

Variation Pattern of Physicochemical Properties along Altitudes of Luoshan Mountain in Ningxia

Zhiqi Liang¹, Xiaoning Wei², Weichun Qin², Yanbin Xie¹, Bo Yuan¹, Jia Tian^{1*}

¹Agriculture School, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

²Administrative Bureau of Luoshan National Nature Reserve, Forestry Administration of Ningxia, Wuzhong Ningxia

Email: liangzhiqi1@163.com, yuhudie63@163.com

Received: Jan. 9th, 2018; accepted: Jan. 22nd, 2018; published: Jan. 29th, 2018

Abstract

In order to study the spatial heterogeneity and the distribution patterns of soil, and the reasonable protection and utilization of the forest resources in Luoshan mountain, Ningxia, 6 plots were set up from the altitudes 1616~2610 m. The soil physicochemical properties of Luoshan mountain in the different altitudes were researched for exploring the relationship between the altitudes and the soil physicochemical properties with the application of statistical software. The content of pH, soil organic matter, available nitrogen, total nitrogen, available phosphorus, total phosphorus, available potassium and total potassium was determined by the laboratory tests. The results showed that there was the significant correlation between the altitudes and the soil physicochemical properties, including the pH, soil organic matter, available nitrogen, total nitrogen and total phosphorus ($P < 0.01$). With the altitudes increasing, the pH decreased and showed the quadratic polynomial fitting relationship with the altitudes. The content of soil organic matter, available nitrogen, total nitrogen and total phosphorus increased with the increase of altitudes, however, the soil organic matter, available nitrogen, total nitrogen showed the exponential fitting relationship with the altitudes, but the total phosphorus showed the quadratic polynomial fitting relationship with the altitudes. Based on the result, the content of available phosphorus, available potassium and total potassium didn't have the obvious correlation with the altitudes ($P > 0.05$). The pH performance of the topsoil in Luoshan ranged from 7.81~8.86 and the topsoil's type was alkaline. The soil physicochemical properties in the different altitudes were obviously different ($P < 0.05$). Pearson's correlation analysis showed that there was a strong correlation between the soil physicochemical properties. The factors which significantly affected the soil physicochemical properties were the soil pH and the organic matter. There were the differences in the topsoil's physicochemical properties at the different altitudes in Luoshan mountain. The soil physicochemical properties were not isolated, but there was a certain correlation. In the cycle of nitrogen, phosphorus and potassium which were in the topsoil of Luoshan mountain, the soil pH and the soil organic matter as the primary limiting factors affected the structure and distribution of the vegetation communities in Luoshan mountain. This conclusion is a significant guidance, based on the scientific research, for the operation and management of Luoshan National Nature Reserve.

*通讯作者。

Keywords

Soil Physicochemical Properties, Soil Nutrients, Altitudes, Luoshan Mountain of Ningxia

宁夏罗山表层土壤理化性质随海拔高度的变化特征

梁志奇¹, 魏晓宁², 秦伟春², 谢彦斌¹, 袁 博¹, 田 佳^{1*}

¹宁夏大学农学院, 宁夏 银川

²宁夏罗山国家级自然保护区管理局, 宁夏 吴忠

Email: liangzhiqi1@163.com, yuhudie63@163.com

收稿日期: 2018年1月9日; 录用日期: 2018年1月22日; 发布日期: 2018年1月29日

摘 要

为了探明宁夏罗山国家级自然保护区内土壤理化性质的空间分异状况及合理保护利用保护区的森林资源,对罗山保护区1616~2610 m海拔高度设置6个样地,室内测定土壤pH值、有机质、有效氮、有效磷、有效钾、全氮、全磷、全钾含量。应用统计学软件DPS 7.05,对表层土壤理化性质与海拔高度进行相关分析。结果表明:1) 罗山表层土壤中的pH值、有机质、有效氮、全氮、全磷与海拔高度呈极显著相关($P < 0.01$),其中pH值随海拔高度的升高降低,并呈2次多项式拟合关系;有机质、有效氮、全氮、全磷含量随海拔高度的升高而增加,其中有机质、有效氮、全氮与海拔高度呈指数函数变化,全磷与海拔高度呈2次多项式拟合关系。有效磷、有效钾和全钾与海拔高度无相关关系($P > 0.05$);2) 罗山表层土壤呈碱性,pH值在7.81~8.86之间,不同海拔高度的土壤理化性质差异明显($P < 0.05$);3) 土壤理化性质之间存在较强的相关性,影响土壤氮、磷、钾元素含量的因子中,土壤pH值和土壤有机质是主要限制因子。罗山保护区不同海拔高度森林土壤理化性质状况存在差异,土壤各理化性质之间不是孤立存在的,而是存在一定的相关性。在罗山表层土壤氮、磷、钾的循环中,土壤pH和土壤有机质作为首要限制因子影响罗山植被群落结构及分布,这一结论对罗山保护区的经营和管理具有重要的科学指导意义。

关键词

土壤理化性质, 土壤养分, 海拔高度, 宁夏罗山

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土壤是植物赖以生存的基础,贮存着大量的有机质、氮、磷、钾、钙、镁、硫等营养物质。土壤理化性质作为控制森林植物生长发育的关键生态因子,是决定土壤肥力和土壤质量的重要指标[1]。土壤作

为生态系统中生物与环境相互作用的产物,理化性质主要受土壤母质、地形、气候和生物等因素的综合影响,然而气候的变化主要受地理位置和地形的影响[2] [3]。在不同空间尺度上研究土壤理化性质的异质性,有助于了解土壤的形成过程、结构和功能,同时也有助于了解土壤与植物的关系[4]。

宁夏罗山国家级自然保护区是宁夏三大天然林区和三大水源涵养林区之一,被誉为宁夏的“早海明珠”和“荒漠翡翠”,其土壤垂直分布特征在宁夏中部干旱带具有一定的代表性。分析罗山森林土壤理化性质的空间分异特征,对研究中国典型草原与荒漠生态过渡带山地土壤空间分异机理及指导罗山保护区针对不同海拔高度林地土壤的特点,调整林分模式,改善林地土壤性质,维护保护区的可持续发展等均有重要的意义。以往对罗山的研究主要集中在对动、植物种类和分布的调查,而对罗山土壤的研究较少[5] [6] [7] [8],关于罗山海拔高度对土壤理化性质的影响方面还未见报道。党坤良等[9]曾对秦岭南坡不同土壤类型的理化性质与海拔高度的关系进行过研究,并得出随着海拔的升高,土壤 pH 值降低,有机质和速效 P、K 含量增大的结论;张巧明等[10]对秦岭火地塘林区的研究表明,土壤 pH 值、有机质、全氮和有效磷含量与海拔高度之间有显著的相关关系;王建林等[11]研究认为海拔是重要的山地地形因子之一,由于海拔的不同,气候特征、林分类型、土壤类型改变,导致贡嘎南山土壤理化性质产生差异,但是目前还没有学者对宁夏罗山地区的土壤理化性质与空间分异状况进行研究。

