

广东莲花山不同海拔梯度下森林土壤养分和化学计量特征*

勾 啸¹ 张 蒙² 李海滨³

(1. 广东省岭南综合勘察设计院, 广东 广州 510663; 2. 广州林芳生态科技有限公司, 广东 广州 510520;

3. 广东惠东莲花山白盆珠省级自然保护区管理处, 广东 惠州 516003)

摘要 为探究广东莲花山土壤有机碳(C)、氮(N)、磷(P)、钾(K)含量垂直分布特征, 阐明土壤C、N、P、K生态化学计量学特征对海拔梯度的响应规律, 在广东莲花山500~1 000 m区域以100 m海拔间隔进行研究。结果表明: (1) 不同海拔下土壤有机碳、全氮、全磷、全钾变化范围分别是38.72~68.17、0.90~1.32、0.011~0.022、5.19~7.08 g·kg⁻¹, 土壤全氮、全磷含量随海拔梯度升高而增加, 土壤有机碳、全钾含量随海拔梯度的变化, 差异不显著。(2) 土壤的C/N和N/P分别介于40.12~50.76、43.06~90.86间。不同海拔梯段下土壤C/N无显著差异; 整体来看, 土壤N/P随海拔梯度的增加呈降低趋势。(3) 500~1 000 m海拔土壤速效氮含量介于0.81~2.01 mg·kg⁻¹, 均值为1.19 mg·kg⁻¹, 其中, 500 m海拔下土壤速效氮含量最高, 1 000 m海拔下, 土壤速效氮含量值达到最小。土壤速效氮含量与土壤速效氮含量的关系呈负相关。土壤速效钾、速效磷含量在500~800 m海拔间变化幅度较小, 至900 m海拔下最大。莲花山土壤养分空间分布具有一定的异质性, 全氮、全磷、速效氮含量、N/P的空间变化强烈。

关键词 海拔梯度; 广东莲花山; 土壤养分; 化学计量特征

中图分类号: S153.6 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 03-0082-05

Soil Nutrients and Stoichiometric Characteristics along Altitude of Lianhua Mountain in Guangdong Province

GOU Xiao¹ ZHANG Meng² LI Haibin³

(1. Lingnan Integrated Exploration and Design Institute of Guangdong, Guangzhou, Guangdong 510663, China; 2. Guangzhou Linfang Ecological Limited Company, Guangzhou 510520, China; 3. Baipenzhu Provincial Nature Reserve, Lianhuashan, Huizhou, Guangdong 516003, China)

Abstract In the current study, we evaluated the status of soil carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), and also the C, N, P ecological stoichiometry along the altitude within the range from 500 m to 1 000 m (100 m altitude span) in Lianhua mountain. The results showed that the concentration of organic C, total N, total P, total K at different altitude varied in the range of 38.72~68.17, 0.90~1.32, 0.011~0.022, 5.19~7.08 g·kg⁻¹, respectively. The content of total N and total P generally increased with increased altitude, while organic C and total K concentration had relatively little variation. Soil C/N ratio and N/P ratio varied between 40.12 and 50.76, 43.06 and 90.86, respectively. There was no significant difference in soil C/N ratio among the different altitude within 500 m to 1 000 m. In general, soil N/P ratio tended to decrease with the increased altitude. Soil available N ranged from 0.81 to 2.01 g·kg⁻¹ along the altitude of 500~1 000 m, with an average of 1.19 g·kg⁻¹. Along the

* 基金项目: 省级自然保护区生态监测项目

第一作者: 勾啸 (1978—), 女, 主要从事森林资源调查, 林业规划等研究, E-mail: 105138167@qq.com。

通信作者: 张蒙 (1988—), 女, 工程师, 主要从事森林资源调查, 林业规划等研究, E-mail: zhangmeng3523@163.com。

altitude, soil available N tended to decline with rising altitude from 500 to 1 000 m. Soil available K and P were in the highest values at the altitude of 900 m, but fluctuates a little within the altitude of 500~800 m.

