

Research on Spatial Distribution Characteristics of Forest Soil Mass Nutrients in Feixian Daqingshan Provincial Nature Reserve

Shihao Chen¹, Guangna Zhang^{1*}, Yun Wang², Xiangjie Lin³, Huibing Sun¹, Xianqi Huo¹, Junxiang Yu¹, Xiaoming Qu⁴, Dongxiao Yang⁴

¹College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi Shandong

²College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi Shandong

³School of Pharmacy, Linyi University, Linyi Shandong

⁴Linyi Hengtai Forest Resources Assessment Co. Ltd., Linyi Shandong

Email: *gnzhang@lyu.edu.cn

Received: Jul. 4th, 2019; accepted: Jul. 22nd, 2019; published: Jul. 29th, 2019

Abstract

Taking the soil (0 - 60 cm) in Daqingshan nature reserve as the research object, soil samples were collected and tested. Results of soil physical and chemical properties showed that: 1) Soil bulk density ranged within 1.06 - 1.69 g·cm⁻³; Capillary porosity was 26.7% - 46.6%; Non-capillary porosity was 1.21% - 15.6%; Total porosity was 32.8% - 52.2%; 2) Soil pH was 4.70 - 7.88; Soil organic carbon content ranged from 0.03 - 5.17 g·kg⁻¹ soil. The ammonium nitrogen content in soil was 9.00 - 15.7 mg·kg⁻¹; The nitrate nitrogen content was 0.37 - 14.2 mg·kg⁻¹; The available phosphorus content was 17.2 - 21.5 mg·kg⁻¹; The content of available potassium ranged from 63.0 - 130 mg·kg⁻¹ soil. Results of principal component analysis showed that: Capillary porosity, soil available potassium and soil nitrate nitrogen were positively correlated with soil depth; Soil pH negatively correlated with soil resin-P and soil ammonium nitrogen concentration. Through the study conclusion would be soil under broad-leaved forest and mixed broad-leaf-conifer forest had much more soil organic carbon, soil under conifer forest had low soil pH and high soil resin-P, while soil available potassium and nitrate nitrogen would increase with soil depth.

Keywords

Nature Reserve, Forest Soil, Soil Nutrients Concentration, Principal Component Analysis

*通讯作者。

费县大青山省级自然保护区森林土壤大量养分空间分布特征研究

陈世豪¹, 张广娜^{1*}, 王 芸², 林祥杰³, 孙会兵¹, 霍宪启¹, 于军香¹, 瞿晓明⁴, 杨东晓⁴

¹临沂大学农林科学学院, 山东 临沂

²临沂大学资源环境学院, 山东 临沂

³临沂大学药学院, 山东 临沂

⁴临沂恒泰森林资源价格评估有限公司, 山东 临沂

Email: *gnzhang@lyu.edu.cn

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月22日; 发布日期: 2019年7月29日

摘 要

以山东省费县大青山省级自然保护区核心区内23个点位土壤样品(0~60 cm)为研究对象, 依照土层发育深度, 采集0~20 cm, 20~40 cm及40~60 cm土壤样品, 测定土壤容重、土壤孔隙特性、土壤pH值、有机碳、有效氮、有效磷和速效钾含量。结果表明: 1) 土壤容重分布范围为1.06~1.69 g·cm⁻³; 毛管孔隙度分布范围为26.7%~46.6%; 非毛管孔隙度分布范围为1.21%~15.6%; 总孔隙度分布范围为32.8%~52.2%。2) 土壤pH值分布范围在4.70~7.88; 土壤有机碳含量分布范围为0.03~5.17 g·kg⁻¹; 土壤铵态氮含量在9.00~15.7 mg·kg⁻¹之间; 硝态氮含量在0.37~14.2 mg·kg⁻¹之间; 有效磷含量分布范围为17.2~21.5 mg·kg⁻¹; 速效钾含量分布范围为63.0~130 mg·kg⁻¹。主成分分析结果发现, 随土层深度增加毛管孔隙度、速效钾、NO₃⁻-N含量呈增加趋势; 土壤pH值越高土壤有效磷、NH₄⁺-N含量越低。费县大青山省级自然保护区阔叶林或针阔混交林下林下土壤有机碳含量较高, 针叶林下土壤pH值较低, 有效磷含量较高, 土层深度增加速效钾、NO₃⁻-N含量增加。

