

**Regional differences in soil nutrient content along the forest edge  
in the northern slope of Tianshan Mountains**

Author

Turdi, Muyessar, Abuduwaili, Jilili, Jiang, Feng-Qing

Published

2013

Journal Title

Chinese Journal of Eco-Agriculture

Version

Version of Record (VoR)

DOI

[10.3724/sp.j.1011.2013.00580](https://doi.org/10.3724/sp.j.1011.2013.00580)

Rights statement

© The Author(s) 2013. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Downloaded from

<http://hdl.handle.net/10072/422422>

Griffith Research Online

<https://research-repository.griffith.edu.au>

# 天山北坡林沿土壤养分含量的区域差异特征研究\*

穆叶赛尔·吐地<sup>1,2</sup> 吉力力·阿不都外力<sup>1\*\*</sup> 姜逢清<sup>1</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘要** 以天山北坡为研究区域,采用野外调查与试验分析相结合的方法,选取5个土壤养分指标:有机质、速效氮、速效磷、速效钾和总盐,应用多元统计分析方法,分析了天山北坡3个区段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克、巴里坤—伊吾)林沿土壤不同层位(0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm)养分含量的分布特征及差异性。结果表明:天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克)土壤养分含量比天山北坡东段(巴里坤—伊吾区域)高。3个区段不同深度土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量均存在明显差异,其中0~5 cm土层有机质、速效氮、速效磷、速效钾的平均含量均比5~20 cm、20~40 cm高;5~20 cm土层有机质、速效氮、速效磷、速效钾的平均含量均比20~40 cm高;总盐含量不具有明显的垂直分层现象。按全国第2次土壤普查标准,天山北坡3个区段土壤均属肥沃级。昭苏—特克斯区段、新源—巴音布鲁克区段0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm土壤养分各指标含量变化具有一定的规律,而巴里坤—伊吾区段土壤养分各指标含量变化具有良好的独立性。天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克)植被类型较多,植被覆盖度较高,土壤较为肥沃,大部分区域为夏牧场,人类活动以放牧为主,对该区段土壤要防止过度放牧所造成的植被退化与水土流失。天山北坡东段(巴里坤—伊吾)因土壤中砾石较多,植被类型较少,植被覆盖度较低,人类活动包括放牧、林业种植与旅游,与西段相比东段土壤的养分含量较低,所以应以保持生境原貌为主,避免人为扰动后的生境退化。

**关键词** 天山北坡 土壤养分 区域差异 林沿土壤

中图分类号: P934 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2013)05-0580-10

## Regional differences in soil nutrient content along the forest edge in the northern slope of Tianshan Mountains

Muyessar-TURDI<sup>1,2</sup>, Jilili-ABUDUWAILI<sup>1</sup>, JIANG Feng-Qing<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** In this study, field investigation and laboratory analyse were carried out to gain a comprehensive insight into five kinds of soil nutrients (organic matter, available nitrogen, available phosphorus, available potassium and total salt) in three sections of the northern slope of Tianshan Mountains — the Zhaosu-Tekesi, Xinyuan-Bayinbuluke and Balikun-Yiwu sections. Multivariate statistical analysis method was used to study the characteristics of nutrient distribution in different soil profile layer (0~5 cm, 5~20 cm, 20~40 cm) in different sections of the northern slope of Tianshan Mountains. According to the standard of the Second National Soil Survey, variational characteristics of fertility and nutrient contents of different soil profiles in the sections were analyzed. Also variations in soil nutrient contents were clarified. Furthermore, quantitative comparison of nutrient contents among different sections was performed. The results showed that soil samples collected from the western sections (Zhaosu-Tekesi and Xinyuan-Bayinbuluke) had much higher nutrient contents than those from the eastern section (Balikun-Yiwu) of the northern slope of Tianshan Mountains. There were obvious differences in contents of organic matter, available nitrogen, available phosphorus and available potassium in the soil layers among different depths in the three sections. The average contents of organic matter, available nitrogen, available phosphorus and available potassium in the 0~5 cm soil layer were higher than those in the 5~20 cm and 20~40 cm soil layers. Also these variables were higher in the

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-GJ04)资助

\*\* 通讯作者: 吉力力·阿不都外力(1964—),男,博士生导师,研究员,主要从事干旱区资源环境、生态安全和景观变化以及俄罗斯和中亚国家的合作研究。E-mail: jilil@ms.xjb.ac.cn

穆叶赛尔·吐地(1987—),女,硕士研究生,主要从事干旱区气候与环境研究。E-mail: wozaishanxi121@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-09-17 接受日期: 2013-01-14

5~20 cm soil profile layer than in the 20~40 cm soil profile layer. However, total soil salt content was not significantly different vertically across the soil profile. Based on the Second National Soil Survey standard, soils on the northern slope of Tianshan Mountains were relatively fertile. While changes in the amounts of soil nutrient contents in the 0~5 cm, 5~20 cm and 20~40 cm soil layers in Zhaosu-Tekesi and Xinyuan-Bayinbuluke sections followed a certain regular pattern, which in Balikun-Yiwu section was irregular. In most part of the western part of the northern slope (Zhaosu-Tekesi, Xinyuan-Bayinbuluke) is large summer pastures with various vegetations and higher vegetation coverage, where soils is fertile. It was recommend to protect the soils from overgrazing and random perturbations in order to avoid soil erosion. It was also critical to ban setting up of exploration platforms in larger slope areas. Also the low vegetation cover and gravel soil in the east part of the northern slope (Balikun-Yiwu) induced lower soil nutrient content comparing to the west part. It was therefore important to maintain original habitats and avoid anthropogenic disturbances that could induce habitat degradation.

