

# 潍北地区表层土壤盐分空间分布特征分析

姜涵, 周姣姣, 潘健, 吴泉源\* (山东师范大学地理与环境学院, 山东济南 250014)

**摘要** 以潍坊北部海水入侵区域为研究区, 通过实地采样获得研究区表层土壤盐分数据, 利用统计分析与空间插值的方法对潍坊北部表层土壤盐分空间分布特征进行分析。结果表明: 该区域土壤盐分主要离子为  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  等, 土壤全盐量、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  呈强变异强度,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$  属于中等变异强度。潍坊北部地区表层土壤盐分的空间分布为土壤全盐量、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  以及  $\text{SO}_4^{2-}$  都是东北部沿海地区土壤盐分含量较高, 从东北向西南呈现逐渐递减的趋势。

**关键词** 土壤盐分; 空间分布; 空间插值; GIS

中图分类号 S159 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)03-0099-03

## Analysis of Spatial Distribution Characteristic of Surface Soil Salt Content in Northern Weifang

JIANG Han, ZHOU Jiao-jiao, PAN Jian et al (College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014)

**Abstract** Taking seawater intrusion region of northern Weifang as the study area, the surface soil salinity data of the study area were obtained by field sampling, and the spatial distribution characteristics of surface soil salinity in northern Weifang were analyzed by statistical analysis and spatial interpolation. The results showed that the main salt ions in soil were  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and so on. The soil total salt content,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  showed the strong spatial variability, and  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  showed the moderate spatial. The spatial distribution of soil salinity in northern Weifang was that soil total salt content,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  of northeastern coastal areas was higher, and gradually declined from northeast to southwest.

**Key words** Soil salt content; Spatial distribution; Spatial interpolation; GIS

土壤属性的空间分布特征是土壤污染治理、土地管理和现代农业的重要依据。土壤本身是一个形态和过程都相当复杂的自然综合体, 成土过程受不同的物理、化学、生物等因素的影响, 使得土壤性质具有高度的空间异质性, 近代以来人类活动的加剧进一步增强了土壤特性的变异和不确定性<sup>[1]</sup>。土壤盐分是重要的土壤属性, 受气候、成土母质、地形地貌、水资源、人为因素等的影响, 具有复杂性和高度的时空变异性<sup>[2]</sup>。土壤盐分过高会导致土壤盐渍化, 严重影响作物的生长, 导致粮食减产进而影响区域经济的发展。土壤盐分的空间变异状态在一定程度上反映了土壤耕作层内的土壤盐渍化程度和状态<sup>[3]</sup>。

以山东省潍坊市北部海(咸)水入侵区作为研究区, 通过野外实地采集土壤样本, 在实验室化验土壤理化性质, 利用地理信息相关技术对潍坊北部地区土壤盐分数据进行空间分布特征研究。通过研究发现潍坊北部地区表层土壤盐分的空间分布情况, 对指导研究区合理规划农业生产和保护人类健康具有重要的现实意义。

## 1 材料与方

**1.1 研究区概况** 潍坊市位于山东半岛中部, 北临莱州湾。莱州湾地区现处于经济和人口均快速增长的阶段, 因此人类的活动会对环境造成极为明显的影响<sup>[4]</sup>。莱州湾南岸地区以其独特的地理位置、地质环境演化背景和对气候变化的敏感性, 成为中国受人类活动和自然因素影响产生自然灾害最严重的地区<sup>[5]</sup>。潍坊北部地处渤海莱州湾南岸滨海平原地区, 研究区经纬度位置大致为  $118^{\circ}38' \sim 119^{\circ}35'E$ ,  $36^{\circ}45' \sim 37^{\circ}20'N$ , 该区域拥有丰富的地下卤水资源, 滩涂面积

447 km<sup>2</sup>, 盐碱荒滩 2 600 km<sup>2</sup>, 地势低平坡降小, 是我国海(咸)水入侵最为典型和严重的地区。滨海地区由于海水入侵或者高矿化度地下水作用, 受海水浸渍, 生成滨海盐土, 随着海水入侵的不断加重, 滨海区域土壤发育按照潮土、盐化潮土到盐土的顺序不断发展, 盐渍化程度日益加重<sup>[6]</sup>。莱州湾南岸海水入侵已经对生态环境和工农业生产甚至人体健康产生重大影响。

