 相对于季节雨林, 橡胶林砂粒含量较低, 约占25.09%~31.88%, 而粉粒、粘粒含量相对较高, 其中粉粒约占33.33%~36.84%, 粘粒约占31.29%~41.58%, 因此属于粘壤土; 2种土壤的有机质、全N、全P、全K与砂粒含量呈负相关, 与粉粒、粘粒呈正相关, 并且橡胶林土壤的有机质、全N、全P、全K含量明显要高于季节雨林, 因此可以初步判定橡胶林的土壤肥力大于季节雨林。

关键词: 森林生态; 西双版纳; 机械组成; 有机质; 热带季节雨林; 橡胶林; 土壤

中图分类号: S151.9; S714.8

文献标志码: A

Comparison of the Mechanical Composition and Soil Fertility Between Tropical Seasonal Rain Forest Soil and Rubber Forest Soil in Xishuangbanna

TANG Yan-lin, DENG Xiao-bao, LI Yu-wu, ZHANG Shun-bin

(Tropical Rainforest Ecosystem Station, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Mengla 666303, Yunnan, China)

Abstract: The contents of organic matter, total N, total P and total K are usually different in different kinds of soils. This paper compares the mechanical composition and the organic contents in tropical seasonal rain forest soil with those in rubber forest soil. It aims at probing into the differences of texture, configuration and soil fertility between tropical seasonal rain forest and rubber forest. The comparison shows that the difference of mechanical composition is significant, reaching 1%. In the tropical seasonal rain forest soil, there is a big content of small gravels: the 0.02~2.00 meters fraction occupying 47.76%~57.43%, the 0.002~0.020 meter fraction 22.75%~23.69% and the <0.002 meters fraction 19.53%~29.50%; so the soil of tropical seasonal rain forest belongs to gravel soil. In the rubber forest, however, the 0.02~2.00 meters fraction occupies 25.09%~31.88%, the 0.002~0.020 meter fraction 33.33%~36.84% and the <0.002 meter fraction 31.29%~41.58%; therefore, the soil of the rubber forest belongs to viscous soil. The contents of organic matter, total N, total P and total K in the two kinds of soils manifest a negative correlation with the 0.02~2.00 meter fraction, yet showing a positive correlation with the 0.002~0.020 meter fraction and <0.002 meter fraction. Furthermore, the organic contents of the rubber forest soil are higher than those of the tropical seasonal rain forest soil; so we can conclude that the soil fertility of rubber forest is bigger than that of tropical seasonal rain forest. This is why the rubber forest soil suits the quick growth of rubber trees for a good harvest.

Key words: forest ecology; Xishuangbanna; mechanical composition; organic matter; tropical seasonal rain forest; rubber forest; soil fertility

土壤的机械组成对土壤的物理、化学和生物特性具有决定性的作用。不同土壤的机械组成不同, 矿物组成上差异显著, 其化学成分和其它各种性质也均不相同。在土壤的各种矿质元素中以氮、磷、钾对植物的生长发育

影响最为显著, 土壤中氮、磷、钾素的供应水平直接影响着植物的生长、发育与繁殖策略。而土壤中氮、磷、钾的供给能力取决于含氮、磷、钾的矿物在土壤中的形态以及土壤颗粒的大小^[1-3], 土壤有机质含量是土壤肥力大小的一个重要标志, 因此分析和研究土壤机械组成、土壤有机质以及土壤有机质与土壤三要素之间的关系是十分必要的。土壤中的养分状况和它对各养分吸附能力的强弱都与土壤的粒级组成有关, 所以研究和了解土壤的颗粒组成对于指导土壤的耕作、种植、土壤改良以及了解植被的演替都有着极为重要的意义。笔者以西双版纳热带季节雨林与橡胶林为研究对象, 对 2 种林分土壤的机械组成、有机质以及有机质与氮、磷、钾的相关特性进行了初步比较和探讨。

1 研究样地自然概况与土壤材料取样

1.1 研究样地自然概况

西双版纳位于我国的西部, 与老挝、缅甸等国毗邻, 属于典型的热带气候, 这里的年日照时数为 1 858.7 h, 年平均温度为 21.8℃, 年降雨量在 1 508.5 mm 以上, 干湿季节明显, 雨季(5~9 月)年降雨量 1 264.6 mm, 占年降雨量的 85.3%。