关键词

自然保护区, 森林土壤, 养分含量, 主成分分析

Copyright © 2019 by author(s) 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

土壤养分含量与森林生态系统功能及循环息息相关, 是森林生产力的直接影响因子[1]。土壤是成土母质在一定水热条件和生物作用下, 经过一系列物理、化学和生物过程形成的[2], 土壤养分的组成和空间分布特征直接影响土壤生产力的高低[1]。而植被类型、海拔和坡度等地形因子又反过来对土壤养分的形成产生内在影响[3] [4]。土壤有机碳、有效氮、磷和钾是大量养分的主要因素, 也是土壤养分的重要组成部分, 其含量对土壤微生物的数量, 凋落物的分解速率以及土壤有机碳和养分的长期积累均有显著影响[5] [6]。

目前,国内关于森林土壤肥力的研究多集中于热带和亚热带森林[7] [8] [9] [10],关于温带森林土壤养分的研究相对较少。而土壤孔隙性质、土壤容重、土壤 pH 值、有机碳、有效氮、磷和钾含量等理化性质和大量养分含量数据的积累,对于研究温带气候下土壤肥力的形成及不同林分类型对林下土壤理化性质和养分含量的影响有重要意义。因此,本文选取费县大青山省级自然保护区内温带森林林下土壤为研究对象,选取核心区主要位点,对其土壤理化性质及大量养分含量进行测定,为后期自然保护区内森林培育提供数据和理论支持。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

费县大青山省级自然保护区地处沂蒙山山脉,前身为国有大青山林场,位于费县东北部,北部与蒙阴、沂南两县交界,西、南、东与薛庄镇相连。地理坐标为东经 118°5'至 118°12',北纬 35°20'至 35°27',是典型的温带森林,境内五彩山是蒙山最东端的高峰,海拔 762.7 米,为费县、沂南两县界山,属于温带季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,四季分明。

费县大青山省级自然保护区保护区总面积 4000 ha,其中核心区 950 ha。土壤以片麻岩发育的薄层精骨性棕色森林土为主,植被为针阔叶混交、乔木灌木结合,植被覆盖率达 80%以上,有木本植物 62 科 138 属 294 种。其主要林分类型有刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)人工次生林、黄檀(*Dalbergia hupeana* Hance)天然次生林、黑松(*Pinus thunbergii* parl)纯林、松刺混交林和松栎混交林。

2.2. 样品采集

大青山自然保护区核心区为东西向狭长地块,根据林场要求,自东向西选取 23 个重要点位,挖取土壤剖面,用环刀、铝盒和自封袋分别采集 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 每土层采集 3 个点土样,然后均匀混合在一起,一部分鲜土用于测定土壤 pH 值及有效养分含量;一部分土风干磨细后过 100 目筛保存,用于土壤有机质含量的测定。