Key words altitude gradient; Lianhua mountain; soil nutrients; stoichiometry

土壤是森林植被生长发育的重要载体, 提供了植物生活所必需的矿质元素和水分, 是陆地生态系统植物赖以生存、发育的基础^[1]。土壤有机碳、氮、钾、磷是土壤养分不可或缺的构成要素, 亦为生态系统里占据关键地位的生态因子^[2]。海拔涵盖了多种环境因子的梯度效应是影响物种组成、森林群落结构、土壤养分含量的重要要素之一^[3]。已有相关研究表明: 低海拔区的土壤肥力水平明显高海拔区, 森林土壤的有机质、全氮、全磷含量与海拔成正相关, 土壤全钾含量随海拔的增加先升后降。速效氮、速效磷、速效钾等养分随海拔升高呈先升高后降趋势, 在植物多样性及植物覆盖率最高处达到最高水平^[4-5]。

生态化学计量学利用物理、化学等学科的基本原理, 研究生态系统能的能量均衡与碳、氮、磷等多重化学元素的平衡^[6]。土壤的生态化学计量比可以让土壤内部碳、氮、磷循环的主要指标得到反映, 并综合生态系统功能的变异性^[8]。目前, 随着对生态化学计量学关注度的提高, 国内外关于土壤生态化学计量特征的研究也逐渐增多, 主要侧重在森林土壤养分和化学计量特征对地带、森林类型、土壤深度、海拔等变化的响应等方面的研究^[9-13]。

从已有相关研究发现, 森林土壤养分和化学计量特征对海拔梯度的响应规律不尽相同。因此, 开展不同海拔梯度下亚热带常绿阔叶林土壤养分和化学计量特征的研究对丰富土壤性状随海拔梯度响应规律的认知具有重要意义。本文以华南地区广东惠州莲花山森林生态系统为对象, 对 500~1 000 m 不同海拔梯度下森林表层土壤(0~20 cm)的有机碳、氮、磷、钾养分含量, 以及 C/N 和 N/P 进行了测定分析, 探讨了莲花山森林土壤养分和化学计量特征对不同海拔梯度的响应规律, 以期为该地区森林生态系统的保护提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

研究地为惠东莲花山白盆珠省级自然保

护区, 地理坐标是 23° 02' 44" ~23° 11' 10" N、115° 02' 02" ~115° 15' 38" E, 属南亚热带季风气候, 年均气温 22.0℃, 年降水量 1 935.7 mm, 全年无霜, 气候的垂直差异显著。区内莲花山呈东北-西南走向, 主峰高 1 337.3 m。山地受构造支配地势东北高, 坡度较大, 多在 25°以上, 部分坡度 40°~50°。由于海拔高差大, 土壤发育有明显垂直带谱。海拔 400 m 以下为赤红壤, 400~800 m 的山腰为山地红壤, 800~1 000 m 为山地黄壤, 海拔 1 000 m 以上为山地灌丛草甸土^[14]。

1.2 海拔梯度样地概况

于 2016 年 9 月至 12 月, 在莲花山北坡海拔 500~1 000 m 区域, 沿海拔每升高 100 m 设置 1 个面积为 40 m×60 m 的固定监测样地 6 个, 并在每个样地内设置 6 个面积 20 m×20 m 的样方, 各样地概况信息见表 1。

1.3 野外采样方法

在每个样方内, 按 S 型, 设 5 个土壤取样点并将采集的 5 个 0~20 cm 深土样, 混合成为一个复合样, 装于塑料袋, 带回实验室待分析, 每个海拔梯度固定样地共采集 6 个混合样。

1.4 土壤样品测定

将采集的土壤样品置于实验室风干, 剔除植物残体、大砾石过 0.1 mm 筛后, 参照土壤理化分析标准方法^[15], 测定土壤养分含量。其中, 土壤有机碳的测定采用重铬酸钾外加热法; 全氮的测定采用凯氏定氮法; 全磷的测定采用钼锑抗比色法; 全钾的测定采用原子吸收法; 速效氮的测定采用碱解扩散法; 速效磷的测定采用碳酸氢钠浸提及钼锑抗比色法; 速效钾采用醋酸铵浸提和火焰光度法。