季节雨林、人工橡胶林是代表本地区典型森林类型, 其中季节雨林森林群落为: 番龙眼-白颜树-滇南溪桫-玉蕊+包疮叶-山壳骨-滇南九节-染木+蕨类-柃叶-楼梯草, 该植被类型为热带季节雨林、成熟林, 是热带北缘的顶极群落类型。该群落高 35~40 m, 群落的垂直结构可分为乔木层、灌木层、草本层和层间植物, 森林群落盖度约 90%。人工橡胶林植物群落为热带人工林, 以橡胶 *Hevea brasiliensis* 为单优种, 单排行种植。其群落高度约 15 m、盖度约 85%, 群落的垂直结构可分为 2 个层次, 即乔木层、草本层。

2 种林分的土壤母质、质地、坡度、坡向等因素在土壤长期的演化发展进程对土壤肥力的影响较大, 现将 2 种林分的经度、纬度、坡度、坡向、土壤及母质类型等方面比较归纳如下(见表 1)。

表 1 研究样地比较

Table 1 Comparisons among the studied sample plots

林型	经度	纬度	坡向	坡度	海拔	土壤类型	母质类型	植被类型
季节雨林	101°12'E	21°51'N	EN 15°	12~18°	750 m	砖红壤	白垩黄色砂岩	季节雨林
人工橡胶林	101°16'03"E	21°55'25"N	SE 21°	70°	750 m	砖红壤	河漫滩沉积物	人工橡胶林

1.2 材 料

在 900 m² (30 m × 30 m) 的研究样地上, 考虑到取土等偶然性因素带来的实验误差以及土壤空间异质性差异, 因此在进行实验布局上, 热带季节雨林与橡胶林从下到上分别按海拔梯度设置 3 个采样点, 供试土壤分别来自西双版纳热带季节雨林与橡胶林的 3 个剖面, 每个剖面取 5 个土样, 分别 0~10、10~20、20~40、40~60、60~100 cm, 发生层次明显的土壤按照发生层次取样, 共 30 个土样。

1.3 方 法

土壤的机械组成, 吸管法^[4], 在南京土壤所鹰潭生态站实验室进行测定; 有机质(OM), 硫酸-重铬酸钾氧化-外加热法测定^[4]; 全 N, 浓 H₂SO₄ 消解, 开氏定氮法测定^[4]; 全 P、全 K, HClO₄-HF 消解, ICP-AES 测定^[4], 这几项检测指标在西双版纳热带植物园生物地球化学实验室进行测定。

2 结果与分析

2.1 季节雨林与橡胶林土壤机械组成各颗粒级含量比较

图 1 表明, 季节雨林土壤的 0.02~2.00 mm 的颗粒含量明显地高于橡胶林, 达 57.43%, 而橡胶林仅为 31.88%。从图 1 也可知, 随着土壤深度的增加, 两者含量都

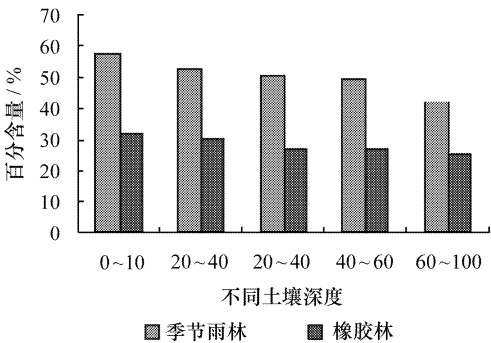


图 1 季节雨林与橡胶林 0.02~2.00 mm 土壤颗粒百分含量比较

Fig 1 Comparisons of the percents of diameter 0.02~2.00 mm soil particles per unit soil between seasonal rain forest and rubber forest

相应降低,而且变化态势基本一致。图2表明,橡胶林土壤的 $0.002 \sim 0.020$ mm 颗粒却明显地高于季节雨林,达到36.84%,而季节雨林仅为23.04%。但二者一个共同的特点:随着土壤深度的增加,各土壤层次机械组成差异不是很大,季节雨林土壤的 $0.002 \sim 0.020$ mm 颗粒含量一般为23%左右,橡胶林一般为35%左右,变化平稳。图3表明,橡胶林 0.002 mm 以下的土壤颗粒含量显然高于季节雨林,高达41.58%,而季节雨林仅为29.5%,但与图2不同的是,随着土壤深度的增加,季节雨林与橡胶林小于 0.002 mm 的土壤颗粒也增加,土壤深度与小于 0.002 mm 的土壤颗粒含量呈正相关关系。方差分析结果表明,在2种林分土壤的3种类型颗粒含量差异均达 0.01 的极显著水平,根据国际制土壤质地分类标准,在综合3类土壤颗粒含量的基础上可以初步判定季节雨林土壤为砂质粘壤土,橡胶林土壤为粘壤土。

