

网络出版时间:2013-03-27 15:50

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130327.1550.031.html>

牛背梁自然保护区不同海拔高度森林 土壤养分特征分析

吕世丽^a, 李新平^{a,b}, 李文斌^b, 慕小艳^b

(西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】** 分析秦岭牛背梁自然保护区内土壤养分空间的分异状况及其与海拔高度的关系, 为研究森林生态及合理利用与保护该地区森林资源提供依据。**【方法】** 采取 1 248~2 625 m 海拔 16 个完整土壤剖面的土壤样品, 室内测定土壤基本养分含量和 pH 值, 应用统计学软件对各土壤养分含量与海拔高度进行相关分析。**【结果】** 1) 保护区内的土壤养分指标在整个土壤剖面的空间分异范围分别为: 土壤 pH 5.35~6.65, 有机质含量 5.65~74.84 g/kg, 土壤全氮含量 0.30~5.43 g/kg, 碱解氮含量 106.64~208.66 mg/kg, 全磷含量 0.45~1.30 g/kg, 速效磷含量 0.44~6.82 mg/kg, 全钾含量 14.88~18.78 g/kg, 速效钾含量 26.18~277.00 mg/kg。2) 土壤有机质、全氮、全磷和速效磷含量的空间分异度较大, 土壤 pH 值和全钾含量的空间分异度较小; 随着土层深度的增加, 土壤 pH 值、全钾、速效钾含量的空间分异程度降低, 而土壤有机质、全氮和碱解氮含量的空间分异程度则增大。3) 土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾含量均与海拔之间呈现明显的相关性, 各养分含量的极值多出现在海拔 1 900~2 000 m, 上述养分含量随海拔高度变化的变异规律各异。**【结论】** 牛背梁国家级森林自然保护区不同海拔高度森林土壤养分状况存在差异, 土壤各养分之间不是孤立存在的, 而是存在一定的相关性。

【关键词】 牛背梁国家级森林自然保护区; 土壤养分; 海拔; 相关性分析

【中图分类号】 S153.6

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)04-0161-08

Forest soil nutrient characteristics at different altitudes in Niubeiliang National Natural Reserve

LÜ Shi-li^a, LI Xin-ping^{a,b}, LI Wen-bin^b, MU Xiao-yan^b

(a College of Resources Environment, b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** This study analyzed the relationship between the space differentiation of soil nutrient and the altitude in Qinling Niubeiliang National Natural Reserve to improve the studies on ecological conditions, utilization, and protection of forest resources. **【Method】** The basic soil nutrient contents and pH values of soil samples, taken from 16 complete soil profiles at the altitude range of 1 248—2 625 m, were measured before statistics software was used for correlation analysis. **【Result】** 1) The spatial distribution ranges of soil nutrient indexes in Niubeiliang National Natural Reserve of pH, organic matter, total N, available N, total P, available P, total K, and available K were 5.35—6.65, 5.65—74.84 g/kg, 0.30—5.43 g/kg, 106.64—208.66 mg/kg, 0.45—1.30 g/kg, 0.44—6.82 mg/kg, 14.88—18.78 g/kg, and 26.18—277.00 mg/kg, respectively. 2) The spatial variation degrees of soil organic matter, total N, total P and available P were large, whereas soil pH values and total K were small. The spatial variation degrees of soil

【收稿日期】 2012-07-30

【基金项目】 陕西省林业厅资助项目(SDNB2010)

【作者简介】 吕世丽(1987—), 女, 山西河曲人, 在读硕士, 主要从事土壤化学研究。E-mail: shili20080301@163.com

【通信作者】 李新平(1961—), 男, 陕西武功人, 副教授, 主要从事土壤与生态研究。E-mail: xinpinglei79@sina.com

pH values, total K and available K decreased from surface to deep soil, whereas organic matter, soil total N and available N increased. 3) Correlation analysis showed that the contents of soil organic matter, total N, P, K, available N, P, K, and soil pH values significantly correlated to altitude. The soil nutrient contents extremum were more appeared at altitudes from 1 900 to 2 000 m, and then gradually reduced along with increase of sampling altitude. 【Conclusion】 The soil nutrients among different altitudes were significant different in Niubeiliang National Natural Reserve, and the nutrients correlated with each other.