**Key words** Northern slope of Tianshan Mountain, Soil nutrient, Regional difference, Soil along forest edge

(Received Sep. 17, 2012; accepted Jan. 14, 2013)

土地作为一种稀缺资源,不仅是农业发展的基础,同时也是牧业发展的条件。土壤是土地资源的载体,作为受环境中多因素综合作用和影响的开放型复杂系统,代表土壤主要特征的土壤养分是综合要素的体现<sup>[1]</sup>。土壤养分是土壤的重要组成部分,是表征土壤质量的重要因子,土壤肥力的重要指标。在干旱荒漠地区,土壤养分含量直接影响着土壤质量的高低,并对荒漠化地区的生态演化有直接的影响<sup>[2-4]</sup>。因而,土壤养分已经成为土壤学、环境化学和地球化学的研究热点之一<sup>[5-7]</sup>。

土壤养分区域分异研究是区域规划、生态环境保护和区域可持续发展的重要基础工作<sup>[8]</sup>。国内外研究表明,土壤养分的动态变化受土壤类型、施肥、耕作、灌溉、海拔和气候等因素的影响<sup>[9-12]</sup>。自然环境条件的改变、土地利用方式的变化等都会影响土壤养分的数量和构成<sup>[13-16]</sup>。有关土壤养分空间变异的研究已有很多,如有关土壤有机质、全氮等的变程研究<sup>[17-20]</sup>,块金效应和相关程度研究<sup>[21]</sup>,关于在各种地形下土壤养分含量<sup>[22-23]</sup>或某个地区土壤养分分异<sup>[24]</sup>的研究,变异系数的研究等<sup>[25]</sup>,而对次小自然地理单元土壤养分空间差异的研究此前也有所涉及,其中有些限于某个县级范围,有些虽是某个省或地区的研究,但数据来源却是 1:50 万或更小比例尺。本文采用多元统计分析方法,分析作为独特自然地理单元的天山北坡 3 个区段(昭苏—特克斯,新源—巴音布鲁克和巴里坤—伊吾)不同深度(0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm)土壤养分含量的分布特征与区域差异,为天山北坡林牧业发展、生态环境重建与水土保持提供土壤养分方面的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区整体位于我国境内的天山山地北坡。依据易达性原则选择天山北坡自然地理状况、人类活动差异较大的 3 个区段作为本研究的研究区,即西

段的昭苏—特克斯和新源—巴音布鲁克区段,东段的巴里坤—伊吾区段。

天山位于不同的生物气候带中,其北部的准葛尔盆地南部属于温带荒漠,其南部的塔里木盆地属于暖温带荒漠。不同地带的水热条件明显地反映在所隶属的垂直带系统中。因而,天山不同坡向的土壤、植被的垂直结构有很大差异<sup>[26]</sup>。天山北坡的垂直带谱大部分从半荒漠开始,部分山段荒漠上升也较低,而南坡则山地荒漠可升至 1 800~2 000 m 以上,较为湿润的托木尔峰南坡亦可上升至 2 100~2 300 m,西南坡则更高,可达 2 300~2 500 m<sup>[27]</sup>。

昭苏县处于北纬 42°38'~43°15'、东经 80°10'~80°30'之间,位于新疆维吾尔自治区西北部,伊犁哈萨克自治州西南部,伊犁河上游特克斯河流域,特克斯—昭苏盆地西段,属于寒温带亚干旱气候区。地势特征为西高东低。植物以天山云杉、林缘灌丛和禾本科植物为主,植被覆盖度 90%。特克斯县位于天山北麓西部特昭盆地东段,地理坐标东经 81°19'~82°37'、北纬 42°22'~43°25'。特克斯县属于山区县,93%的面积为丘陵地,特克斯县处于逆温带控制区,是典型的北温带大陆性气候。植物以天山云杉、林缘灌丛和禾本科植物为主,植被覆盖度 90%。该区段人类活动主要以农业畜牧业为主。

新源县地处东经 84°57'~85°28',北纬 43°01'~43°40'之间的天山腹地,水美地肥的伊犁河谷东端。四季分明,气候适宜。植物以天山云杉、林缘灌丛和禾本科植物为主,植被覆盖度 80%。巴音布鲁克草原处新疆维吾尔自治区东南部,位于东经 83°38'~93°45'、北纬 35°33'~42°26'之间。巴音布鲁克草原属高位山间盆地,四面雪山环绕,气候独特,冬季漫长。每年 7 月最高气温 28 °C,1 月极端最低气温 -48 °C,年平均气温 -4.7 °C,积雪天数 160~180 d,无绝对无霜期,年枯草期 7 个月,永冻层 4.7 m,年降雨量 216.8~361.8 mm,年蒸发量 1 022.9~1 247.5 mm,

年日照 2 800.8~2 832.1 h, 年平均风速  $2.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。该区段人类活动主要以畜牧业、旅游业为主。

巴里坤—伊吾区段地理坐标为东经  $91^{\circ}19' \sim 94^{\circ}48'$ 、北纬  $43^{\circ}21' \sim 45^{\circ}5'$ , 地形复杂, 东南高, 西北低, 海拔高度在 500~4 000 m。该区段属中温带干旱气候区, 暖季凉爽, 冷季严寒, 光照充足, 无霜期短, 降水量偏小, 蒸发量大, 气温年、日变化大。植被以禾本科为主, 植被盖度约为 30%。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样品的采集

2011 年 8 月对天山北坡东、西段进行现场考察的同时, 选择林沿合适部位分别开挖开口为  $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 、深度为 100 cm 的土壤采样坑, 以成对(林地—草地)的形式采集 133 个下林沿土样, 所取土层包括 0~5 cm、5~20 cm 和 20~40 cm 层。每土层取约 1 kg 混合样, 装于自封塑料袋并做好标记和编号。样点位置见图 1。采样的同时还记载了采样的日期、经纬度、植被类型、植被覆盖度、坡向、坡度、成土母质、颜色、硬度等背景情况以备后期分析时使用。

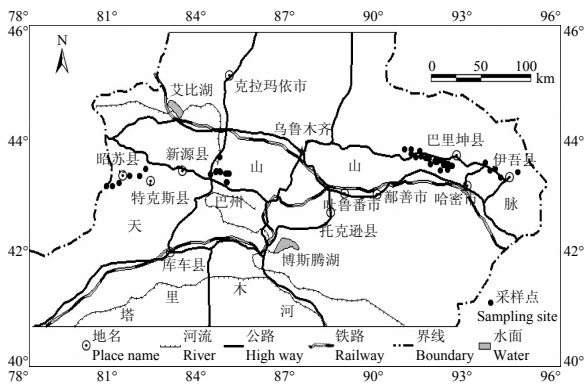


图 1 研究区与采样点位置示意图

Fig. 1 Map showing the study area and sampling sites

### 1.2.2 样品的测定及其分析方法

样品送实验室, 经风干、磨细过筛后测定土壤的可溶性总盐、有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量。具体分析测试方法如下: 土壤有机质含量采用重铬酸钾—浓硫酸外加热法测定, 可溶性总盐选用残渣烘干法测定, 速效氮采用碱解扩散法测定, 速效磷采用  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  碳酸氢钠—钼蓝比色法测定, 速效钾采用乙酸铵浸提、火焰光度法测定<sup>[28-31]</sup>。