2.2 季节雨林与橡胶林有机质、全N、全P、全K的含量比较

图4表明,季节雨林与橡胶林有机质含量都是随着土壤深度增加而减少,橡胶林土壤有机质含量在 $0 \sim 100$ cm 的每个土壤层次都高于季节雨林,在 $0 \sim 10$ cm 土壤深度内含量最高,从 $20 \sim 100$ cm 深度内变化平稳,这可能既与土壤中的砂粒、粉粒和粘粒之间存在着极紧密的相关关系^[5],又与土壤深度存在着极紧密的相关关系。由于有机质主要来自枯枝落叶的氧化分解^[6],所以地表 $0 \sim 10$ cm 深度范围内有机质含量明显高于其它土壤深度。图5表明,土壤表层($0 \sim 10$ cm),季节雨林土壤中的全N含量略低于橡胶林,随着土壤深度的增加,橡胶林土壤的全N含量明显高于季节雨林,而且一个共同的变化是:随着土壤深度的增加,不管是季节雨林还是橡胶林,土壤有机质、全N含量均下降。这表明土壤深度与有机质、全N含量呈负相关。方差分析结果表明,季节雨林与橡胶林2种林分间土壤有机质、全N含量差异均达 0.01 的极显著水平。

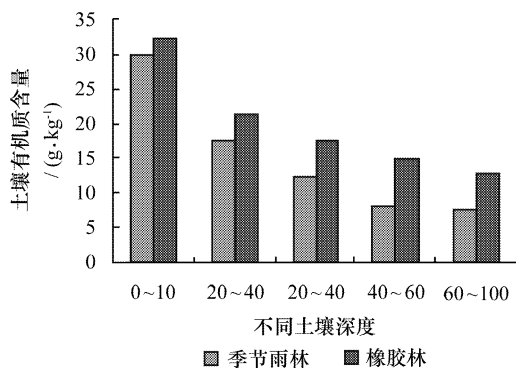


图4 季节雨林与橡胶林土壤有机质含量比较

Fig 4 The contents comparisons of soil organic matter in seasonal rain forest and rubber forest

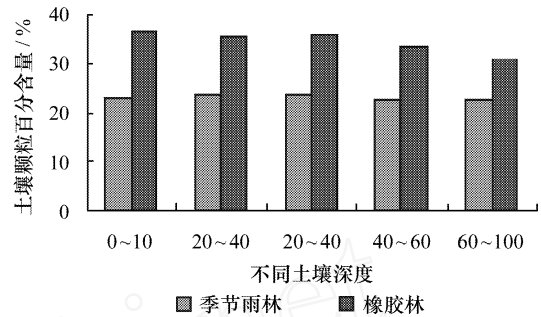


图2 季节雨林与橡胶林 $0.002 \sim 0.020$ mm 土壤颗粒百分含量比较

Fig 2 Comparisons of the percents of diameter $0.002 \sim 0.020$ mm soil particles per unit soil between seasonal rain forest and rubber forest

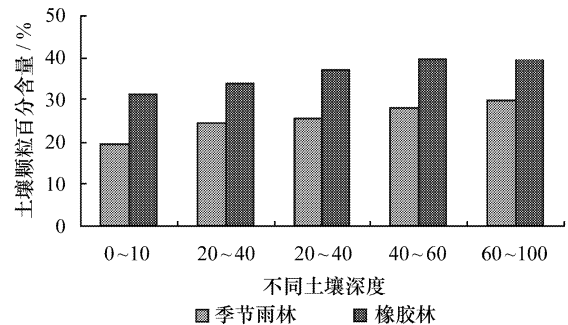


图3 季节雨林与橡胶林小于 0.002 mm 土壤颗粒百分比较

Fig 1 Comparisons of the percents of diameter less than 0.002 mm soil particles per unit soil between seasonal rain forest and rubber forest