Key words: Niubeiliang National Natural Reserve; soil nutrient; altitude; correlation analysis

森林土壤是林木生长的基础,起着支持和固定林木生长的作用,一切林木生长发育所需的水、肥、气、热等生态要素,都是通过土壤提供的。而土壤中养分含量的多少,制约着林木的生长量和林地的生产力水平^[1]。在土体剖面上的物质交换导致了从表层到母岩层各土层间土壤理化及生物学性质的显著差异,土壤层次间物质交换的研究是土壤发生学和分类学的基础^[2]。研究土壤养分元素在剖面上的垂直分布,可为了解土壤形成过程中的成土因素(如地形、气候、植被类型),营养元素的输入、输出和循环过程以及土地利用变化等提供基础资料^[2-7]。地形影响土壤理化性质,不同的坡位和坡度,由于接收太阳热量的情况不同,因而形成了阳性土和阴性土^[8]。地形的影响可以通过海拔绝对高度的变化表现出来,由于海拔高度的不同,气候特征、林分类型、土壤类型随之改变,导致土壤理化性质产生差异^[9]。一般随着海拔高度的增加,气候变得更为冷湿,土壤的水热条件和植被均因此而发生变化,所以山地土壤的分布和形成过程与海拔高度的变化有密切关系,表现为不同的垂直地带土壤有机质的矿化程度、土壤的机械组成以及微生物数量^[10]等不同。党坤良等^[11]对秦岭南坡不同海拔土壤肥力的空间分异规律进行了研究,结果显示,随着海拔高度的上升,土壤有机质的累积、转化等过程发生了明显变化。

秦岭牛背梁国家级森林自然保护区拥有我国重要的森林资源,建成较晚,土壤发育年轻,目前在牛背梁自然保护区开展的土壤养分状况分析研究较少。进一步探明海拔高度与土壤间的关系,特别是土壤基本养分如有机质、氮、磷、钾的变化规律,对于合理利用森林和森林土壤资源,建立良性循环的森林生态系统具有重要意义。本试验对不同海拔高度、不同土壤发生层次森林土壤的养分状况进行了系统研究,探明土壤养分随海拔高度的变化,以期研究森林生态及保护区内森林资源的可持续经营提供参考资料和理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

牛背梁国家级森林自然保护区横跨秦岭主脊南北,东西狭长分布,位于东经 $108^{\circ}45'$ ~ $109^{\circ}03'$,北纬 $33^{\circ}47'$ ~ $33^{\circ}55'$,属暖温带季风型半湿润山地气候。年平均气温 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 31.1°C ,极端最低气温 -21.6°C ;年降水量 $850\sim 950\text{ mm}$,年平均日照 $1\,498\text{ h}$,无霜期 161 d ,积雪期长达 5 个月,最大积雪深度 28 cm ,年平均气压 952.1 MPa ,海拔 $2\,500\text{ m}$ 以上的山地平均气压只有 850 MPa 左右。牛背梁时常受到西伯利亚冷空气的侵扰,海拔 $2\,500\text{ m}$ 以上地区几乎常年有风,平均风速保持在 $2\sim 3\text{ m/s}$ 。保护区内地形复杂,高差悬殊,海拔 $1\,100\sim 2\,802\text{ m}$,垂直高差 $1\,702\text{ m}$,主峰牛背梁(海拔 $2\,802\text{ m}$)为区内最高峰^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查与取样 通过实地勘察,在保护区内的 4 个保护站点(石砭峪保护站、老林保护站、北沟保护站、广货街保护站)分别挖取 4 个有代表性且发育良好的完整土壤剖面,共 16 个剖面,深度约 1 m 。土壤剖面根据土壤发生层的颜色、结构、质地、松紧度、植物根系分布等特征划分为 O(枯枝落叶层)、A(腐殖质层)、E(淋溶层)、B(淀积层)4 个层次。人工分层采取混合土样,用四分法留存 1 kg 土样带回实验室将其自然风干,剔除土样中的根系、石块等杂物,磨细分别过孔径 1 和 0.25 mm 土筛,用于测定土壤基本养分含量。16 个典型土壤剖面点的基本情况见表 1。

1.2.2 土壤养分指标的测定 土壤 pH 值:电位电极法;土壤有机质:重铬酸钾容量法;土壤全氮:凯氏定氮法;土壤全磷:酸溶-钼锑抗比色法;土壤全钾:火焰光度计法;土壤碱解氮:碱解扩散吸收法;土壤速效磷:碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤速效钾:醋酸铵浸提-火焰光度计法。具体方法详见《土壤调查实验室分析方法》^[13]。

1.2.3 数据处理 数据处理采用 Excel 2010 和 含量和 pH 值与海拔高度之间的关系进行相关回归 SPSS 17.0 软件。运用相关回归分析对土壤各养分 分析及显著性检验。

