

大岭山森林公园不同海拔土壤碳氮磷化学计量特征研究^{*}古严才¹ 杨进良²

(1. 东莞市大岭山森林公园, 广东 东莞 523820; 2. 东莞市银瓶山森林公园, 广东 东莞 523603)

摘要 森林土壤碳氮磷化学计量特征是土壤养分的供应能力、评估土壤质量以及预测生态系统响应的重要指标。研究以大岭山森林公园为研究对象, 在 5 个海拔梯度设置 26 个调查样点进行不同海拔土壤碳氮磷化学计量特征分析, 结果表明: 土壤有机碳及氮含量均随海拔上升逐渐增加, 土壤磷含量则为先增大后减小的变化趋势; 土壤氮磷比、碳磷比均为随海拔上升呈增大趋势; 碳氮比整体差异不大, 反映为全区域碳限制; 海拔与土壤氮含量、有机碳含量、土壤碳氮比呈显著的相关关系, 显示碳、氮同为影响森林公园森林生态系统的关键因子。

关键词 大岭山森林公园; 海拔梯度; 化学计量特征

中图分类号: S714 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2023) 06-0119-05

Chemical Stoichiometric Characteristics of Soil Carbon, Nitrogen,
and Phosphorus at Different Altitudes in Dalingshan Forest ParkGU Yancai¹ YANG Jinliang²

(1. Dongguan Dalingshan Forest Park, Dongguan, Guangdong 523820, China;

2. Dongguan Yinpingshan Forest Park, Dongguan, Guangdong 523603, China)

Abstract The stoichiometric characteristics of carbon, nitrogen, and phosphorus in forest soil are important indicators for assessing soil nutrient supply capacity, evaluating soil quality, and predicting ecosystem responses. This study took Dalingshan Forest Park as the research object, and set up 26 survey sites in five altitude gradients within the park to study the stoichiometric characteristics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus at different altitudes. The results showed that: at different altitude gradients, both soil organic carbon and nitrogen content gradually increased with increasing altitude, while soil phosphorus content first increased and then decreased; soil nitrogen to phosphorus ratio and carbon to phosphorus ratio increased with the increase of altitude, while carbon to nitrogen ratio was relatively stable, indicating that the whole area was limited by carbon. Altitude had a significant correlation with soil nitrogen content, organic carbon content, and soil carbon to nitrogen ratio, indicating that carbon and nitrogen are both key factors affecting the forest ecosystem in Dalingshan Forest Park.

Key words Dalingshan Forest Park; altitude gradient; stoichiometric characteristics

第一作者: 古严才 (1987—), 男, 工程师, 主要从事生态学、动植物保护与利用、自然保护地管理、自然教育等研究, E-mail: 158936877@qq.com。

通信作者: 杨进良 (1981—), 男, 工程师, 主要从事生态学、动植物保护与利用、自然保护地管理、自然教育等研究, E-mail: 4086444@qq.com。

土壤是地球表面生态系统的重要组成部分，其碳氮磷含量及其生态化学计量比是描述土壤的基础特征，其中元素化学计量比更是反映元素含量及其比例关系的指标，对于了解土壤养分的供应能力、评估土壤质量以及预测生态系统响应具有重要意义^[1-3]。目前，不同海拔森林土壤生态化学计量特征的研究逐渐受到关注，大量研究表明，海拔是影响森林土壤元素含量及化学计量特征分布的关键因素，同时这些影响作用还与植被种类、群落结构等密切相关^[4-6]，这为深入研究森林生态系统的养分循环和生态功能提供了新的思路和方法。

大岭山森林公园位于广东省东莞市，是珠三角地区重要森林公园之一，其动植物资源极为丰富，海拔落差较大，亟需了解其内部森林土壤环境及其与植被种类、群落结构的相互关系。以大岭山森林公园为研究对象，对不同海拔森林土壤生态化学计量特征开展研究，有助于深入了解森林生态系统的养分循环和生态功能，为森林公园管理和保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东莞市大岭山森林公园位于广东省东莞市西南部，珠江口的东北部，北至厚大路，东以大岭山山体为界线，东南以莲花山东南山腰为界，西南至大岭山林场场部，西北至厚街大迳村，地理

位置为 113.67 ~ 113.82° E，22.84 ~ 22.92° N 之间，海拔范围约为 20 ~ 530 m 之间，属于南亚热带季风气候，全年暖热，平均气温 21.7 ℃，七月份平均气温 28 ℃，极端最高气温 37.9 ℃，极端最低气温 0.4 ℃。土壤为赤红壤，成土母岩为花岗岩，土层深厚，有机质丰富。