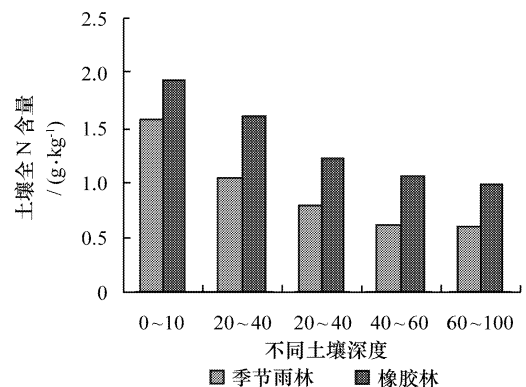


图5 季节雨林与橡胶林土壤全N含量比较

Fig 5 The contents comparisons of total nitrogen per unit soil in seasonal rain forest and rubber forest

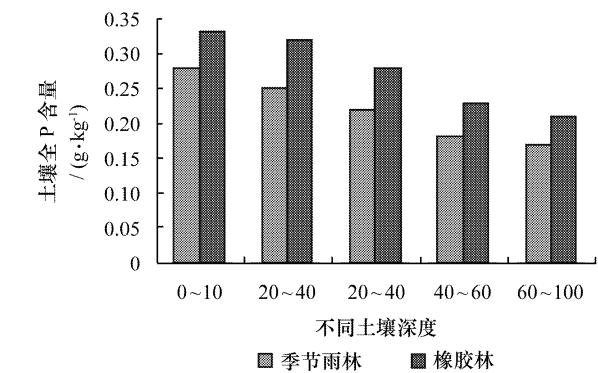


图6 季节雨林与橡胶林土壤全P 含量比较

Fig 6 The contents comparisons of total phosphorus per unit soil in seasonal rain forest and rubber forest

从图6、图7 可知, 橡胶林土壤的全P、全K 含量明显高于季节雨林 从图6 中可以看到, 季节雨林与橡胶林的全磷含量具有相似的变化趋势: 随着土壤深度的增加, 越往下土壤全P 含量越低, 变化态势平稳; 而土壤全K 含量的变化态势与有机质、全N、全P 恰好相反 在0~ 100 cm 的土壤研究深度内, 全K 的含量是随着土壤深度的增加而增加, 这可能是钾元素在土壤中容易转移, 其随着雨水向下渗透 方差分析结果表明: 季节雨林与橡胶林的全磷含量差异达0.05 的显著水平, 全K 含量差异达0.01 的极显著水平.

2.3 季节雨林与橡胶林的土壤有机质与土壤肥力各个因素的关系

2.3.1 季节雨林的土壤有机质与全N、全P、全钾含量的相关性比较

图8 表明, 季节雨林的土壤有机质(x) 与全N (y) 的回归方程:

$$y = 0.0448x + 0.2479, R^2 = 0.9997$$

这说明季节雨林土壤有机质与全N 的含量线性关系是比较显著的 从图8 还可看出, 季节雨林的土壤有机质(x) 与全P (y) 的回归方程:

$$y = 0.0048x + 0.1471, R^2 = 0.9026$$

这说明季节雨林土壤有机质与全P 的含量线性关系比较显著; 季节雨林的土壤有机质(x) 与全K (y) 的回归方程:

$$y = -0.098x + 9.5195, R^2 = 0.848$$

回归方程一次项系数为负数, 这说明季节雨林土壤有机质与全K 含量的线性关系是负显著相关; 同时相关分析的结果也表明, 季节雨林的土壤有机质与全N ($\alpha < 0.01$) 达极显著正相关, 与全P ($\alpha < 0.05$) 达显著正相关, 与全K ($\alpha < 0.05$) 达显著负相关

2.3.2 橡胶林的土壤有机质与全N、全P、全钾含量的相关性比较

图9 表明, 橡胶林的土壤有机质(x) 与土壤全N (y) 的回归方程是:

$$y = 0.0517x + 0.3352, R^2 = 0.9439$$

这说明橡胶林的土壤有机质与全N 含量的线性关系很

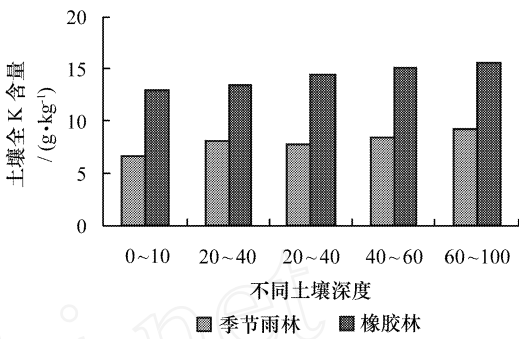


图7 季节雨林与橡胶林土壤全K 含量比较

Fig 7 The contents comparisons of total potassium per unit soil in seasonal rain forest and rubber forest