表 1 牛背梁自然保护区供试土壤采集点的环境条件

Table 1 Environmental condition of soil sampling sites in Niubeiliang National Natural Reserve						
剖面编号 Index	海拔/m Altitude	地理位置 Latitude and longitude	地形 Topography	气候条件 Climatic zone	植被环境 Vegetation	母质 Parent material
1	1 248	N33°46'442" E108°46'800"	山坡底部 Slope bottom	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	锐齿槲栎林 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	坡积母质 Colluvial parent material
2	1 297	N33°54'685" E108°57'982"	坡地 Slope land	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	栓皮栎林 <i>Quercus variabilis</i>	坡积母质 Colluvial parent material
3	1 454	N33°47'823" E108°52'424"	陡峭山坡 Steep slope	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	野栗子, 栓皮栎林 Chestnut, <i>Quercus variabilis</i>	坡积母质 Colluvial parent material
4	1 639	N33°53'930" E108°58'160"	坡地 Slope land	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	锐齿槲栎林, 漆树 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> , <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	坡积母质 Colluvial parent material
5	1 706	N33°51'469" E108°59'939"	坡地 Slope land	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	山杨, 油松林 <i>Pobulus davidiana</i> , <i>Pinus tabulaeformis</i>	坡积母质 Colluvial parent material
6	1 708	N33°47'264" E108°50'600"	陡峭山坡 Steep slope	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	锐齿栎, 油松林, 核桃 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> , <i>Pinus tabulaeformis</i> , walnut	坡积母质 Colluvial parent material
7	1 740	N33°49'427" E108°47'125"	陡峭山坡 Steep slope	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	油松林 <i>Pinus tabulaeformis</i>	坡积母质 Colluvial parent material
8	1 751	N33°48'440" E108°51'462"	山坡下方 Slope bottom	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	秦岭白蜡, 青榨槭 <i>Fraxinus paxiana</i> , <i>Acer davidii</i>	坡积母质 Colluvial parent material
9	1 980	N33°46'850" E108°49'749"	陡峭山坡 Steep slope	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	油松林 <i>Pinus tabulaeformis</i>	坡积母质 Colluvial parent material
10	1 990	N33°52'321" E108°58'259"	坡地 Slope land	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	栓皮栎林, 领春木 <i>Quercus variabilis</i> , <i>Euptelea pleiosperma</i>	坡积母质 Colluvial parent material
11	2 076	N33°51'839" E108°59'420"	山梁 Ridge	暖温带半湿润季风气候 Warm temperate semi-humid monsoon climate	鹅耳枥, 胡桃楸 <i>Carpinus shensiensis</i> , <i>Juglans cathayensis</i>	坡积母质 Colluvial parent material
12	2 190	N33°50'308" E108°47'519"	坡地 Slope land	温带半湿润季风气候 Temperate semi-humid monsoon climate	红桦林, 长柄八仙花 <i>Betula albo-sinensis</i> , <i>Hydrangea longipes</i>	坡积母质 Colluvial parent material
13	2 294	N33°53'176" E108°58'573"	坡地 Slope land	温带半湿润季风气候 Temperate semi-humid monsoon climate	牛皮桦林, 红桦林 <i>Betula utilis</i> D. Don, <i>Betula albo-sinensis</i>	残积母质 Residual parent material
14	2 333	N33°52'477" E108°59'520"	山顶平缓地带 Peak gentle strip	温带半湿润季风气候 Temperate semi-humid monsoon climate	华山松, 桦叶荚 <i>Pinus armandii</i> , <i>Viburnum betuli folium</i>	残积母质 Residual parent material
15	2 450	N33°50'267" E108°47'057"	山坡平缓地带 Gentle slope strip	温带半湿润季风气候 Temperate semi-humid monsoon climate	桦木林, 冷杉林 <i>Betula</i> spp., <i>Abies fargesii</i>	残积母质 Residual parent material
16	2 625	N33°52'657" E108°59'028"	梁顶 Ridge	温带半湿润季风气候 Temperate semi-humid monsoon climate	禾蒿草 <i>Kobresia graminifolia</i>	残积母质 Residual parent material

2 结果与分析

2.1 牛背梁自然保护区森林土壤养分的总体空间分异状况

从表 2 可以看出,保护区各土壤养分含量在空间分异范围分别为:土壤 pH 值为 5.35~6.65,有机质含量为 5.65~74.84 g/kg,全氮含量为 0.30~5.43 g/kg,碱解氮含量为 106.64~208.66 mg/kg,全磷含量为 0.45~1.30 g/kg,速效磷含量为 0.44~6.82 mg/kg,全钾含量为 14.88~18.78 g/kg,速效钾含量为 26.18~277.00 mg/kg。

土壤 pH 值在 6.5~7.5 内为中性土壤。由表 2 可以看出,在牛背梁国家级森林自然保护区海拔梯度(1 248~2 625 m)范围内,土壤 pH 值变动于 5.35~6.65,呈弱酸性。土壤 pH 值均随着土层深度的增大而增加,O、A、E、B 层土壤 pH 均值分别是 5.60,5.83,6.01 和 6.35。表层土壤 pH 值较低,这是由于表层土壤枯枝落叶层有机质在分解过程中产