1.2 调查方法

2021 年，将森林公园分为 100 m 以下、100 ~ 200 m、200 ~ 300 m、300 ~ 400 m、400 以上 5 个海拔梯度，以下分别标记为海拔 A、海拔 B、海拔 C、海拔 D、海拔 E。在每个海拔梯度区域，代表性地带设置 3 ~ 7 个样点，共计 26 个样点。每个样点记录采样点位置信息及林分类型、植被多度、物种丰富度，调查方法参照《生物多样性观测技术导则 陆生维管植物（HJ710.1-2014）》^[7]。土壤样品采用五点混合法取样，除去地表凋落物层后，使用土钻法采集 0 ~ 60 cm 深度土壤样品，样品混匀后装于自封袋，转运至实验室。土壤有机碳、全氮含量、全磷含量分别采用重铬酸钾加热法、凯氏定氮法和钼锑抗比色法测定^[8]。

1.3 统计分析

采用 Microsoft excel 2016 对土壤碳氮磷及其化学计量比进行描述性统计，以各样点海拔、林分类型、植被多度、物种丰富度为环境变量，土壤碳氮磷含量及其化学计量比为响应变量，利用 R4.4.3 中“vegan”进行冗余分析，并生成冗余分析图。

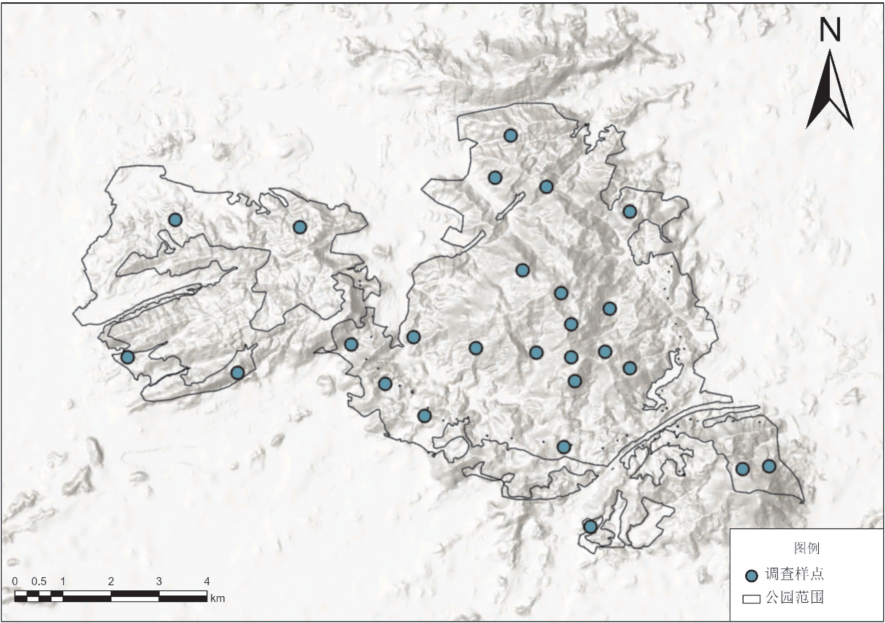


图 1 样点布设示意
Fig. 1 Sample layout

表 1 样点信息
Table 1 Sample information

编号 No.	林分类型 Stand type	坡向 Slope direction	坡度 Gradient	海拔/m Altitude	海拔梯度 Altitude gradient
1	针叶林	西南	35°	401	E
2	针叶林	南	20°	146	B
3	针叶林	北	25°	41	A
4	常绿阔叶林	东北	30°	359	D
5	常绿阔叶林	南	20°	307	D
6	常绿阔叶林	西南	20°	63	A
7	常绿阔叶林	东南	20°	245	C
8	常绿阔叶林	东南	10°	67	A
9	针阔混交林	东北	25°	429	E
10	常绿阔叶林	北	30°	315	D
11	针阔混交林	东	25°	442	E
12	常绿阔叶林	东	30°	266	C
13	常绿阔叶林	西	10°	251	C
14	常绿阔叶林	东北	15°	136	B
15	常绿阔叶林	东南	25°	325	D
16	常绿阔叶林	东北	25°	297	C
17	常绿阔叶林	南	25°	141	B
18	常绿阔叶林	东南	20°	253	C
19	常绿阔叶林	北	30°	329	D
20	常绿阔叶林	东南	30°	388	D
21	常绿阔叶林	西北	30°	105	B
22	常绿阔叶林	西北	20°	160	B
23	常绿阔叶林	西北	30°	37	A
24	常绿阔叶林	东北	30°	63	A
25	常绿阔叶林	西	25°	306	D
26	灌木林	西	30°	403	E