2.3. 土样处理及试验方法

土壤样品带回实验室后,鲜土过 2 mm 筛后装袋放 4 度冰箱保鲜,一周内测定土壤 pH 值、土壤铵态氮、硝态氮、有效磷和速效钾含量,另外利用环刀和铝盒内样品测定土壤含水量、土壤容重和土壤孔隙性质。土壤 pH 值采用 1:2.5 土水比, pH 计测定;土壤含水量采用重量法测定(105℃烘干);土壤容重和土壤孔隙度采用环刀法测定;土壤有效氮采用 2 mol·L⁻¹氯化钾溶液振荡浸提 1 小时后,过滤,铵态氮含量测定采用靛酚蓝比色法,吸取滤液 2 ml,放入比色管,加入 1 ml 次氯酸钠溶液,1 ml 苯酚溶液,静置 1 h 后,加入 1 ml 掩蔽剂,625 nm 比色[11];硝态氮含量采用双光束紫外分光光度法测定,吸取 4.5 ml 滤液加入 0.5 ml 2%的氨基磺酸溶液并摇匀,在 220 nm 和 275 nm 处测定吸光度并计算硝态氮浓度[12];土壤有效磷含量采用阴离子交换树脂条结合钼蓝比色法测定,称取土样加入超纯水及 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 代换好的树脂条两片,室温下振荡 16 小时,将树脂条用超纯水洗净后,放入盛有 0.5 mol·L⁻¹ H₂SO₄ 溶液的浸提瓶中振荡 1 小时,取出树脂条,吸取溶液至 50 ml 容量瓶,调节溶液 pH 值,加入钼锑抗显色剂显色后 700 nm 比色[13]。土壤有机碳含量采用水合热重铬酸钾氧化-比色法测定,称取 1 g 过 100 目筛的风干土样,加入重铬酸钾溶液和浓硫酸溶液不断摇动,静置 20 分钟,加入超纯水摇匀静置过夜,吸取上清液于 50 ml 容量瓶,加入超纯水定容后摇匀,590 nm 处比色[14];速效钾含量采用四苯硼钠比色法测定,称取过 2 mm 筛风干土样加入硝酸钠溶液,室温下振荡 5 分钟,吸取滤液加入甲醛-EDTA 掩蔽剂,摇匀,加入四苯硼钠溶液后摇匀,静置 15~30 分钟,再次摇匀后 420 nm 处比色[14]。

2.4. 数据分析

采用 SPSS 16.0 将原始数据标准化消除量纲影响; 采用软件 Canoco 4.5 对土层深度、理化性质及养分含量进行去趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)发现轴长小于 3, 适用主成分分析法; 采用主成分分析(principal components analysis, PCA)对数据进行进一步分析。

3. 结果与分析

3.1. 土壤物理性质

土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标, 也是土壤质量的重要参考数据[15] [16]。从表 1 可见, 费县大青山省级自然保护区林下土壤容重范围为 1.06~1.69 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间, 均值为 1.33 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 0~20 cm 土层容重范围为 1.06~1.62 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; 20~40 cm 土层容重范围为 1.21~1.61 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

土壤孔隙度是土壤中空气、水分、微生物等的迁移通道、贮存和活动场地, 其数量是土壤物理性质的基础, 也是评价土壤结构特征的重要指标[15] [17]。从表 1 可见, 费县大青山自然保护区土壤毛管孔隙度变动在 26.7%~46.6%, 平均值为 35.2%; 非毛管孔隙度变动在 1.21%~15.6%, 平均值为 6.48%; 总孔隙度变动在 32.8%~52.2%, 平均值为 41.7%。表 1 表明随着土壤深度增加, 土壤孔隙度呈递减趋势。

Table 1. Soil physical properties of forest soil mass nutrients in feixian Daqingshan provincial nature reserve

表 1. 费县大青山省级自然保护区森林土壤物理性质

样点名称	土层	土壤容重	毛管孔隙度	非毛管孔隙度	总孔隙度
	cm	($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	(%)	(%)	(%)
神仙门东北	0~20	1.35	34.7	6.74	41.4
	20~40	1.37	32.8	6.34	39.1
神仙门西	0~20	1.49	36.2	5.78	42.0
	20~40	1.45	28.7	6.37	35.0
神仙门北山	0~20	1.25	31.3	4.54	35.8
	20~40	1.51	26.7	6.08	32.8
西双山北	0~20	1.22	31.4	12.3	43.7
	20~40	1.39	32.4	6.69	39.1
西双山东北	0~20	1.25	32.7	14.7	47.4
	20~40	1.36	29.7	8.05	37.8
大锅化	0~20	1.06	32.5	15.6	48.1
一道沟西山	0~20	1.37	38.1	7.09	45.2
	20~40	1.44	42.2	5.02	47.2
一道沟西坡	0~20	1.47	39.6	5.99	45.6
金山峪南	0~20	1.44	35.1	9.27	44.3
	20~40	1.50	30.4	8.78	39.2