生的中间产物单宁、有机酸多,致使表层土壤 pH 值均有所下降。土壤全氮和碱解氮含量随海拔的变化特征与土壤有机质基本相似,说明土壤氮含量与有机质含量密切相关。O 层、A 层土壤养分含量受气候、林分及人为活动等因素的影响,其空间分异程度相对较大。O 层土壤养分由高到低依次为:全氮>速效磷>速效钾>有机质>全磷>碱解氮>全钾>土壤 pH 值,A 层土壤养分由高到低依次为:全氮>全磷>速效磷>速效钾>有机质>碱解氮>全钾>土壤 pH 值;对于 E 层、B 层土壤,由于其养分主要取决于 A 层物质的下移量和土壤本身的化学成分组成^[14-15],故其空间分异程度相对较小。E 层土壤养分空间分异程度由高到低依次为:速效磷>全氮>有机质>全磷>碱解氮>速效钾>全钾>土壤 pH 值,B 层土壤养分空间分异程度由高到低依次为:全氮>速效磷>有机质>全磷>碱解氮>速效钾>全钾>土壤 pH 值。

表 2 牛背梁自然保护区森林土壤的养分特征

Table 2 Nutrient characteristics of forest soils in Niubeiliang National Natural Reserve									
土壤层次 Soil layer	项目 Item	pH 值 pH value	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total N	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Available N	全磷/ (g·kg ⁻¹) Total P	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available P	全钾/ (g·kg ⁻¹) Total K	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K
O	样本数 Sample number	16	16	16	16	16	16	16	16
	均值 Mean	5.60	53.30	3.43	151.19	0.63	4.70	16.59	220.87
	标准差 SD	0.18	12.23	1.21	17.00	0.13	1.20	0.95	53.27
	最大值 Max	5.93	74.84	5.43	189.67	0.86	6.82	17.87	277.00
	最小值 Min	5.35	32.12	1.29	112.98	0.47	3.03	14.88	113.52
	变异系数 CV	3.26	22.94	34.90	11.24	20.34	25.61	5.74	24.12
A	样本数 Sample number	16	16	16	16	16	16	16	16
	均值 Mean	5.83	23.65	1.70	133.42	0.84	2.61	17.09	131.89
	标准差 SD	0.22	4.77	0.66	14.35	0.24	0.66	1.00	29.61
	最大值 Max	6.15	32.99	3.09	163.30	1.30	3.86	18.48	173.55
	最小值 Min	5.48	16.55	0.74	109.93	0.52	1.83	15.04	80.46
	变异系数 CV	3.74	20.16	39.06	10.75	28.32	25.08	5.88	22.45
E	样本数 Sample number	16	16	16	16	16	16	16	16
	均值 Mean	6.01	13.08	1.04	128.68	0.83	1.64	17.47	68.55
	标准差 SD	0.17	3.68	0.46	23.01	0.20	0.86	0.67	11.56
	最大值 Max	6.31	19.60	2.04	206.84	1.11	3.23	18.78	88.33
	最小值 Min	5.76	8.43	0.46	111.01	0.52	0.44	16.64	52.00
	变异系数 CV	2.79	28.10	44.83	17.88	24.15	52.14	3.85	16.87
B	样本数 Sample number	15	15	15	15	15	15	15	15
	均值 Mean	6.35	8.56	0.59	125.30	0.66	1.08	17.40	33.44
	标准差 SD	0.18	2.38	0.25	25.64	0.17	0.32	0.73	5.18
	最大值 Max	6.65	12.58	1.09	208.66	1.03	1.72	18.61	41.18
	最小值 Min	6.05	5.65	0.30	106.64	0.45	0.72	16.09	26.18
	变异系数 CV	2.84	27.76	43.02	20.47	26.55	29.63	4.19	15.49

从表 2 还可以看出,土壤 pH 值和全钾含量在不同海拔梯度上的变异系数较小(<10),而土壤有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾含量在不同海拔梯度上变异系数较大,土壤碱解氮含量变异系数随着土层深度的增加而呈增大趋势,这是由于海拔高度的不同,气候特征、林分类型、土壤类型均发生改变,导致土壤理化性质产生差异。不同层次土壤理化性质的差异反映了土壤养分在土壤剖面上的空间分异程度^[16]。由于受生物、淋溶作用及土壤本身性质的影响,随着土层的加深,土壤 pH 值、全钾、速效钾含量的空间分异程度降低,而土壤有机质、全氮、碱解氮和全磷含量的空间分异程度则增大。

2.2 牛背梁自然保护区不同海拔高度森林土壤养分的分布规律

2.2.1 土壤 pH 值随海拔的变化特征

由图 1 可以看出,同一层次土壤 pH 值均先随海拔的升高而增高,到海拔 1 900 m 左右达到最高值,之后随着海拔的升高逐渐降低。这是由于不同海拔范围内的林分类型、腐殖质类型、有机质的矿化速度以及淋溶强度不同所致。低海拔地区气温较高,有机质矿化速度较快,构成植被的硬阔叶植物种类较多,酸性淋溶作用较强,导致土壤 pH 值较低;随海拔升高,温度下降,有机质矿化速度较慢,构成植被的软阔叶树增多,因此 pH 值有所提高;到海拔 1 900 m 左右后,随着海拔的继续升高,温度继续下降,构成植被的植物中针叶物种成分增多,同样加剧了酸性淋溶过程,pH 值逐渐降低。经过回归分析和统计学检验表明,O 层、A 层、E 层、B 层土壤 pH 值与海拔高度呈极显著相关,相关系数分别为 0.754 3,0.853 7,0.825 1 和 0.769 0。