2 结果与分析

2.1 不同海拔土壤碳氮磷含量

不同海拔梯度土壤碳氮磷含量变化趋势可见图 2，可见随着海拔上升，土壤氮含量呈增加趋势，其中海拔 A 土壤 N 含量显著低于海拔 C、海拔 D、海拔 E ($p \leq 0.05$)；土壤 P 含量不同海拔梯度之间也存在显著差异，其中海拔 C 土壤 P 含量显著高于海拔 E；土壤有机 C 含量不同海拔之间如氮含量，基本随海拔上升呈增加趋势，其中海拔 A 显著低于海拔 B、C、D、E。

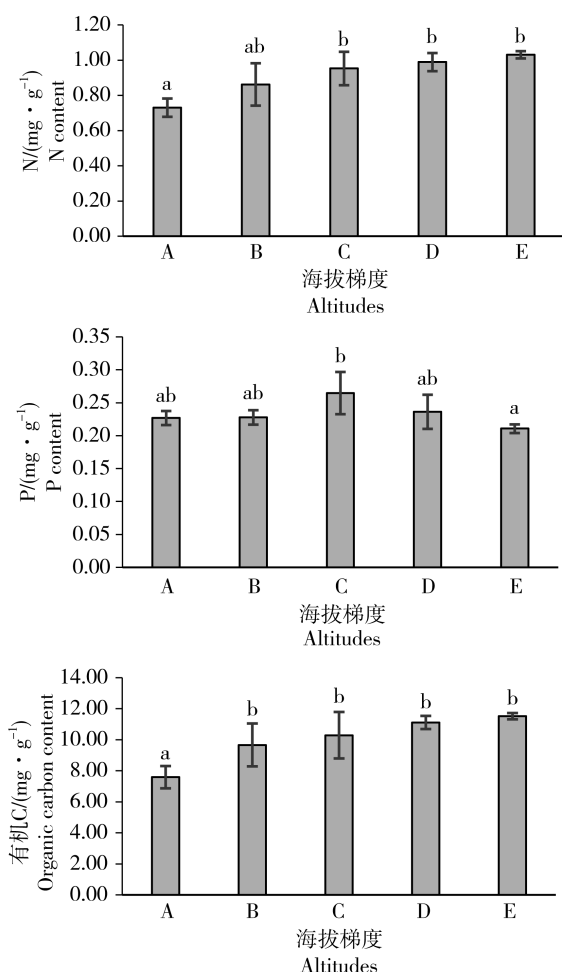
2.2 不同海拔梯度土壤碳氮磷化学计量比

不同海拔梯度土壤碳氮磷含量变化趋势可见

图 3，可见随着海拔上升，土壤 N : P 基本呈上升趋势，其中海拔 A、C 土壤 N : P 显著低于海拔 D、E ($p \leq 0.05$)；土壤 C : P 不同海拔梯度之间也存在显著差异，其中海拔 A 显著低于海拔 C、D、E，海拔 E 显著高于海拔 A、B、C；土壤 C : N 在不同海拔梯度之间则差异不显著 ($p > 0.05$)。

2.3 环境因子对突然氮磷钾含量及化学计量比的影响

由图 4 可知，前两排序轴能够解释全部响应变量变化的 63.6%，其中第一排序轴能够解释 48.3% 的变化量，第二排序轴能够解释 15.3% 的变化量。从不同变量来看，海拔与土壤 N 含量、有机 C 含量、土壤 C : N 呈显著的相关关系。