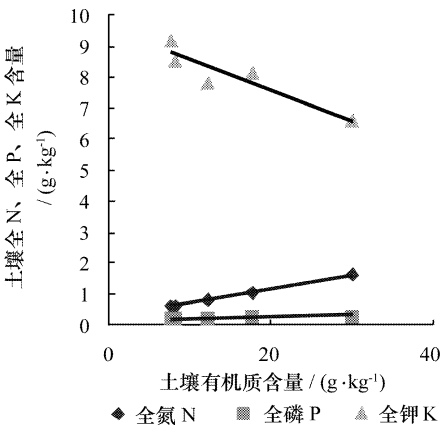


图8 季节雨林土壤有机质与全N、全P、全K 的线性关系

Fig 8 The linear relation between soil organic matter and total nitrogen, total phosphorus and total potassium in seasonal rain forest

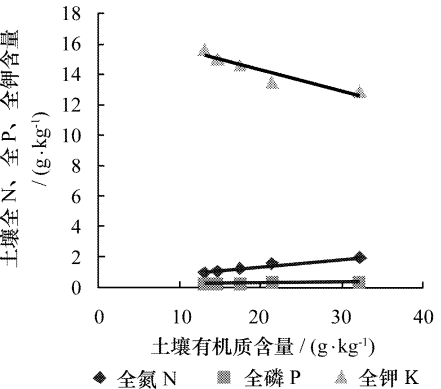


图9 橡胶林土壤有机质与全N、全P、全钾线性关系

Fig 9 The linear relation between soil organic matter and total nitrogen, total phosphorus and total potassium in rubber forest

显著。橡胶林的土壤有机质(x)与土壤全P(y)的回归方程是:

$$y = 0.0061x + 0.1533, R^2 = 0.7574$$

虽然橡胶林的土壤有机质(x)与土壤全P(y)的相关系数 $R^2 = 0.7574$ 小于季节雨林($R^2 = 0.9026$),但橡胶林土壤有机质与全P含量的线性关系还是很显著。橡胶林的土壤有机质(x)与土壤全K(y)的回归方程是:

$$y = -0.1382x + 16.98, R^2 = 0.8904$$

说明橡胶林的土壤有机质与全K含量线性关系很显著。回归方程一次项系数为负数,说明土壤有机质在土壤不同深度层次的含量与全K变化趋势恰好相反,即在0~100 cm的深度范围内,随着土壤深度的增加,有机质含量越来越低,全K的含量越来越高。相关分析结果表明:橡胶林的土壤有机质与土壤全N($\alpha < 0.01$)达极显著正相关,与全P($\alpha < 0.05$)达显著正相关,与全K($\alpha < 0.05$)达显著负相关。

3 讨论与小结

(1) 土壤有机质与土壤机械组成的相关关系 前人的研究结果表明^[7~10]:土壤有机质与土壤砂粒含量呈负相关,与土壤粉粒、粘粒含量呈正相关。本文中的研究结果与此基本吻合。这主要是土壤有机质以各种形式存在于土壤中:有些与矿质土粒只是机械混合,有些却溶解于土壤溶液中(如单糖、部分氨基酸以及低分子化合物等),还有些以生命体形式存在于土壤中,然而大部分则是和土壤中的无机成分结合在一起,结合成有机-无机复合体形式。一般说来,一方面土壤有机质易与较细的土壤颗粒(粉粒、粘粒)结合形成有机-无机复合体,较细的土粒粒径小,易于被腐殖质包裹;同时,由于较细土粒表面积相对较大,因此土粒本身能暴露出更多的正电荷位与带负电荷的腐殖质结合^[11];另一方面,较细土粒通透性差,所以有机质一旦与之结合,则很难被微生物分解。与较细土粒相比,砂粒则颗粒大、正电荷位少,与有机质结合机会较少,即便是与有机质结合,也由于通透性强,能轻易地被微生物分解。因此,土壤有机质与砂粒含量之间呈极显著的负相关,与粉粒、粘粒含量之间呈极显著的正相关。

