

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2022. 02. 011

哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤养分 的时间及空间变化规律*

陈浩^{1,2}, 巩合德¹, 鲁志云³, 王高升⁴

(1. 西南林业大学地理与生态旅游学院, 云南 昆明 650224; 2. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051;
3. 中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站, 云南 景东 676209; 4. 云南省林业和草原科学院, 云南 昆明 650201)

摘要: 为探索中山湿性常绿阔叶林土壤养分的年际、年内及空间变化规律, 以中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站固定样地 2005—2015 年土壤长期定位土壤养分观测的数据为研究材料, 进行统计分析。结果显示: (1) 土壤有机质和全氮含量随着土层深度的增加下降趋势明显; 土壤全磷含量下降趋势不明显, 在 0~60 cm 土层呈缓慢下降趋势, 60~100 cm 土层则有所上升; 土壤全钾含量在 0~60 cm 土层呈逐渐上升趋势, 60~100 cm 土层则呈明显下降趋势。(2) 与 2005 年相比, 2015 年 0~10 cm 土层的有机质、全氮、全磷和全钾含量均有不同幅度的下降, 其中, 土壤全磷含量下降幅度最大, 为 23.45%; 有机质含量下降幅度最小, 为 8.76%; 全氮和全钾的含量下降幅度分别为 15.40% 和 14.30%。(3) 土壤有机质和全氮在 3—8 月份呈下降趋势, 8—11 月份又逐渐增加。土壤有效磷在冬春干旱期 (12 月—翌年 6 月) 逐渐增加, 雨季 (7—11 月) 快速下降。土壤速效钾在 1—5 月份呈缓慢平稳增长状态, 5—8 月份快速下降, 9—12 月份又快速上升。研究结果可为哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤养分供应状况及循环研究提供参考。

关键词: 土壤养分; 有机质; 全氮; 年际变化; 哀牢山

中图分类号: S 714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2022) 02-0074-06

Temporal and Spatial Variations of Soil Nutrients in the Montane Moist Evergreen Broad-leaved Forest in Ailao Mountains

CHEN Hao^{1,2}, GONG He-de¹, LU Zhi-yun³, WANG Gao-sheng⁴

(1. College of Geography and Ecotourism, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan 650224, P. R. China;
2. Kunming Survey, Design and Research Academy Co., Ltd, China Power Construction Group, Kunming Yunnan 650051, P. R. China;
3. Ailaoshan Station for Subtropical Forest Ecosystem Studies, Chinese Academy of Sciences, Jingdong Yunnan 676209, P. R. China;
4. Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming Yunnan 650201, P. R. China)

Abstract: In order to explore the interannual, intra annual and spatial changes of soil nutrients in montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains, this study analyzed the long-term soil positioning observation data of Ailaoshan Station for Subtropical Forest Ecosystem Studies, Chinese Academy of Sciences from 2005 to 2015. The results showed that: (1) The contents of soil organic matter and total nitrogen decreased obviously with the increase of soil depth. The decrease trend of soil total phosphorus is not obvious, it decreased slowly at 0-60cm, and then increased slowly at 60-100 cm. The total potassium of soil increased gradually in 0-60 cm, and then decreased obviously in 60-100 cm. (2) Compared with 2005, the content of organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium in 0-10 cm soil decreased by different ranges in 2015, among them, the maximum decrease of soil to-

* 收稿日期: 2021-10-21

基金项目: 普达措国家公园科学考察。

第一作者简介: 陈浩 (1983—), 男, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: 94191419@qq.com

通信作者简介: 巩合德 (1978—), 男, 副教授, 博士, 主要从事森林生态学研究。E-mail: 472912369@qq.com

tal phosphorus was 23.45%, the minimum decrease of soil organic matter was 8.76%, and the decrease of soil total nitrogen and total potassium was 15.40% and 14.30% respectively. The main reason is that the increase of forest volume leads to the gradual increase of forest trees' consumption of soil nutrition; Secondly, forest degradation and soil erosion will also aggravate nutrient loss. (3) Soil organic matter and total nitrogen decreased from March to August, and increased gradually from August to November. Soil available P increased gradually in the dry period of winter and spring (December to June of the next year), and decreased rapidly in the rainy season (July to November). Soil available potassium increased slowly and steadily from January to May, decreased rapidly from May to August, and increased rapidly from September to December. The results can provide a reference for the study of soil nutrient supply and cycle of montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains.

