

小五台山不同海拔土壤理化性质垂直变化规律

任启文^{1,2}, 王鑫¹, 李联地^{1,2}, 尤海舟^{1,2}, 毕君^{1,2}

(1. 河北省林业科学研究院, 石家庄 050061; 2. 河北小五台山森林生态系统定位研究站, 河北 涿鹿 075600)

摘要: 以河北小五台山不同海拔 18 块样地土壤为研究对象, 分析和比较了不同海拔下土壤物理性质、持水能力、养分特征等 14 项指标, 研究小五台山不同海拔土壤理化性质的垂直变化规律。结果表明: (1) 随海拔的升高小五台山土壤容重逐步降低, 总孔隙度逐步升高, 毛管孔隙度变化不明显; 随土层深度增加土壤容重变大, 总孔隙度降低。(2) 土壤含水量、毛管持水量、最大持水量、田间持水量随海拔升高逐渐升高, 随土层深度增加逐渐降低, 这种降低趋势随海拔增加逐渐扩大。(3) 土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮含量随海拔升高而逐渐升高, 随土层深度增加而降低; 土壤全钾含量随海拔升高表现为“先升后降”的抛物线型, 在 2 100~2 200 m 达到峰值。0—20 cm 土层速效钾和速效磷含量随海拔升高没有明显变化趋势; 20—60 cm 土层速效钾含量随海拔升高而升高, 40—60 cm 速效磷含量随海拔升高而降低。(4) 土壤有机质、全氮、碱解氮含量有明显的“表聚现象”, 且海拔越高越明显; 土壤全磷和速效钾含量也有明显的“表聚现象”, 海拔越高越不明显; 土壤速效磷含量存在一定的“表聚现象”, 但并不明显; 土壤全钾含量没有“表聚现象”。

关键词: 土壤; 物理性质; 持水能力; 养分含量; 海拔

中图分类号: S718.5; X144

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0241-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.01.038

Vertical Variation of Soil Physical and Chemical Properties at Different Altitudes in Xiaowutai Mountain

REN Qiwen^{1,2}, WANG Xin¹, LI Liandi^{1,2}, YOU Haizhou^{1,2}, BI Jun^{1,2}

(1. Hebei Institute of Forestry Science, Shijiazhuang 050061;

2. Hebei Xiaowutai Forestry Ecosystem Research Station, Zhuolu, Hebei 075600)

Abstract: Taking 18 soil plots at different altitudes as the research object in Xiaowutai Mountain, Hebei Province, 14 indexes, such as soil physical properties, water-holding capacity and nutrient characteristics, were analyzed and compared to reveal the vertical variation of soil physical and chemical properties at different altitudes. The results showed that: (1) With the increasing of altitude, the soil bulk density gradually decreased, while the total porosity increased gradually, and the variation of capillary porosity was not obvious. As soil depth increased, soil bulk density increased and total porosity decreased. (2) Soil water content, capillary water-holding capacity, maximum water-holding capacity and field water-holding capacity increased gradually with the increasing of altitude, and gradually decreased with the increasing of soil depth, meanwhile this decreasing trend gradually expanded with the increasing of altitude. (3) The content of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and alkali-nitrogen gradually increased with the increasing of altitude and decreased with the increasing of soil depth. The content of total potassium in soil was a parabolic type “first rising and then descending” with the increasing of altitude, and reaching its peak at 2 100 ~ 2 200 m. The content of available potassium and available phosphorus in 0—20 cm soil layer did not change obviously with the increasing of altitude. The content of available potassium in 20—60 cm soil layer increased with the increasing of altitude, while the content of available phosphorus in 40—60 cm soil layer decreased. (4) Soil organic matter, total nitrogen and alkaline nitrogen had obvious “surface aggregation phenomenon”, and the higher the altitude, the more obvious it was. The content of total phosphorus and available potassium had obvious “surface aggregation phenomenon”, and the higher the altitude, the less obvious it was. There was a certain “surface aggregation phenomenon” in soil available phosphorus content, but it was not obvious. Soil total potassium content had no “surface aggregation phenomenon”.

收稿日期: 2018-07-29

资助项目: 河北省重点研发计划项目(18226815D); 河北省林业科学技术研究项目(1801500); 河北省林业科学技术研究项目(1701484)

第一作者: 任启文(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事森林生态研究。E-mail: blrenqiwen@126.com

通信作者: 毕君(1963—), 男, 博士, 研究员, 主要从事森林培育与森林生态研究。E-mail: bijun2003@sohu.com

Keywords: soil; physical properties; water-holding capacity; nutrient content; altitude