为了探索罗山地区土壤理化性质与海拔之间的关系,特别是土壤 pH 值、有机质、氮、磷、钾等含量随着海拔高度的变化规律,作者在较大海拔范围内(1616~2610 m)多样点条件下采样,利用 2015 年采集样品的实测数据,研究和分析罗山地区不同海拔高度条件下土壤理化性质特征,进而探究海拔高度与土壤理化性质之间的相关性以及各理化性质间的相关性,从而为研究典型草原与荒漠生态过渡带山地土壤空间分异机理提供参考依据;还可解释海拔高度影响森林生态结构和功能提供理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域概况

罗山国家级自然保护区位于宁夏回族自治区同心县(106°04'~106°24'N, 37°04'~37°25'E),属典型温带大陆性气候,年均温 8.8℃,年均降水量 261.8 mm,7~9 月降水量约占全年降水量的 60%,年平均蒸发量为 2467.3 mm,是降水量的 9.4 倍,≥10℃活动积温 3100℃ [12]。罗山地貌单元处于鄂尔多斯高原西部与黄土高原北部的衔接地带,以山地地貌特征为主,主峰“好汉疙瘩”海拔高 2624.5 m。罗山地带性土壤为灰钙土[5],此外,根据本研究现场调查还分布有灰褐土、风沙土、黑垆土、黄绵土、红粘土等 10 个亚类。保护区内有植物资源 65 科 204 属 366 种,从山麓到山顶依次为:山麓荒漠草原层→浅山灌木层→油松、山杨林层→青海云杉林层,其中青海云杉(*Picea crassifolia*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)为大罗山地区森林植被的建群种,油松分布面积最广,其次为青海云杉,罗山森林覆盖率为 9.6%,总蓄积量 $2.03 \times 10^5 \text{ m}^3$ [13]。

2.2. 土壤样品采集

土壤样品采集时间为 2015 年 5 月份,在罗山国家自然保护区沿海拔 1616~2610 m,设置样地 6 个,在每个样地按照“S”形布点法确定采样点,每个采样点按 0~20、20~40 cm,共 2 个土层进行采样(表层土壤),每个土样 250 g,按照样地编号将土样混合,取 500 g 装入土壤袋,带回实验室后风干、除杂、研磨过筛后,贮于密封容器内供分析用[14]。样地基本特征见表 1。

2.3. 土壤指标的测定方法

土壤理化分析在宁夏大学农学院实验室进行。有效氮测定采用氯化钾浸提分光光度计法[14];土壤

Table 1. Plot characteristics in different altitudes**表 1.** 样地基本特征

| 样地编号 | 采样地点 | 海拔高度/m | 纬度/N | 经度/E | 坡度/° | 坡向/° |
|--------|-------|--------|--------------|---------------|------|--------|
| DLS-01 | 三角架 | 2610 | 37°18'11.80" | 106°16'54.38" | 30 | 250°东南 |
| DLS-02 | 马长沟沟头 | 2552 | 37°18'2.20" | 106°16'55.49" | 50 | 135°西南 |
| DLS-03 | 芦花台 | 2443 | 37°16'59.78" | 106°16'55.93" | 20 | 西 |
| DLS-04 | 上乱柴沟 | 2279 | 37°16'8.70" | 106°17'5.97" | 15 | 80°西北 |
| DLS-05 | 毛牛洼 | 1704 | 37°15'5.10" | 106°14'54" | 5 | 南 |
| DLS-06 | 寨科子沟 | 1616 | 37°16'18.94" | 106°13'21.26" | 5 | 135°西南 |

pH 测定采用电位法测定[15]; 土壤有机质含量测定采用重铬酸钾氧化法[16]; 有效磷测定采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法[15]; 有效钾测定采用醋酸铵浸提火焰光度计法[15]; 全氮测定采用半微量凯氏法[17]; 全磷测定采用酸溶钼锑抗比色法[15]; 全钾测定采用酸溶火焰光度计法[15]。土壤各项理化指标的测定做 3 次重复试验。

2.4. 数据分析

数据的初步整理和分析采用 Excel 2003, 高级统计分析采用 DPS 7.05, 对土壤 pH 值、有机质、有效氮、有效磷、有效钾、全氮、全磷、全钾与海拔之间的关系进行回归分析和相关性分析(Pearson 相关分析), 图形采用 Origin Pro 8.0 软件制作。

3. 结果与分析

3.1. 海拔高度对罗山表层土壤 pH 值的影响

从图 1 可以看出, 在 1500~2700 m 海拔梯度范围内, 罗山表层土壤 pH 值随海拔高度的升高而降低。回归分析表明表层土壤 pH 值与海拔高度呈 2 次多项式拟合关系, 回归方程为: $y = -7 \times 10^{-7}x^2 + 0.00187x + 7.4348$ ($R^2 = 0.9388$, $P = 0.00169 < 0.01$), 表明海拔高度的变化对土壤 pH 值解释程度强。

3.2. 海拔高度对罗山表层土壤有机质含量的影响

图 2 表明罗山表层土壤有机质含量随着海拔的升高而显著增加, 经回归分析土壤有机质含量随海拔升高呈指数函数增加, 回归方程为: $y = 0.00639e^{0.00376x}$ ($R^2 = 0.92163$, $P = 0.00844 < 0.01$), 表明海拔高度对土壤有机质含量的解释程度强。

3.3. 海拔高度对罗山土壤有效氮的影响

图 3 是罗山表层土壤有效氮随海拔高度的变化关系, 从图 3 中可以看出表层土壤有效氮含量随海拔升高而升高, 并呈指数函数变化。回归方程为: $y = 0.00739e^{0.0038x}$ ($R^2 = 0.9008$, $P = 0.00231 < 0.01$), 表明海拔高度对土壤有效氮含量的解释程度强。

3.4. 海拔高度对罗山土壤有效磷的影响

从图 4 可知, 罗山表层土壤有效磷含量随海拔上升有增加趋势, 但经回归分析, 发现两者并不相关, 拟合度最高的指数函数拟合方程为: $y = 1.9752e^{0.0007x}$ ($R^2 = 0.28605$, $P = 0.39639 > 0.05$), 表明海拔高度对土壤有效磷含量的解释程度较弱。