Continued

金山峪西沟	0~20	1.60	37.3	7.64	44.9
	20~40	1.25	39.2	11.9	51.1
	40~60	1.23	45.6	5.99	51.6
金山峪西北	0~20	1.35	31.2	5.73	36.9
	0~20	1.45	38.9	7.93	46.8
三岔沟	20~40	1.40	40.3	5.21	45.5
	0~20	1.36	30.5	5.23	35.8
金山峪北山	0~20	1.37	36.1	6.49	42.6
	0~20	1.19	30.4	6.00	36.4
金山峪东北角	20~40	1.21	43.2	6.33	49.5
	0~20	1.40	33.1	10.2	43.1
二岔沟	20~40	1.38	46.6	5.58	52.2
	0~20	1.62	35.4	5.96	41.4
五彩北沟西口	20~40	1.57	35.1	6.22	41.3
	0~20	1.49	30.3	9.85	40.2
雾露沟东坡	20~40	1.45	37.8	5.07	42.8
	0~20	1.49	33.4	8.67	42.1
雾露沟西坡	20~40	1.61	34.0	5.13	39.2
	40~60	1.50	32.0	5.47	37.5
	0~20	1.41	35.5	3.17	38.6
绞道南沟	20~40	1.30	37.7	2.15	39.9
	0~20	1.69	37.3	2.69	40.0
绞道南山	20~40	1.69	33.3	3.71	37.0
	0~20	1.17	39.2	1.35	40.6
张林西山	20~40	1.37	39.9	2.75	42.6
	0~20	1.65	32.2	1.80	34.0
张林南山	20~40	1.46	33.3	1.21	34.5

3.2. 土壤化学性质

3.2.1. 土壤 pH 值

土壤 pH 值是土壤重要的化学性质之一，它直接影响着植物的生长和微生物的活动以及土壤的其它

性质与肥力状况[15]。数据表明(见表 2), 费县大青山自然保护区土壤土层 pH 范围为 4.70~7.88, 平均为 5.69, 0~20 cm 土层范围为 4.7~6.31; 20~40 cm 土层范围为 4.92~6.37, 上层土壤 pH 比下层土壤 pH 稍低。大青山自然保护区内不同林分类型下土壤 pH 略有变化, 土壤 pH 自东向西逐渐降低, 与自然保护区内自东向西针叶林分布所占比例越来越大有关, 研究表明, 针叶林会使土壤 pH 值降低[18]。

Table 2. Soil chemical properties of forest soil mass nutrients in feixian Daqingshan provincial nature reserve
表 2. 费县大青山省级自然保护区森林土壤化学性质

样点名称	土层深度 (cm)	pH	NO ₃ ⁻ - N	NH ₄ ⁺ - N	resin-P	速效钾	有机碳
			(mg·kg ⁻¹)	(mg·kg ⁻¹)	(mg·kg ⁻¹)	(mg·kg ⁻¹)	(g·kg ⁻¹)
神仙门东北	0~20	6.01	0.68	15.7	17.9	72.0	1.92
	20~40	6.20	2.17	13.8	17.8	93.4	1.42
神仙门西	0~20	6.08	0.37	13.6	18.9	63.0	1.15
	20~40	6.18	1.22	13.8	18.0	92.0	0.78
神仙门北山	0~20	6.31	1.71	11.0	20.0	75.5	0.36
	20~40	6.37	1.75	11.0	17.7	82.5	0.40
西双山北	0~20	5.96	4.47	14.8	18.8	119	0.23
	20~40	5.29	2.55	10.6	18.8	130	1.52
西双山东北	0~20	5.02	8.98	11.5	19.4	122	2.87
	20~40	5.06	5.42	10.2	21.5	112	4.01
大锅化	0~20	5.12	8.30	12.8	18.9	109	4.58
一道沟西山	0~20	5.89	5.98	10.7	18.3	113	2.07
	20~40	6.06	1.47	14.7	18.0	101	0.66
一道沟西坡	0~20	5.41	4.26	13.2	19.2	109	0.16
金山峪南	0~20	5.01	1.84	9.34	17.7	92.5	0.22
	20~40	5.90	1.46	9.91	17.9	95.2	0.11
金山峪西沟	0~20	4.92	14.2	11.3	18.4	101	0.20
	20~40	5.66	6.82	10.4	19.2	114	0.11
	40~60	6.27	9.36	13.4	19.4	104	0.03
金山峪西北	0~20	5.58	1.54	9.00	17.5	81.5	2.58
三岔沟	0~20	5.08	1.42	10.8	17.4	94.5	2.78
	20~40	4.92	2.11	11.0	17.8	95.5	5.06
金山峪北山	0~20	4.88	1.56	11.5	17.4	105	3.67
五彩东	0~20	4.70	1.69	11.2	17.2	91.3	2.44
金山峪东北角	0~20	5.13	5.47	10.0	18.2	71.8	0.69
	20~40	5.37	0.77	11.2	18.1	95.4	0.59
二岔沟	0~20	5.00	2.01	10.5	18.7	99.4	0.68
	20~40	5.17	2.98	11.1	18.4	101	0.26