**1.2 数据采集与方法** 该次野外采样的时间是 2014 年 11 月, 主要的采样点范围是在潍坊北部海(咸)水入侵地区, 考虑研究区土地利用现状、交通状况, 进行格网布点, 结合高清遥感影像图和交通路线图均匀布设了 41 个样点, 采样路线大致沿着南北方向的县道、乡道以及主要河流南北向进行(图 1)。在每个采样区选取 30 m × 30 m 的样方区, 按照 5 点梅花采样法, 采集 5 个土样, 每个土样的采样深度为 0 ~ 20 cm, 并均匀混合成一个土壤样品, 按照 4 分法从混合样品中选取 500 g 作为该样点的土壤样本。

土壤样本带回实验室按照所记录编号在避免阳光照射的条件下剔除明显杂质, 进行室内自然风干, 将风干后的土壤样本用木棍将其压碎, 进行土壤研磨, 过 1 mm 筛, 得到颗粒状土壤样本用于土样的全盐量、各类离子含量以及 pH 等理化性质测定, 测定的方法按照《土壤农业化学分析方法》<sup>[7]</sup>。

数据分析方面运用 SPSS 对盐分数据进行统计分析, 运用 GIS 空间分析的方法将实地采样获取的盐分数据与土壤采样点的坐标数据输入 ARCGIS 中, 使用克里格插值对研究区土壤盐分分布特征进行研究。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤盐分的描述性统计分析** 运用 SPSS 软件对获取的采样点土壤盐分进行统计分析, 得到样本土壤中 8 种离子的含量, 结果见表 1。

**作者简介** 姜涵(1992—), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 遥感地学应用。\* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事遥感地学应用研究。