土壤是森林生态系统中林木赖以生存的物质基础,在水平及垂直地带性上受到外界环境的不同影响,物理性质、持水能力、养分特征空间异质性明显,而由这些特性所表征的土壤理化性质也表现出明显的空间异质性。土壤理化性质一般会受到气候、母岩、地形、植被、动物以及微生物的影响^[1-2]。对于海拔跨度较大的山地来说,土壤理化性质受多种因素垂直分布规律以及土壤水蚀^[3]的影响,导致山地土壤在海拔梯度上呈现明显的垂直分布特征。有研究^[4-6]表明土壤有机碳随海拔升高而升高,随土层深度增加而降低,土壤有机碳受地形位置的明显制约,海拔是重要影响因素。孙海燕等^[7]得出土壤全氮含量随海拔升高而增加,且与海拔呈极显著正相关关系。也有部分学者^[8-9]得出不同结论,阿尔泰山天然冷杉林土壤有机质、全氮、活性有机碳和缓效碳含量随海拔升高呈现先降低后增加的趋势,陇南白龙江流域油橄榄园土壤肥力总体呈现了随海拔升高而降低的趋势。综合前人^[10]研究结果,影响山地土壤垂直变异的因素主要有温湿度、降水等水热条件的变化、植被类型的变化、地形的变化及动物和微生物的变化等,在影响土壤理化性状的诸多因素中,温度和水分是调控其在海拔上变化的主导因子。

当前有关不同海拔山地土壤理化性质的研究主要集中在土壤有机碳和某一种养分元素的变化方面,而全面研究土壤物理性质、持水能力、养分含量等多种指标随海拔变化的相对较少;对土壤分层速效态营养元素随海拔的变化趋势研究则更少。总之,前人研究由于所采用的方法不同,研究区域不同,结果差异也较大。本文以冀北山地小五台山不同海拔森林土壤为研究对象,分析了土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、土壤含水量、毛管持水量、最大持水量、田间持水量、土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾等土壤物理性质、持水能力、养分含量的垂直变化规律,在速效态养分含量随海拔变化方面做了初步探索,揭示冀北山地土壤理化性质随海拔的变化规律,为冀北山地植被恢复提供理论依据,为区域生态公益林可持续经营提供技术支持。

1 研究区概况

本研究区位于河北小五台山自然保护区,地理坐标为 114°47′—115°30′E,39°50′—40°70′N。小五台山地处冀西北与晋北间山盆地的南缘,地质构造升降悬殊,地形复杂,生境多变,是华北地区植物种类最丰富的地区之一。小五台山为河北最高峰,地理位置特殊,山体相对高差大,气候变化明显。具有暖温带完

整的植被垂直带谱,有次生灌草带、阔叶林带、针阔混交林带、针叶林带、亚高山灌丛带、亚高山草甸带等,海拔 1 200 m 以下多为农田、裸地等。小五台山自然保护区土壤类型主要为褐土、山地棕壤及亚高山草甸土。气候属暖温带大陆季风型山地气候,年均气温 6.4 ℃,1 月平均气温 -12.3 ℃,7 月平均气温 22.1 ℃,年降水量 400~700 mm,无霜期 100~140 d。

2 研究方法

2.1 样地设置

2016 年 8 月,在小五台山自然保护区山涧口流域自下而上分别选择不同海拔的典型植被类型布设样地 18 块,样地面积 20 m×30 m,主要植被类型有虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)天然灌丛、油松(*Pinus tabulaeformis*)人工林、落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)人工林、白桦(*Betula platyphylla*)天然次生林、落叶松白桦人工混交林、红桦(*Betula ablosinensis*)天然林、落叶松天然林和亚高山草甸,海拔 1 389~2 641 m。油松林、落叶松林、白桦林、落叶松白桦混交林、红桦林内主要灌草有:绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、山刺玫(*Rosa davurica*)、灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*)、六道木(*Zabelia biflora*)、接骨木(*Sambucus williamsii*)、平榛(*Corylus heterophylla*)、唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)、龙牙草(*Agrimonia pilosa*)、藁草(*Carex*)、东方草莓(*Fragaria orientalis*)、紫苞雪莲(*Saussurea iodostegia*)、针茅(*Stipa capillata*)等。虎榛子灌丛伴生灌草有:榆叶梅(*Amygdalus triloba*)、照山白(*Rhododendron micranthum*)、山刺玫、绣线菊、河朔堯花(*Wikstroemia chamaedaphne*)、藁草等。亚高山草甸主要灌草有:地榆(*Sanguisorba officinalis*)、藁本(*Ligusticum sinense*)、马先蒿(*Pedicularis reaupinanta*)、藁草、防风(*Saposhnikovia divaricata*)、早熟禾(*Poa annua*)、紫苞雪莲、狗娃花(*Heteropappus hispidus*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)等。对标准样地进行每木检尺和基本调查,样地基本情况见表 1。

2.2 土壤样品采集

在每个样地内根据坡位按照上、中、下布点挖掘 3 个土壤剖面,共 54 个土壤剖面。每个土壤剖面按深度 0—20,20—40,40—60 cm 分上、中、下 3 层,每层用环刀取土样 3 个,共计取得 486 个土样,以备测定土壤物理性质和土壤持水能力。每个土壤剖面按上、中、下 3 层,每层均匀取 1 个土样,约 500 g,分别装入土袋,带回实验室,共 162 个土样,以备测定土壤养分含量。