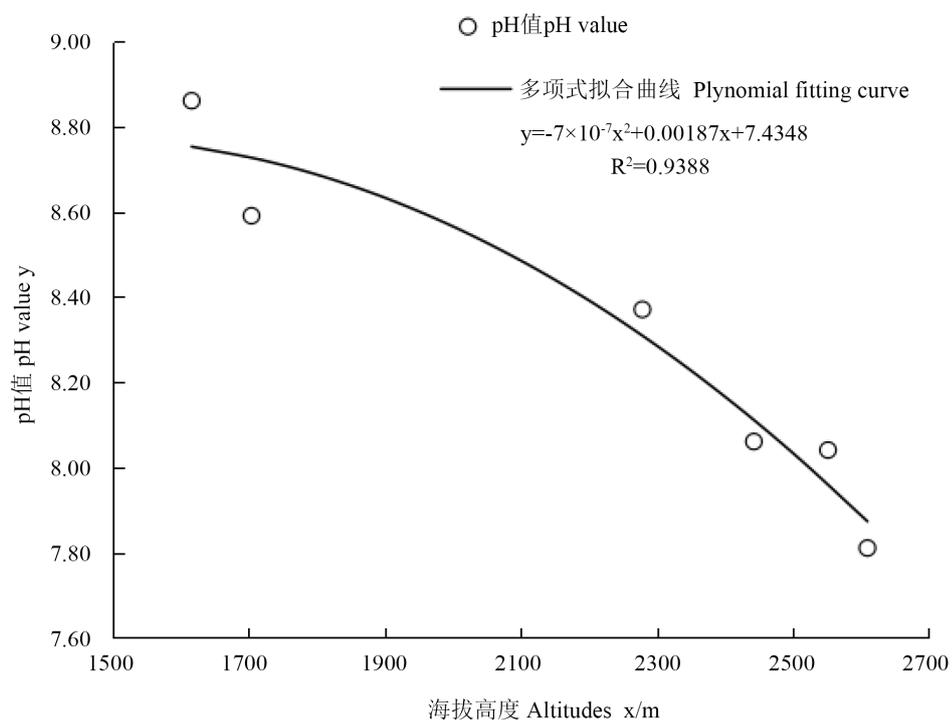


Figure 1. Relationship between pH values and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: ($P = 0.00169 < 0.01$)

图 1. 罗山表层土壤 pH 值随海拔高度的变化趋势。注：($P = 0.00169 < 0.01$)

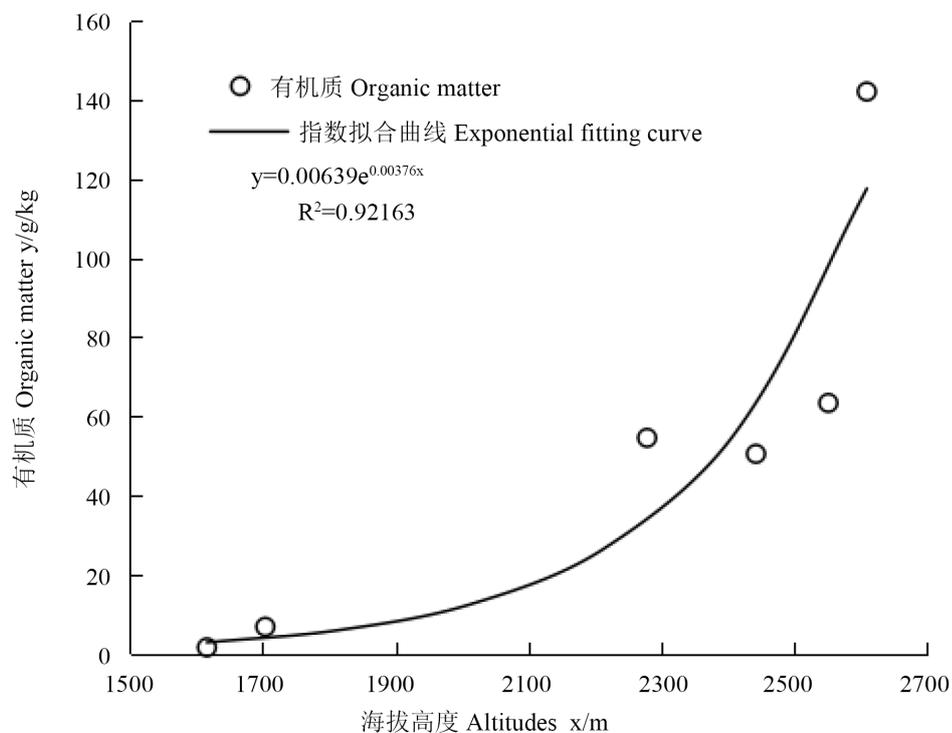


Figure 2. Relationship between organic matter and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: ($P = 0.00844 < 0.01$)

图 2. 罗山表层土壤有机质随海拔高度的变化趋势。注：($P = 0.00844 < 0.01$)

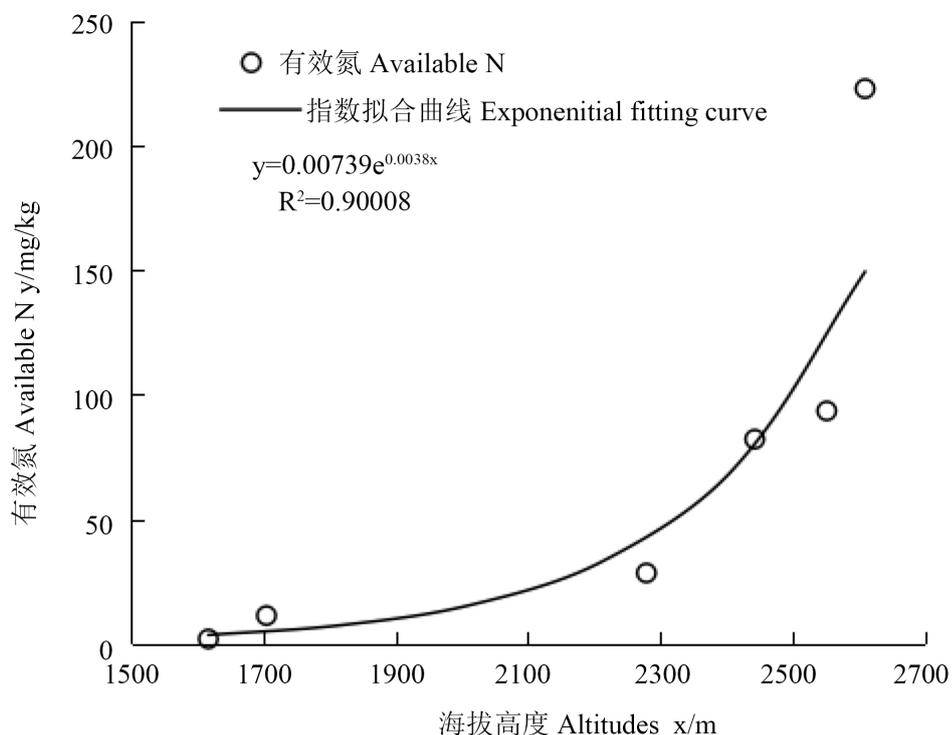


Figure 3. Relationship between available N and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: ($P = 0.00231 < 0.01$)