Key words: soil nutrients; organic matter; total nitrogen; annual change; Ailao Mountain

土壤是森林生态系统存在的物质基础,因此,森林生态系统的生长质量取决于森林土壤的养分含量水平。森林土壤的养分含量水平受气候、地形、植被、成土母质、土壤类型、土层深度、土壤微生物、酶活性、有机质含量等环境因素和人为因素的综合影响,是多种因素综合协同作用的结果^[1-2]。土壤有机质、氮、磷和钾是土壤养分的最主要组成部分,是森林生态系统健康生长所需的大量营养元素,通过对森林生态系统土壤主要养分含量进行持续测量与分析,可以对森林的生长状况和生态环境质量的变化进行实时监测,从而为制定科学合理的森林保护对策提供理论依据。

中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站,位于哀牢山国家级自然保护区北段山顶部,隶属于云南省普洱市景东县,海拔2450 m。山体顶部有我国连续分布面积最大、保存最完整原生亚热带中山湿性常绿阔叶林,该站长期对该地区不同森林类型土壤养分的年际变化、年内变化和垂直变化进行定位监测,积累大量的连续观测监测数据。目前,大多数对森林土壤养分的研究主要集中于空间分布上和季节性变化上,对于年际变化尤其是10 a以上的年际变化的研究报道很少,哀牢山中山湿性常绿阔叶林10 a以上土壤养分变化方面的研究则未见报道。本文以哀牢山森林生态站长期定位观测的研究数据为材料,对不同土层、不同年份,以及年内不同月份之间的土壤有机碳、氮、磷和钾等大量元素进行研究,为后期哀牢山自然保护区内森林培育提供数据和理论支持。

1 研究地区及研究方法

1.1 研究地区自然概况

研究样地位于云南省普洱市景东县太忠镇杜鹃

湖畔(原名徐家坝水库)的哀牢山国家级自然保护区北段山顶部,是中国科学院哀牢山森林生态系统研究站的长期固定样地,也是中国生态系统研究网络(CERN)、国家野外科学观测研究站(CNERN)和中国科学院西南知识创新基地的长期固定样地。哀牢山站(24°32'N、101°01'E,海拔2450 m),处于西南季风气候区,年平均温度11.0℃,最冷月(1月)平均气温5.0℃,最热月(7月)平均气温15.3℃,≥10℃的有效积温为3420℃,平均霜期190 d。年平均降水量1931.1 mm,干、雨季节分明,雨季为5—10月,占全年降水的85%,干季为11—4月,占全年降水的15%。年平均相对湿度为83%。年平均日照时数1239 h。整体气候特征为冬季漫长(11—3月),无夏季,春季和秋季相连(4—10月),凉、湿特征明显^[3-8]。

哀牢山杜鹃湖畔生长着我国面积最大的以云南特有植物种为优势种群的原生亚热带中山湿性常绿阔叶林,乔、灌、草林相齐全,乔木层主要为壳斗科(Fagaceae)的木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)、腾冲栲(*Castanopsis wattii*)、景东石栎(*L. chintungensis*),茶科(Theaceae)的滇木荷(*Schima noronhae*)、舟柄茶(*Hartia sinensis*),樟科(Lauraceae)的绿叶润楠(*Machilus viridis*)和木兰科(Magnoliaceae)的红花木莲(*Manglietia insignis*)等;灌木层主要优势种为箭竹(*Sinarundinaria nitida*);草本层主要优势种为细梗苔草(*Carex teinogyne*)、滇西瘤足蕨(*Plagiogyria communis*);此外,林中分布有较多藤本植物,多为木质大藤本;树冠附生有大量的苔藓和蕨类植物;树杈内和树干上部堆积有丰富的林冠腐殖质^[4,9-10]。