表 1 样地基本情况

样地编号	植被类型	起源	海拔/m	坡向	坡度/(°)	林分密度/(株·hm ⁻²)	树高/m	胸径/cm	郁闭度(盖度)/%	主要灌木和草本
1	油松林	人工	1389	W	27	762	15.1	22.2	72	绣线菊、唐松草、龙牙草、藁草
2	油松林	人工	1397	SE	26	854	14.5	19.5	71	绣线菊、山刺玫、灰栒子、唐松草
3	虎榛子灌丛	天然	1410	SE	32	21	0.9	—	95	照山白、绣线菊、山刺玫、藁草、河朔茺花
4	油松林	人工	1420	SE	26	850	14.5	19.7	72	绣线菊、灰栒子、唐松草
5	落叶松林	人工	1430	SE	27	820	17.0	21.5	75	绣线菊、山刺玫、灰栒子、唐松草、龙牙草、藁草
6	虎榛子灌丛	天然	1490	SW	45	18	60.0	—	98	绣线菊、榆叶梅、藁草
7	白桦林	天然	1674	E	36	750	12.6	19.0	70	绣线菊、六道木、灰栒子、山刺玫、唐松草
8	落叶混交林	人工	1676	SE	30	780	15.6	20.3	72	绣线菊、六道木、山刺玫、平榛、唐松草、藁草、蒿本
9	落叶松林	人工	1697	SSE	17	1200	16.0	20.6	78	绣线菊、六道木、接骨木、东方草莓
10	白桦林	天然	1813	W	29	1600	12.6	15.7	76	绣线菊、平榛、灰栒子、蒿本、藁草
11	白桦林	天然	1879	SE	32	2400	17.2	18.4	86	六道木、灰栒子、绣线菊、平榛、蒿本
12	红桦林	天然	2069	E	32	1960	12.6	13.6	82	山刺玫、绣线菊、灰栒子、六道木、东方草莓、蒿本、藁草
13	红桦林	天然	2139	NW	35	1879	12.8	14.5	85	山刺玫、绣线菊、灰栒子、六道木、蒿本、藁草
14	草甸	天然	2187	NW	32	—	—	—	98	藁草、地榆、藁本、马先蒿、紫苞雪莲、狗娃花
15	落叶松林	天然	2422	NW	32	986	12.4	15.8	76	藁草、紫苞雪莲、防风、早熟禾
16	草甸	天然	2425	NW	33	—	—	—	98	藁草、紫苞雪莲、地榆、画眉草
17	草甸	天然	2636	NE	37	—	—	—	99	藁草、紫苞雪莲、防风、早熟禾
18	落叶松林	天然	2641	NE	36	754	4.3	8.2	67	藁草、紫苞雪莲、早熟禾

注:3,6 样地虎榛子灌丛密度单位为丛/m²。

2.3 土壤样品测试

为了能够全面评价不同海拔土壤质量,本研究主要选取 3 类指标,分别为反映土壤物理性状的指标;反映土壤持水能力的指标和反映土壤养分特征的指标;反映土壤物理性状的指标包括土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度;反映土壤持水能力的指标包括土壤含水量、毛管持水量、最大持水量和田间持水量;反映土壤养分特征的指标包括土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量。采用环刀法测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、毛管持水量、最大持水量和田间持水量,采用烘干称重法测定土壤含水量。将装袋土壤样品风干后过 0.15 mm 筛,测定土壤养分含量。采用重铬酸钾浓硫酸消解硫酸亚铁滴定法测定土壤有机质含量;凯氏定氮法测定全氮含量;钼锑抗比色法测定全磷含量;原子吸收法测定全钾含量;碱解扩散法测定碱解氮含量;碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定速效磷含量;醋酸铵浸提—火焰光度法测定速效钾含量^[11]。

