

平顶山矿区丘陵坡地土壤理化性质及质量评价

楚纯洁¹, 周金凤^{2,3}

(1. 平顶山学院 旅游与规划学院, 平顶山 467000;

2. 平顶山学院 化学与环境工程学院, 平顶山 467000; 3. 南京大学 化学化工学院, 南京 210093)

摘要:以平顶山矿区丘陵坡地土壤为供试材料,通过采样、测试分析,分析了坡面不同海拔与矿区下风向不同距离处土壤的理化性质及重金属 Cu、Zn、Cr、Ni 和 Pb 含量,并采用熵权 TOPSIS 法进行土壤质量评价。结果表明:(1)不同海拔坡面土壤中的砂粒含量显著高于黏粒,其中矿区附近砂粒含量最高而黏粒含量最低,矿区以上砂粒减少而黏粒增多,且在近坡顶附近最高。矿区附近坡面土壤呈碱性,矿区以上海拔高于 356 m 的坡面土壤呈酸性,且随海拔上升而酸性增强。土壤电导率、有机质、速效磷、全磷与速效磷含量在矿区附近含量最高,矿区以上坡面最低,但在近坡顶附近略有富集。土壤全氮沿坡面波动较大,但近坡顶附近富集明显。全钾与碱解氮在矿区附近含量最低,近坡顶附近最高。(2)矿区下风向距离矿区越近,砂粒含量越高,黏粒含量越低,反之则砂粒含量趋于减小,而黏粒含量趋于增大。土壤 pH 值、电导率、有机质、全氮及全磷随距离增大而减小,全钾、碱解氮、速效磷及速效钾在距离矿区 100~200 m 的范围内含量最高,之后趋于波动性减小。(3)不同海拔下,矿区周边坡面土壤质量较好,坡底附近一般,而矿区以上则较差;矿区下风向随着距离增大,土壤质量趋于波动性变差。其质量变化除了与土层浅薄及土壤自身特点有关以外,还主要与矿区长期的煤炭开采活动对周边土壤的扰动及其释放的粉煤灰、粉尘、重金属元素等的坡面径流迁移、高空气流传输、地形阻滞、沉降有关,而且与耕地农业活动也有一定关系。

关键词:坡地土壤; 土壤理化性质; 重金属污染; 土壤质量; 丘陵; 平顶山矿区

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0104-07

Soil Physicochemical Properties and Quality Assessment in the Hilly Upland Around Pingdingshan Coal Mining Area

CHU Chunjie¹, ZHOU Jinfeng^{2,3}

(1. College of Tourism and Planning, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000,

China; 2. College of Chemistry and Environmental Engineering, Pingdingshan University, Pingdingshan,

He'nan 467000, China; 3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Soils in the hilly upland in Pingdingshan coal mining area were selected as test samples, soil physical and chemical properties and heavy metals including Cu, Zn, Cr, Ni and Pb at different altitudes and different distances from the mining area downwind were investigated by means of sampling, experimental analysis. The upland soil quality was evaluated by method of Entropy Weight-TOPSIS. The results are showed as follows. (1) Sand content in different altitude slope soil was significantly higher than clay, in which the sand content of soil near the mining area was the highest but the clay content was the lowest. On the upland above the mining area, sand content of soil reduced, but clay increased and reached up to the highest near the slope top. The soil on the slope was alkaline near the mining area, however, the soil at the altitude above 356 meters was acidic, and the acidity increased with the increase of altitude. Soil electrical conductivity, contents of organic matter, available K, total P and available P contents around the mining area were the highest, but slightly enriched near the slope top; total N fluctuated greatly along the upland, but significantly enriched near the slope top. The contents of total K and alkali solution N were the lowest near the mining area, were the highest near the top. (2) The closer the distance from the mining zone off the wind direct

was, the higher the sand grain content was, and the lower the clay content was; otherwise, sand content tended to decrease, while clay content tended to increase. Soil pH value, electrical conductivity, organic matter, total N and total P decreased with the increase of distance. The highest concentrations were found within the range from 100 to 200 meters off the wind direct, and followed by the fluctuant decrease with the increase of distance. (3) At different altitudes, the soil quality around the mining zone was better than that of the slope bottom, especially, poor above the mining zone. The soil quality tended to become worse with the increase of the distance off the wind direct. The variety of soil quality were not only related to the shallow soil and soil characteristics in mining area, but also mainly associated with the soil disturbance by long-term coal mining activities, the slope runoff migration, high altitude air transmission, terrain block and deposition of the fly ash, dust and heavy metal elements released by mining activities. In addition, soil quality also had a certain relationship with the farmland agricultural activities.