林下土壤为山地棕壤或黄棕壤,主要成土母质为古生代板岩、微晶片岩等,地表有覆盖厚度为5~10 cm的凋落物,其下是8~18 cm的腐殖质层,0

~30 cm 土层有机质含量为 5%~9%，全氮含量在 0.3% 以上，土壤偏酸性 (pH 为 4.2)^[4]。

1.2 采样方法

本研究中的数据来源于中国科学院西双版纳热带植物园哀牢山亚热带森林生态系统研究站 2005—2015 年土壤长期定位观测数据，采样方法参照中国生态系统研究网络^[11]，在对哀牢山中山湿性常绿阔叶林，分别采集 0~10、10~20、20~40、40~60 和 60~100 cm 剖面土壤样品，进行土壤养分含量测定。

1.3 样品分析

用全自动碳氮分析仪 (K370 BUCHI Auto Kjeldahi Unit, 瑞士) 测定有机质 (LY/T 1237—1999) 和全氮 (LY/T 1228—1999)；用碱解扩散法测定速效氮 (碱解氮) (LY/T 1229—1999)；用 HNO₃-HClO₄ 消解，HCl 溶解，ICP-AES 测定全磷 (LY/T 1270—1999)；用 0.03 mol/L NH₄F-0.025 mol/L HCl 浸提，钼锑抗比色法测定有效磷 (LY/T1233—1999)；采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定全钾，采用中性 CH₃COONH₄ (pH=7.0) 浸提，ICP-AES 测定速效钾 (LY/T 1236—1999, iCAP6300 型 ICP-AES, Thermo Fisher 美国)。

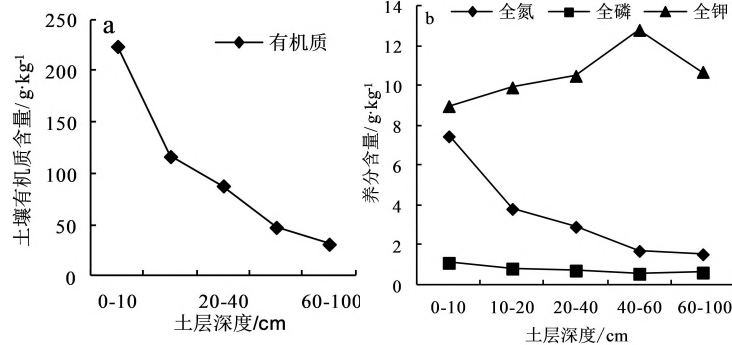


图 1 土壤养分含量的垂直变化

注：a 为土壤有机质含量的垂直变化，b 为土壤全氮、全磷和全钾的垂直变化

Fig. 1 Vertical variation of soil nutrient

不同土层全氮、全磷、全钾差异极显著 ($P < 0.001$)，全氮与有机质含量的变化趋势相似，都随着土层深度的增加而逐步下降，且波动的幅度也逐步变窄。全磷的含量在 0~40 cm 土层逐渐减少，在 40~60 cm 土层最小，仅为 0.56 g/kg，60~100 cm 土层则有所上升。全钾含量则表现出与有机质、全氮和全磷不同的变化趋势，在 0~40 cm 土层逐渐增加，在 40~60 cm 土层达到最大，为 12.82 g/kg，60~100 cm 土层则呈明显下降趋势。

1.4 数据处理

用 Excel 和 SPSS 21.0 软件进行数据分析及处理。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的垂直变化

从表 1 和图 1 分析数据可知，不同土层的土壤有机质含量差异极显著 ($P < 0.001$)，表层土 (0~10 cm) 有机质最高，高达 223.99 g/kg，10~20 cm 土层有机质含量较表层土有机质含量下降了 50%，只有 116.8 g/kg，随着土层深度的增加，土壤有机质含量逐渐降低，且波动的幅度逐渐变小，60~100 cm 土层有机质含量只有 31.47 g/kg。

表 1 土壤有机质、氮、磷和钾显著性分析

Tab. 1 Significance variation of soil organic matter,

TN, TP and TK

g/kg

	土壤养分的垂直变化	土壤养分的年际变化	土壤养分的生长季变化
有机质	214.844***	8.047***	28.983***
全氮	188.199***	11.946***	23.293***
全磷	28.597***	5.472**	1.339
全钾	7.158***	0.996	4.842**