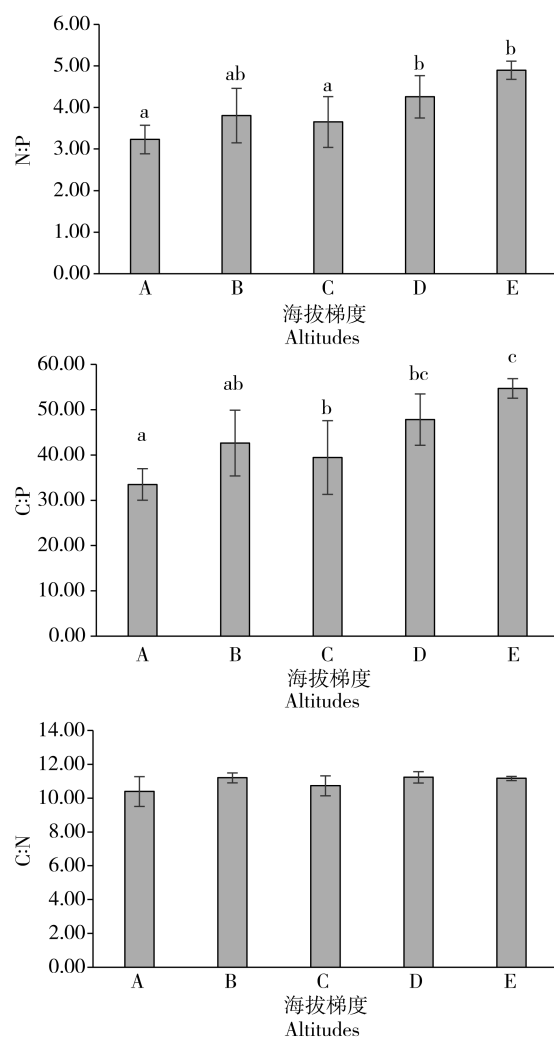
注：不同小写字母代表不同海拔梯度之间该属性存在显著差异 ($p \leq 0.05$)。

Note: Different lowercase letters represent significant differences ($p \leq 0.05$) in the attribute between different elevation gradients.

图2 大岭山森林公园不同海拔土壤碳氮磷含量特征
Fig. 2 Characteristics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus content at different altitudes in Dalingshan Forest Park

3 讨论与结论

土壤碳、氮、磷能够直接影响森林生态系统的生产力和稳定性，土壤中的碳主要以有机质的形式存在，氮和磷则是植物生长所必需的主要营养元素，其分布特征受气候、植被、人为活动等综合要素影响^[9-10]。通常情况下，在低海拔地区，林中水热条件相对较好，土壤生物活动旺盛，消耗了大量土壤有机质和养分，导致土壤有机碳和养分减少^[11]。随着海拔的上升，温度下降，土壤生物活动减少，土壤有机碳和和养分逐渐积累^[12]。而关于土壤磷含量，主要受到淋溶作用的影响，



注：不同小写字母代表不同海拔梯度之间该属性存在显著差异 ($p \leq 0.05$)。

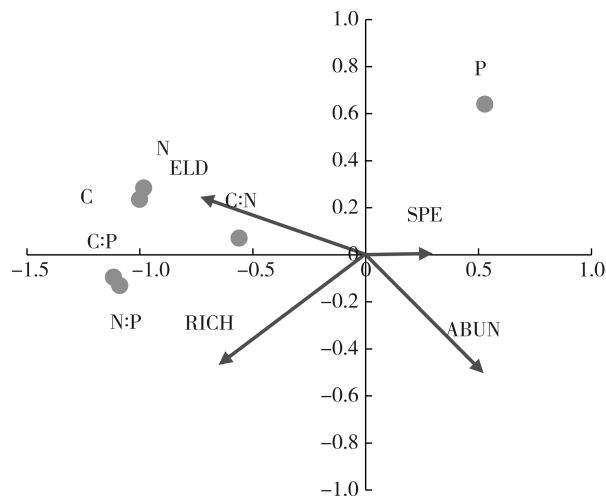
Note: Different lowercase letters represent significant differences ($p \leq 0.05$) in the attribute between different elevation gradients.

图3 大岭山森林公园不同海拔梯度土壤碳氮磷化学计量比特征

Fig. 3 Characteristics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry at different altitude gradients in Dalingshan Forest Park

当海拔继续上升，雨水淋溶作用增大，造成了一定程度的土壤磷流失^[13]。同样在本研究中，土壤有机碳及氮含量，均随海拔上升两者含量逐渐增加，土壤磷含量则为先增大后减小的变化趋势。

森林土壤碳氮磷化学计量比也是影响森林环境、植被生长和全球碳循环的重要因素，一般来说，除气候、人为干扰等要素通过影响土壤有机碳及养分含量而影响碳氮磷化学计量比外，植被条件也是影响土壤氮磷化学计量比的重要因素^[14]。大量研究表明，土壤 C:N 为 25 时，为土壤有机



注：图中 C 代表土壤有机 C 含量，N 代表土壤 N 含量，P 代表土壤 P 含量，C : N 代表土壤 C : N，C : P 代表土壤 C : P，N : P 代表土壤 N : P，ELD 代表样点海拔，SPE 代表林分类型，RICH 代表植被多度，ABUN 代表物种丰富度。

Note: C in the figure represents soil organic C content, N represents soil N content, P represents soil P content, C : N represents soil C : N, C : P represents soil C : P, N : P represents soil N : P, ELD represents the elevation of the sample point, SPE represents the type of forest stand, RICH represents vegetation abundance, and ABUN represents species richness.