Continued

五彩北沟西口	0~20	4.90	2.80	11.1	17.7	98.6	0.55
	20~40	5.29	2.61	10.6	18.0	97.8	1.61
雾露沟东坡	0~20	5.17	0.63	9.92	17.6	80.2	2.93
	20~40	5.22	0.73	9.63	17.5	94.5	2.87
雾露沟西坡	0~20	5.29	2.86	11.7	20.8	114	3.60
	20~40	4.86	0.61	11.9	19.4	96.9	3.23
绞道南沟	40~60	4.79	0.58	18.3	18.0	105	5.17
	0~20	7.50	6.41	11.6	18.1	90.9	3.77
绞道南山	20~40	7.59	4.61	10.2	17.7	107	2.81
	0~20	7.88	4.53	11.2	17.6	115	1.36
张林西山	20~40	6.38	4.69	8.95	15.3	111	4.28
	0~20	6.46	4.17	9.79	14.7	94.1	3.56
张林南山	20~40	6.33	4.34	10.4	14.0	88.9	3.41
	0~20	5.99	4.21	9.26	13.9	76.5	3.08
	20~40	5.83	3.97	10.5	13.4	84.0	1.59

3.2.2. 土壤有机碳含量分布

土壤有机碳是全球碳循环的重要组成部分,土壤有机碳对土壤的团粒状况、孔隙度、透水透气性都有相应影响。由表 2,费县大青山自然保护区土壤有机碳含量为 $0.03\sim 5.17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均为 $1.99\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。0~20 cm 土层含量为 $0.16\sim 4.58\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 20~40 cm 土层含量为 $0.11\sim 5.06\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,调查发现粗骨土壤分布区域土壤有机碳含量较低,大部分阔叶林及针阔混交林区域土壤有机碳含量较高,该区域常伴随有 5~10 cm 的枯枝落叶层,与针阔混交林、阔叶林林下土壤有机碳含量较高的研究结果相一致[19]。

3.2.3. 土壤有效氮含量分布

土壤有效氮根据形态分为铵态氮和硝态氮,可被植物直接吸收,其含量变化直接对土壤氮素的迁移与植物的生长产生影响[20],研究表明,森林系统的生产力与土壤氮素矿化有很大相关性[21],而铵态氮与硝态氮的含量变化是土壤氮素矿化速率的具体表征[22]。由表 2 可见,费县大青山自然保护区土壤铵态氮含量在 $9.00\sim 15.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均为 $11.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,0~20 cm 土层铵态氮分布为 $9\sim 15.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 20~40 cm 土层铵态氮分布为 $9.91\sim 14.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。硝态氮含量为 $0.37\sim 14.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均为 $3.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,0~20 cm 土层硝态氮分布为 $0.37\sim 14.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 20~40 cm 土层硝态氮分布为 $0.77\sim 6.82\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3.2.4. 土壤有效磷含量分布

土壤有效磷是土壤磷素供应的重要指标[23]。由表 2,费县大青山自然保护区土壤有效磷含量为 $17.2\sim 21.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值为 $18.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,自东向西含量波动较小,0~20 cm 土层含量为 $17.2\sim 20.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 20~40 cm 土层含量为 $17.7\sim 21.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,与王朗自然保护区针叶林有效磷含量相似[24]。费县大青山自然保护区内针叶林占比较大,松树根根际土壤 pH 值的下降可促进难溶磷的活化,提高根际土壤有效磷含量[25],故林区针叶林下土壤有效磷含量较高。