### 1.2.3 数据处理

采用经典统计学方法对数据进行描述性分析, 分析过程在 SPSS19.0 中进行。图件用 Arcgis、Statistica 软件绘制。以经典统计分析方法、相关分析法研究天山北坡不同区段林沿不同土壤层养分含量的分布特征, 比较各区段土壤养分含量的差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 天山北坡不同区域土壤养分的统计特征值

#### 2.1.1 0~5 cm 土壤剖面层养分特征

昭苏—特克斯区段 0~5 cm 土壤层有机质含量在  $20.89 \sim 403.75 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $197.37 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 54.3%, 属于中等变异; 速效氮含量在  $187.39 \sim 1 440.56 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $848.97 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 51.3%, 属于中等变异; 速效磷含量在  $8.28 \sim 63.51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $31.29 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 57.6%, 属于中等变异; 速效钾含量在  $254.73 \sim 999.89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $553.28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 48.2%, 属于中等变异; 总盐含量在  $0.7 \sim 4.75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  之间, 平均值为  $2.56 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 变异系数为 49.3%, 属于中等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准对比可以发现<sup>[32]</sup>, 该区段 0~5 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量和速效钾含量属肥沃级。

新源—巴音布鲁克区段 0~5 cm 土壤层有机质含量在  $28.03 \sim 309.37 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $140.23 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 51.7%, 属于中等变异; 速效氮含量在  $157.06 \sim 1 139.67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $569.85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 45.01%, 属于中等变异; 速效磷含量在  $6.43 \sim 175.65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $32.66 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 116.2%, 属于中等变异; 速效钾含量在  $160.24 \sim 688.13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $385.49 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 36.71%, 属于中等变异; 总盐含量在  $0.52 \sim 3.49 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  之间, 平均值为  $1.36 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 变异系数为 34.9%, 属于中等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 0~5 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量、速效钾含量属肥沃级。

巴里坤—伊吾区段 0~5 cm 土壤层有机质含量在  $10.14 \sim 315.55 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $116.82 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 113.1%, 属于强等变异; 速效氮含量在  $13.91 \sim 845.40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $290.29 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 76.7%, 属于中等变异; 速效磷含量在  $3.19 \sim 92.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $14.16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 130.7%, 属于中等变异; 速效钾含量在  $68.01 \sim 816.57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $451.98 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变异系数为 45.3%, 属于中等变异; 总盐含量在  $0.38 \sim 3.46 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  之间, 平均值为  $1.85 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 变异系数为 99.6%, 属于强等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 0~5 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量、速效钾含量属肥沃级。

从图 2 可见, 天山北坡各区段 0~5 cm 土壤剖面层有机质含量的平均值以昭苏—特克斯区段最大, 巴里坤—伊吾区段最小; 有机质含量的最大值以昭

苏一特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效氮含量平均值以巴里坤—伊吾区段最小, 昭苏—特克斯区段最大; 速效氮含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效磷含量的平均值以新源—巴音布鲁克区段最大, 巴里坤—伊吾区段最小; 速效磷含量的最大值以新源—巴音布鲁克区段最大, 最小值以巴里

坤—伊吾区段最小。速效钾含量平均值以昭苏—特克斯区段最大, 新源—巴音布鲁克区段最小; 速效钾含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。各区段总盐含量的平均值以昭苏—特克斯区段最高, 新源—巴音布鲁克区段最小; 总盐含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。

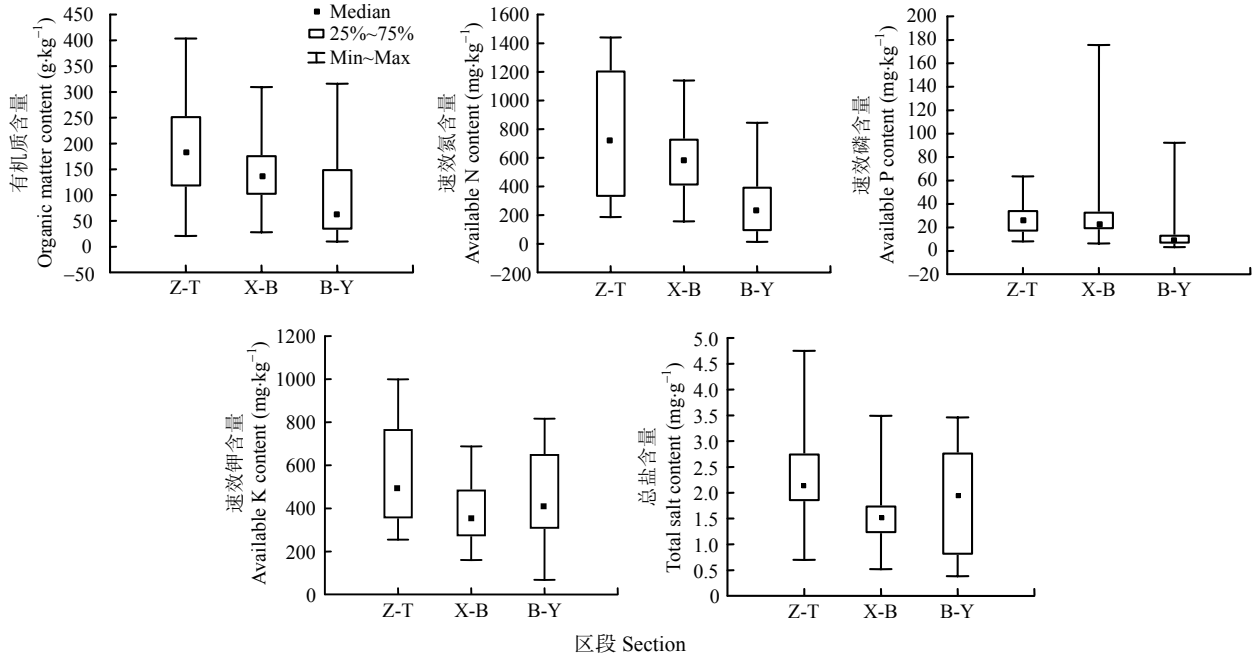


图 2 天山北坡不同区段林沿 0~5 cm 土层土壤养分含量统计特征

Fig. 2 Statistics of soil fertility in 0~5 cm soil layer from different sections of the northern slope of Tianshan Mountains

Z-T: 昭苏—特克斯 Zhaosu-Tekesi; X-B: 新源—巴音布鲁克 Xinyuan-Bayinbuluke; B-Y: 巴里坤—伊吾 Balikun-Yiwu. 下同 The same below.