(2) 土壤有机质与土壤N、P、K含量相关特性 许多资料表明^[12]:土壤中氮素含量与土壤有机质含量之间呈平行相关,也就是说影响有机质含量的因素亦同时影响土壤全氮含量。图8、图9及其综合分析也说明了土壤全氮与有机质含量平行相关^[13]。而土壤全氮与土壤各粒级含量之间存在极紧密的相关关系的原因,实质上是由于90%~95%以上的氮素存在于有机质中,因此有机质与土壤各粒级含量相关特性也是土壤全N与土壤各粒级含量相关特性,所以粉粒、粘粒各粒级与有机质、土壤全氮呈极显著正相关。磷通常是以各种矿物的形式存在于土壤中,并且与有机质含量平行相关,本文中的研究结果也说明了这一点。土壤的供钾能力取决于含钾矿物在土壤中的形态以及土壤颗粒的大小,全钾与砂粒粒级之间均存在着极紧密的负相关关系,与粉粒、粘粒粒级之间均存在着紧密的正相关关系。在本文的研究中发现,在0~100 cm的深度内,土壤有机质含量与土壤深度呈负相关,全K含量与土壤深度呈正相关。

(3) 2种林分土壤肥力比较 土壤有机质与土壤砂粒含量呈负相关,与土壤粉粒、粘粒含量呈正相关。西双版纳热带季节雨林的土壤属于砂质粘壤土;橡胶林土壤属于粘壤土,这就决定了橡胶林土壤有机质高于季节雨林,而且橡胶林属于落叶植物,枯枝落叶是有机质的重要源泉,这也是橡胶林土壤有机质高于季节雨林的原因之一。

橡胶林作为西双版纳地区的重要经济林,日益受到人们重视,每年都在施加N、P、K肥,这些肥有相当一部分被橡胶树吸收,但还有少部分残留在土壤中,须经过年复一年的累积,最终使得橡胶林土壤肥力上升。

土壤有机质含量的高低,是衡量土壤肥力的重要标志。土壤全量养分包括全氮、全磷和全钾,其是林木生长的“三要素”;亦是重要的肥力指标。橡胶林土壤有机质、全氮、全磷和全钾明显高于季节雨林,因此可以初步判定橡胶林的土壤肥力大于季节雨林。

土壤全N、全P、全K含量反应了土壤对N、P、K的供应潜力,而速效N、速效P、速效K反映了土壤现实供应指标,并且N、P、K的不同存在形态在不同程度上受着季节更替的影响,因此研究和了解这些元素在不同存在形式中的含量以及这些不同存在形式的季节动态,是今后研究工作中值得探讨的课题。

参考文献:

- [1] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [2] 崔晓阳. 东北森林的土壤潜力[M]. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 1995.
- [3] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982.
- [4] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第. 等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [5] 安国英、牛三义、陈玉娥. 土壤有机质全氮与机械组成之间关系的探讨[J]. 河北林业科技, 1993, (3): 46- 48.
- [6] 方乐金. 杉木幼林地土壤肥力变化研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 316- 319.
- [7] 刘义、关继义、葛建平. 不同森林类型土壤肥力的差异分析[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(3): 76- 78.
- [8] 潘峰. 杉木材的土壤酶活性及土壤肥力[J]. 中南林学院学报, 1989, (9): 56- 65.
- [9] 何立新. 湘中丘陵区两类林分生产力与土壤肥力的比较研究[J]. 中南林学院学报, 1998, 18(1): 53- 59.
- [10] 李志辉, 漆良华, 柏方敏, 等. 马尾松飞播林土壤肥力研究[J]. 中南林学院学报, 2004, 24(5): 32- 35.
- [11] 安国英、牛三义、陈玉娥. 土壤有机质全氮与机械组成之间关系的探讨[J]. 河北林业科技, 1993, (3): 46- 48.
- [12] 刘廷万, 陈玉娥, 牛三义. 土壤钾素与机械组成之间关系的研究[J]. 安徽农业科学, 2001, (2): 192- 195.
- [13] 郑顺安, 常庆瑞. 黄土高原不同类型人工林对土壤肥力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(2): 119- 124.