1.5 数据分析

本研究中土壤 C、N、P 均为元素质量比。采用单因素分析方法(one-way ANOVA)分析海拔对土壤养分含量、有机碳及化学计量比的影响, 不同海拔梯度间的差异采用最小显著差异法(LSD)进行比较。方差分析采用 SPSS 20.0 软件, 采用 Prism7.0 软件作图。

表 1 样地概况
Tab. 1 The information of the sampling site

样地编号 Plot No.	海拔 /m Altitude	纬度 Latitude	经度 Longitude	优势树种 Dominant species
1	500	23° 03′ 50″ N	115° 12′ 40″ E	红花荷 (<i>Rhodoleia championii</i>)、鹅掌柴 (<i>Schefflera octophylla</i>)、罗浮柿 (<i>Diospyros morrisiana</i>) 和密花山矾 (<i>Symplocos congesta</i>)
2	600	23° 03′ 40″ N	115° 12′ 54″ E	猴欢喜 (<i>Sloanea sinensi</i>)、红花荷 (<i>Rhodoleia championii</i>) 和华润楠 (<i>Machilus chinensis</i>)
3	700	23° 03′ 39″ N	115° 13′ 06″ E	密花山矾 (<i>Symplocos congesta</i>)、红花荷 (<i>Rhodoleia championii</i>)、罗浮柿 (<i>Diospyros morrisiana</i>) 罗浮杜鹃 (<i>Rhododendron henryi</i>)
4	800	23° 00′ 32″ N	115° 13′ 21″ E	鼠刺 (<i>Itea chinensis</i>)
5	900	23° 03′ 29″ N	115° 13′ 28″ E	罗浮柿 (<i>Diospyros morrisiana</i>)、密花山矾 (<i>Symplocos congesta</i>) 和罗浮杜鹃 (<i>Rhododendron henryi</i>)
6	1 000	23° 03′ 05″ N	115° 14′ 05″ E	灌丛草甸

2 结果与分析

2.1 土壤全氮、全磷和全钾含量

对 500~1 000 m 海拔梯度下的土壤分析结果显示,不同海拔土壤全氮含量介于 0.90~1.32 g·kg⁻¹,均值为 1.04 g·kg⁻¹。总体上,土壤全氮含量随海拔的增加呈增加趋势,海拔至 900 m 时土壤全氮含量最高,显著高于 500、600 及 700 m,但随后显著降低(图 1)。土壤全磷含量总体上随海拔的增加呈增加趋势。500~1 000 m 海拔土壤全磷含量介于 0.011~0.022 g·kg⁻¹,均值为 0.017 g·kg⁻¹,其中,海拔为 1 000 m 时土壤全磷含量最高,显著高于 500、600 及 800 m(图 1)。由图 1 可以看出,海拔为 500~800 m 间土壤全钾含量介于 5.19~7.08 g·kg⁻¹,变化幅度较小,当海拔上升至 900 m 时,土壤全钾含量显著提高,均值为 7.08 g·kg⁻¹,而后随海拔升高至 1 000 m 时大幅降低至 5.72 g·kg⁻¹。

2.2 土壤速效氮、速效磷和速效钾含量

500~1 000 m 海拔土壤速效氮含量介于 0.81~2.01 mg·kg⁻¹,均值为 1.19 mg·kg⁻¹,其中,500 m 海拔土壤速效氮含量最高,1 000 m 海拔下最低。总体来看,土壤速效氮含量随海拔上升呈下降趋势(图 1)。土壤速效磷含量在海拔为 900 m 时最高,为 3.51 mg·kg⁻¹,显著高于其他海拔。如图 1 所示,土壤速效钾沿海拔梯度的变化趋势与土壤速效磷较为相似。土壤速效钾含量在 500~800 m 海拔间变化幅度较小,至 900 m 海拔时