Keywords: upland soil; soil physicochemical properties; heavy metal pollution; soil quality; hilly; Pingdingshan coal mining area

煤炭是当前中国最主要的一次性能源,占一次性能源使用量的75%左右。但长期的煤炭开发活动也产生了严峻的安全与环境问题,使开采区的生态环境遭到严重破坏,土壤结构、地形地貌、景观生态和生物群落等环境要素发生不可逆转的变化^[1],土壤质量退化就是诸多退化过程的基础性表现和重要限制因子。中国每年因采煤塌陷的面积就达到70 km²^[2],使得采煤塌陷区分布广泛,影响严重^[3],造成地表形态的改变、地下水污染、地表土壤结构性变差,改变了原有的土壤理化性质,引起土壤侵蚀、养分流失、土壤持水能力降低、土壤污染、农业生产能力下降,对农产品安全及人体健康构成直接或间接地威胁。因此,前人围绕采煤塌陷地的土壤退化及环境问题进行了广泛深入的研究^[1,4-7]。

平顶山矿区是中国重要的能源化工基地,主要分布于豫西石质丘陵地带。该地区是河南省生态环境最脆弱的地区之一,处于中国南北气候地理过渡带上。特殊的地理位置使得这一地区的土壤环境长期受到煤炭开采与水蚀风蚀的深刻影响。而长期的煤炭资源开采所造成的生态环境问题,不仅直接影响矿区周边丘陵坡地土壤的健康与生态安全,而且还严重威胁着主导下风向的平顶山市城区的环境质量与生态系统功能。但是,针对这一区域土壤退化及污染问题研究仍鲜见报道,王卓理等研究了平顶山市煤矿塌陷区复垦土壤的重金属污染问题^[8],作者曾研究过平顶山矿区丘陵坡地受采矿行为影响的丘陵坡地土壤的重金属分布及污染特征^[9]。国内有关山地丘陵地区煤炭开采活动的生态环境影响研究主要集中于采煤塌陷地的土壤理化特性、土壤侵蚀等^[10-13],而很少结合矿区周边丘陵坡地的地形变化来分析土壤理化特性及质量变化的规律,这种同时受水蚀风蚀及煤炭开采活动影响的土壤特性与采煤塌陷地等其他退化

类型土壤是否具有相似特点尚不清楚。因此,本文以平顶山矿区的平煤四矿周边的丘陵坡地为研究对象,以地形变化为主线,以分析特殊地形条件下煤炭开采对土壤理化性质及土壤质量的影响特点及规律,为退化土壤的修复及污染防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于豫西石质丘陵区(33°08'—34°20'N, 112°14'—113°45'E),为北亚热带向暖温带过渡的大陆性季风气候,6—8月份盛行南风或偏南风,其他月份以北风或偏北风为主,年均气温14.7℃,年均降雨量759 mm。土壤具有典型的过渡性,为南方黄红壤土向北方褐土的过渡类型,土壤粗骨性比较突出,土层浅薄,多有基岩裸露,土壤厚度多在5~45 cm^[14]。

平顶山矿区主要分布于平顶山市区北部的丘陵南坡,东西长约30 km,自1956年以来共建有大型矿井11对,为中国北方重要的煤炭基地。矿区周边丘陵多属剥蚀侵蚀地形,工矿开发以来的土壤侵蚀速率增大了近2倍,达到了3 750 t/km²。采样区为中平能化集团四矿所在的擂鼓台南坡,母岩为中粗粒石英砂岩、粉砂岩及砂质页岩。

1.2 样品采集与处理

结合研究区地形分布,以矿区为中心,分别选取沿坡面变化(A轴)和沿矿区下风向变化(B轴)两条采样轴线(图1)。A轴为研究主轴线,依据不同海拔从坡顶至坡底按土地利用类型设置采样单元(荒草地、人工林地、坡耕地、人工草坪),采样单元坡度介于0°~50°,平均坡度达到20°左右,每个样点采用蛇形取样法采集多点表层混合样(0—15 cm)。B轴为研究区污染主导风向的下风向(东南方向),分别在距离

矿区 50, 100, 200, 500, 1 000, 1 500 m 处(高差相差较小)的坡下台地(坡度介于 $0^{\circ} \sim 4^{\circ}$)按蛇形取样法采集多点表层混合样,除距离矿区 50 m 采样单元为人工草坪外,其他均为坡耕地。