**收稿日期** 2017-11-06

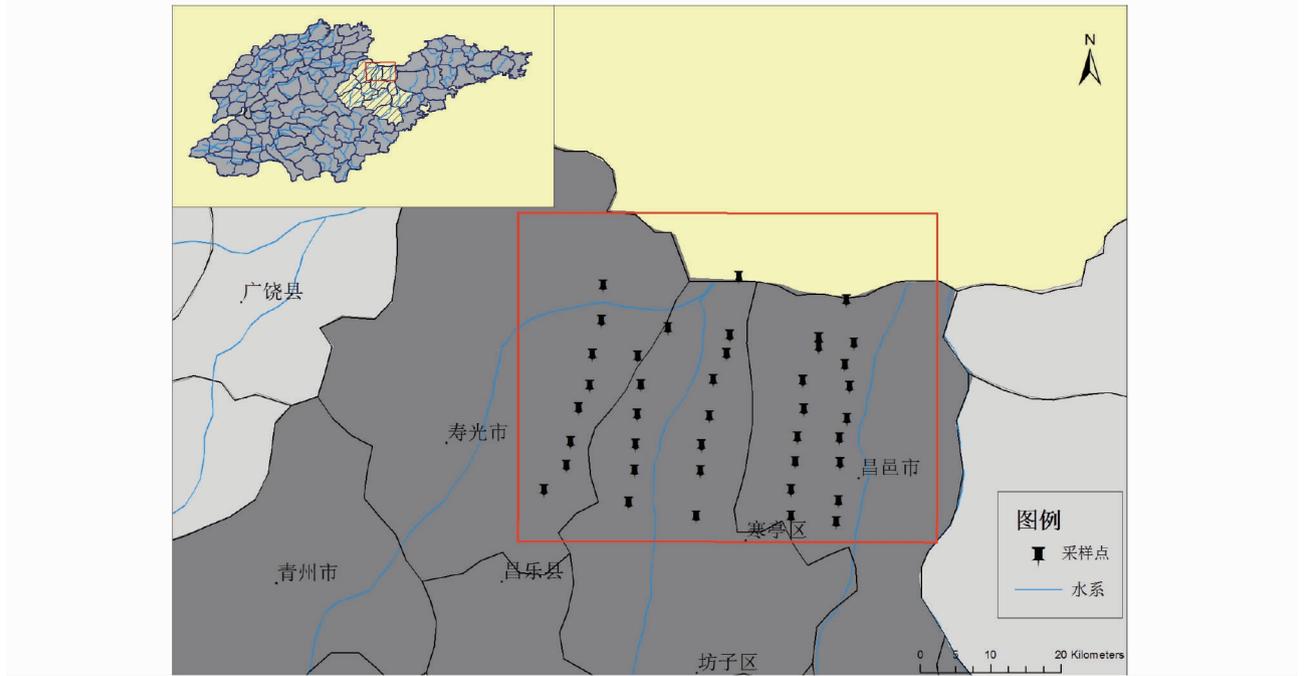


图1 研究区范围与采样点分布

Fig.1 Scope of study area and sampling sites distribution

表1 土壤样品中8种离子统计数据

Table 1 Statistical results of 8 kinds of ions in soil samples

离子 Ion	最小值 Min//g/kg	最大值 Max//g/kg	均值 Mean//g/kg	标准差 SD	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	变异系数 CV	比例 Proportion//%
K <sup>+</sup>	0.003 27	0.270 33	0.035 556	0.047 885	14.408 825	3.448 390 5	1.346 752 2	6.501
Na <sup>+</sup>	0.018 47	3.667 21	0.354 690	0.738 922	12.290 809	3.475 081 6	2.083 290 6	64.854
Ca <sup>2+</sup>	0.014 52	0.297 26	0.090 486	0.058 110	6.047 075	2.272 855 0	0.642 201 7	16.545
Mg <sup>2+</sup>	0.011 74	1.049 93	0.066 173	0.160 925	37.342 972	6.005 752 8	2.431 892 5	12.100
Cl <sup>-</sup>	0.020 03	7.644 25	0.512 828	1.397 702	18.333 675	4.151 421 8	2.725 481 0	46.146
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.011 76	1.855 45	0.298 714	0.359 345	13.002 493	3.523 751 1	1.202 972 6	26.879
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.121 92	0.704 05	0.299 343	0.131 278	1.128 093	1.082 043 3	0.438 553 6	26.936
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.000 00	0.017 98	0.000 439	0.002 808	41.000 000	6.403 124 2	6.403 124 2	0.039
全盐量 Total salt content	14.842 204	0.426 309	1.349 282	1.658 228	16.956 455	3.986 589 0	1.595 800 2	—

由表1可以看出,各类离子的标准差较大,说明各土壤样品中盐分含量的离散程度较高,其中阳离子中含量最多的是Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>含量较少,Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>含量相近;阴离子含量最多的是Cl<sup>-</sup>,CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>含量最少,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量相近。研究区内的土壤样品中Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>含量最多,推测该区域以氯化物为主。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>含量很低,在之后的分析中将不作为重点分析对象。

样本的标准差对平均数的百分数称为样本的变异系数(CV),变异系数的大小反映了随机变量的离散程度,即表示土壤特性空间变异性的程度<sup>[8-9]</sup>。由表1可知,土壤盐分中K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>呈强变异强度,Ca<sup>2+</sup>和HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>属于中等变异强度。偏度都>0,表明在一定范围内含量低的采样点较多,含量高的样点少,呈偏态分布。土壤盐分部分离子含量偏度>2,偏态分布更加明显。土壤盐分部分离子含量峰度>3,表明一定范围内样点数据集中。

各类离子的含量不同,分布状况也不尽相同,各类离子与全盐量之间存在的相关性,运用SPSS对土壤中各类离子含量与全盐量做相关分析,结果见表2。

由表2可以看出,各类离子与全盐量之间存在不同的相关性。其中全盐量与Cl<sup>-</sup>和Na<sup>+</sup>相关性最高且显著相关,且这2种离子之间也存在极强的相关性,同时,这2种离子也是土壤中含量最高的阳离子和阴离子,说明土壤中Cl<sup>-</sup>与Na<sup>+</sup>是主要的结合方式。其余离子中,K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>与全盐量也有着极强的相关性,可以推测这几种离子与全盐量在空间分布上有极强的相似性。而离子中的Ca<sup>2+</sup>和HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与全盐量之间的相关性较弱,没有达到显著相关的程度。根据SPSS计算获得的各类离子之间、各类离子与全盐量之间的相关性可以推测,K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等离子有相近的来源,并且是土壤中盐分的主要来源,而Ca<sup>2+</sup>和HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与大部分的离子来源不同,但同样影响土壤盐分的含量。

表 2 各类离子与全盐量的相关分析

Table 2 Correlation analysis of different ions and total salt content

项目 Item	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	全盐量 Total salt content
K <sup>+</sup>	1							
Na <sup>+</sup>	0.759**	1						
Ca <sup>2+</sup>	0.287	0.123	1					
Mg <sup>2+</sup>	0.845**	0.825**	0.307	1				
Cl <sup>-</sup>	0.827**	0.979**	0.221	0.906**	1			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.736**	0.927**	0.308*	0.797**	0.913**	1		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.166	-0.036*	-0.334	-0.172	-0.135	-0.144	1	
全盐量 Total salt content	0.817**	0.988**	0.222	0.893**	0.995**	0.939**	-0.072	1

注: \*\* 相关性在 0.01 水平显著, \* 相关性在 0.05 水平显著

Note: \*\* stands for significant differences at 0.01 level, \* stands for significant differences at 0.05 level