2.2.2 土壤有机质含量随海拔的变化特征

由表 2 和图 1 可以看出,不同海拔高度条件下,土壤有机质含量随着土层深度的增加而降低,这是因为地上部分枯枝落叶分解后,养分归还到了土壤表层,使得土壤表层有机质养分相对富集。各土层土壤有机质含量均值分别是:O 层 53.30 g/kg、A 层 23.65 g/kg、E 层 13.08 g/kg、B 层 8.56 g/kg。O 层土壤有机质含量随着海拔的升高而逐渐增大,这是由于随着海拔的升高,温度降低,表层土壤有机质分解较为缓慢,而且地上部分植被构成由硬阔叶植物种类为主转变为软阔叶植物种类再到针叶类植物种类逐渐增多,针叶植被与低海拔的阔叶植被相比不易分解,较易积累有机质,导致 O 层土壤有机质含量随海拔的升高而升高。A 层、E 层、B 层土壤有机质含

量先是随着海拔的升高而增加,在海拔 1 900 m 左右达到最高,之后随着海拔的升高逐渐下降。这是由于土壤有机质含量与土壤温度和水分有关,适宜的温度有利于土壤有机质的积累,温度过高或过低对土壤有机质的积累均有负效应。而土壤湿度过大,水分充塞绝大部分土壤孔隙,使通气受阻,有机质的矿化率下降,则有利于有机质的积累和保存^[17-18]。由于海拔高度的变化影响土壤温度和土壤水分的变化,随着海拔高度的增加,土壤温度降低,而土壤水分增加。到达海拔 1 900 m 左右,土壤水分适宜但土壤温度较低,土壤微生物的活动受到抑制,有利于有机质的积累;之后随着海拔的升高,土壤水分减少,温度降低,土壤有机质积累减少。因此,在这 2 种因素共同作用下,土壤中有有机质含量随着海拔的升高呈现先升高后降低的变化趋势。经回归分析和统计学检验表明,O 层土壤有机质含量与海拔高度存在极显著相关性,相关系数为 0.920 3;A 层、E 层和 B 层土壤有机质含量与海拔高度存在显著相关性,相关系数分别为 0.547 8,0.478 4 和 0.407 5。

2.2.3 土壤氮、磷、钾含量随海拔的变化特征

1) 不同土层土壤氮、磷、钾含量的变化。由表 2 可以看出,土壤全氮、速效磷和速效钾含量在不同海拔高度下均随着土层深度的增加而降低。各土层土壤全氮含量均值分别为:O 层 3.43 g/kg、A 层 1.70 g/kg、E 层 1.04 g/kg、B 层 0.59 g/kg;土壤速效磷含量均值分别为:O 层 4.70 mg/kg、A 层 2.61 mg/kg、E 层 1.64 mg/kg、B 层 1.08 mg/kg;土壤速效钾含量均值分别为:O 层 220.87 mg/kg、A 层 131.89 mg/kg、E 层 68.55 mg/kg、B 层 33.44 mg/kg。不同海拔高度下土壤碱解氮和全磷含量随土层深度的增加无明显变化。土壤全钾含量在不同海拔高度下随着土层深度的增加而缓慢增加。各土层土壤全钾含量均值分别为:O 层为 16.59 g/kg、A 层为 17.09 g/kg、E 层为 17.47 g/kg、B 层为 17.40 g/kg。

2) 不同土层土壤氮、磷、钾含量随海拔的变化。由图 1 可以看出,O 层土壤全氮含量随海拔的升高呈线性增加,A 层、E 层、B 层土壤全氮含量随海拔的升高平缓增加。随着海拔高度的增加,温度降低,有机质不易分解,从而使得表层土壤全氮含量明显增加。经回归分析和统计学检验得出,O 层、A 层、E 层、B 层土壤全氮含量与海拔高度存在极显著相关性,相关系数分别为 0.950 1,0.970 4,0.480 9 和 0.947 9。

由图 1 还可以看出,O 层土壤全磷含量随海拔的升高而缓慢上升;A 层、E 层、B 层土壤全磷含量先随着海拔上升而下降,到海拔 2 000 m 左右下降到最低,之后又随着海拔上升而上升。经回归分析和统计学检验得出,O 层、A 层、B 层土壤全磷含量与海拔高度存在显著相关性,相关系数分别为 0.943 9、0.911 8 和 0.635 9;E 层土壤全磷含量与