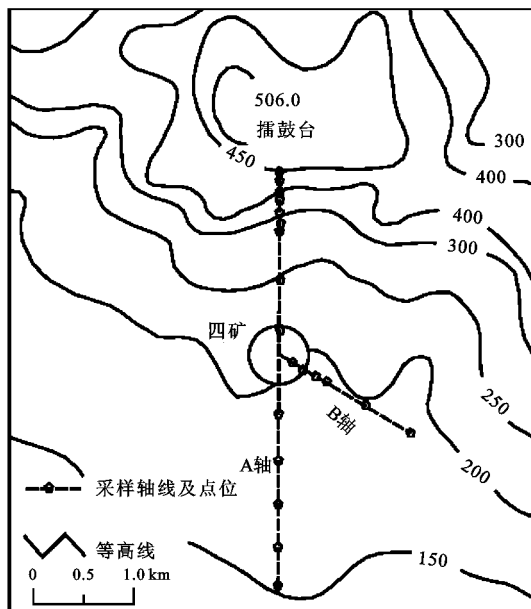


图 1 研究区地形及采样点位

1.3 测试方法

将土样自然风干后研磨,全部通过 2 mm 土壤筛;再分取部分样品继续研磨,分别通过 1 mm 和 0.149 mm 土壤筛,备测。土壤理化性质采用常规分析方法^[15]:土壤颗粒组成采用比重计法,电导率(EC)采用电导法,pH 值用 2.5:1 水土比电位法,土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾氧化—外加热法,全氮(TN)采用半微量凯氏定氮法,全磷(TP)采用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法,全钾(TK)采用火焰分光光度计法,碱解氮(AN)采用碱解扩散法测定,速效磷(AP)采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—硫酸钼锑抗比色法测定,速效钾(AK)采用 1 mol/L 乙酸铵浸提—火焰光度计法测定。重金属元素主要测试 Cu, Zn, Cr, Ni, Pb 共 5 种,其中 Cu, Zn 依据 GB/T17138—1997 测定, Cr, Ni 分别依据 GB/T17137—1997 和 GB/T17139—1997 测定, Pb 依据 GB/T17141—1997 测定,所用仪器为日本岛津 AA—6601F 原子吸收分光光度计,用氘灯作背景校正。

1.4 土壤质量评价

本文采用熵权 TOPSIS 法进行土壤质量评价。该评价方法先由熵权法确定评价指标权重,再基于逼近理想解的技术,确定评价对象的排序^[16-17]。具体方法如下^[18-19]:

(1) 构建判断矩阵 假设有 n 个评价对象(样本),每个样本的评价指标有 m 个,则所形成的初始

判断矩阵为:

$$A = (A_{ij})_{n \times m} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

(2) 初始判断矩阵的标准化 由于各评价指标的评价单位及量纲可能不同,不具有可比性,为使各指标具有可比性及可计算性,需要对判断矩阵进行归一化处理,即标准化,方法如下:

$$x_{ij} = A_{ij} / A_{\max} \quad (A_{\max} \text{ 为同一标准下的最大值})$$

$$(3) \text{ 计算信息熵 } (H_i) \quad H_i = -k \cdot \sum_{i=1}^n p_{ij} \cdot \ln p_{ij},$$

$$\text{式中: } p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}, k = 1 / \ln n$$

$$(4) \text{ 指标权重的确定 } w_j = (1 - H_j) / \sum_{j=1}^m (1 - H_j), \text{ 式中: } w_j \in [0, 1], \text{ 且 } \sum_{j=1}^m w_j = 1$$

$$(5) \text{ 构建加权判断矩阵 } R = (r_{ij})_{n \times m},$$

$$\text{式中: } r_{ij} = x_{ij} \cdot w_j \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

(6) 依据加权判断矩阵获取评估目标的正负理想解

$$\text{正理想解: } Z_j^+ = \begin{cases} \max(r_{ij}) & j \in J^+ \\ \min(r_{ij}) & j \in J^- \end{cases}$$

$$\text{负理想解: } Z_j^- = \begin{cases} \max(r_{ij}) & j \in J^- \\ \min(r_{ij}) & j \in J^+ \end{cases}$$

式中: J^+ 为效益型指标; J^- 为成本型指标。

(7) 计算各样本目标值与理想值之间的欧式距离

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - r_{ij})^2},$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - r_{ij})^2}, \quad j=1, 2, \dots, m$$

(8) 计算综合评价指标,即各样本目标值与理想值之间的贴适度,如下式:

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)$$

式中: $C_i \in [0, 1], i=1, 2, \dots, n$

(9) 依照相对贴适度 C_i 的大小对目标进行排序,形成决策依据, C_i 值越大,所反映的土壤质量越健康。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质统计特征

对土壤理化性质进行分类统计,见表 1。由表 1 可以看出,平顶山矿区丘陵坡地 A 轴和 B 轴土壤机械组成存在显著差异。虽然两类轴线方向的土壤均以粉粒为主,但沿坡面不同海拔处的坡地土壤(A 轴)砂粒含量远比矿区下风向不同距离处平缓耕地(B 轴)高,平均含量达到了 33.14%,而 A 轴黏粒含量则远比 B 轴低,平均值仅为 8.43%,且变幅较大。研究区土壤普遍呈弱酸性至碱性,A 轴土壤 pH 值和 EC