2.2 土壤养分的年际变化

由表 1 和图 2 可以看出，与 2005 年相比，2015 年 0~10 cm 土壤有机质差异极显著 ($P < 0.001$)、全氮差异极显著 ($P < 0.001$)、全磷差异显著 ($P < 0.05$) 和全钾差异不显著 ($P > 0.05$)。各营养元素均随着时间的推移含量有所下降，其中土壤全磷下降幅度最大为 23.45%，有机质下降幅度最小为 8.76%，全氮和全钾的下降幅度分别为 15.40% 和 14.30%。

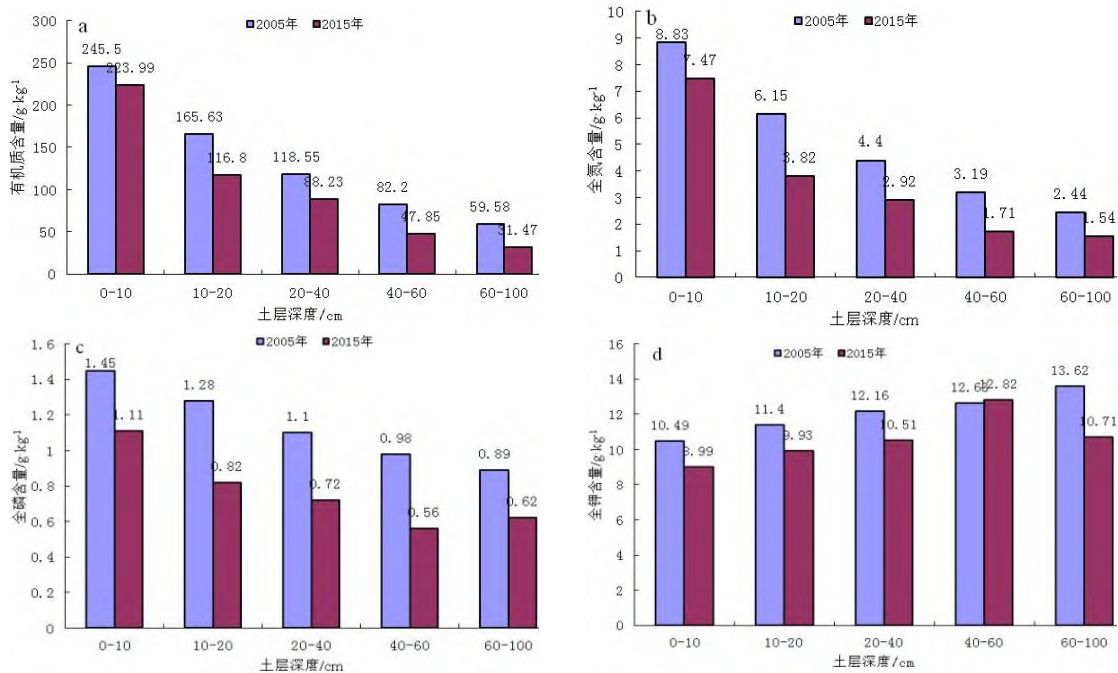


图 2 不同土层不同年份的土壤养分变化

注：a 为有机质的年际变化，b 为全氮的年际变化，c 为全磷的年际变化，d 为全钾的年际变化

Fig. 2 Changes of soil nutrients in different soil layers in different years

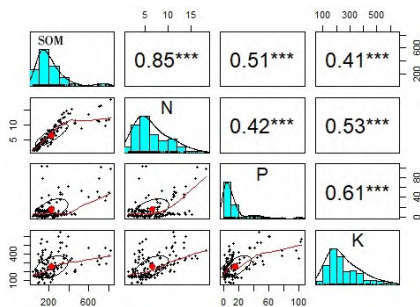


图 3 土壤有机质、氮、磷和钾相关性分析

Fig. 3 Correlation variation of soil organic matter, N, P and K

2.3 土壤养分年内变化

由表 1、图 3 可知，通过相关性分析 0~20 cm 土层土壤养分在生长季中数据变化都呈现正态分布，土壤养分有机质、全氮、全磷和全钾之间均有密切的相关关系；通过分析 0~20 cm 土层土壤有机质与全氮差异极显著 ($P < 0.001$)、全磷和全钾差异显著 ($P < 0.05$)。