海拔高度相关性不显著。

各土层土壤全钾含量均随着海拔的上升而缓慢下降(图 1)。经回归分析和统计学检验得出,O 层、E 层、B 层土壤全钾含量与海拔高度存在极显著相关性,相关系数分别为 0.759 8、0.655 5 和 0.70 4;A 层土壤全钾含量与海拔高度存在显著相关性,相关系数为 0.537 4。

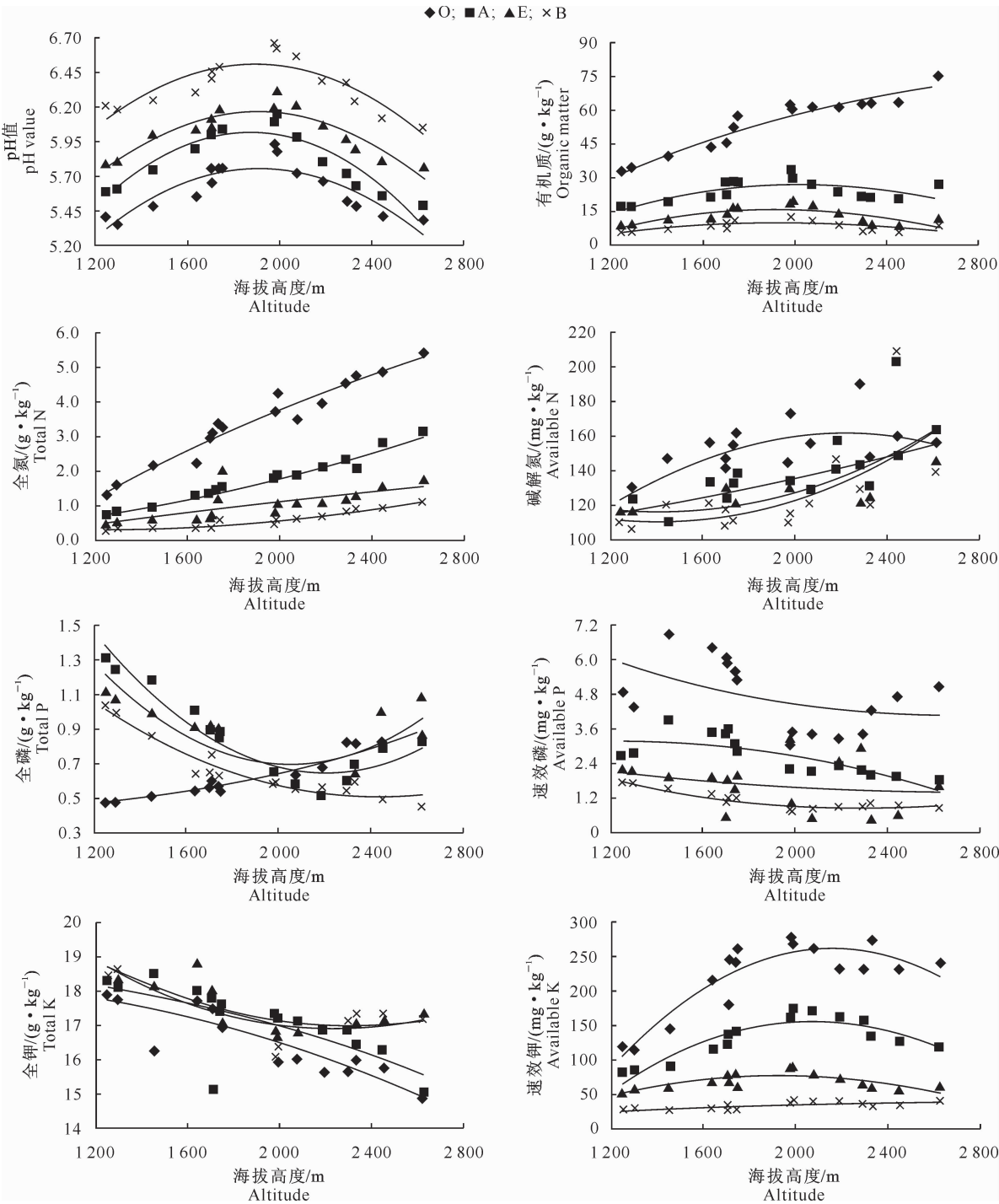


图 1 牛背梁自然保护区不同海拔高度下各土层的土壤养分含量

Fig. 1 Soil nutrient contents at different altitudes and different soil depths in Niubeiliang National Natural Reserve