均略低于 B 轴。A 轴土壤 SOM, AP 和 AK 含量显著低于 B 轴,而土壤 TN, AN 和 TK 平均含量高于 B 轴, TP 含量与 B 轴接近。除粉粒和 pH 值外, A 轴土壤大部分理化性质指标的变异系数明显大于 B 轴。这些特征显然与坡面土壤风蚀、水蚀对细粒物质、养

分物质的迁移流失有关。在地形条件影响下,土壤细粒物质、可溶性物质等沿坡面的迁移较为活跃,可通过淋滤入渗或大气沉降迁移、淋失或累积。土壤重金属元素含量及其沿 A 轴和 B 轴分布在文献^[9]中已有详尽分析,此处不再赘述。

表 1 土壤理化性状与重金属元素统计特征

土壤性状	A 轴			B 轴			权重
	均值	变异系数	变幅	均值	变异系数	变幅	
砂粒(0.05~2 mm)/%	33.14	0.34	22.90~57.16	6.96	0.10	20.79~50.87	0.058
粉粒(0.002~0.005 mm)/%	58.44	0.16	41.00~71.30	57.2	0.22	43.17~71.73	0.012
黏粒(<0.002 mm)/%	8.43	0.44	1.84~17.11	35.9	0.36	5.96~7.64	0.041
pH 值	6.65	0.17	5.22~7.95	6.74	0.18	5.38~7.93	0.011
EC/(mS·cm ⁻¹)	0.29	0.33	0.20~0.59	0.29	0.14	0.28~0.32	0.027
SOM/(g·kg ⁻¹)	97.3	0.48	22.83~173.61	106.3	0.40	66.94~173.60	0.077
TN/(g·kg ⁻¹)	1.62	0.28	0.92~2.48	1.56	0.22	1.16~1.99	0.025
TP/(g·kg ⁻¹)	1.17	0.60	0.57~3.07	1.18	0.39	0.69~1.73	0.099
TK/(g·kg ⁻¹)	8.90	0.20	6.98~12.83	8.45	0.10	7.31~9.88	0.011
AN/(mg·kg ⁻¹)	131.9	0.32	83.7~214.6	128.3	0.19	89.8~157.2	0.030
AP/(mg·kg ⁻¹)	31.8	0.88	6.60~109.05	34.68	0.42	25.22~68.83	0.186
AK/(mg·kg ⁻¹)	261.0	0.57	110.0~510.5	352.1	0.52	169.4~556.4	0.118
Cu/(mg·kg ⁻¹)	32.68	0.45	18.12~61.98	39.91	0.10	35.42~45.52	0.051
Zn/(mg·kg ⁻¹)	56.79	0.56	35.19~155.43	50.84	0.14	39.74~56.89	0.068
Cr/(mg·kg ⁻¹)	71.97	0.17	46.03~92.58	76.56	0.11	70.33~80.61	0.009
Ni/(mg·kg ⁻¹)	57.00	0.20	39.06~73.33	63.64	0.15	50.98~72.13	0.014
Pb/(mg·kg ⁻¹)	37.51	0.73	8.48~88.02	26.65	0.35	19.04~35.42	0.163

2.2 不同海拔土壤理化性质变化

土壤颗粒组成沿坡面变化(A 轴)见图 2A。结果显示,平顶山矿区丘陵坡地不同海拔处土壤中的砂粒含量均显著高于黏粒,介于 22.90%~57.16%之间,而且砂粒在矿区附近形成了最大的峰值,这显然与采矿活动对土壤的扰动有关。自矿区沿 A 轴随着海拔上升,砂粒含量迅速降低且稳定在 23%左右。坡面土壤黏粒含量普遍较低,介于 1.84%~17.11%之间,变异系数达到了 0.44(表 1)。黏粒的坡面变化过程与砂粒相反,在矿区附近含量最低,矿区以下坡面黏粒含量有所增多,而矿区以上则增大显著,且在近坡顶附近(海拔 383~434 m)形成了明显的峰值,黏粒最大含量达到了 17.11%。由此可以推断,矿区以上坡面黏粒的相对富集与长期采矿活动中所释放的粉煤灰、粉尘的空气传输有关,受地形阻滞影响,部分细粒物质在矿区以上坡面及近坡顶附近沉降并出现一定程度的累积。

土壤化学性质沿坡面变化(A 轴)见图 3。结果显示,土壤 pH 值在不同海拔处存在明显的分异,海拔 356 m 以上土壤呈酸性,且随海拔上升而酸性增强,坡顶土壤 pH 值仅为 5.22。坡底海拔 154 m 处 pH 值也较低,略呈弱酸性,而海拔介于 163~356 m