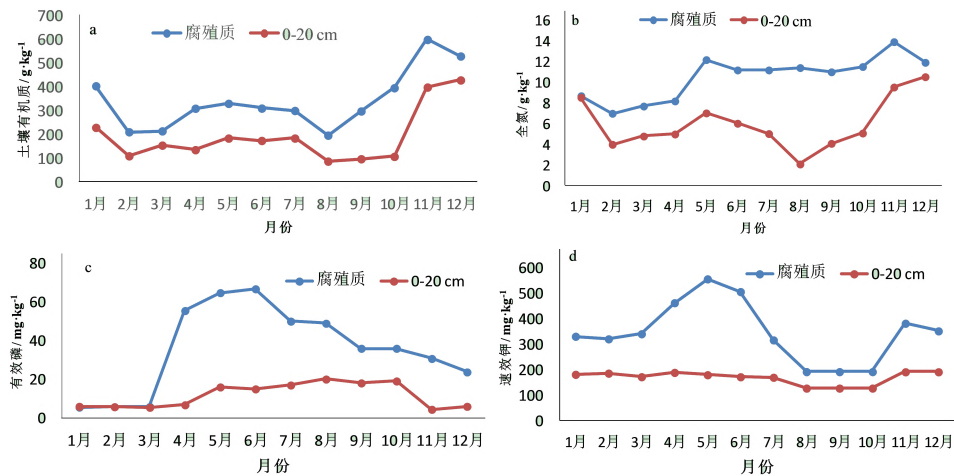


图 4 不同土层不同年份的土壤养分变化

注：a 为有机质年内变化，b 为全氮年内变化，c 为有效磷年内变化，d 为速效钾年内变化

Fig. 4 Changes of soil nutrients in different soil layers in different years

如图4可知,腐殖质层及0~20 cm表层土壤有机质年内变化趋势基本一致,冬春两季有机质含量积累,3—8月随着温度增加,植物生理活动加快,土壤有机质含量消耗较多,故含量较低。腐殖质层及0~20 cm表层土壤全氮含量变化各异,其中腐殖质层的全氮含量全年都在增加,而0~20 cm表层土壤的全氮含量5—8月处于降低的趋势,到9月后再逐渐增加。有效磷、速效钾含量在0~20 cm表层的全年变化波动较小,腐殖质层有效磷、速效钾在冬春两季降低、夏秋两季增加。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 哀牢山亚热带中山湿性常绿阔叶林土壤养分的垂直变化规律

已有的研究表明,森林土壤养分含量垂直变化差异显著^[12-16],一般情况下,随着土层深度的增加,土壤有机质、全氮、全磷等养分含量下降趋势明显^[17-22];而土壤全钾的变动性相对较小^[23-25]。本研究表明,土壤有机质和全氮含量随着土壤深度的增加下降趋势明显;土壤全磷下降趋势不明显,在0~60 cm土层呈缓慢下降趋势,60~100 cm土层则有所上升;土壤全钾则表现出与土壤有机质、全氮和全磷截然不同的变化规律,在0~60 cm土层呈逐渐上升趋势,60~100 cm土层则有所下降,土壤全钾的变化规律与王燕等^[26]的研究结果一致。

3.1.2 土壤养分的年际变化规律

大多数对森林土壤养分的研究主要集中于空间分布上和季节性变化上,对于年际变化尤其是10 a以上的年际变化的研究报道很少。本研究通过对2005—2015年的土壤养分监测研究显示,与2005年相比,2015年哀牢山亚热带中山湿性常绿阔叶林0~10 cm土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量都有一定程度的下降,其中土壤全磷下降幅度最大(23.45%),有机质下降幅度最小(8.76%),全氮和全钾的下降幅度分别为15.40%和14.30%。从数据上看,从2005年到2015年,土壤养分含量是有较大幅度下降的,但哀牢山中山湿性常绿阔叶林处于自然保护区内,受人为扰动很小,土壤养分含量不应出现较大幅度的下降,究其原因,应是土壤空间异质性和不同取样人员操作差异等原因所致。