2.1.2 5~20 cm 土壤剖面层养分特征

昭苏—特克斯区段 5~20 cm 土壤层有机质含量在 15.25~193.83 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 102.65 g·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 50.29%, 属于中等变异; 速效氮含量在 226.67~577.08 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 433.93 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 30.86%, 属于中等变异; 速效磷含量在 7.59~35.57 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 15.66 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 65.58%, 属于中等变异; 速效钾含量在 66.88~1 071.74 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 424.74mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 84.27%, 属于强度变异; 总盐含量在 0.72~6.62 mg·g<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 2.02 mg·g<sup>-1</sup>, 变异系数为 102.25%, 属于中等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 5~20 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量和速效钾含量属肥沃级。

新源—巴音布鲁克区段 5~20 cm 土壤层有机质含量在 25.61~307.96 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 109.52 g·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 55.30%, 属于中等变异; 速效氮含量在 132.30~697.10 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 436.29 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 35.61%, 属于中等变

异; 速效磷含量在 3.84~185.65 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 25.11 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 179.42%, 属于中等变异; 速效钾含量在 51.24~591.95 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 255.90 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 57.98%, 属于中等变异; 总盐含量在 0.36~2.44 mg·g<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 1.23 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 60.1%, 属于中等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 5~20 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量与速效钾含量属肥沃级。

巴里坤—伊吾区段 5~20 cm 土壤层有机质含量在 8.74~275.88 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 70.97 g·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 101.81%, 属于强度变异; 速效氮含量在 31.25~602.66 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 197.72 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 84.27%, 属于中等变异; 速效磷含量在 0.41~83.84 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 8.59 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 202.44%, 属于中等变异; 速效钾含量在 28.01~921.24 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 303.95 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 76.97%, 属于强度变异; 总盐含量在 0.24~4.36 mg·g<sup>-1</sup> 之间, 平均值为

1.13 mg·g<sup>-1</sup>, 变异系数为 105.12%, 属于强度变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 5~20 cm 土壤层有机质含量、速效钾含量和速效磷含量属肥沃级。

从图 3 可见, 天山北坡不同区段 5~20 cm 土壤剖面层有机质含量的平均值以巴里坤—伊吾区段最小, 新源—巴音布鲁克区段最大; 有机质含量的最大值以新源—巴音布鲁克区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效氮含量的平均值以巴里坤—伊吾区段最小, 昭苏—特克斯区段最大; 速效氮含量的最大值以新源—巴音布鲁克区段最

大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效磷含量的平均值以新源—巴音布鲁克区段最大, 巴里坤—伊吾区段最小; 速效磷含量的最大值以新源—巴音布鲁克区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效钾含量的平均值以昭苏—特克斯区段最大, 以巴里坤—伊吾区段最小; 速效钾含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。总盐含量的平均值以昭苏—特克斯区段最大, 新源—巴音布鲁克区段最小; 总盐含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。

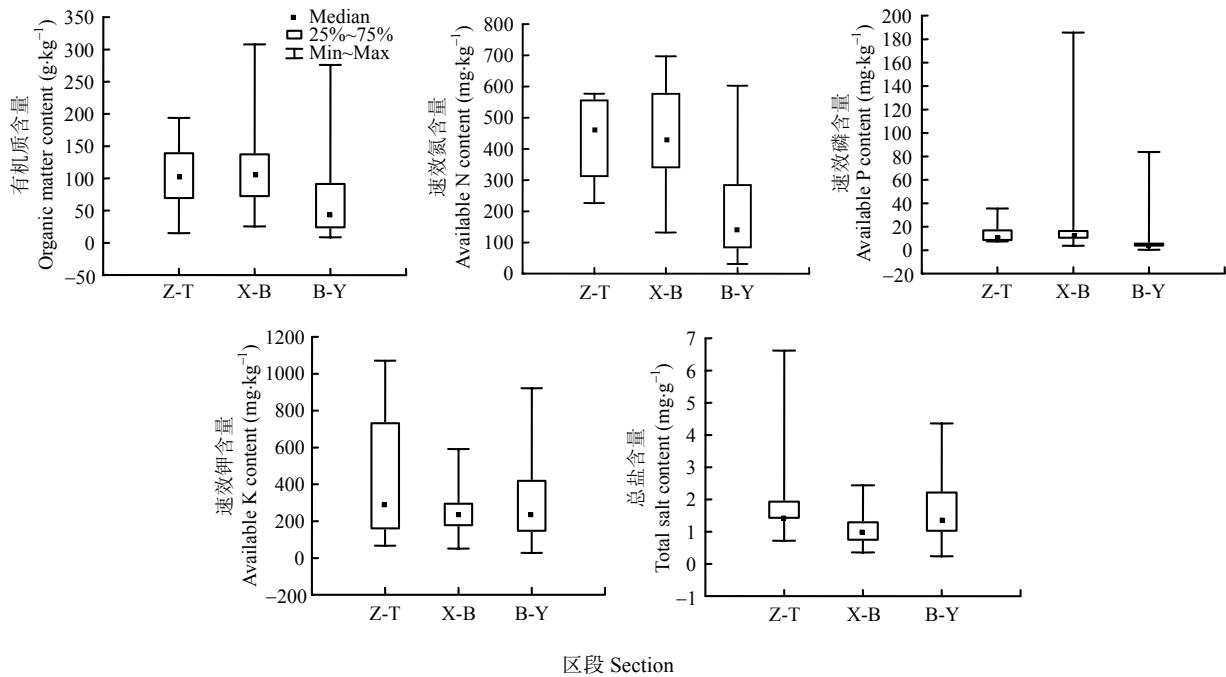


图 3 不同区段林沿 5~20 cm 土层土壤养分含量统计特征

Fig. 3 Statistics of soil fertility in 5~20 cm soil layer from different sections of the northern slope of Tianshan Mountains