之间的矿区及其周边坡面土壤则呈碱性,pH 值平均达到了 7.75,且波动较小。土壤 EC 值在矿区附近最大,其次为矿区以下坡面,矿区以上坡面相对较小,但与黏粒相似,也在近坡顶附近出现了小幅峰值。由图 3B 可以看出,土壤 SOM 在矿区及以下坡面含量较高,在矿区附近达到了最大值(173.61 g/kg)。随着海拔上升土壤 SOM 趋于减小,但在海拔 394~450 m 的坡上出现了土壤 SOM 的小幅富集,平均含量达到了 78.14 g/kg。土壤 AK 沿坡面的分布与有机质相似。土壤 TP 与 AP 含量沿坡面变化一致,与 SOM 也具有一定的相似性,在矿区及其坡下 100 m 范围内含量最高,矿区以上坡面随海拔上升而迅速降低,但在近坡顶附近也出现了一定程度的累积。土壤 TN 沿坡面波动较大,尤其在矿区以下坡面随海拔降低呈先减小后增大再减小的波动特点,在矿区以上 246~356 m 的坡面含量较低,而在 356 m 以上的坡上及近坡顶附近 TN 含量也较高。土壤 TK 与 AN 沿坡面变化相似,在矿区附近含量最低,在坡下及坡底较高,而在矿区以上坡面随海拔上升而大幅增大,在近坡顶附近含量最高。

由以上分析可以看出,平顶山矿区丘陵坡地不同海拔处土壤的颗粒组成、pH 值、EC 及土壤肥力等指

标大多具有相似的变化特点,在矿区、近坡顶及坡底附近出现了不同程度的富集,这与土壤重金属 Pb, Zn, Cu, Cr 和 Ni 等元素的坡面分布特点一致^[9]。由此说明,土壤养分与土壤重金属元素具有同源性,均与长期采矿活动所释放的大量粉煤灰、粉尘有关。

时,土壤养分与土壤重金属元素也具有相似的坡面迁移特点,在近坡顶附近的富集主要与粉尘、粉煤灰的大气传播与地形阻滞、沉降有关,而在近坡底附近的富集则可能受地形侵蚀因子与粉尘大气传播的双重影响。

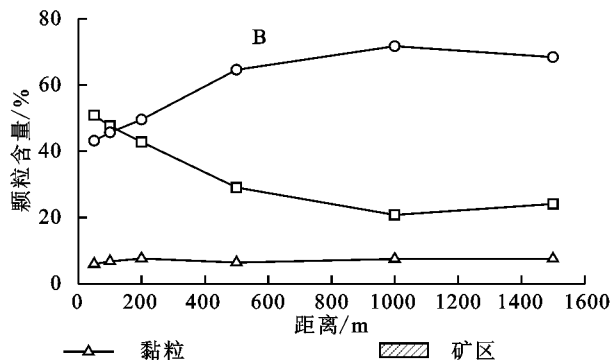
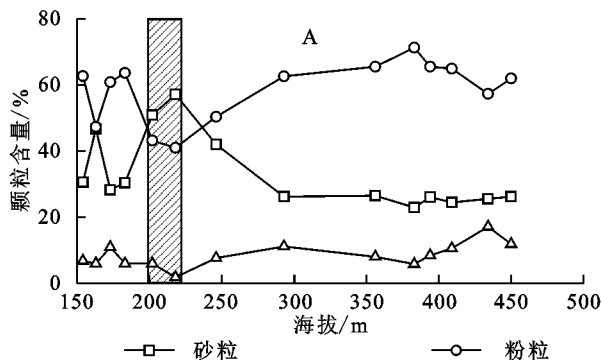


图 2 研究区土壤颗粒组成分布

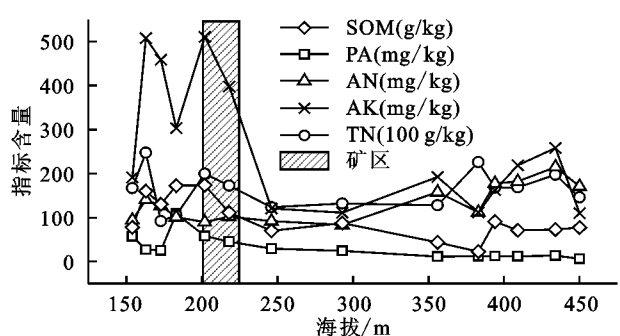
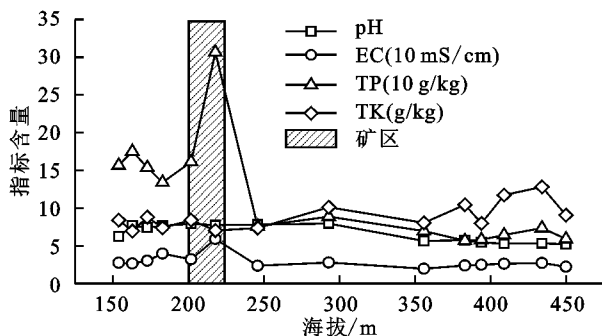