显著增加,达 104.95 mg·kg⁻¹。

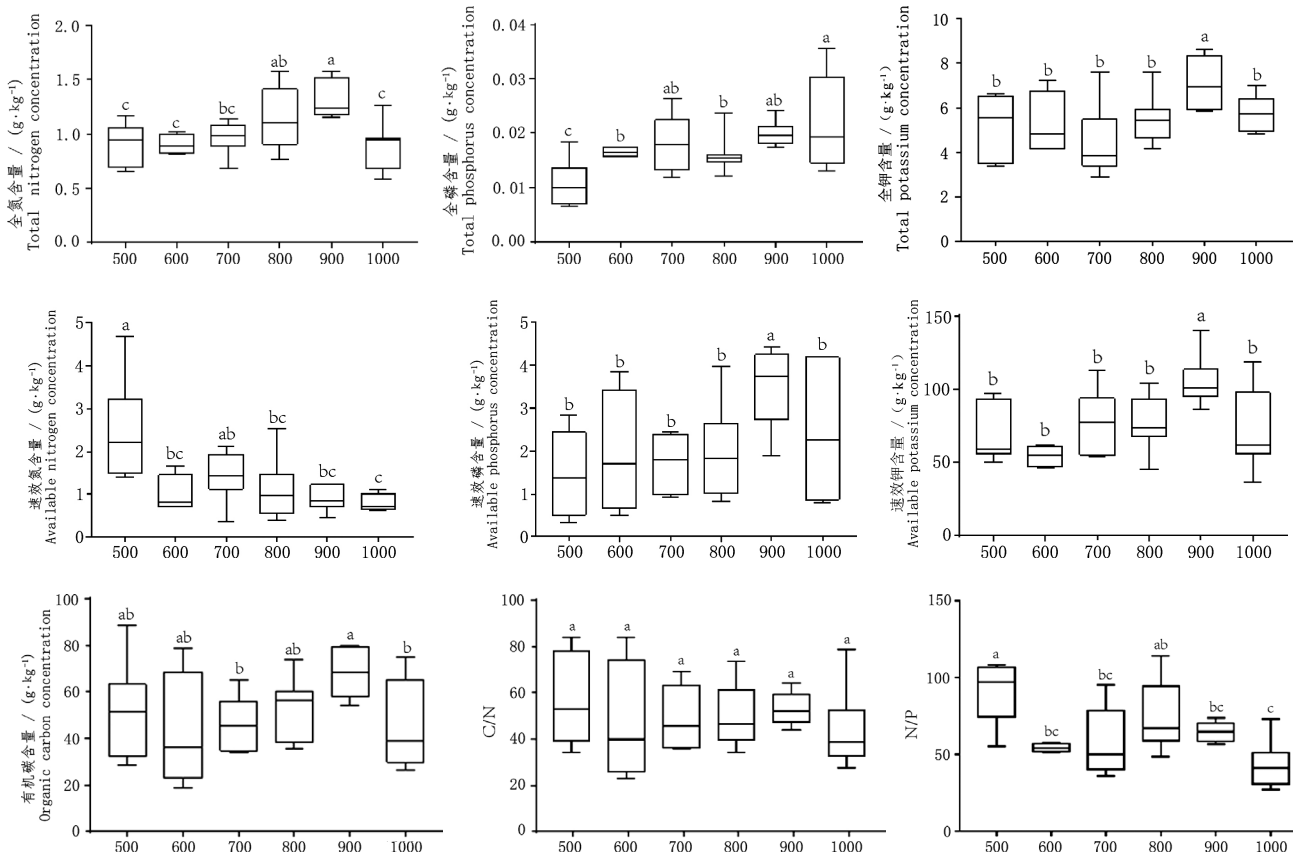
2.3 土壤有机碳含量及 C/N、N/P 计量比

莲花山 500~1 000 m 海拔梯度下土壤有机碳含量变化范围为 38.72~68.17 g·kg⁻¹,其中,900 m 海拔下土壤有机碳含量最高,显著高于 700 和 1 000 m(图 1)。土壤有机碳含量随海拔增加无明显变化规律,500~800 m 海拔间土壤有机碳含量无显著差异。

不同海拔梯度下土壤 C/N 介于 40.12~50.76 间,均值为 45.44,其中,500 m 海拔下土壤 C/N 最高。不同海拔梯段下土壤 C/N 无显著差异(图 1)。不同海拔梯度下土壤 N/P 比介于 43.06~90.86 间,均值为 65.86,其中,500m 海拔下土壤 N/P 最高。整体来看,土壤 N/P 随海拔梯度的增加呈降低趋势,600~900 m 间土壤 N/P 无显著差异(图 1)。