### 2.1.3 20~40 cm 土壤剖面层养分特征

昭苏—特克斯区段 20~40 cm 土壤层有机质含量在 8.31~170.92 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 72.71 g·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 64.48%, 属于中等变异; 速效氮含量在 52.92~664.59 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 300.43 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 58.40%, 属于中等变异; 速效磷含量在 3.41~18.71 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 9.93 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 49.14%, 属于中等变异; 速效钾含量在 31.24~1 071.74 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 365.23 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 94.75%, 属于强等变异; 总盐含量在 0.32~5.56 mg·g<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 1.86 mg·g<sup>-1</sup>, 变异系数为 103.47%, 属于强等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 20~40 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量、速效钾含量属肥沃级。

新源—巴音布鲁克区段 20~40 cm 土壤层有机

质含量在 15.95~203.07 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 81.16 g·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 67.07%, 属中等变异; 速效氮含量 100.57~509.86 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 296.69 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 50.30%, 属于中等变异; 速效磷含量在 3.68~192.33 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 22.65 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 116.11%, 属于强等变异; 速效钾含量在 50.47~555.73 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 248.82 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 58.55%, 属于中等变异; 总盐含量在 0.38~1.39 mg·g<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 1.09 mg·g<sup>-1</sup>, 变异系数为 38.33%, 属于中等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 20~40 cm 土壤层有机质含量、速效磷含量、速效钾含量属肥沃级。

巴里坤—伊吾区段 20~40 cm 土壤层有机质含量在 5.03~150.87 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 50.33 g·kg<sup>-1</sup>, 变

异系数为 81.90%, 属强等变异; 速效氮含量 36.19~587.22 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 193.94 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 74.86%, 属于中等变异; 速效磷含量在 0.53~37.02 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 4.13 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 98.43%, 属强等变异; 速效钾含量在 13.13~878.24 mg·kg<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 220.18 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数为 95.63%, 属于强等变异; 总盐含量在 0.20~3.34 mg·g<sup>-1</sup> 之间, 平均值为 1.13 mg·g<sup>-1</sup>, 变异系数为 99.12%, 属于强等变异。与全国第 2 次土壤普查的标准<sup>[32]</sup>对比可以发现, 该区段 20~40 cm 土壤层有机质含量、速效钾含量属肥沃级, 而速效磷含量属贫瘠级。

从图 4 可见, 天山北坡不同区段 20~40 cm 土壤剖面层有机质含量的平均值以巴里坤—伊吾区段最小, 新源—巴音布鲁克区段最大; 有机质含量的最

大值以新源—巴音布鲁克区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效氮含量平均值以巴里坤—伊吾区段最小, 以昭苏—特克斯区段最大; 速效氮含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。速效磷含量的平均值以新源—巴音布鲁克区段最大, 而巴里坤—伊吾区段最小; 速效磷含量的最大值以新源—巴音布鲁克区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。各区段速效钾含量的平均值以昭苏—特克斯区段最大, 巴里坤—伊吾区段最小; 速效钾含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。各区段总盐含量的平均值以昭苏—特克斯区段最高, 新源—巴音布鲁克区段最小; 总盐含量的最大值以昭苏—特克斯区段最大, 最小值以巴里坤—伊吾区段最小。

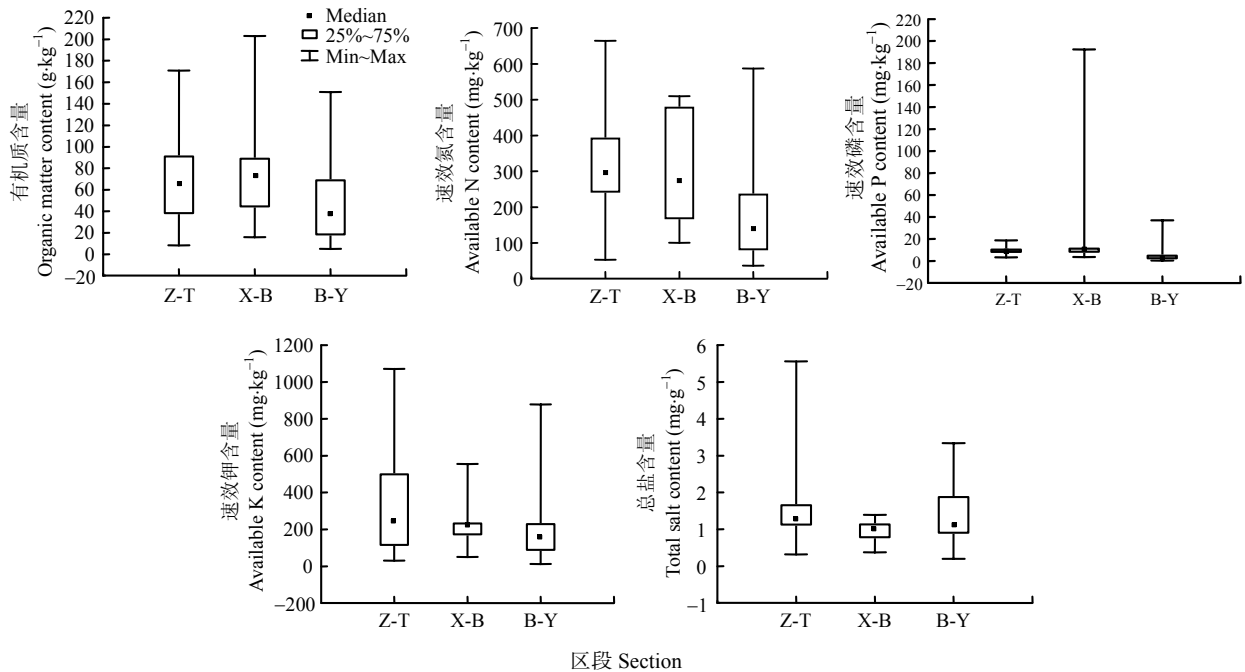


图 4 不同区段林沿 20~40 cm 土层土壤养分含量统计特征

Fig. 4 Statistics of soil fertility in 20~40 cm soil layer from different sections of the northern slope of Tianshan Mountains

## 2.2 天山北坡不同区域土壤养分含量的比较

从图 2~图 4 可见, 3 个区段不同深度土壤层有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量均存在明显差异, 其中 0~5 cm 土层的平均含量均高于 5~20 cm 和 20~40 cm 土层, 5~20 cm 土层的平均含量高于 20~40 cm 土层, 而总盐含量无明显的垂直分层现象。

昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克和巴里坤—伊吾区段的土壤有机质、速效氮与速效磷含量的最大值出现在 0~5 cm 土层, 这符合干旱区土壤养分含量一般在表层聚集的一般规律。比较不同土壤层

的有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量的最小值发现, 昭苏—特克斯区段与新源—巴音布鲁克区段的最小值均出现在 20~40 cm 剖面层内, 而巴里坤—伊吾区段土壤有机质含量与速效氮含量的最小值则出现在 0~5 cm 剖面层内。造成这种现象的原因可能在于, 巴里坤—伊吾区段土壤受人类活动的影响更显著。

## 2.3 天山北坡不同区域土壤养分相关性分析

### 2.3.1 0~5 cm 土壤剖面层养分相关性

由表 1 可见, 昭苏—特克斯区段和新源—巴音布鲁克区段 0~5 cm 土壤剖面层有机质、速效氮、

速效磷、总盐间具有显著正相关。这表明这两个区段土壤养分改善过程中有机质、速效氮、速效磷、总盐等具有同步上升的规律，而速效钾具有独立性。巴里坤—伊吾区段土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾、总盐间无显著相关性。表明该区段土壤养分改善过程中有机质、速效氮、速效磷、速效钾、总盐等指标在含量变化上具有良好的独立性。

### 2.3.2 5~20 cm 土壤剖面层养分相关性

由表 1 可见，昭苏—特克斯区段 5~20 cm 土层土壤有机质与速效氮显著正相关；速效磷、速效钾、总盐之间显著正相关。这表明该区段土壤养分改善过程中有机质与速效氮含量之间，速效磷、速效钾、总盐含量之间具有同步上升的规律。新源—巴音布鲁克区段土壤层有机质与速效氮呈显著正相关，有机质与速效磷显著正相关。这表明在该区段土壤养分改善过程中有机质与速效氮、有机质与速效磷间具有同步上升的规律。巴里坤—伊吾区段土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾、总盐之间没有相关

性。表明在该区段土壤养分改善过程中有机质、速效氮、速效磷、速效钾、总盐等指标在含量变化上具有良好的独立性。

### 2.3.3 20~40 cm 土壤剖面层养分相关性

由表 1 可见，昭苏—特克斯 20~40 cm 土壤层有机质与速效氮、速效磷与速效氮、速效磷与速效钾、速效磷与总盐均呈显著正相关。这表明该区段土壤养分改善过程中速效磷与速效氮、速效磷与速效钾、速效磷与总盐间具有同步上升的规律。新源—巴音布鲁克区段土壤有机质与速效氮、速效磷显著正相关，总盐与速效氮显著正相关，速效磷与速效钾显著正相关。这表明在该区段土壤养分改善过程中有机质与速效氮、有机质与速效磷、速效氮与总盐、速效磷与速效钾间具有同步上升的规律。巴里坤—伊吾 20~40 cm 土壤层有机质、速效氮、速效磷、速效钾和总盐之间无显著相关性。表明在该区段土壤养分改善过程中有机质、速效氮、速效磷、速效钾、总盐等指标含量变化上具有独立性。

表 1 各区段不同土壤层养分指标间的相关性  
Table 1 Correlations among the soil nutrient indexes in different regions

		速效氮 Available N			速效磷 Available P			速效钾 Available K			总盐 Total salt		
		0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm	0~5 cm	5~20 cm	20~40 cm
有机质 Organic matter	Z-T	0.91**	0.78**	0.65**	0.86**	0.33	0.19	-0.10	0.11	-0.02	0.93**	-0.08	-0.08
	X-B	0.52**	0.55**	0.82**	0.63**	0.79**	0.66**	-0.17	0.25	0.49	0.64**	0.26	0.48
	B-Y	0.42	0.36	0.42	0.01	0.05	-0.08	0.38	0.14	0.03	-0.10	-0.17	0.17
速效氮 Available N	Z-T				0.80**	0.27	0.63**	0.05	0.14	0.26	0.92**	-0.17	0.29
	X-B				0.50**	0.27	0.40	-0.05	-0.15	0.39	0.48**	0.25	0.60**
	B-Y				-0.03	0.18	0.08	0.40	0.27	0.07	-0.07	0.02	-0.26
速效磷 Available P	Z-T							-0.15	0.81**	0.79**	0.82**	0.67**	0.82**
	X-B							0.15	0.40	0.63**	0.53**	0.33	0.38
	B-Y							-0.04	-0.03	-0.01	0.09	-0.15	0.27
速效钾 Available K	Z-T										0.17	0.73**	0.80**
	X-B										0.18	0.38	0.42
	B-Y										0.09	0.09	0.17

\*\*：在 0.01 水平上(双侧)显著相关 Significant correlation at the 0.01 level (double side).

## 3 讨论

从天山北坡东、中、西 3 段不同土壤剖面层养分特征分析可知，西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)的土壤养分含量比天山北坡东段(巴里坤—伊吾)高。原因可能在于：在相同气候区，天山北坡土壤养分含量的空间分布受成土母质、地形地貌、土壤类型、土壤质地<sup>[31-34]</sup>、植被覆盖度、海拔、热量及人为管理措施等因素的影响<sup>[2]</sup>。

成土母质一方面作为土壤的骨架，另一方面是

植物矿质养料元素的最初来源，不仅直接影响着土壤的物理化学性质组成、土壤成土过程的性质，还影响着土壤养分累积和淋失<sup>[35]</sup>。有关研究显示，天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)土壤质地为薄厚不等的黄土状物质，而天山北坡东段(巴里坤—伊吾区段)的成土母质为坡积、冲洪积/湖积物等。由黄土状成土母质发育的土壤养分含量极显著高于坡积、冲洪积/湖积物。黄土状母质黄土层深厚，富含碳酸盐，黏化层和钙积层发育，且多形成碳酸盐褐土，故土壤养分含量很高。洪积母质



土体中往往有卵砾石层, 构成了土体中的障碍层, 且质地为轻壤, 该母质多形成褐土性土, 因而土壤养分含量较低。这是本研究所发现的天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)下林沿土壤养分含量明显高于天山北坡东段(巴里坤—伊吾区段)的根本原因。