3.2.5. 土壤速效钾含量分布

土壤速效钾含量与土壤水分淋洗状况、土壤成土母质、植被类型等有关, 主要包括土壤中吸附在土壤胶体表面上的代换性钾和植物可直接吸收的土壤溶液中的钾, 钾对植物的细胞分裂与合成起促进作用, 而且在植物对 CO_2 的同化过程中可起到加速作用[26]。由表 2, 费县大青山自然保护区土壤速效钾含量为 $63.0\sim 130 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值为 $97.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。0~20 cm 土层含量为 $63.0\sim 122 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 20~40 cm 土层含量为 $82.5\sim 130 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 该层土壤较表层土壤速效钾含量高, 这与速效钾的淋溶作用有关[27]。

3.3. 主成分分析

将土层深度及土壤各理化性质进行主成分分析(PCA)发现(图 1), 因子 1 和 2 可解释数据总变量的 78.5%, 其中因子 1 可解释总变量的 51.1%, 土壤 pH 值、土壤容重、非毛管孔隙度及土壤有机碳(SOC)含量与因子 1 (轴 1)关系密切且各自之间成正相关关系; 土壤总孔隙度、土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、土壤有效磷(resin-P)与主因子 1 呈负相关关系, 各自之间呈正相关关系。由此, 土壤 pH 值越高土壤有效磷、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量越低。因子 2 (轴 2)可解释总变量的 27.4%, 土层深度、毛管孔隙度、速效钾、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量与因子 2 呈负相关关系, 各指标间呈正相关关系, 随土层深度增加毛管孔隙度、速效钾、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量呈增加趋势。

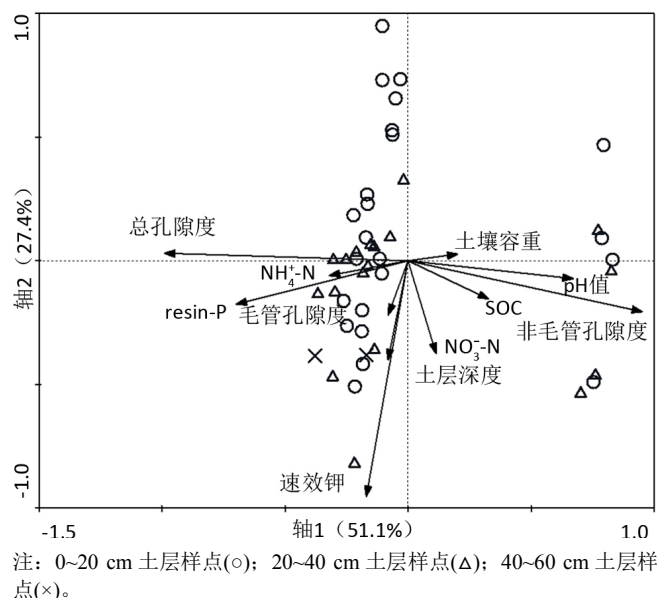


Figure 1. PCA analysis of soil depth and soil properties

图 1. 土层深度及土壤理化性质主成分分析图(PCA)

4. 结论

费县大青山自然保护区土壤容重变动在 $1.06\sim 1.69 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; 土壤总孔隙度变动在 $32.8\%\sim 52.2\%$; 土壤 pH 变动在 $4.70\sim 7.88$; 土壤铵态氮变动在 $9.00\sim 15.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 土壤硝态氮变动在 $0.37\sim 14.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 土壤有效磷变动在 $17.2\sim 21.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 土壤速效钾变动在 $63.0\sim 130 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。对土壤理化性质进行主成分分析, 总孔隙度与土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、土壤有效磷关系密切成正相关; 总孔隙度、土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、土壤有效磷与土壤容重、土壤 pH 值关系密切成负相关; 毛管孔隙度、土层深度、土壤速效钾、土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 关系密切成正相关。研究表明, 费县大青山自然保护区土壤较为疏松, 通气性较好。铵态氮与磷含量较为丰富。本研究中土壤理化数据, 特别是不同点位大量养分的分布对于林区植被的栽培管理、林木更新与保护区的规划管理具有重要意义。