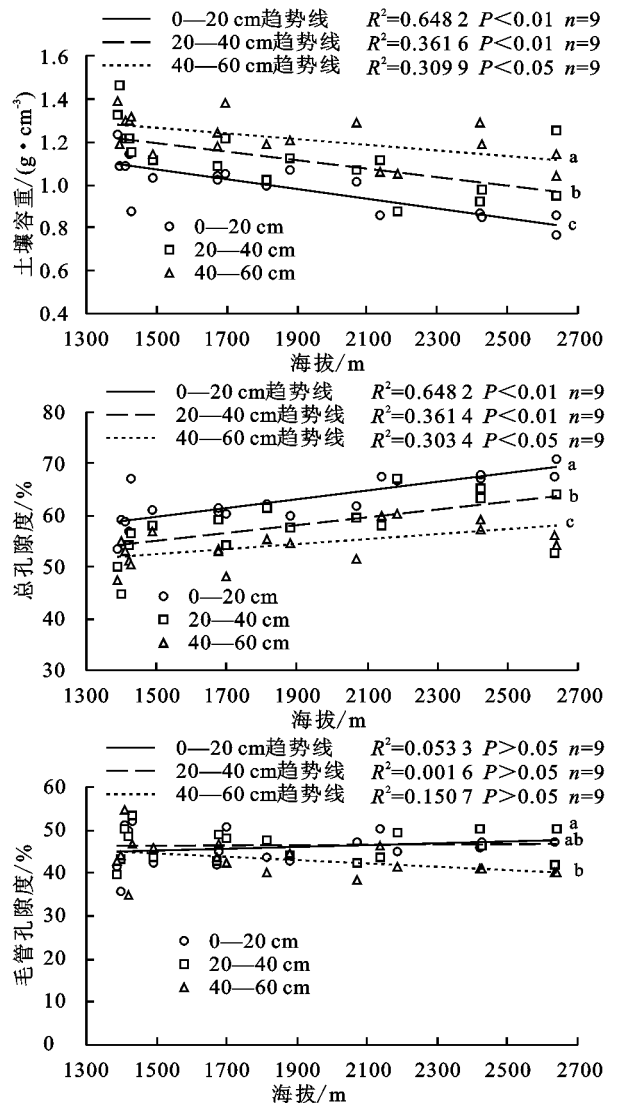
2.4 数据分析

使用 Excel 2007 软件进行数据处理和作图,SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析和差异显著性检验(LSD)。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性状随海拔的变化

由图 1 可知,小五台山不同海拔土壤物理性质表现不同,土壤容重随海拔的变化范围为 0.86~1.32 g/cm³,总孔隙度为 50.26%~67.49%,毛管孔隙度为 41.03%~51.05%(0—60 cm 土层)。



注:不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 1 土壤物理性状随海拔的变化

小五台山 0—20, 20—40, 40—60 cm 土壤容重均与海拔呈显著负相关 ($P < 0.05$), 上、中、下层土壤容重都表现为随海拔升高逐步降低的趋势; 从 3 个土层的容重来, 上层容重最小, 中层次之, 下层最大, 表现为随土层深度增加土壤容重变大。上、中、下 3 层土壤总孔隙度均与海拔呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与土壤容重相反, 随海拔的升高呈现逐步升高的趋势; 上层土壤总孔隙度最大, 随土层深度增加总孔隙度逐步降低。各土层毛管孔隙度与海拔相关关系不显著 ($P > 0.05$), 无明显随海拔而变化的规律; 上层与中层土壤毛管孔隙度差异不明显, 而下层土壤毛管孔隙度明显低于上层, 且随海拔增加有逐步降低趋势, 但趋势不显著 ($P > 0.05$)。

3.2 土壤持水能力随海拔的变化

小五台山不同海拔土壤持水能力表现不同, 土壤含

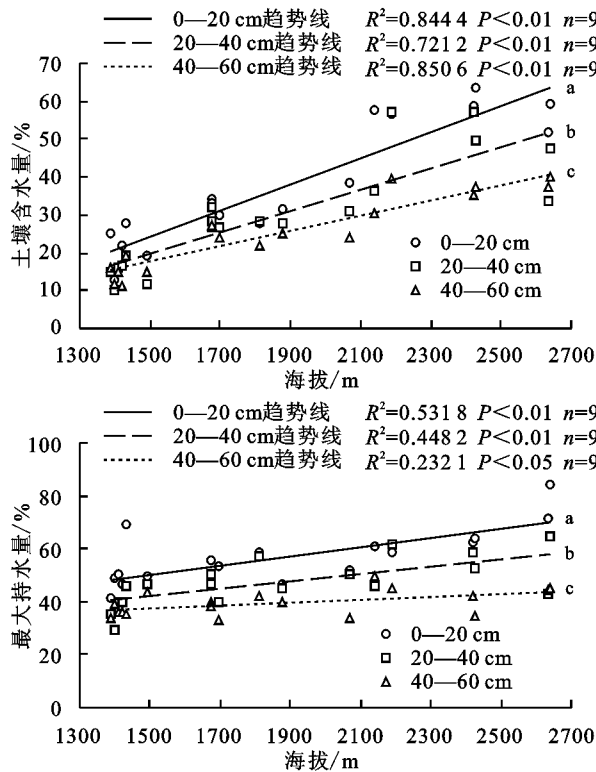


图 2 土壤持水能力随海拔的变化

3.3 土壤养分含量随海拔的变化

由图 3 和图 4 可知, 小五台山不同海拔土壤养分含量分异特征明显, 土壤有机质含量随海拔的变化范围为 19.77~70.69 g/kg, 全氮为 0.85~2.34 g/kg, 全磷为 0.33~0.86 g/kg, 全钾为 7.60~10.31 g/kg (0—60 cm 土层); 土壤速效养分含量随海拔的变化范围为: 碱解氮 72.26~206.61 mg/kg, 速效磷 0.30~0.50 mg/kg, 速效钾 64.03~130.90 mg/kg (0—60 cm 土层)。小五台山上、中、下 3 层土壤有机质含量、全氮含量与海拔呈显著正相关 ($P < 0.05$), 随海拔升高而逐渐升高; 随土层深度增加土壤有机质含量、全氮含量降低, 且不同层次间差异显