**2.2 土壤盐分的空间特征** 运用 GIS 空间分析法对研究区土壤盐分特征进行研究。克里格插值法是一种地质统计学方法,根据已知点的数据来估测未测量点的数据并制作空间分布图<sup>[10]</sup>。空间插值是 GIS 中常用的分析方法,是用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面,对未监测区域进行预测从而分析空间上的分布问题<sup>[11]</sup>。在研究区中,根据已监测的 41 个采样点土壤盐分数据(全盐量、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>),将相对应的采样点坐标数据与采样点属性数据相关联输入 ARCGIS 中,在 ARCGIS 中利用普通克里格插值方法进行空间分析。利用 ARCGIS 制作插值

图,可以直观地看出研究区域内土壤盐分含量的分布情况。

由图 2 可以看出,在研究区内,土壤全盐量、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup> 以及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 都是东北部含量较高,并从东北向西南呈现逐渐递减的趋势,结果也符合与之前得到的相关性分析,并且符合研究区实际野外监测结果。研究区内的土壤盐分最可能受海水入侵的影响,盐分的空间分布分析表明,距海远近是土壤盐分空间分布的主要影响因素,距海越远土壤全盐量越低。土壤母质中的固有盐土物质在一定程度上也是影响研究区内土壤盐分含量组成和分布情况的重要来源,其中 Ca<sup>2+</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 没有呈现由沿海到内陆的递减的分布趋势。

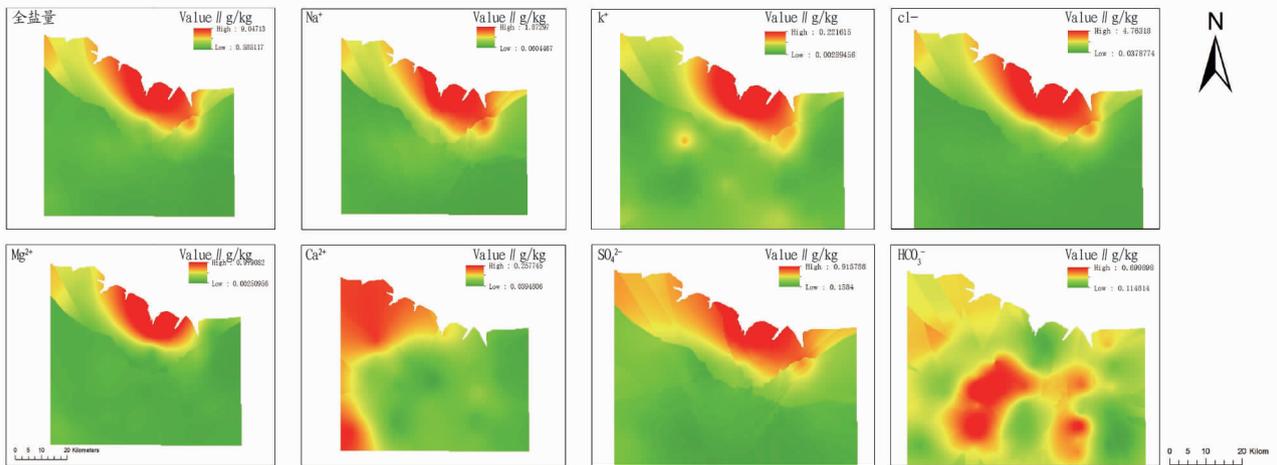


图 2 土壤表层盐分空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil surface salinity

### 3 结论与讨论

(1) 研究区域土壤含盐量和 8 种离子在土壤表层的分布特征,通过实地采样分析研究区域土壤盐分,结果表明该区域土壤盐分主要离子为 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 等,其中 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 含量明显高于其他离子含量,氯化物表聚性强,因此该区域土壤盐类主要以氯化物为主。土壤盐分的空间变异性为土壤全盐量、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 呈强变异性, Ca<sup>2+</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 属于中等变异性。

(2) 各类离子离散程度较高。空间分析表明,潍坊北部地区表层土壤盐分的空间分布情况主要为:东北部沿海地区土壤盐分含量较高,从东北向西南呈现逐渐递减的趋势,即受到海水入侵的影响由沿海向内陆逐渐递减。应用 GIS 的

空间插值方法,将研究区域内分散的土壤采样点位置数据与属性数据相结合进行空间插值,并得到研究区域内未检测地区的数据,并可以分析研究区域的土壤盐分空间分布情况,可以有效地提高区域内土壤盐分的监测效率,为农业发展提供参考。

### 参考文献

- [1] 颜安,蒋平安,盛建东,等. 玛纳斯河流域表层土壤盐分空间变异特征研究[J]. 土壤学报,2014,51(2):410-414.
- [2] 李新国,赖宁,陈蜀江,等. 开都河流域下游绿洲表层土壤盐分空间变异特征分析:以焉耆县为例[J]. 地理与地理信息科学,2014,30(1):105-109.
- [3] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜. 渭干河-库车河三角洲绿洲表层土壤盐分空间异质性分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(5):88-93.