基金项目

本研究由国家自然科学基金项目(41301320,41401329)及2018年度山东省大学生科研项目(18SSR086)资助。

参考文献

- [1] 刘璐, 曾馥平, 宋同清, 等. 喀斯特木论自然保护区土壤养分的空间变异特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1667-1673.
- [2] 黄昌勇. 面向21世纪课程教材, 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [3] Tateno, R. and Takeda, H. (2010) Forest Structure and Tree Species Distribution in Relation to Topography-Mediated Heterogeneity of Soil Nitrogen and Light at the Forest Floor. *Ecological Research*, **18**, 559-571.
- [4] 耿玉清, 余新晓, 岳永杰, 等. 北京山地森林的土壤养分状况[J]. 林业科学, 2010(5): 169-175.
- [5] Dormaar, J.F. and Willms, S.W.D. (1990) Distribution of Nitrogen Fractions in Grazed and Ungrazed Fescue Grassland Ah Horizons. *Journal of Range Management*, **43**, 6-9. <https://doi.org/10.2307/3899110>
- [6] Näsholm, T., Ekblad, A., Nordin, A., et al. (1998) Boreal Forest Plants Take up Organic Nitrogen. *Nature*, **392**, 914-916. <https://doi.org/10.1038/31921>
- [7] 刘文利, 罗广军. 不同林型下土壤理化性质的差异研究[J]. 吉林林业科技, 2006, 35(1): 26-34.
- [8] 王旭琴, 戴伟, 夏良放, 等. 亚热带不同人工林土壤理化性质的研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 56-59.
- [9] 郑诗樟, 肖青亮, 吴蔚, 等. 红壤丘陵不同人工林型对土壤理化性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(1): 2455-2457.
- [10] 何斌, 贾黎明, 金大刚, 等. 广西南宁马占相思人工林土壤肥力变化的研究[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 10-16.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 中国生态系统研究网络科学委员会. 陆地生态系统生物观测规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [13] Sharpley, A. (2000) Bioavailable Phosphorus in Soil. In: Pierzynski, G.M., Ed., *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters*, North Carolina State University, Raleigh.
- [14] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [15] 黄承标, 吴仁宏, 何斌, 等. 三匹虎自然保护区森林土壤理化性质的研究[J]. 西部林业科学, 2009, 38(3): 16-21.
- [16] 巍强, 张秋良, 代海燕, 等. 大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 111-115.
- [17] 于法展, 齐芳燕, 李淑芬, 等. 江西庐山自然保护区不同森林植被下土壤理化性状研究[J]. 苏州科技学院学报(自然科学版), 2009, 26(3): 68-71.
- [18] 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]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2009.
- [19] 郭璐璐, 李安迪, 商宏莉, 等. 川西贡嘎山不同森林生态系统土壤有机碳垂直分布与组成特征[J]. 中国农业气象, 2018, 39(10): 18-25.
- [20] 许翠清, 陈立新, 颜永强, 等. 温带森林土壤铵态氮、硝态氮季节动态特征[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(10): 19-21.
- [21] Reich, P.B., Grigal, D.F., Aber, J.D., et al. (1997) Nitrogen Mineralization and Productivity in 50 Hardwood and Conifer Stands on Diverse Soils. *Ecology*, **78**, 335. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[0335:NMAPIH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0335:NMAPIH]2.0.CO;2)
- [22] 莫江明, 郁梦德, 孔国辉. 鼎湖山马尾松人工林土壤硝态氮和铵态氮动态研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(4): 335-341.
- [23] 向万胜, 黄敏, 李学垣. 土壤磷素的化学组分及其植物有效性[J]. 植物营养与肥科学报, 2004, 10(6): 663-670.
- [24] 帅伟, 姚辉, 吴兵, 等. 王朗自然保护区亚高山主要森林类型的土壤养分特征[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 175-177.
- [25] 潘小承, 胡海波, 王楠, 等. 马尾松根际pH变化及对土壤磷有效性的影响[J]. 新农业, 2018(9): 4-7.
- [26] 陆梅, 卫捷, 张友超. 4种针叶林中的土壤养分与微生物特征[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(5): 91-95.
- [27] 董艳红, 王火焰, 周健民, 等. 不同土壤钾素淋溶特性的初步研究[J]. 土壤, 2014(2): 225-231.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7255，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

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

期刊邮箱：hjss@hanspub.org