图 4 大岭山森林公园土壤碳氮磷含量及其化学计量比与环境因子之间的冗余分析

Fig. 4 Redundancy analysis between soil carbon, nitrogen, and phosphorus content and their stoichiometry and environmental factors in Dalingshan Forest Park

质分解的最适比例，而本研究中，不同海拔梯度土壤 C : N 远低于 25，应视为碳限制，可以看出，在森林公园环境中，森林旅游、公园管理、景观美化等人为活动一定程度影响了植被的碳回归，导致公园内为碳限制作用^[15]。另外，土壤 C : P、N : P 均为随海拔上升呈增大趋势，也反映了森林公园里随着海拔梯度增加，林中针叶树种等较难分解，凋落物量增大，导致了土壤酸化，减少了磷的固定，导致两者出现如是变化趋势^[16]。

不同海拔梯度之间土壤碳氮磷含量及其化学计量比与海拔、林分类型、植被状况有着直接的关系，特别是海拔影响尤甚^[17]。本研究中，海拔与土壤 N 含量、有机 C 含量、土壤 C : N 呈显著的相关关系，体现了由于海拔导致的综合影响，林中植被每年归还至土壤的凋落物量各不相同，在研究区内 C、N 同样为影响森林生态系统的关键因子。

参考文献

- [1] 李敏,孙杰,陈雪,等. 荒漠植物叶片-土壤化学计量及植物内稳态特征[J/OL]. 干旱区研究[2023-12-22] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1095.X.20231215.1653.005.html>.
- [2] 马心雨,田雪,过怡婷,等. 中国西南地区植被恢复对土壤化学计量特征的影响:基于 Meta 分析[J]. 应用与环境生物学报,2023,29(5):1058-1067.
- [3] 马鑫钰,贡璐,朱海强,等. 不同碳输入对天山雪岭云杉林土壤化学计量特征的影响[J]. 环境科学,2023,44(5):2715-2723.
- [4] 龚益广,徐明锋,谢正生,等. 杉木混交林的土壤生态化学计量及其林分结构影响因子研究[J]. 林业与环境科学,2022,38(1):18-27.
- [5] 谭琳,刘梦芸,甘先华,等. 深圳市级自然保护区土壤化学计量特征与植物多样性的相关性[J]. 林业与环境科学,2020,36(6):20-25.
- [6] 高郅,权红,卢杰,等. 藏东南高山松林表层土壤养分含量及其化学计量比特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(4):62-70,80.
- [7] 国家标准化管理委员会. 生物多样性观测技术导则 陆生维管植物:HJ710.1-2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [8] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [9] 刘颖,宫渊波,李瑶,等. 川西高寒灌丛草地不同海拔梯度土壤化学计量特征[J]. 四川农业大学学报,2018,36(2):167-174.
- [10] 冯德枫,包维楷. 土壤碳氮磷化学计量比时空格局及影响因素研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2017,23(2):400-408.
- [11] 张健,郭倩,孙一铭,等. 武夷山不同海拔毛竹林土壤碳氮磷的生态化学计量特征[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2022,51(3):367-373.
- [12] 万红云,陈林,庞丹波,等. 贺兰山不同海拔土壤酶活性及其化学计量特征[J]. 应用生态学报,2021,32(9):3045-3052.
- [13] 张广帅,邓浩俊,杜锟等. 泥石流频发区山地不同海拔土壤化学计量特征:以云南省小江流域为例[J]. 生态学报,2016,36(3):675-687.
- [14] 刘璐,葛结林,舒化伟,等. 神农架常绿落叶阔叶混交林碳氮磷化学计量比[J]. 植物生态学报,2019,43(6):482-489.
- [15] 陈婕妮,石思雨,钟羨芳,等. 武夷山不同海拔土壤微生物生物量碳、氮、磷含量及其生态化学计量特征[J/OL]. 生态学杂志[2023-12-22] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20230626.1750.010.html>.
- [16] 黄伟佳,刘春,刘岳,等. 南岭山地不同海拔土壤生态化学计量特征及影响因素[J]. 生态环境学报,2023,32(1):80-89.
- [17] 高海宁,李彩霞,孙小妹,等. 祁连山北麓不同海拔土壤化学计量特征[J]. 中国沙漠,2021,41(1):219-227.