3.1.3 土壤养分生长季变化规律

本次研究表明,0~20 cm土层有机质和全氮在森林春夏生长旺季3—8月份呈下降趋势,在8月份降到最低,8—11月份随着秋冬季凋落物的增加而逐渐增加,这与夏汉平等^[27]的研究结果一致。土壤有效磷则表现出与有机质和全氮截然相反的变化趋势,在冬春干旱期(12月—翌年6月),有效磷含量是逐渐增加的,但随着降雨量的逐渐增大,地表径流增加会使土壤中有效磷流失,森林中林木生长对土壤有效磷的消耗快速增加,导致有效磷含量在7—11月份快速下降,这与薛敬意等^[28]研究结果相似。土壤速效钾则没有表现出明显的规律性,全年基本维持在较平稳状态,仅在雨热同期的8月份其含量相对低一点。

3.2 结论

哀牢山中山湿性常绿阔叶林在0~100 cm不同土层中有机质、全氮、全磷、全钾差异极显著($P < 0.001$),有机质、全氮、全磷随着亦随着土层深度的增加而减少,且波动的幅度逐渐变小;土壤全钾则出现先上升再下降的趋势。2005年和2015年0~10 cm土壤有机质差异极显著($P < 0.001$)、全氮差异极显著($P < 0.001$)、全磷差异显著($P < 0.05$)和全钾差异不显著($P > 0.05$),土壤中各营养元素均随着时间的推移含量有所下降。腐殖质层及0~20 cm表层土壤的有机质、全氮、有效磷、速效钾均呈现“生长季消耗、非生长季积累”的规律。

参考文献:

- [1]袁勇,李小英.森林类型自然保护区土壤养分综述[J].中国农学通报,2016,32(5):75-82.
- [2]王振平.大港河小流域土壤养分空间变异及其影响因素研究[D].南昌:江西农业大学,2012.
- [3]鲁志云,宋亮,王训,等.哀牢山森林凋落物与腐殖质及土壤的生态化学计量特征[J].山地学报,2017,35(3):274-282.
- [4]王高升,刘文耀,付响,等.哀牢山湿性常绿阔叶林林冠和林地腐殖质理化特性、微生物量及酶活性比较[J].生态学报,2008,28(3):1328-1336.
- [5]王高升.哀牢山木果石栎林林冠腐殖质养分状况及微生物活性研究[D].勐仑:中国科学院研究生院(西双版纳热带植物园),2008.
- [6]刘永杰,刘文耀,陈林,等.哀牢山两类山地森林林冠及林下腐殖质微生物群落比较[J].应用生态学报,2010,

21(9):2257-2266.

[7]罗钰颖,朱玉婷,唐青,等.哀牢山不同海拔表层土壤理化性质变化规律研究[J].西部林业科学,2020,49(1):140-148.

[8]杨泽雄,燕腾,彭一航,等.哀牢山黄心树幼苗人工控制实验生长特征[J].西部林业科学,2016,45(1):88-92,98.

[9]邱学忠,谢寿昌.哀牢山森林生态系统研究[M].昆明:云南科技出版社,1998:1-8.

[10]Liu W Y, Fox J E D, Xu Z F. Nutrient fluxes in bulk precipitation, throughfall and stemflow in montane subtropical moist forest on Ailao Mountains in Yunnan, Southwest China [J]. Journal of Tropical Ecology, 2002, 18: 527-548.

[11]吴冬秀,韦文珊,宋创业,等.陆地生态系统生物观测数据质量保证与控制/中国生态系统研究网络 CERN 长期观测质量管理规范丛书[M].北京:中国环境科学出版社,2012.

[12]王忠诚,文仕知,胡曰利,等.鹰嘴界自然保护区不同森林类型保育土壤效益研究[J].中南林业科技大学学报,2012,32(8):52-57.