地形和土壤类型影响土壤养分的空间分布。天山北坡昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段主要土壤类型是黑钙土、粟钙土。黑钙土自然肥力水平较高, 土壤养分含量较高<sup>[28]</sup>。天山北坡西段(特克斯—昭苏、新源—巴音布鲁克区段)土壤质地较重, 主要土壤类型是黏土, 利于有机质的积累, 故土壤养分含量较高, 而天山北坡东段的巴里坤—伊吾区段土壤质地较轻, 通气条件较好, 有机质相对容易流失, 因此土壤养分含量较低。

植被覆盖度、海拔和热量也是决定土壤养分含量的主要因素。实地考察发现, 天山北坡西段地区(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)植物以天山云杉、林缘灌丛和禾本科植物为主, 植被覆盖度 90%, 平均海拔高度为 2 000 m 左右, 热量较低, 有利于土壤养分的积累。天山北坡东段(巴里坤—伊吾区段)以藜科植物、蒿类为主, 并有少量骆驼蓬、榆树、芨芨草、苦豆子、粉苞菊等出现, 植被盖度 20%~30%, 平均海拔高度为 1 800 m 左右。随着海拔的降低, 降雨量逐渐减少, 植被覆盖度逐渐降低, 土壤养分含量也逐渐降低<sup>[2]</sup>。巴里坤盆地因气候干旱, 植物稀疏, 这些自然条件不利于土壤养分的积累。昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段采样点多分布在以野杏、小檗、柳树、蔷薇等为主的山地林地和以禾本科为主的草地, 植被盖度 90%以上, 优越的植被条件为土壤养分的积累奠定了基础。这是天山西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)土壤养分含量比较高的主要原因。

巴里坤—伊吾区段具有丰富的自然资源, 盆地的土壤主要有淡粟钙土、棕钙土、草甸土和盐土 4 个类型<sup>[28]</sup>。不同土壤类型上生长的植被, 其覆盖度和土壤利用方式有很大差异, 这是导致巴里坤地区土壤有机质含量变异较大的主要原因。此外, 实地考察中发现, 巴里坤—伊吾区段是向外开放的旅游城, 所以该区段人类活动(包括开垦、造林、旅游等)对土壤也产生了一定的影响。

分析天山北坡不同区段林沿 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm 土壤剖面层内土壤养分含量的相关性可以发现: 天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)土壤各个指标含量变化上具有一定的规

律, 而天山北坡东段(巴里坤—伊吾区段)各个养分指标含量变化上具有一定的独立性。原因可能跟该区段的土壤性质有关。上述讨论中可发现天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)主要土壤类型是黑钙土、粟钙土, 而天山北坡东段(巴里坤—伊吾区段)的主要土壤类型有淡粟钙土、棕钙土、草甸土和盐土 4 个类型<sup>[31]</sup>。不同土壤类型上生长的植被, 其覆盖度和土壤利用方式有很大的差异, 故土壤养分各个指标之间的相关性相对也小。

#### 4 结论

通过以上分析, 可以得出以下结论: (1)天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)土壤养分平均含量比天山北坡东段(巴里坤—伊吾区段)高。(2)0~5 cm 土壤层有机质、速效氮、速效钾和总盐含量以昭苏—特克斯区段最高, 巴里坤—伊吾最低; 5~20 cm 土层有机质、速效氮、速效磷含量以新源—巴音布鲁克区段最高, 巴里坤—伊吾区段最低, 5~20 cm 土层速效钾、总盐含量以昭苏—特克斯区段最高, 巴里坤—伊吾区段最低; 20~40 cm 土层有机质、速效磷含量以新源—巴音布鲁克区段最高, 巴里坤—伊吾区段最低, 速效氮、速效钾、总盐含量以昭苏—特克斯区段最高, 巴里坤—伊吾区段最低。(3)昭苏—特克斯区段、新源—巴音布鲁克区段 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm 土层内土壤养分各指标间变化具有一定的规律, 而巴里坤—伊吾区段土壤养分各指标间含量变化具有良好的独立性。(4)巴里坤—伊吾区段各个指标变异系数相对较大, 属于强变异型。(5)3 个区段不同深度土壤层有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量均存在随深度加深而降低, 但总盐不存在明显的垂直分层现象。

天山北坡西段(昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段)与天山东段(巴里坤—伊吾区段)的土壤养分含量存在比较明显的差异。针对不同区段的土壤养分含量分布规律及特征, 在未来的保护与利用中应采取不同的策略。昭苏—特克斯、新源—巴音布鲁克区段植被类型较多, 植被覆盖度较高, 海拔也较高, 土壤较为肥沃, 大部分区域为夏牧场, 人类活动以放牧为主, 对该区域要防止过度放牧和随意扰动土壤, 以避免水土流失; 巴里坤—伊吾区段因土壤中砾石较多, 植被类型较少, 植被覆盖度较低, 人类活动以林木育新和旅游为主, 土壤养分含量较低, 故今后的土壤保护与利用应以保持生境原貌为主, 避免人为扰动后的生境退化。