由图 1 可以看出,O 层土壤碱解氮含量随着海拔的升高先逐渐增大,到海拔 2 000 m 左右达到最高,之后随着海拔的升高又逐渐降低;A 层、E 层、B 层土壤碱解氮含量均随着海拔的升高而增加。经回归分析和统计学检验得出,A 层土壤碱解氮含量与海拔高度存在极显著相关性,相关系数为 0.678 2;O 层、E 层、B 层土壤碱解氮含量与海拔高度存在显著相关性,相关系数分别为 0.509 3、0.395 6 和 0.415 7。不同土层土壤速效磷含量在1 248~2 625 m 海拔高度内没有明显的变化规律,各土层土壤速效磷含量均随海拔的升高而缓慢下降。经回归分析和统计学检验得出,A 层、B 层土壤速效磷含量与海拔高度存在极显著相关性,相关系数分别为 0.606 0 和 0.053 3;O 层、E 层土壤速效磷含量与海拔高度的相关性不显著。各土层土壤速效钾含量均随海拔升高而增加,到海拔 2 000 m 左右达到最高,之后随着海拔的升高缓慢下降。经回归分析和统计学检验表明,O 层、B 层土壤速效钾含量与海拔高度存在极显著相关性,相关系数分是为0.824 6 和 0.598 6;A 层土壤速效钾含量与海拔高度存在显著相关性,相关系数为 0.842 9;E 层土壤速效钾含量与海拔高度不存在相关性。

2.3 牛背梁自然保护区海拔及土壤各养分指标间的相关分析

土壤性质之间不是独立存在的,而是具有一定的相关性。进行相关性分析可以揭示土壤属性各指标变量之间的牵连程度以及指标之间的协调效应,

有助于对土壤性质的变化作出合理的解释,并可建立各指标之间的转换函数。

土壤各养分因子间的相关分析结果(表 3)显示,土壤各养分之间存在着相关性,且相关性变异较大。海拔高度与土壤有机质、全氮、碱解氮和速效钾含量呈显著的正相关性,与土壤 pH 值、全磷、全钾和速效磷含量呈显著负相关性,说明海拔高度的变化,影响土壤水热条件,使得土壤各养分含量存在差异。土壤 pH 值与土壤有机质和速效钾含量呈显著正相关性;土壤有机质含量与全氮和速效钾含量呈显著的正相关性,与全磷、全钾和速效磷含量呈显著负相关性,这与土壤全氮与有机质含量之间呈显著的线性关系相符;土壤全氮含量与碱解氮和速效钾含量呈极显著的正相关性,与全磷、全钾和速效磷含量呈显著的负相关性;土壤全磷含量与全钾和速效磷含量呈显著的正相关性,与速效磷含量呈显著的负相关性;土壤全钾含量与速效磷含量呈极显著的正相关性,与土壤碱解氮和速效钾含量呈极显著的负相关性,从而说明土壤全钾含量与速效钾含量并无关系。土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量之间均不存在显著相关性,这与相关研究结果^[19-21]一致。上述分析表明,土壤养分的分布状况受气候、母质、地形、土壤类型等因素的综合影响,表现出较强的空间相关性,土壤各养分之间不是孤立存在的,而是相互关联的。单一养分含量增加或减少,也会影响土壤中其他养分的供应。

表 3 牛背梁自然保护区森林海拔及土壤各养分指标间的相关系数矩阵

Table 3 Correlation coefficients matrix of altitude and forest soil nutrient indexes in Niubeiliang National Natural Reserve									
参数 Parameters	海拔 Altitudes	pH 值 pH value	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
海拔 Altitude	1								
pH 值 pH value	-0.078*	1							
有机质 Organic matter	0.734**	0.530*	1						
全氮 Total N	0.927**	-0.089	0.728**	1					
全磷 Total P	-0.626**	-0.639**	-0.803**	-0.536*	1				
全钾 Total K	-0.914**	-0.159	-0.865**	-0.882**	0.714**	1			
碱解氮 Available N	0.765**	-0.238	0.413	0.780**	-0.340	-0.646**	1		
速效磷 Available P	-0.688**	-0.141	-0.585*	-0.533*	0.614*	0.697**	-0.390	1	
速效钾 Available K	0.560*	0.604*	0.856**	0.663**	-0.816**	-0.712**	0.366	-0.389	1

注:“*”表示相关性达 $P<0.01$ 极显著水平,“*”表示相关性达 $P<0.05$ 显著水平。
Note:“*”and“*”indicate significant difference at the $P<0.01$ and $P<0.05$ level,respectively.