3 结论与讨论

3.1 作为植物生长基质的土壤,其养分特征具有明显的空间异质性^[16]。土壤的养分含量是海拔梯度、地形、气候和生物因子相互作用的结果。本研究中,表层土壤有机碳含量为 38.58 g·kg⁻¹,明显高于我国 0~10 cm 土壤有机碳含量均值。此外,土壤有机碳含量在不同海拔梯度下变异较小,这可能是由于土壤有机碳的累积受气候条件、植被类型等多因素的综合影响,低温及地下细根生物量增加均可促进森林土壤碳库累积^[17]。随着海拔的增加,虽然土壤温度有所降低,促进了森林土壤碳库累积,但植被类型往往也发生变化,致使



注：图中不同小写字母表示处理之间差异性显著($P < 0.05$)

Note: different letters mean significant difference($P < 0.05$)

图1 莲花山不同海拔土壤全氮、全磷等比较

Fig.6 Soil total nitrogen and phosphorus concentration, ect along the altitude on Lianhua Mountain

凋落物生产量与凋落物性质随之产生变化，进而从整体上使得不同海拔梯度下的土壤有机碳含量无显著性差异。

莲花山不同海拔的土壤全氮、全磷含量随海拔梯度升高而增加，是由于随海拔的升高，土壤风化程度降低，气温降低导致土壤微生物活性、动植物分解速度及土壤全氮矿化速率减弱，使土壤中全氮、全磷的含量增加^[18]。张巧明等^[19]研究发现秦岭土壤全氮含量随着海拔的增加而升高，其研究结果与本文一致。

3.2 土壤生态化学计量比值主要受区域气候条件、土壤生物、母质类型、海拔和人类干扰等因素影响^[20]。在本研究中，500~1 000 m海拔梯度下，土壤C/N平均值的变化范围40.12~50.76，均高于我国土壤C/N的平均值10~12^[21]。由于土壤微生物的活动需要碳素提供能量、构建躯体，土壤C/N与土壤有机质分解速度呈负相关^[22]。维持微生物生命活动的最佳C/N为25:1，该比值下最有利于

有机碳的转化，当C/N小于25:1时，有机碳转化相对容易，且能产生充足的氮素，而当其比值大于25:1时，有机碳难以转化，氮素的矿化能力变弱^[23]。在本研究中，C/N均大于25:1，表明不同海拔梯度的土壤腐殖化程度低，氮素矿化力弱；但研究中随海拔梯度的增加土壤C/N变化趋势不明显，各海拔梯度土壤C/N差异也表现得并不显著，这可能是由于取样浅，未达矿物层造成的。

土壤N/P主要受气候、地貌、植被等一系列成土因子和人类活动的影响。本研究中，各海拔梯度N/P平均值的范围为43.06~90.86，变异性较大，表明组成该区土壤磷的基本成分不是腐殖酸和棕黄酸^[24]。研究发现莲花山的N/P的平均值明显高于我国土壤N/P平均值65.86^[25]，说明土壤微生物在矿化土壤有机质过程中释放P素的潜力弱；莲花山的植被垂直分布为常绿阔叶林、半落叶阔叶林、灌丛草甸，植被类型发生较明显变化，而N/P比随着海拔的升高，整体呈下降趋势，

可见,植被类型对土壤 C/N/P 比有较大影响^[26]。

土壤中 N、P、K 的含量反应了土壤肥力,而土壤速效养分是森林可直接利用的养分,其含量受海拔梯度及人为施肥等经营措施的影响^[27]。莲花山森林土壤速效氮含量随海拔上升呈下降趋势。土壤速效钾、速效磷含量在 500~800 m 海拔间变化幅度较小,至 900 m 海拔下最大,这可能是因为本研究只对表层土壤进行了分析,表层土壤中有效磷元素可能主要来自于凋落物中有机磷的矿化^[28]。

本文仅对不同海拔梯度表层土壤养分变化和化学计量特征进行了初步研究,对于全面评价莲花山森林生态系统土壤养分状况,后续还需结合深层土壤理化性状以及土壤微生物特征开展进一步研究。