图 3. 罗山表层土壤有效氮随海拔高度的变化趋势。注：($P = 0.00231 < 0.01$)

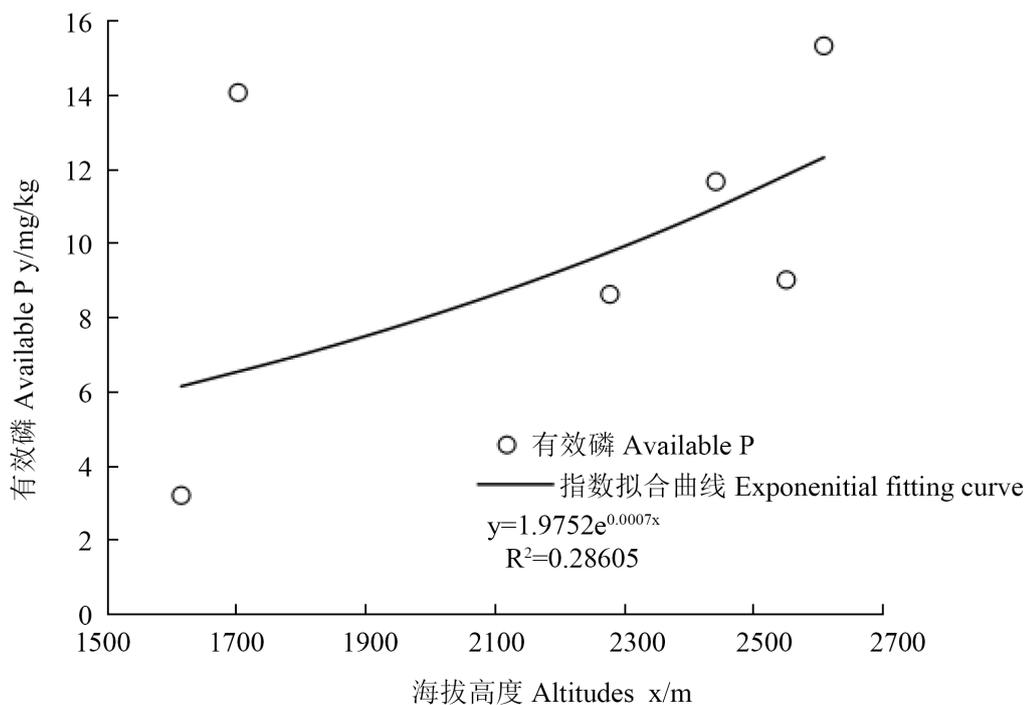


Figure 4. Relationship between available P and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: ($P = 0.39639 > 0.05$)

图 4. 罗山表层土壤有效磷随海拔高度的变化趋势。注：($P = 0.39639 > 0.05$)

3.5. 海拔高度对罗山土壤有效钾的影响

从图 5 可知, 罗山表层土壤有效钾含量随海拔上升有增加趋势, 但经回归分析, 发现两者并不相关, 拟合度最高的 2 次多项式函数拟合方程为 $y = -8 \times 10^{-5}x^2 + 0.40239x - 334.5$ ($R^2 = 0.25081$, $P = 0.64847 > 0.05$), 表明海拔高度对罗山土壤有效钾含量的解释程度较弱。

3.6. 海拔高度对罗山土壤全氮的影响

图 6 表明, 罗山表层土壤的全氮含量随海拔高度的升高显著增加, 经回归分析罗山表层土壤的全氮含量与海拔高度呈指数函数变化, 拟合方程为: $y = 0.00006e^{0.00406x}$ ($R^2 = 0.88371$, $P = 0.00116 < 0.01$), 表明海拔高度对罗山土壤全氮含量的解释程度强。

3.7. 海拔高度对罗山土壤全磷的影响

图 7 是罗山表层土壤全磷含量随海拔高度的变化趋势, 从图 7 中可以看出土壤全磷含量随海拔高度的升高而增加, 经回归分析, 发现土壤全磷含量与海拔高度呈 2 次多项式函数拟合关系, 拟合方程为: $y = -10^{-7}x^2 + 0.00091x - 0.78445$ ($R^2 = 0.9255$, $P = 0.00233 < 0.01$), 表明海拔高度对罗山土壤全磷含量的解释程度强。

3.8. 海拔高度对罗山土壤全钾的影响

图 8 是罗山表层土壤全钾含量随海拔高度的变化, 从图 8 中可以看出全钾含量随海拔高度的升高先升高后降低, 但经拟合分析两者并不相关, 拟合度最高的 2 次多项式函数拟合方程为 $y = -2 \times 10^{-5}x^2 + 0.07201x - 52.421$ ($R^2 = 0.71458$, $P = 0.15249 > 0.05$), 表明海拔高度对罗山土壤全钾含量的解释程度较弱。

3.9. 罗山不同海拔高度表层土壤理化性质的方差和相关分析

3.9.1. 方差分析

本文测定了不同海拔高度(1616~2610 m)罗山表层土壤的 pH 值, 从表 2 可知罗山表层土壤的 pH 值随着海拔高度的降低而升高, 平均值为(8.29 ± 0.16), 呈碱性。有机质、有效氮、有效磷、有效钾、全氮、全磷、全钾含量随着海拔高度的降低, 其值都有不同程度的减少。表 2 对不同海拔高度下的土壤理化性质进行了 Duncan 新复极差法多重比较, 结果表明 pH 值除了在海拔高度 2443 m、2552 m 时差异不显著 ($P > 0.05$)外, 在其它海拔高度差异均显著。有机质、有效氮含量的多重比较表明, 有机质、有效氮随海拔高度的递减规律显著, 在 1616~2610 m 的 6 个取样点的有机质均有显著的差异($P < 0.05$)。从表 2 中也可以看出有效磷、有效钾随海拔高度的变化没有明显的规律。土壤中全氮、全磷的含量随海拔高度的降低而减少, 但是与 pH 值相同, 在海拔高度 2443 m、2552 m 时差异不显著($P > 0.05$), 其它 6 个取样点海拔高度均差异显著。全钾含量与海拔高度的变化并无显著变化规律, 在海拔高度 2443 m、2552 m 时, 土壤全钾含量与其它采样点的全钾含量有显著差异($P < 0.05$), 但是在其它海拔高度土壤全钾含量未发现显著差异。

3.9.2. 相关分析

本研究对罗山表层土壤理化性质间的相关性进行了统计分析, 发现部分土壤理化性质间及与海拔高度间存在一定的相关性。海拔高度及土壤各理化特征间的相关分析表明(表 3)海拔高度与 pH 值呈极显著负相关($R^2 = 0.9388$, $P < 0.01$); 与全磷含量呈极显著正相关($R^2 = 0.9255$, $P < 0.01$); 与有机质呈显著正相关($R^2 = 0.92163$, $P < 0.05$); 与有效氮呈显著正相关($R^2 = 0.9008$, $P < 0.05$); 与全氮呈显著正相关($R^2 = 0.88371$, $P < 0.05$)。pH 值与海拔高度、有机质、有效氮、全磷、全氮均呈极显著负相关($R^2 = -0.96, -0.89, -0.88, -0.98$,