图 3 不同海拔土壤化学肥力指标含量分布

2.3 矿区下风向不同距离处土壤理化性质变化

图 2B 为 B 轴不同距离处土壤颗粒组成的变化,可以看出,矿区下风向黏粒和砂粒呈相反的分布规律。距离矿区越近,砂粒含量越高,黏粒含量越低,随着距离的增大,砂粒含量趋于减小,而黏粒含量趋于增大。砂粒在矿区附近含量最高,达到了 50.87%,距离矿区 500 m 以上砂粒含量趋于稳定,平均为 24.64%;黏粒在矿区附近含量最低,距离矿区 200 m 以上黏粒含量趋于稳定,平均达到了 7.26%。这一特点反映了矿区煤炭开采活动对下风向土壤的人为扰动,距离矿区越近,地表土壤受采矿活动影响越显著,由于石质丘陵坡地土层浅薄,母岩多为粉砂岩、砂页岩,且下伏煤层,极易受到风化剥蚀、水力冲蚀等自然因素及煤炭开采活动等人为因素影响,致使矿区附近粗颗粒物富集,而细粒物质则受水流冲刷向坡下迁移或在通过气流携带向高空或远距离传播,在较高海拔的近坡顶附近及矿区下风向一定距离处沉降、富集。B 轴土壤化学性质分布见图 4。结果显示,土壤 pH 值、EC, SOM, TN, TP 变化趋势一致,均随着与矿区距离的增大而减小,其他化学指标的含量变化总体上也具有随距离增大而减小的特点,与土壤颗粒组成相似,揭

示了影响矿区土壤理化性质变化的物质来源及驱动力,以粉煤灰、粉尘为主要物质来源,在煤炭开采活动的直接影响下,以风力传输、沉降、水蚀迁移、淋滤入渗为主要迁移途径。粉煤灰作为一种土壤添加剂在农业、林业领域应用广泛,对于提高土壤养分有一定作用。有研究认为,粉煤灰中的 TP 和 AP 含量均高于土壤,粉煤灰在土壤中的施用可明显提高土壤有效磷的含量^[20]。因此,本研究中矿区下风向不同距离处土壤的养分含量一般具有随距离增大而减小的特点。土壤 TK 与速效养分 AN, AP 及 AK 具有相似的变化特点,均在距离矿区 100~200 m 的范围内含量最高,之后趋于波动性减小。由于 B 轴沿线地势相对平坦、各样点之间海拔相差不大,且土地利用方式均为耕地,土壤养分尤其速效养分受农业耕作活动影响相对较大,不同地块之间化肥的不均匀施用可能会造成各采样区之间土壤养分出现明显的波动性变化。但是,土壤养分总体上均趋于随着与矿区距离的增大而减小,则显然与矿区煤炭开采活动中粉煤灰、粉尘的传播有关。

2.4 土壤质量评价

由于矿区土壤的特殊性,其质量评价不同于一般

性土壤质量评价,重金属污染应是不可忽视的重要评价因子。基于以上考虑,以表1中各指标为评价因子,依据熵权TOPSIS法进行土壤质量评价,结果见图5。为综合反映矿区丘陵坡地土壤的质量变化及采矿活动中重金属污染对土壤质量的影响,图5中分别用实线和虚线表示考虑重金属污染和不考虑重金属污染两种情况。通过对比发现,两种情况下矿区坡地土壤质量基本上呈相似的变化特点,反映了矿区丘陵坡地土壤质量影响因素的同源性。A轴沿矿区不同海拔处虚实两条线所反映的土壤 C_i 指数平均值分

别为0.30,0.33,实线 C_i 值略低于虚线,其中,在矿区以上坡面虚实线相非常接近,说明重金属污染对矿区以上坡面土壤质量不产生明显影响,而在矿区以坡面实线明显低于虚线,这显然与重金属元素长期的坡面迁移、积累对土壤质量的降低有关;而对于B轴矿区下风向不同距离处,由于重金属污染叠加影响所导致的土壤质量 C_i 指数相比不考虑重金属因素时也略有减小, C_i 平均值分别为0.38,0.43,表明采矿活动中重金属的释放与污染在一定程度上降低了矿区下风向相对平缓的坡耕地土壤质量。