著。从不同土层有机质含量和全氮含量趋势线斜率来看, 上层斜率最大, 中层次之, 下层最小, 表明上层土壤有机质含量和全氮含量随海拔升高变化最明显, 而中下层变化相对较小, 说明土壤有机质含量和全氮含量的“表聚现象”海拔越高越明显。上、中、下 3 层土壤全磷含量也与海拔呈显著正相关 ($P < 0.05$), 随海拔升高而逐渐升高, 随土层深度增加而降低, 具体表现为下层土壤全磷含量显著低于上层。但从不同土层全磷含量趋势线斜率来看, 上层斜率最小, 表明上层土壤全磷含量随海拔升高的变化幅度较中下层土壤小, 证明土壤全磷含量的“表聚现象”海拔越高越不明显。

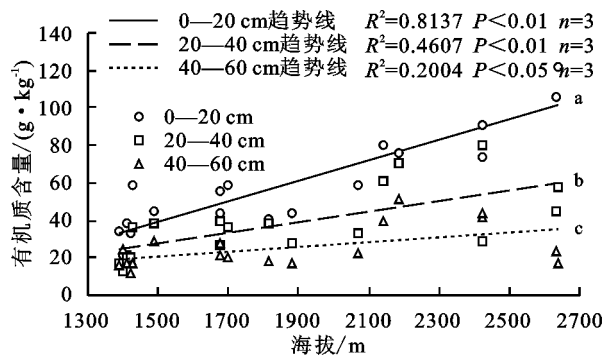
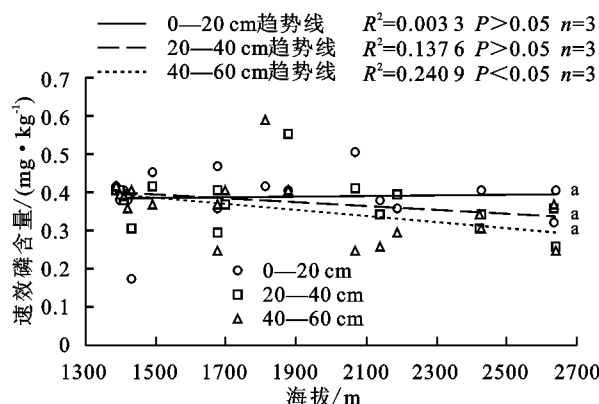
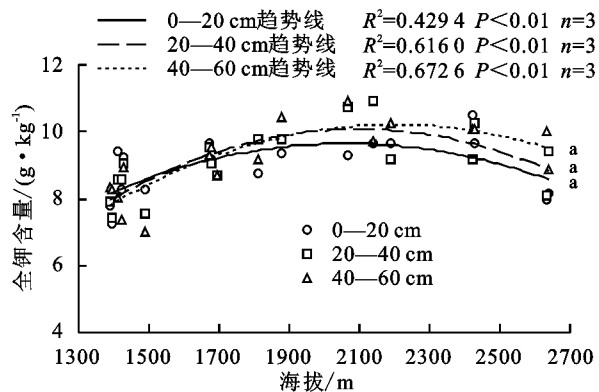
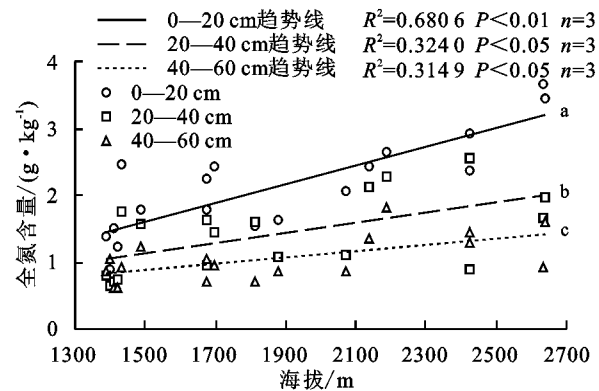


图 3 土壤有机质含量随海拔的变化

上、中、下 3 层土壤全钾含量随海拔升高表现为“先升高后降低”的抛物线型,呈现为二次多项式相关 ($P < 0.05$),在 2 100~2 200 m 海拔达到峰值,且随土层深度增加峰值有滞后趋势。另外,海拔低于 1 700 m 时,土壤不同层次全钾含量表现为上层 > 中下层;海拔高于 1 700 m 后,表现为中下层 > 上层。