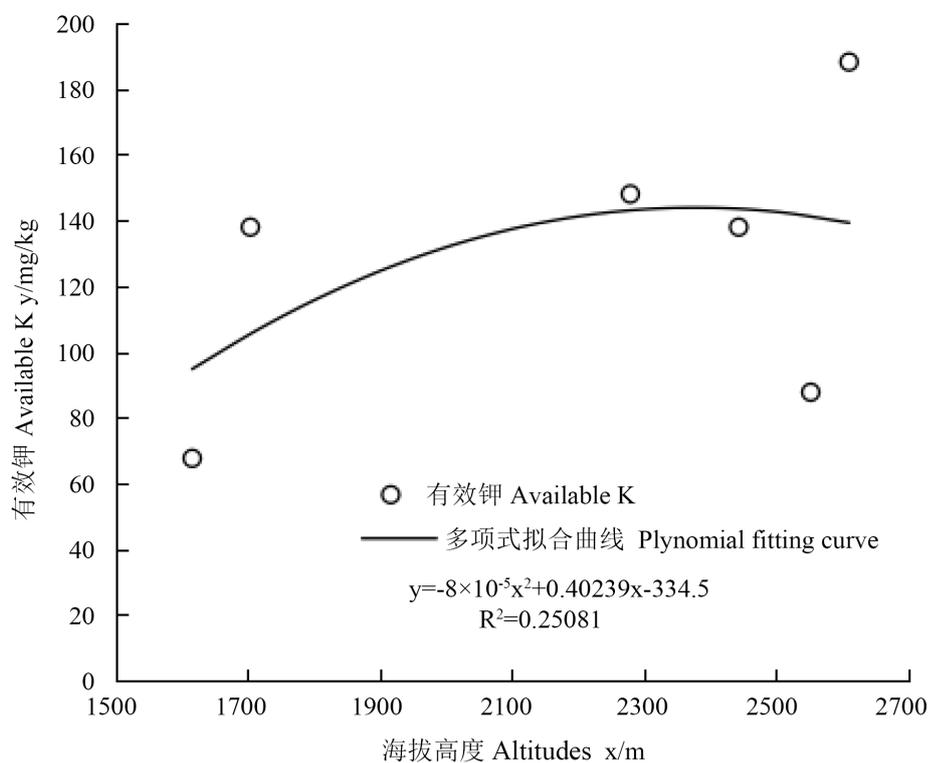


Figure 5. Relationship between available K and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: (P = 0.64847 > 0.05)

图 5. 罗山表层土壤有效钾随海拔高度的变化趋势。注：(P = 0.64847 > 0.05)

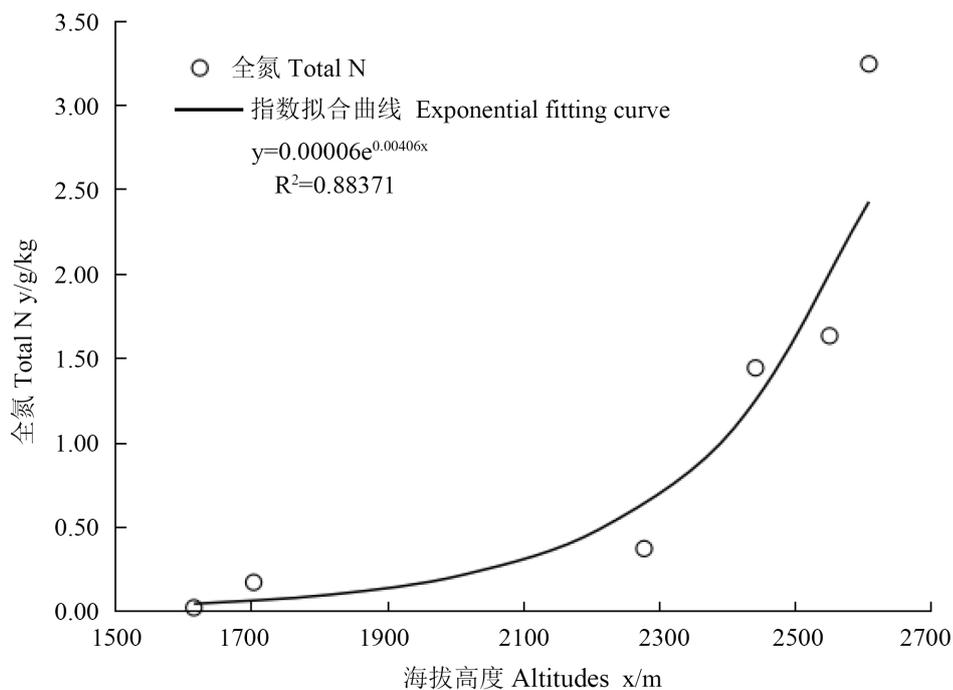


Figure 6. Relationship between total N and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: (P = 0.00116 < 0.01)

图 6. 罗山表层土壤全氮随海拔高度的变化趋势。注：(P = 0.00116 < 0.01)

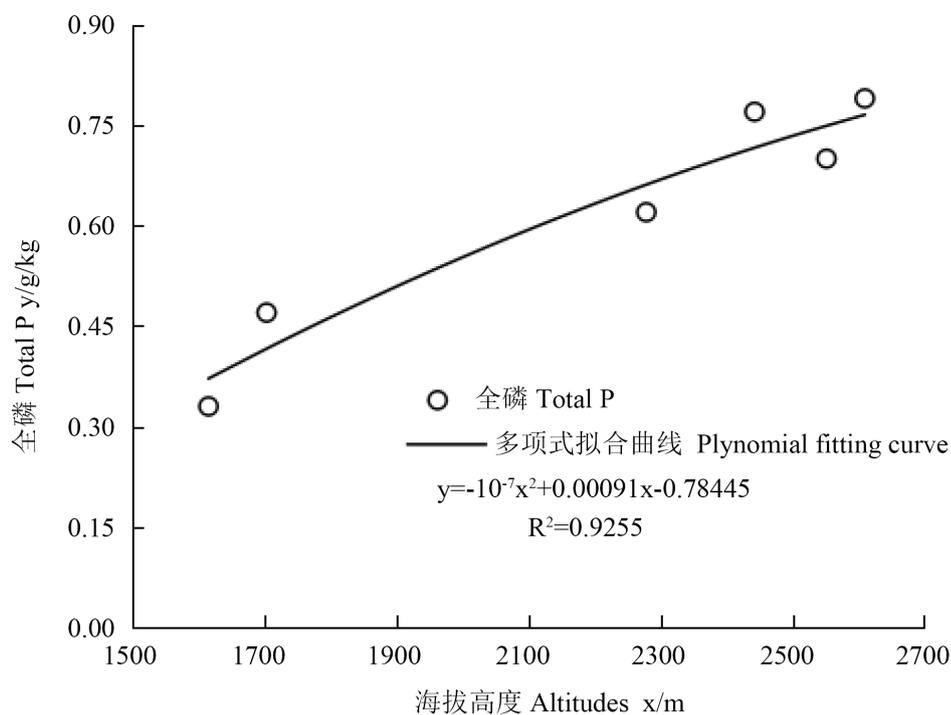


Figure 7. Relationship between total P and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: ($P = 0.00233 < 0.01$)