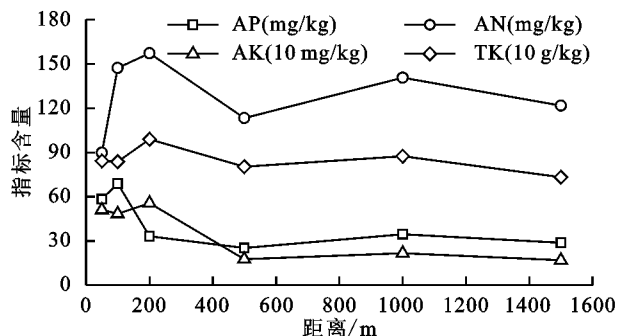


图4 矿区下风向不同距离处土壤化学肥力指标含量分布

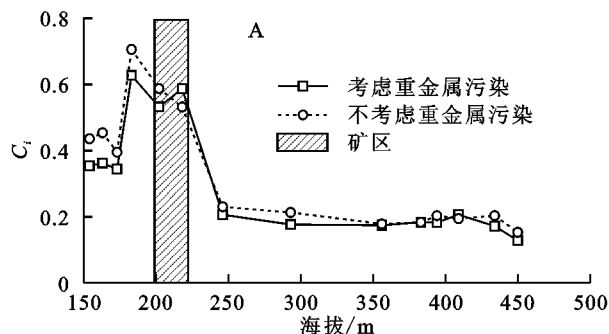
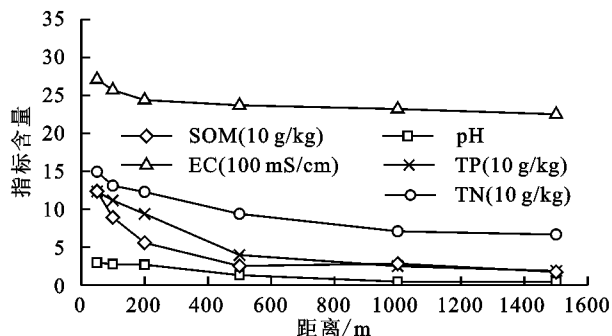


图5 研究区土壤欧式贴度分布

综合考虑土壤理化性质与重金属污染因素,从A轴和B轴土壤 C_i 值的变化来看,A轴和B轴土壤 C_i 平均值分别为0.30,0.38,土壤质量总体上不高,这主要与平顶山矿区丘陵坡地土层浅薄、质地偏粗等自身特点以及长期的土壤侵蚀有关,还与长期采矿活动所产生的重金属污染元素积累有关。由图5A可知, C_i 值沿坡面(A轴)在不同海拔处存在显著差异。在矿区及其坡下100 m范围内的坡面 C_i 值最大,平均达到了0.58,土壤质量相比其他海拔处的坡面土壤明显较好。这是因为,矿区附近受煤炭开采活动影响最大,直接所释放的粉煤灰对土壤养分条件及提高土壤质量具有关键作用。矿区以下100 m范围内为多年种植杨树林的台地,地势较平,矿区所产生的粉煤灰等受长期的水流冲刷及风力近距离沉降影响而在此处富集,在一定程度上改善了土壤质量,使得该处 C_i 值达到了最大值(0.63)。矿区以下近坡底附近

土壤 C_i 值也较高,平均值为0.36,主要与矿区粉煤灰、重金属污染元素沿坡面向下迁移、积累有关。与此相反,矿区以上坡面土壤 C_i 值最低,平均值仅0.18,且随海拔上升而趋于减小,土壤质量较差,这与矿区丘陵坡地长期的坡面土壤侵蚀有关。另外,在海拔394~434 m之间的近坡顶附近土壤 C_i 值略有增大,与土壤黏粒(图2)、养分指标(图3)、重金属元素^[9]等在此处的小幅累积相似,这显然与矿区所产生的粉煤灰、重金属元素等通过气流的高空传输、地形阻滞截留、沉降有关。

由图5B可知,矿区下风向(B轴)不同距离处 C_i 值在矿区附近100 m范围内最大,土壤质量相对较好,随着距离的增大 C_i 值总体趋于减小,土壤质量变差,但在距离矿区下风向1000 m处 C_i 值波动性增大,这种波动变化与土壤速效养分相似(图4),说明矿区下风向土壤质量的变化不仅与矿区煤炭开采活

动中粉煤灰、粉尘的传播有关,而且可能与耕地农业活动有关,从虚线与实线的对比可以看出,矿区下风向土壤质量不高还与采矿活动引起的重金属污染叠加有关。虽然矿区下风向 100 m 以外的采样区均为耕地,但受石质丘陵坡地土壤自身特性的限制,耕地土壤质量较差。据现场入户调查,研究区耕地小麦平均产量为 3 750~4 500 kg/hm²,仅为当地平原地带小麦产量的一半。