土壤全钾含量上、中、下 3 层差异不显著,没有明显的“表聚现象”。上、中、下 3 层土壤碱解氮含量与海拔呈显著正相关 ($P < 0.05$),表现为随海拔升高而逐渐升高;土壤上层碱解氮含量与中下层差异显著,表现为随土层深度增加而降低趋势;从不同层次趋势线斜率来看,碱解氮含量海拔越高“表聚现象”越明显。土壤速效钾含量不同土层随海拔变化不同,上层土壤速效钾含量随海拔升高没有明显变化趋势 ($P > 0.05$),中层和下层土壤速效钾含量随海拔升高而升高 ($P < 0.05$);土壤速效钾含量表现出明显的“表聚现象”,但随海拔升高“表聚现象”减弱。上层土壤速效磷含量随海拔升高没有明显变化趋势 ($P > 0.05$),中层随海拔升高有所降低,但趋势并不明显 ($P > 0.05$),而下层则表现出明显的降低趋势 ($P < 0.05$);多数样地上层土壤速效磷含量都高于中下层土壤,因此土壤速效磷含量也存在一定的“表聚现象”,但并不明显。

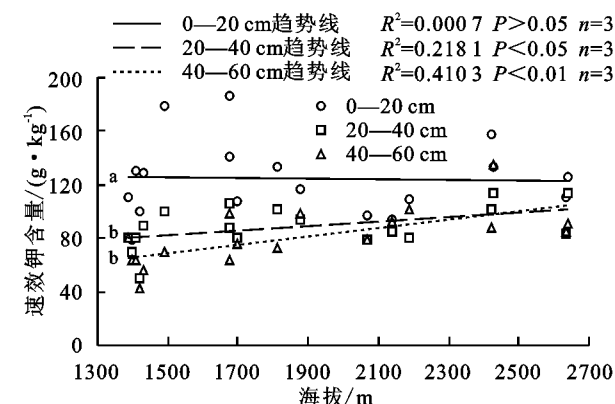
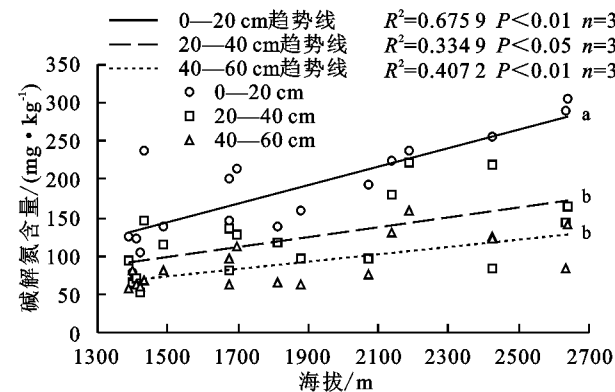
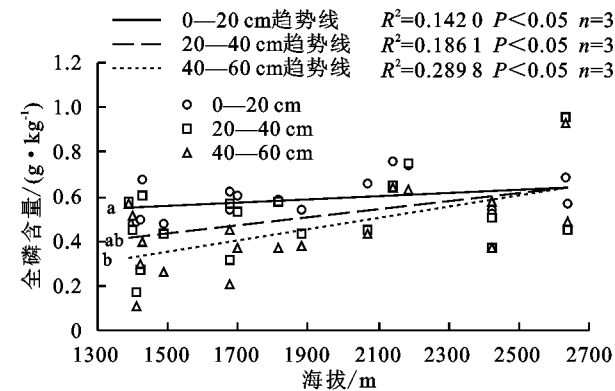


图 4 土壤氮、磷、钾含量随海拔的变化

4 讨论

土壤是植物生长发育的载体,也是各种物质能量转化的场所,土壤质量是森林可持续经营的重要因素。土壤物理性质是衡量土壤质量的重要指标之一,包括质地、结构、孔性以及土壤持水等性质。一般认为土壤容重、孔隙度等土壤物理性状直接影响土壤持水能力,土壤容重越小、孔隙度越大,土壤持水能力越好^[12]。本研究发现土壤容重随海拔升高而降低,土壤孔隙度随海拔升高而升高,表征持水能力的土壤含水量、毛管持水量、最大持水量、田间持水量等指标随海拔升高而升高;土壤容重与土壤含水量、毛管持水量、最大持水量、田间持水量等各项指标呈显著负相关关系,而土壤孔隙度与各项指标显著正相关关系(表 2)。这与马国飞等^[13]研究的新疆天山托木尔峰土壤容重、孔隙度、自然含水率、饱和含水率随海拔变化的结果一致。土壤容重、孔隙度以及与之相关的土壤持水能力改变的主要原因是土壤有机质含量的增加,本研究表明土壤有机质含量呈现随