图 7. 罗山表层土壤全磷随海拔高度的变化趋势。注: ($P = 0.00233 < 0.01$)

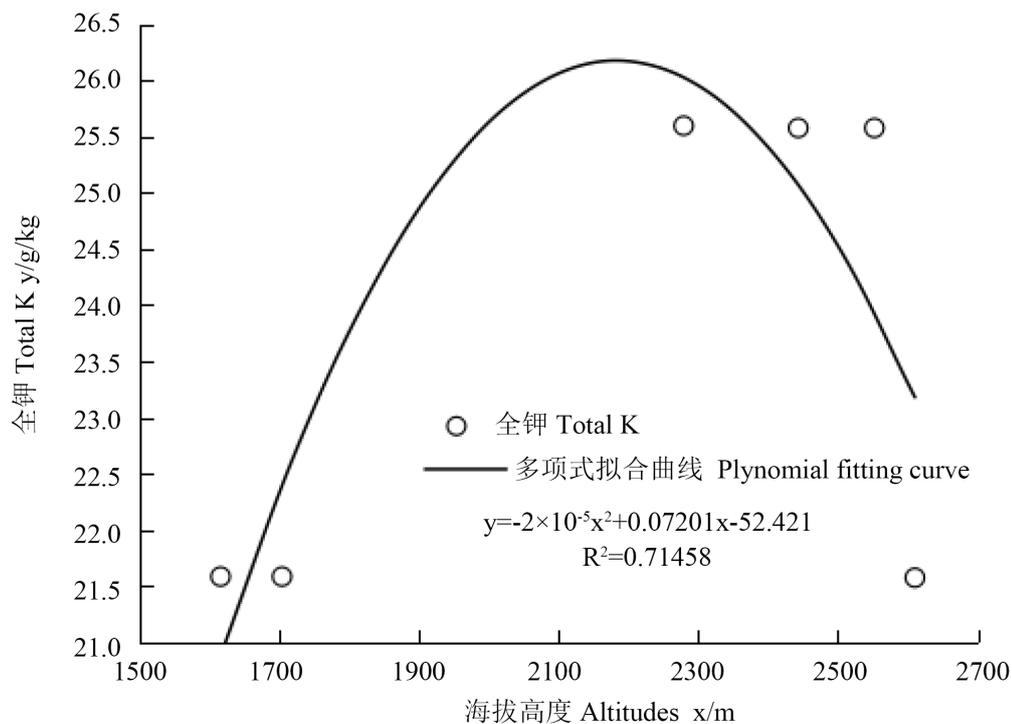


Figure 8. Relationship between total K and altitudes on topsoil in Luoshan mountain. Note: ($P = 0.15249 > 0.05$)

图 8. 罗山表层土壤全钾随海拔高度的变化趋势。注: ($P = 0.15249 > 0.05$)

Table 2. Multiple comparison of topsoil physicochemical properties of different altitudes in Ningxia Luoshan mountain
表 2. 海拔高度对罗山表层土壤理化性质影响的多重比较

| 样地编号 | 海拔高度/m | pH 值 | 有机质 g/kg | 有效氮 N/(mg/kg) | 有效磷 P/(mg/kg) | 有效钾 K/(mg/kg) | 全氮(g/kg) | 全磷(g/kg) | 全钾(g/kg) |
|--------|--------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|
| DLS-01 | 2610 | 7.81 e | 142.16 f | 222.98 a | 15.31 a | 188.19 b | 3.24 a | 0.79 a | 21.57 c |
| DLS-02 | 2552 | 8.04 d | 63.38 e | 93.46 b | 9.00 d | 87.69 e | 1.63 b | 0.70 bc | 25.58 a |
| DLS-03 | 2443 | 8.06 d | 50.50 d | 82.10 c | 11.65 c | 137.94 c | 1.44 b | 0.77 ab | 25.58 a |
| DLS-04 | 2279 | 8.37 c | 54.55 c | 28.33 d | 7.44 e | 127.89 d | 0.37 c | 0.62c | 21.60c |
| DLS-05 | 1704 | 8.59 b | 6.75 b | 11.21 e | 14.05 b | 268.59 a | 0.17 d | 0.47 d | 21.58 bc |
| DLS-06 | 1616 | 8.86 a | 1.53 a | 1.82 f | 3.19 f | 67.59 f | 0.02 e | 0.33 e | 21.58 bc |
| DLS-01 | 2610 | 7.81 e | 142.16 f | 222.98 a | 15.31 a | 188.19 b | 3.24 a | 0.79 a | 21.57 c |

注：在一列中具有相同字母表示无显著差异(显著水平 = 5%)。

Table 3. Correlation coefficients between elevation and soil physicochemical properties
表 3. 海拔高度及土壤各理化特征间的相关系数

| 项目 | 海拔高度 | pH 值 | 有机质 g/kg | 有效氮 N/(mg/kg) | 有效磷 P/(mg/kg) | 有效钾 K/(mg/kg) | 全氮(g/kg) | 全磷(g/kg) | 全钾(g/kg) |
|------|---------|---------|----------|---------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|
| 海拔高度 | 1.0000 | | | | | | | | |
| pH 值 | -0.96** | 1.0000 | | | | | | | |
| 有机质 | 0.84* | -0.89** | 1.0000 | | | | | | |
| 有效氮 | 0.78* | -0.88** | 0.96** | 1.0000 | | | | | |
| 有效磷 | 0.4100 | -0.6300 | 0.5400 | 0.6200 | 1.0000 | | | | |
| 有效钾 | -0.1400 | -0.0900 | 0.0800 | 0.1300 | 0.82* | 1.0000 | | | |
| 全氮 | 0.82* | -0.91** | 0.94** | 0.99** | 0.6100 | 0.0900 | 1.0000 | | |
| 全磷 | 0.96** | -0.98** | 0.82* | 0.78* | 0.6000 | 0.0900 | 0.82* | 1.0000 | |
| 全钾 | 0.5300 | -0.4700 | 0.0600 | 0.1300 | 0.0400 | -0.3600 | 0.2400 | 0.5200 | 1.0000 |