[13]刘敏,苏志尧.广东低山林下土壤理化特征分析[J].中南林业科技大学学报,2010,30(2):36-40.

[14]张晓琳,王帅,王旭,等.海南吊罗山自然保护区土壤有机碳贮量研究[J].热带作物学报,2014,35(2):362-368.

[15]余霞,谭长银,喻勋林,等.九嶷山自然保护区土壤类型及成土过程分析[J].湖南师范大学学报(自然科学版),2012,35(4):80-85.

[16]张振明,余新晓,王友生,等.森林不同土壤层全氮空间变异特征[J].生态学报,2011,31(5):1213-1220.

[17]杨克凤,张鑫童,汪大林,等.马鬃岭自然保护区土壤碳蓄积的研究[J].生态环境学报,2010,19(10):2372-

2375.

[18]车宗玺,刘贤德,车宗奇,等.祁连山青海云杉林土壤有机质及氮素的空间分布特征[J].水土保持学报,2014,28(5):164-169.

[19]杨淑贞,马原,蒋平,等.浙江西天目山土壤理化性质的海拔梯度格局[J].华东师范大学学报(自然科学版),2009(6):101-107.

[20]张继平,张林波,王凤玉,等.井冈山国家级自然保护区森林土壤养分含量的空间变化[J].土壤,2014,46(2):262-268.

[21]张珍明,贺红早,张玉武,等.雷公山自然保护区不同植被类型土壤的肥力及碳含量[J].西南农业学报,2014,27(3):1202-1206.

[22]黄承标,吴仁宏,何斌,等.三匹虎自然保护区森林土壤理化性质的研究[J].西部林业科学,2009,38(3):16-21.

[23]吴鹏,朱军,陈骏,等.贵州习水国家级自然保护区森林土壤理化性状研究[J].贵州林业科技,2011,39(3):1-9.

[24]吴鹏,付达夫,朱军.纳雍珙桐自然保护区森林土壤理化性状研究[J].贵州林业科技,2013,41(4):1-9.

[25]魏新,郑小锋,张硕新.秦岭火地塘不同海拔梯度森林土壤理化性质研究[J].西北林学院学报,2014,29(3):9-14.

[26]王燕,刘苑秋,曾炳生,等.江西大岗山常绿阔叶林土壤养分特征研究[J].江西农业大学学报,2010,32(1):96-100.

[27]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):83-91.

[28]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.

(编辑:胡光辉)

[上接第73页]

[30]Leigh F J, Mackay I, Oliveira H R, et al. Using diversity of the chloroplast genome to examine evolutionary history of wheat species[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2013, 60(6):1831-1842.

[31]Li X, Li Y F, Zang M Y, et al. Complete chloroplast genome sequence and phylogenetic analysis of *Quercus acutissima*[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(8):2443.

[32]Yao X H, Tang P, Li Z Z, et al. The first complete chloroplast genome sequences in Actinidiaceae: Genome structure and comparative analysis [J]. PLOS ONE, 2015, 10(6): e0129347.

[33]沈立群.唇形科三种药用植物叶绿体全基因组及科内的比较与进化分析[D].杭州:浙江大学,2018.

[34]Yang Y C, Zhou T, Duan D, et al. Comparative analy-

sis of the complete chloroplast genomes of five *Quercus* species [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7:959.

[35]Niu Z T, Xue Q Y, Zhu S Y, et al. The complete plastome sequences of four orchid species: Insights into the evolution of the Orchidaceae and the utility of plastomic mutational Hotspots [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8:715.

[36]Ni J Z, Lee S Y, Hu X, et al. The complete chloroplast genome of a commercially exploited ornamental plant, *Bougainvillea glabra* (Caryophyllales: Nyctaginaceae) [J]. Mitochondrial DNA Part B Resources, 2019, 4(2):3390-3391.

[37]Wang N, Qiu M Y, Yang Y, et al. Complete chloroplast genome sequence of *Bougainvillea spectabilis* (Nyctaginaceae) [J]. Mitochondrial DNA Part B Resources, 2019, 4(2):4010-4011.

(编辑:马建忠)