3 结论

(1) 平顶山矿区丘陵坡地不同海拔土壤中的砂粒含量显著高于黏粒,介于 22.90%~57.16%之间,砂粒在矿区附近含量最高,而黏粒含量最低,矿区以上砂粒迅速减小而黏粒增多,且在近坡顶附近最高,达到了 17.11%。矿区附近坡面土壤呈碱性,而矿区以上海拔高于 356 m 的坡面土壤则呈酸性,且随海拔上升而酸性增强。土壤 EC, SOM, AK, TP 与 AP 含量在矿区附近含量最高,矿区以上坡面含量最低,但在近坡顶附近略有富集。土壤 TN 沿坡面波动较大,但近坡顶附近明显富集。土壤 TK 与 AN 在矿区附近含量最低,而在矿区以上坡面大幅增大,在近坡顶附近含量最高。

(2) 在矿区下风向,距离矿区越近,砂粒含量越高,黏粒含量越低;随着距离的增大,砂粒含量趋于减小,而黏粒含量趋于增大。土壤 pH 值、EC, SOM, TN 及 TP 随着与矿区距离的增大而减小,土壤 TK, AN, AP 及 AK 在距离矿区 100~200 m 的范围内含量最高,之后趋于波动性减小。

(3) 平顶山矿区丘陵坡地土壤质量总体上不高。不同海拔下,矿区及其坡下 100 m 范围内的坡面土壤质量较好,近坡底附近土壤质量一般,而矿区以上坡面则较差,但在近坡顶附近土壤质量略有改善。矿区下风向随着与矿区距离的增大,土壤质量趋于波动性变差。

(4) 平顶山矿区丘陵坡地土壤质量及其分布除了与土层浅薄及土壤自身特点有关以外,还主要与矿区长期的煤炭开采活动对周边土壤的扰动及其释放的粉煤灰、粉尘、重金属元素等的坡面径流迁移、高空气流传输、地形阻滞沉降有关,而且与耕地农业活动也有一定关系。

参考文献:

[1] 祝宇成,王金满,白中科,等.采煤塌陷对土壤理化性质影响的研究进展[J].土壤,2016,48(1):22-28.

[2] 张发旺,侯新伟,韩占涛,等.采煤塌陷对土壤质量的影响效应及保护技术[J].地理与地理信息科学,2003,19(3):67-70.

[3] 姚国征,丁国栋,臧荫桐,等.基于判别、因子分析的采煤沉陷风沙区土壤质量评价[J].农业工程学报,2012,28(7):200-207.

[4] 马迎宾,黄雅茹,王淮亮,等.采煤塌陷对土壤水分损失影响及其机理研究[J].土壤学报,2014,51(3):497-504.

[5] Monokrousos N, Boutsis G, Diamantopoulos J D. Development of soil chemical and biological properties in the initial stages of post-mining deposition sites[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014,186(12):9065-9074.

[6] 孙贤斌,李玉成.淮南大通煤矿废弃地土壤重金属空间分布及变异特征[J].地理科学,2013,33(10):1238-1244.

[7] 程静雯,聂小军,刘昌华.煤炭开采沉陷区土壤有机碳空间变化[J].煤炭学报,2014,39(12):2495-2500.

[8] 王卓理,马建华,耿鹏旭,等.平顶山市煤矿塌陷区复垦土壤重金属分布及污染分析[J].农业环境科学学报,2009,28(4):668-672.

[9] 楚纯洁,周金凤.平顶山矿区丘陵坡地土壤重金属分布及污染特征[J].地理研究,2014,33(7):1383-1392.

[10] 程林森,雷少刚,卞正富.半干旱区煤炭开采对土壤含水量的影响[J].生态与农村环境学报,2016,32(2):219-223.

[11] 何金军,魏江生,贺晓,等.采煤塌陷对黄土丘陵区土壤物理特性的影响[J].煤炭科学技术,2008,35(12):92-96.

[12] 栗丽,王曰鑫,王卫斌.采煤塌陷对黄土丘陵区坡耕地土壤理化性质的影响[J].土壤通报,2010,41(5):1237-1240.

[13] 黄翌,汪云甲,王猛,等.黄土高原山地采煤沉陷对土壤侵蚀的影响[J].农业工程学报,2014,30(1):228-235.

[14] 石占飞,王力.神木矿区土壤重金属含量特征及潜在风险评价[J].农业环境科学学报,2013,32(6):1150-1158.

[15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

[16] 刘畅,邢兆凯,刘红民,等.辽西低山丘陵区不同农林复合模式土壤质量评价[J].土壤通报,2014,45(5):1049-1053.

[17] 张彬,杨联安,冯武焕,等.基于改进 TOPSIS 和 COK 的土壤养分综合评价[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):180-185.

[18] 张明华,郑元文.近 10 年来山东省区域经济发展差异时空演变及驱动力分析[J].经济地理,2013,33(1):79-85.

[19] 杜挺,谢贤健,梁海艳,等.基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J].经济地理,2014,34(6):40-47.

[20] 冯跃华,胡瑞芝,张杨珠,等.几种粉煤灰对磷素吸附与解吸特性的研究[J].应用生态学报,2005,16(9):1756-1760.