[本文编校: 胡曼辉]

(上接第63页)

在总结前人林冠截留模型模拟研究基础上, 结合本试验的观测数据及由其得到以下结论: 模拟林冠对季节性或长期降雨的总体截留能力时, 用式(8)与实际测量结果较为准确. 而模拟林冠对单场降雨的截留能力用经验模型模拟较为吻合, 方程如下:

(1) 林冠截留未达到饱和时, 截留量模拟方程为:

$$I = \sum \Delta I_i = (1 - \sigma)(1 - \mu) \sum \Delta t_i$$

(2) 饱和后的模型方程为:

$$I = (1 - \sigma)(1 - \mu) \sum \epsilon(t_s - t_0) + E(t - t_i)$$

参考文献:

- [1] 王彦辉, 于彬涛. 林冠截留降雨模型转化和参数规律的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 25- 30.
- [2] 杨立文, 张理宏. 林冠对降雨截留过程的研究[C]//李吕哲. 太行山水土保持林营造技术及效益研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1991: 76- 84.
- [3] 谢春华, 关文彬, 吴建安. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 68- 71.
- [4] 郑科, 郎南军, 郭玉红, 等. 元谋雨季中期加勒比松林分水文气象研究[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(3): 34- 38.
- [5] 崔鸿侠, 张卓文, 陈玉生, 等. 三峡库区莲峡河小流域马尾松水文生态效应[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(2): 46- 49.
- [6] 崔鸿侠, 张卓文, 陈玉生, 等. 三峡库区莲峡河小流域马尾松水文生态效应[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(2): 46- 49.
- [7] 何汉杏, 葛汉栋. 张家界市澧水林场毛竹林水文生态效益初步研究: I 生态效益计量[J]. 中南林学院学报, 2001, 21(4): 11- 15.
- [8] 何汉杏, 覃遵铁. 张家界市澧水林场毛竹林水文生态效益初步研究: II 生态效益的经济评价[J]. 中南林学院学报, 2001, 21(4): 16- 18.
- [9] 康文星, 田大伦. 第二代杉木人工幼林生态系统土壤水文学功能的研究[J]. 中南林学院学报, 2000, 20(4): 1- 5.
- [10] 王礼先, 张志强. 森林植被变化的水文生态效应[J]. 林业工作研究, 1998, (9): 13- 27.
- [11] 王彦辉. 陇东黄土地区刺槐林保持效益的定量研究[J]. 北京林业大学学报, 1986, 8(1): 35- 52.
- [12] 张卓文, 杨志海, 张志永, 等. 三峡库区莲峡河小流域马尾松林冠降雨截留模拟研究[J]. 华中农业大学学报, 2006, (6): 318- 322.
- [13] 李昌华, 铃木雅一. 江西省九连山区常绿阔叶林林冠截留量的估算[J]. 自然资源学报, 1997, 12(3): 233- 242.
- [14] 张学培, 王本楠. 林冠截留理论模型的应用[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(2): 30- 34.
- [15] 巩合德, 王开运. 森林水文生态效应及在川西亚高山针叶林群落中的研究[J]. 世界科技研究与发展, 2003, 25(5): 41- 46.
- [16] 张新献, 贺庆棠. 用Gash模型估算单场降雨的林冠截留量(简报)[J]. 安徽农业大学学报, 1997, 24(1): 21- 23.
- [17] 史玉虎, 朱仕豹, 熊峰, 等. 三峡库区端坊溪小流域的森林水文效益[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 17- 21.
- [18] 陈仁升, 康尔酒, 杨建平, 等. 森林水文生态效应若干争论问题讨论[J]. 冰川冻土, 2002, 24(6): 799- 804.
- [19] Cash J H C. An analytical model of rainfall interception by forests[J]. Quarterly Journal of Foyal Meteorological Siciety, 1979, 105 (44): 43- 45.
- [20] Fernando Pardo, Luis Gil, Jose Alberto Pardos. Field study of beech (*Fagus sylvatica*) and melojo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) leaf litter decomposition in the center of the Iberian Peninsula[J]. Plant and Soil, 1997: 89- 100.
- [21] Liu Jiagang. A theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy[J]. Ecological Modelling, 1988, (42): 111- 123.

[本文编校: 谢荣秀]