海拔升高逐渐增加的趋势,与丁咸庆等^[6]研究的大围山不同海拔森林土壤有机质垂直分布规律一致。

由表 2 可知,土壤有机质与以上指标均呈显著相关关系,解释了土壤容重随海拔升高而降低,孔隙度和持水能力随海拔升高而升高的变化规律。也就是说由森林植被返还土壤的有机质对于改善土壤质地、孔性和持水能力有至关重要的影响,而土壤有机质含量随海拔升高而升高的变化趋势主要是由于植物枯落物的累积和分解,以及土壤微生物活性造成的。海拔的变化引起水热分配的变化,高海拔区域土壤温度低,而降水和冷凝水多,较高的含水量加速了地表枯落物及根系残留的腐烂和分解,而较低的温度影响土壤微生物种群数量以及活性,导致有机质被分解为 C、N、P、K 等营养元素的过程减缓,也就是使土壤有机质的矿化速率减缓,使大量的有机质富集^[14],从而降低了土壤容重,增加了孔隙度,促进了土壤涵养水源能力的提高。

表 2 土壤各项指标相关性矩阵

指标	土壤容重	总孔隙度	土壤含水量	毛管孔隙度	毛管持水量	最大持水量	田间持水量	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾
总孔隙度	-1.00**													
土壤含水量	-0.78**	0.78**												
毛管孔隙度	-0.47**	0.46**	0.36*											
毛管持水量	-0.88**	0.88**	0.74**	0.73**										
最大持水量	-0.94**	0.94**	0.74**	0.53**	0.95**									
田间持水量	-0.91**	0.91**	0.74**	0.63**	0.96**	0.97**								
有机质	-0.84**	0.84**	0.82**	0.47**	0.88**	0.87**	0.88**							
全氮	-0.80**	0.80**	0.74**	0.51**	0.86**	0.85**	0.85**	0.97**						
全磷	-0.33*	0.33*	0.39**	0.21	0.38*	0.36*	0.38*	0.51**	0.56**					
全钾	-0.26	0.26	0.42**	0.09	0.13	0.11	0.10	0.12	0.07	0.02				
碱解氮	-0.80**	0.80**	0.77**	0.50**	0.85**	0.84**	0.85**	0.96**	0.98**	0.60**	0.11			
速效磷	-0.03	0.03	0.00	-0.08	-0.04	0.04	-0.07	-0.04	-0.05	-0.06	0.26	-0.09		
速效钾	-0.54**	0.54**	0.33*	0.18	0.42**	0.54**	0.51**	0.46**	0.51**	0.16	0.16	0.50**	0.03	

注: * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$; $n = 45$ 。

土壤营养元素随海拔的变化主要受其来源和流失特性两方面的影响。森林土壤营养元素一方面来源于有机质分解返还,另一方面来源于土壤母质。不易流失的营养元素分布特征主要受其来源影响,而易于流失的营养元素则受两方面的共同作用^[15],在流失过程中又受地形、降水、土壤含水等相关因子的显著影响。有研究^[16]表明,森林凋落物产量下降会导致土壤有机质含量、全氮、钙镁离子等浓度降低,从而导致土壤长期退化;而土壤养分含量会因淋溶、运移和积累发生显著变化^[17]。一般认为土壤氮主要来源于土壤有机质的分解^[18],且两者存在较高的相关关系,在不同海拔的空间分布上具有一致的变化规律。由表 2 可知,土壤有机质与土壤全氮、碱解氮含量相关系数分别达到 0.97, 0.96, 呈现极显著正相关关系,表现为随海拔升高而升高的变化趋势,这与马国

飞等^[13,18]的研究结果一致。本研究表明土壤全磷随海拔升高而升高,且受土壤有机质含量的显著影响(表 2)。土壤中绝大多数的磷以有机态存在,因此有机质含量对土壤全磷有着很大的影响,另外海拔、土地利用方式及坡度等因素可以通过影响气候或土壤侵蚀程度而影响磷的含量^[19]。山地土壤钾含量一般来源于土壤母岩,但其分布特点也受植物对钾的吸收利用和植物枯落物对钾的返还影响,本研究发现小五台山土壤全钾含量随海拔升高表现为“先升后降”的抛物线型,可能原因是土壤全钾极易流失,而在海拔 2 100 m 之后的样地坡度较大,加剧了钾的淋溶流失。该结果与袁知洋等^[20]研究的武功山山地草甸土壤全钾含量随海拔上升显著上升的结果相近,但与马维伟等^[21]的研究结果不同,可能原因是后者研究的海拔梯度差仅为 100~150 m,跨度较小所致。

本研究发现土壤有机质、全氮、全磷含量有明显的“表聚现象”,而全钾含量“表聚现象”现象不明显,与袁知洋等^[20]对武功山草甸土壤的研究结果一致,可能是钾比较容易流失而造成的。吴昊^[22]研究秦岭山地松栎混交林土壤养分空间变异发现,随着土层深度增加,速效氮、速效磷和速效钾含量均呈显著下降趋势,与本文对碱解氮、速效磷、速效钾的研究结果基本相同。究其原因,可能是以上营养元素主要来源于土壤有机质分解返还出现表层富集,加之各营养元素不同的流失特性共同作用的结果。当前,对土壤速效态营养元素随海拔变化的研究较少,而分层速效态营养元素随海拔的变化趋势研究则更少,本文在此方面做了初步探索,今后有必要继续加强这方面的研究工作。