参考文献

- [1] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,等.土壤质量与土壤质量指标及其评价[J].生态学报,2006,26(3): 901-913.
- [2] ZHANG L X, BAI Y F, HAN X G. Application of N: P stoichiometry to ecology studies[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(9): 1009-1018.
- [3] GARTEN C, POST W, HANSON P J, et al. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains[J]. *Biogeochemistry*, 1999, 45(2): 115-145.
- [4] 任启文,王鑫,李联低,等.小五台山不同海拔土壤理化性质垂直变化规律[J].水土保持学报,2019,33(1): 241-247.
- [5] 高雅芳,王雷,杜海波,等.长白山苔原带土壤温度与肥力随海拔的变化特征[J].冰川冻土,2018,40(4): 702-714.
- [6] 曾德慧,陈广生.生态化学计量学:复杂生命系统奥秘的探索[J].植物生态学报,2005,29(6): 141-153.
- [7] 王绍强,于贵瑞.生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J].生态学报,2008,28(8): 3937-3947.
- [8] 张亚冰,吕文强,易武英,等.贵州月亮山5种森林类型土壤生态化学计量特征研究[J].热带亚热带植物学报,2016,24(6): 617-625.
- [9] 王建林,钟志明,王忠红,等.青藏高原高寒草原生态系统土壤碳氮比的分布特征[J].生态学报,2014,34(22): 6678-6691.
- [10] 胡宗达,刘世荣,史作民,等.不同海拔梯度川滇高山栎林土壤颗粒组成及养分含量[J].林业科学,2012,48(3): 1-6.
- [11] 德科加,张德罡,王伟,等.不同海拔下高寒草甸土壤养分分异趋势及其与地上植物量间的相性研究[J].草地学报,2013,21(1): 25-29.
- [12] 李海滨,吴林芳,黄萧洒,等.莲花山白盆珠自然保护区3种森林土壤养分含量比较[J].林业与环境科学,2017,33(6): 61-64.
- [13] 孔华清.粤西桉树人工林土壤养分含量变异分析[J].林业与环境科学,2018,34(2): 85-89.
- [14] 骆士寿,陈德祥,李仕春,等.广东莲花山白盆珠自然保护区资源及其评价[J].广东林业科技,2003,19(4): 7-12.
- [15] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [16] CAMPBELL B D, GRIME J P. A comparative study of plant responsiveness to the duration of episodes of mineral nutrient enrichment[J]. *New Phytologist*, 1989, 112(2): 261-267.
- [17] 向慧敏,温达志,张玲玲,等.鼎湖山森林土壤活性碳及惰性碳沿海拔梯度的变化[J].生态学报,2015,35(18): 6089-6099.
- [18] 潘红丽,李迈和,蔡小虎,等.海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J].生态环境学报,2009,18(2): 722-730.
- [19] 张巧明,王得祥,龚明贵,等.秦岭火地塘林区不同海拔森林土壤理化性质[J].水土保持学报,2011,25(5): 69-73.
- [20] 敖伊敏.不同围封年限下典型草原土壤生态化学计量特征研究[D].呼和浩特:内蒙古师范学院,2012.
- [21] 朱秋莲,邢肖毅,张宏,等.黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J].生态学报,2013,33(15): 4674-4682.
- [22] 隋跃宇,焦晓光,高崇生,等.土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究[J].土壤通报,2009,40(5): 1036-1039.
- [23] TESSIER J T, RAYNAL D J, et al. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 40(3): 523-534.
- [24] 李天平.湖北丘陵区混交阔叶林不同树种土壤 C、N、P 生态化学计量学特征研究[D].长沙:中南林业科技大学,2015.
- [25] 任璐璐,张炳学,韩凤朋,等.黄土高原不同年限刺槐土壤化学计量特征分析[J].水土保持学报,2017,31(2): 339-344.
- [26] 杜凌燕.长白山区不同森林类型下土壤养分空间变异性的初步研究[D].长春:东北师范大学,2009.
- [27] SMITH M W, CHEARY B S, CARROLL B L. Response of pecan to nitrogen rate and application time[J]. *Hort Sci*, 2004, 39(6): 1412-1415.
- [28] 喻林华,方晰,项文化,等.亚热带4种林分类型枯落物层和土壤层的碳氮化学计量特征[J].林业科学,2016,52(10): 11-21.