## 参考文献

- [1] 李有民, 周华荣, 侯海生. 新疆伊犁皮里其河流域表层土壤养分特征[J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 290–296  
Li Y M, Zhou H R, Hou H S. Characteristics of topsoil nutrients in the Pirichy River Basin, Ili, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2010, 27(2): 290–296
- [2] 黄元仿, 周志宇, 苑小勇, 等. 干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2776–2781  
Huang Y F, Zhou Z Y, Yuan X Y, et al. Spatial variability of soil organic matter content in an arid desert area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2776–2781
- [3] 吴乐知, 蔡祖聪. 中国土壤有机质含量变异性与空间尺度的关系[J]. 地球科学进展, 2006, 21(9): 967–968  
Wu L Z, Cai Z C. The relationship between the spatial scale and the variation of soil organic matter in China[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(9): 967–968
- [4] 李启权, 岳天祥, 范泽孟, 等. 中国表层土壤有机质空间分布模拟分析方法研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1385–1399  
Li Q Q, Yue T X, Fan Z M, et al. Study on method for spatial simulation of topsoil SOM at national scale in China[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(8): 1385–1399
- [5] 胡克林, 余艳, 张风荣, 等. 北京郊区土壤有机质含量的时空变异及其影响因素[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 764–771  
Hu K L, Yu Y, Zhang F R, et al. The spatial-temporal variability of soil organic matter and its influencing factors in suburban area of Beijing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(4): 764–771
- [6] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001, 292(5525): 2320–2322
- [7] 李文芳, 杨世俊, 文池夫. 土壤有机质的环境效应[J]. 环境科学动态, 2004(4): 31–33  
Li W F, Yang S J, Wen C F. Environmental effects of soil organic matter[J]. Environmental Science Trends, 2004(4): 31–33
- [8] 钱乐祥, 许叔明, 秦奋, 等. GIS 支持的土壤贫瘠化区域分异研究——以福建为例[J]. 地理科学, 2002, 22(1): 85–90  
Qian L X, Xu S M, Qin F, et al. Regional differences of soil impoverishment supported by GIS—A case study of Fujian Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(1): 85–90
- [9] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同雨强和施肥方式对紫色土养分损失的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9): 1847–1854  
Lin C W, Luo C Y, Pang L Y, et al. Effect of different fertilization methods and rain intensities on soil nutrient loss from a purple soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(9): 1847–1854
- [10] 薛丽佳, 卢茜, 高人. 不同类型土壤有机碳含量比较研究[J]. 安徽农业科学, 2001, 39(11): 6486–6487  
Xue L J, Lu Q, Gao R. Comparison of soil organic carbon content in different soil types of Wuyi Mountains[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2001, 39(11): 6486–6487
- [11] 隗英华, 汪仁, 孙文涛, 等. 辽西石灰性褐土不同施氮模式下的土壤养分动态研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(2): 10–15  
Juan Y H, Wang R, Sun W T, et al. Dynamic study on calcareous cinnamon soil nutrition under different nitrogen application models in west of Liaoning[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2011(2): 10–15
- [12] Liu M, Li Z P, Zhang T L, et al. Discrepancy in response of rice yield and soil fertility to long term chemical fertilization and organic amendments in paddy soils cultivated from infertile upland in subtropical China[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(2): 259–266
- [13] 张世榕, 黄元仿, 李保国, 等. 黄淮海冲积平原区土壤有机质时空变异特征[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2041–2047  
Zhang S R, Huang Y F, Li B G, et al. The temporal and spatial variability of soil organic matter contents in the alluvial region of Huang-Huai-Hai Plain, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2041–2047
- [14] Chang C. Variation in soil total organic matter content and total nitrogen associated with micro relief[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1995, 75(4): 471–473
- [15] Oades J M, Glen O. Influence of management on the composition of organic matter in a red-brown earth as shown by  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance[J]. Australian Journal of Soil Research, 1988, 26(2): 289–299
- [16] Wu J, O'Donnell A G, Syers J K, et al. Modeling soil organic matter changes in ley-arable rotations in sandy soils of Northeast Thailand[J]. European Journal of Soil Research, 1998, 49(3): 463–470
- [17] Tsegaye T, Robert L H. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements[J]. Soil Science, 1998, 163(2): 155–165
- [18] Fisher E, Thornton B, Hudson G, et al. The variability in total and extractable soil phosphorus under a grazed pasture[J]. Plant and Soil, 1998, 203(2): 249–255
- [19] van Meirvenne M, Hofman G. Spatial variability of soil nitrate nitrogen after potatoes and its change during winter[J]. Plant and Soil, 1989, 120(1): 103–110
- [20] Cahn M D, Hummel J W, Brouer B H. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(4): 1240–1248
- [21] Gambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501–1511
- [22] 张春霞. 黄土高原沟壑区小流域土壤养分分布特征[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 78–80  
Zhang C X. Distribution of soil fertility in gully watershed of the Loess Plateau hilly region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(1): 78–80
- [23] 吕军杰. 坡耕旱地土壤养分分布规律初探[J]. 河南农业科学, 2002(6): 23–24  
Lv J J. The research of the slope tillage dry land soil nutrient distribution[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2002(6): 23–24
- [24] 沈德福, 史学正, 吕成文, 等. 江苏沿江地区土壤肥力空间分布及其区域对比研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005(3): 24–26  
Shen D F, Shi X Z, Lv C W, et al. Regional diversities of soil fertility along the Yangtze river in Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005(3): 24–26
- [25] Trangmar B B, Yost R S, Wade M K, et al. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land[J]. Soil Science Society of America Journal, 1987, 51(3): 668–674
- [26] 中科院新疆生态与地理研究所. 新疆土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 1965

- Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences. Xinjiang soil geography[M]. Beijing: Science Press, 1965
- [27] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004
- Hu R J. Physical geography of the Tianshan mountains in China[M]. Beijing: China Environment Science Press, 2004
- [28] 中国环境总站. 土壤元素的现代分析法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992
- China's Environmental Station. Modern analysis method of soil elements[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992
- [29] 李鸿恩, 刘惠容, 张建新, 等. 测定土壤有机质丘林法的改进[J]. 土壤通报, 1987(4): 187-189
- Li H E, Liu H R, Zhang J X, et al. Determination of soil organic matter with the improvement of Chulin method of improvement[J]. Soil Science, 1987(4): 187-189
- [30] 李鸿恩. 土壤有机质测定法. 中华人民共和国农业部 1988-06-30 批准 GB9834-88
- Li H E. Soil organic matter assay. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China 1988-06-30 GB9834-88
- [31] 李培清. 新疆土壤分析[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1987
- Li P Q. Analysis of Xinjiang soils[M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 1987
- [32] 土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 31-41
- Soil Survey Office. Soil census technology of China[M]. Beijing: Agriculture Press, 1992: 31-41
- [33] 徐艳, 张凤荣, 汪景宽. 20 年来我国潮土区与黑土区土壤有机质变化的对比研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 102-105
- Xu Y, Zhang F R, Wang J K. Temporal changes of soil organic matter in Ustic Cambisols and Udic Isohumosols of China in recent twenty years[J]. Soil Science, 2004, 35(2): 102-105
- [34] 李君剑, 赵溪, 潘恬豪, 等. 不同土地利用方式对土壤活性有机质的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 147-151
- Li J J, Zhao X, Pan T H, et al. Effects of different land-use types on soil labile organic matter[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(1): 147-151
- [35] 陆梅, 田昆, 莫剑锋. 高原湿地纳帕海 4 种湿地利用类型土壤养分和微生物特征研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 241-245
- Lu M, Tian K, Mo J F. Study on the soil nutrients and microbiological characteristics of four utilization types of plateau wetlands Napahai[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(2): 241-245