5 结论

(1)土壤有机质含量随海拔升高而升高的变化特征是土壤容重、孔隙度以及与之相关的土壤持水能力随海拔变化的主要原因,说明由森林植被返还土壤的有机质对于改善土壤质地、孔性和持水能力有重要影响。

(2)土壤全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷等营养元素随海拔的变化主要受其来源和流失特性两方面的影响。全氮、全磷、碱解氮由于其不易流失的特性表现为与有机质含量高度相关;而全钾、速效磷由于其容易流失则与有机质含量并不相关。

(3)土壤各营养元素的“表聚现象”同样受其来源和流失特性影响。主要来源于森林植被返还土壤有机质,且不易流失的营养元素“表聚现象”明显,而容易流失的则“表聚现象”不明显。

参考文献:

[1] 张晓霞,杨宗儒,查同刚,等.晋西黄土区退耕还林22年后林地土壤物理性质的变化[J].生态学报,2017,37(2):416-424.

[2] Yuan S S, Tang T T, Wang M C, et al. Regional scale determinants of nutrient content of soil in a cold-temperate forest [J]. *Forests*, 2018, 9(4): 177-188.

[3] Huang X J, Wang Q, Sun H, et al. Soil biomass carbon dynamics of subalpine forest in western Sichuan Province during the cold seasons [J]. *Journal of Mountain Science*, 2012, 30(5): 546-553.

[4] Zhang M, Zhang X K, Liang W J, et al. Distribution of soil organic carbon fractions along the altitudinal gradient in Changbai Mountain, China [J]. *Pedosphere*, 2011, 21(5): 615-620.

[5] Parras-Alcantara L, Lozano-Garcia B, Galan-Espejo A. Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despenaperros Natural Park, southern Spain [J]. *Solid Earth*, 2015, 6(1): 125-134.

[6] 丁咸庆,马慧静,朱晓龙,等.大围山不同海拔森林土壤有机碳垂直分布特征[J].水土保持学报,2015,29(2):258-262.

[7] 孙海燕,万书波,李林,等.贺兰山西坡不同海拔梯度土壤活性有机碳分布特征及影响因子[J].水土保持学报,2014,28(4):194-205.

[8] 麻泽宇,王丹,戴伟,等.阿尔泰山不同海拔梯度天然冷杉林土壤特征及肥力综合评价[J].水土保持学报,2016,23(5):134-140.

[9] 焦润安,李朝周,赵阳,等.海拔对陇南白龙江流域油橄榄园土壤肥力的影响[J].生态学杂志,2018,37(2):360-365.

[10] 张鹏,张涛,陈年来.祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征及影响因素[J].应用生态学报,2009,20(3):518-524.

[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999:42-79.

[12] 李卓,吴普特,冯浩,等.容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J].土壤学报,2010,47(4):611-620.

[13] 马国飞,满苏尔·沙比提,张雪琪.托木尔峰自然保护区台兰河上游不同海拔灌木土壤理化性质研究[J].土壤通报,2017,48(6):1288-1295.

[14] Pang H, Wei D, Bing W, et al. Organic carbon content and mineralization characteristics of soil in a subtropical pinus massoniana forest [J]. *Journal of Chemical & Pharmaceutical Research*, 2013, 5(12): 1363-1369.

[15] Manzoni S, Trofymow J A, Jackson R B, et al. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter [J]. *Ecological Monographs*, 2010, 80(1): 89-106.

[16] Toth J A, Nagy P T, Krakomperger Z. Effect of litter fall on soil nutrient content and pH, and its consequences in view of climate change [J]. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 2011, 7(1): 75-86.

[17] Siyami K, Fusun G, Ramazan S. Relationships between soil properties, topography and land use in the Van Lake Basin, Turkey [J]. *Eurasian Journal Soil Science*, 2018, 7(2): 115-120.

[18] 马国飞,满苏尔·沙比提,靳万贵.天山南坡台兰河上游草地土壤理化性质与海拔的关系研究[J].土壤通报,2017,48(3):597-603.

[19] 顾振宽,杜国祯,朱炜歆,等.青藏高原东部不同草地类型土壤养分的分布规律[J].草业科学,2012,29(4):507-512.

[20] 袁知洋,邓邦良,郭晓敏,等.武功山山地草甸土壤全量氮磷钾分布格局及对不同退化程度的响应[J].西北林学院学报,2015,30(3):14-20.

[21] 马维伟,王辉,王跃思,等.甘南尕斯草甸湿地不同海拔土壤性状研究[J].草地学报,2012,20(6):1044-1050.

[22] 吴昊.秦岭山地松栎混交林土壤养分空间变异及其与地形因子的关系[J].自然资源学报,2015,30(5):858-869.