3 结 论

1)土壤养分的空间分异范围分别为:土壤 pH 值 5.35~6.65,有机质含量 5.65~74.84 g/kg,全

氮含量 0.30~5.43 g/kg,碱解氮含量 106.64~208.66 mg/kg,全磷含量 0.45~1.30 g/kg,速效磷含量 0.44~6.82 mg/kg,全钾含量 14.88~18.78 g/kg,速效钾含量 26.18~277.00 mg/kg。土壤

pH 值和全钾含量在不同海拔梯度上变异系数较小(<10),而土壤有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾含量在不同海拔梯度上变异系数较大,土壤碱解氮含量变异系数在不同海拔高度上存在差异。

2)在同一海拔高度,牛背梁国家级自然保护区内不同层次土壤养分状况存在明显的变化规律:土壤 pH 值、全钾含量均随土层深度的增加而增加,土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量均随土层深度的增加而逐渐降低。

3)土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾含量均与海拔高度之间具有明显的相关关系,但土壤各养分含量的极值多出现在海拔 1 900~2 000 m。在不同的海拔高度,温度随海拔升高逐渐降低,但在中等海拔 1 900~2 000 m 拥有良好的水热条件,有利于地上植被的生长和有机质积累。因此,也预示着土壤中各养分含量与有机质积累是密切联系的。

4)相关性分析表明,土壤中养分的分布状况受气候、母质、地形、土壤类型等因素的综合影响,表现出较强的空间相关性,土壤各养分之间不是孤立存在的,而是存在相关性的。单一养分含量增加或减少,也会影响土壤中其他养分的供应。

总之,牛背梁国家级森林自然保护区不同海拔高度土壤养分状况存在差异,森林土壤的化学性质受多方面因素影响,而且森林土壤是随着季节、时间以及由土壤维持的植被的生长和发育而变化的,是一个动态系统,而土壤养分测定主要是局部的,因此建立不同海拔高度与土壤的动态监测、在基本数据库中持续分析海拔高度—土壤的关系以及不同海拔高度森林类型—土壤的关系,不仅很有必要,而且更具有可靠性和说服力。

参考文献

- [1] 徐柏林,孟好军,张记称,等.祁连山森林土壤肥力的研究[J].甘肃科技,2011,27(16):168-178.
Xu B L, Meng H J, Zhang J C, et al. Study on forest soil fertility in Qilian Mountain [J]. Gansu Science and Technology, 2011, 27(16): 168-178. (in Chinese)
- [2] Wang J, Fu B J, Qiu Y, et al. Soil nutrients in relation to land use and slope position in the semi-arid small watershed on loess plateau in China [J]. Journal of Arid Environments, 2001, 48: 537-550.
- [3] 王庆礼,代力民,许广山.简易森林土壤容重测定方法[J].生态学杂志,1996,15(3):68-69.
Wang Q L, Dai L M, Xu G S. A sampling method in measuring forest soil bulk density [J]. Chinese Journal of Ecology, 1996,

- 15(3):68-69. (in Chinese)
- [4] 郑纪勇,邵明安,张兴昌.黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J].水土保持学报,2004,18(3):53-56.
Zheng J Y, Shao M A, Zhang X C. Spatial variation of surface soil's bulk density and saturated hydraulic conductivity on slope in loess region [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(3): 53-56. (in Chinese)
- [5] Gessler P E, Moore I D, McKenzie N J, et al. Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes [J]. International Journal of GIS, 2000, 9(4): 421-432.
- [6] Bolstad P V, Swank W, Vose J. Predicting southern appalachian overstory vegetation with digital terrain data [J]. Landscape Ecology, 1998, 13: 271-283.
- [7] 王政权.地统计学及其在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999:162-192.
Wang Z Q. Geostatistics and its applications in the studies of ecology [M]. Beijing: Science Press, 1999: 162-192. (in Chinese)
- [8] John M, Johnstona D A, Crossley J. Forest ecosystem recovery in the southeast US: Soil ecology as an essential component of ecosystem management [J]. For Ecol Manag, 2002(155): 187-203.
- [9] Tang C Q. Forest vegetation as related to climate and soil conditions at varying altitudes on a humid subtropical mountain, Mount Emei, Sichuan, China [J]. Ecol Res, 2006, 21: 174-180.
- [10] Biederbeck V O, Campbell C A, Ukrainetz H, et al. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia [J]. Can J Soil Sci, 1996, 76: 7-14.
- [11] 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.
Dang K L, Zhang C L, Chen H B, et al. Spatial distribution and variation pattern of soil fertility at different altitude on south slope in Qinling Mountains [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(1): 16-21. (in Chinese)
- [12] 魏静婉.秦岭南坡牛背梁自然保护区旅游资源开发与保护研究[J].农业经济与科学,2008,19(9):28-39.
Wei J W. Tourism resource exploitation and production in Qinling Niubeiliang National Natural Reserve [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2008, 19(9): 28-39. (in Chinese)
- [13] 张甘霖,龚志同.土壤调查实验室分析方法[M].北京:科学出版社,2011.
Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods [M]. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)
- [14] 王珂,沈掌权,John S Bailey,等.精确农业田间土壤空间变异与采样方式研究[J].农业工程学报,2001,17(2):33-36.
Wang K, Shen Z Q, John S B, et al. Spatial variants and sampling strategies of soil properties for precision agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(2): 33-36. (in Chinese)