注：本表为 Pearson 相关分析，双侧检验，相关系数后标有“*”为显著相关($P < 0.05$)，标有“**”为极显著相关($P < 0.01$)。

-0.91, $P < 0.01$)。有机质与海拔高度、全磷呈显著正相关($R^2 = 0.84, 0.82, P < 0.05$)；与 pH 值呈极显著负相关($R^2 = -0.89, P < 0.01$)；与有效氮、全氮呈极显著正相关($R^2 = 0.96, 0.94, P < 0.01$)。有效氮与海拔高度、全磷呈显著正相关($R^2 = 0.78, 0.78, P < 0.05$)；与 pH 值呈极显著负相关($R^2 = -0.88, P < 0.01$)；与有机质、全氮呈极显著正相关($R^2 = 0.96, 0.99, P < 0.01$)。有效磷仅与有效钾存在显著正相关($R^2 = 0.82, P < 0.05$)，与其它土壤理化指标之间和海拔高度没有相关关系。全氮与海拔高度、全磷呈显著正相关($R^2 = 0.82, 0.82, P < 0.05$)；与 pH 值呈极显著负相关($R^2 = -0.91, P < 0.01$)；与有机质、有效氮呈极显著正相关($R^2 = 0.94, 0.99, P < 0.01$)。全磷与海拔高度极显著正相关($R^2 = 0.96, P < 0.01$)；与 pH 值呈极显著负相关($R^2 = -0.98, P < 0.01$)；与有机质、有效氮、全氮呈显著正相关($R^2 = 0.82, 0.78, 0.82, P < 0.05$)。

4. 讨论

土壤剖面按其自然发生过程划一般分为 A、B、C 三层，即表土层(有机质层)、心土层(淀积层)和底土(母质层)[18]。由于论文篇幅有限在本文中仅研究罗山表层土壤的理化性质与海拔高度的变化关系。通过试验分析发现罗山表层土壤 pH 值与海拔高度呈极显著负相关，造成这一现象的主要原因是土壤 pH 值

受土壤有机质的影响比较显著(表 3), 而表层土壤有机质含量随海拔高度的升高而增加(图 2), 原因是高海拔地区表层土壤有机质分解较为缓慢与低海拔相比较易积累有机质, 导致了表层土壤中有机质含量随海拔的升高而增加。土壤有机质的增加则导致 pH 值的降低, 这与党坤良等[9]、张巧明等[10]、王瑞永等[1]的研究结果一致。罗山表层土壤有效氮、全氮随海拔高度的增加而显著升高并呈极显著的指数函数变化(图 3、图 6), 主要原因是有效氮和全氮含量决定于有机物质及氮素输入和输出量的相对大小[19] [20], 氮素的输入量则主要依赖于植物残体的归还量及生物固氮, 也有少数来源于大气沉降[21], 随海拔高度的增加, 温度降低, 有机质不易分解, 从而使表层氮素含量大量增加; 此外, 随着我国工农业的快速发展, 氮沉降增加迅速, 导致表层土壤氮素含量呈现由上至下的垂直迁移格局[22]。在本研究中有效磷和全磷含量随海拔高度的变化规律不同, 有效磷与海拔高度并无相关关系(图 4、表 3), 但是全磷与海拔高度呈极显著 2 次多项式函数拟合关系(图 7), 造成这一结果的原因是土壤中的磷素在不同土壤条件下因 pH 值、硅酸盐黏土矿物的化学组成、数量和反应、 CaCO_3 、铁铝氧化物的比例以及供磷量和供磷时间等不同导致了不同的吸附固定量, 使得其在土壤中的有效磷存在较大差异所致[23] [24]。本研究发现罗山表层土壤有效钾、全钾的含量与海拔高度的关系并不显著(图 5、图 8), 可见影响土壤有效钾、全钾含量的原因可能与海拔高度无关(即与温度无关), 而与植被种类、母质类型、风化及成土条件等因素的综合影响有关, 这与阮琳等[25]和熊汉锋等[26]的研究结果相一致, 全钾和有效钾与海拔高度无关这一结论在国外学者的研究中也得到证实[27] [28]。

在本研究中对罗山表层土壤各理化性质间及与海拔高度间的相关性进行了研究, 发现部分理化性质存在一定的相关性(表 3)。本研究中土壤 pH 值与有机质含量呈极显著负相关, 可能缘于有机质分解产生的大量有机酸增加了非交换性酸的量所致[29]。Delgado 等[30]在半干旱草原的连续研究发现, 氮素的固定随土壤中有机质的增加而提高, 因为土壤有机质缺乏, 微生物发展受到限制, 氮素的固定能力有限, 无机态氮很容易流失, 因此有效氮、全氮与有机质呈极显著的相关关系(表 3)。此外土壤有机磷的矿化和无机磷的溶解很大程度上取决于土壤的 pH 值, 随 pH 值的增加磷素的含量逐渐减小[1], 这一规律在本研究中也得以证实(表 3)。罗山的土壤呈碱性所以与呈酸性土壤的山区相比罗山磷素的储备较低。相关研究表明, 土壤全磷含量对有效磷含量没有显著影响[31], 土壤中有效磷含量除了与土壤中各种含磷化合物本身的组成和数量有关系外, 主要受土壤 pH 值、微生物活性以及植物的吸收利用、积累量等因素有关[32] [33]; 宋雄儒等[34]研究认为土壤有效磷含量与海拔高度无明显相关关系, 但是土壤有机质对全磷有着很大程度的影响(表 3), 本研究中随海拔高度逐渐降低的土壤有机质含量是导致土壤全磷含量逐渐减少的主要原因。表 3 的相关性分析也表明土壤理化性质之间存在较强的相关性, 土壤各理化性质之间不是孤立存在的, 而是相互关联的, 单个理化性质含量增加或减少, 会影响土壤中其他理化性质的供应。海拔高度是较为重要的山地地形因子之一, 由于海拔高度不同, 气候特征、林分类型和土壤类型发生改变, 导致土壤理化性质在不同海拔范围空间分异程度具有明显的差异[35]。从表 3 中还可以看出在影响氮、磷、钾元素因子中, 土壤 pH 值和土壤有机质在含量和空间异质性上影响着罗山表层土壤的理化性质, 从而影响罗山植被的生长。因此, 在罗山表层土壤氮、磷、钾元素的循环中, 土壤 pH 值和土壤有机质可作为首要限制因子来影响罗山植被群落结构及分布[36], 这一结论对罗山国家级自然保护区的经营和管理具有重要的科学指导意义。

5. 结论

本文通过对罗山不同海拔高度表层土壤理化特性的探讨, 得出以下结论:

1) 罗山表层土壤中的 pH 值、有机质、有效氮、全氮、全磷与海拔高度呈显著相关, 其中 pH 值随海拔高度的升高降低, 并呈 2 次多项式拟合关系。有机质、有效氮、全氮、全磷含量随海拔高度的升高

而增加, 其中有机质、有效氮、全氮与海拔高度呈指数函数变化, 全磷与海拔高度呈 2 次多项式拟合关系。有效磷、有效钾和全钾与与海拔高度无相关关系。

2) 罗山表层土壤呈碱性, pH 值在 7.81~8.86 之间, 表层土壤理化性质在不同海拔高度范围差异明显。土壤各理化性质之间不是孤立存在的, 而是存在较强的相关性, 单个理化性质含量增加或减少, 也会影响土壤中其它理化性质的供应。

3) 在影响罗山表层土壤的氮、磷、钾元素的因子中, 土壤 pH 值和土壤有机质在含量和空间异质性上影响着罗山表层土壤的理化性质。在罗山表层土壤氮、磷、钾的循环中, 土壤 pH 值和土壤有机质是影响罗山植被群落结构及分布的首要限制因子。

项目基金

国家级自然保护区生物多样性保护专项资金罗山保护区综合性科学考察(环财函[2012]94 号)。

参考文献 (References)

- [1] 王瑞永, 刘莎莎, 王成章, 等. 不同海拔高度高寒草地土壤理化指标分析[J]. 草地学报, 2009, 17(5): 622-628.
- [2] 刘秉儒, 张秀珍, 胡天华, 李文金. 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性. 生态学报, 2013, 33(22): 7211-7220.
- [3] Plaster, E.J. (2012) Soil Science and Management. 6th Delmar, N: Cengage Learning, 2-10, 32-46, 130-144, 165-172.
- [4] 肖飞, 杜耘, 凌峰, 等. 长江中游四湖流域湖泊变迁与湖区土壤空间格局的关联分析[J]. 湿地科学, 2012, 10(1): 8-14.
- [5] 苏纪帅, 程积民, 高阳, 等. 宁夏大罗山 4 种主要植被类型的细根生物量[J]. 应用生态学, 2013, 24(3): 626-632.
- [6] 曹兵, 李小伟, 李涛, 等. 宁夏罗山维管植物[M]. 宁夏: 阳光出版社, 2011.
- [7] 杨贵军, 王新谱, 仇智虎, 等. 宁夏罗山昆虫[M]. 宁夏: 阳光出版社, 2011.
- [8] 杨贵军, 秦伟春. 宁夏罗山脊椎动物[M]. 宁夏: 阳光出版社, 2013.
- [9] 党坤良, 张长录, 陈海滨, 等. 秦岭南坡不同海拔土壤肥力的空间分异规律[J]. 林业科学, 2006, 42(1): 16-21.
- [10] 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.
- [11] 王建林, 欧阳华, 王忠红, 等. 贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层土壤有机碳分布特征及其影响因素[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 346-350.
- [12] 李涛, 姬学龙, 杨贵军, 等. 宁夏罗山拟步甲物种多样性及分布特点[J]. 西北农业学报, 2012, 21(2): 184-189.
- [13] 苏纪帅, 金晶炜, 白于, 等. 宁夏油松林细根生物量和土壤特性研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(9): 1-7.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [16] 吕世丽, 李新平, 李文斌, 等. 牛背梁自然保护区不同海拔高度森林土壤养分特征分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(4): 161-177.
- [17] 薛晓娟, 李英年, 杜明远, 等. 祁连山东段南麓不同海拔土壤有机质及全氮的分布状况[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 642-649.
- [18] 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]. 生态学报, 2014, 29(3): 9-14.
- [19] Shivaprasad, C.R. (2002) Available Potassium Status on Major Soils on Karnataka. *Journal of Potassium Research*, 3, 407-417.
- [20] Brian, K., Rick, L. and Dan, S.L. (2002) Soil Phosphorus and Potassium Mapping using a Spatial Correlation Model Incorporating Terrain Slope Gradient. *Precision Agriculture*, 3, 407-417. <https://doi.org/10.1023/A:1021549107075>
- [21] 梁婷, 同延安, 林文, 等. 陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 738-745.
- [22] 王玲玲, 孙志高, 牟晓杰, 等. 黄河口滨岸潮滩不同类型湿地土壤氮素分布特征[J]. 土壤通报, 2011, 12(6): 738-745.

- [23] Hua, L., Xiang, Z.Y., Wang, G.X., *et al.* (2016) Changes in Soil Physicochemical and Microbial Properties along Elevation Gradients in Two Forest Soils. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **31**, 242-253. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1125522>
- [24] Nottingham, Turner, Whitaker, *et al.* (2015) Soil Microbial Nutrient Constraints along a Tropical Forest Elevation Gradient: A Belowground Test of a Biogeochemical Paradigm. *Biogeosciences*, **12**, 6071-6083. <https://doi.org/10.5194/bg-12-6071-2015>
- [25] 阮琳. 徐州云龙山植物群落与土壤理化性质相关分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [26] 熊汉锋, 王运华. 梁子湖湿地土壤养分的空间异质性[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 584-589.
- [27] Noah, F., McCain, C.M., Meir, P., *et al.* (2011) Microbes Do Not Follow the Elevational Diversity Patterns of Plants and Animals. *Ecology*, **92**, 797-804. <https://doi.org/10.1890/10-1170.1>
- [28] Banaticla, M.C.N. and Buot, J.I.E. (2005) Altitudinal Zonation of Pteridophytes on Mt. Banahaw de Lucban, Luzon Island, Philippines. *Plant Ecology*, **180**, 135-151. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-2494-7>
- [29] 刘世全, 张宗锦, 工昌全, 等. 西藏酸性土壤的酸度特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 211-218.
- [30] Delgado, J.A., Mosier, A.R., Valentine, D.W., *et al.* (1996) Longterm 15N Studies in a Catena of the Shortgrass Steppe. *Biogeochemistry*, **32**, 797-804.
- [31] 杨淑贞, 马原, 蒋平, 等. 浙江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, 2009(6): 101-107.
- [32] 王长庭, 龙瑞军, 王启基, 等. 高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布和生产力变化及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2005, 14(8): 15-20.
- [33] Cheng, X.L., An, S.Q., Liu, S.R., *et al.* (2004) Micro-Scale Spatial Heterogeneity and the Loss of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Degraded Grassland in Ordos Plateau, Northwestern China. *Plant and Soil*, **259**, 29-37.
- [34] 宋雄儒, 尚振艳, 李旭东, 等. 贺兰山西坡不同海拔梯度草地上土壤磷特征及其影响因素[J]. 草业科学, 2015, 32(7): 105-106.
- [35] 李兴民, 车克钧, 杨永红, 等. 白龙江上游不同海拔森林土壤养分变化规律研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(6): 131-137.
- [36] 刘贤德, 赵维俊, 张学龙, 等. 祁连山排露沟流域青海云杉林土壤养分和 pH 变化特征[J]. 干旱区研究, 2013, 30(6): 1013-1020.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2169-2432, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: wjf@hanspub.org