在图1中重标距离5处划分水平,可将34个生长点的上层土壤划分为4种肥力类型。同时,根据聚类结果计算4种肥力类型土壤指标的平均值与标准差(表3)。

表3 4种肥力类型土壤指标的平均值与标准差

Table 3 Means and standard deviation of soil indexes for 4 fertilizer types

肥力类型 Fertilizer type	样地数 Sample plots	通气孔隙度 Soil porosity	容重 Soil specific gravity	土壤有机质 Soil organic matter g/kg	土壤全氮 Soil total nitrogen g/kg
1	7	8.23 ± 0.02	1.30 ± 0.02	35.2 ± 2.0	17.8 ± 1.9
2	5	7.82 ± 0.20	1.35 ± 0.02	22.7 ± 1.6	15.3 ± 1.4
3	14	6.34 ± 0.18	1.46 ± 0.06	18.0 ± 0.1	12.6 ± 1.2
4	8	4.64 ± 0.22	1.52 ± 0.02	12.9 ± 1.1	9.7 ± 0.8

根据土壤肥力情况,这4个肥力类型情况如下。第1类型:综合肥力良好型,包含7个采样点,古树编号分别为:0054、0848、0160、1273、0159、0849、0850;第2类型:综合肥力较好型,包含5个采样点,古树编号分别为:0101、0851、0001、0821、0858;第3类型:综合肥力较差型,包含14个采样点,古树编号分别为:0182、18-003、0405、0126、0852、0147、0114、0198、1248、0003、0353、0125、0196、0004;第4类型:综合肥力差型,包含8个采样点,古树编号分别为:0071、0797、0052、0002、0863、0347、0346、0103。

根据聚类结果把所测试的34个生长点划分为4类。第1、2类土壤的综合肥力较好,尤其是第1类土壤,基本保持了古树的原生态环境,此处人为活动很少,周围有河或渠等活水流动,枯枝落叶归还四周土壤,形成原始生态环境。第3、4类土壤的综合肥力较差,这些生长点人为干扰较大,造成土壤容重大,养分低,不利于古树的生长。对生长在第1、2类土壤的古树,应尽量维持古树土壤现状,对第3、4类土壤,可以通过定期松土,增施有机肥,甚至是个别点采取部分换土的方法来改善土壤的结构与养分状况,尽量恢复到古树的原生态环境。

### 3 讨论

(1)土壤的主成分分析结果表明,影响土壤肥力的主要因素为全氮、有效氮、速效磷、速效钾、容重和总孔隙度。说明土壤肥力的好坏,不能用单一的指标来评价,而应综合考虑各因素,着重考虑土壤的结构与养分。

(2)用聚类分析方法把所测试的古树生长点划为4类,基本符合实际情况。第1、2类土壤的综合肥力较好,这些古树生长在人为干扰较少的地方,尤其是第1类土壤,基本维持古树的原生态环境,即古树生长在高处,此处人为活动很少,周围有河或渠等活水流动,枯枝落叶归还四周土壤,形成原始的生态环境。第3、4类土壤的综合肥力较差,这些古树生长在人为干扰较大的地方,造成土壤的容重大,养分低,不利于古树的生长。

(3)对古树、土壤的保护非常重要,适合古树生长的土壤环境是容重轻、土壤的有效养分高。对生长在第1、2类土壤的古树,在保护古树时,应维持古树土壤现状,对第3、4类土壤,可以通过定期松土,增施有机肥的方法,甚至可以采取工程措施的方式来改善土壤的结构与养分状况,使土壤恢复到古树的原生态环境。

(4)用聚类分析方法对古树的土壤进行综合分类研究,旨在因地制宜地进行土壤管理和古树日常养护,为古树提供适生的外界条件,延缓古树的衰老期。因古树周围的土壤人为干扰非常大,因而此类分类只是一个比较切合实际的模拟,通过分类可以大致了解古树生长点土壤目前所处的状况。

### 参考文献

- [1] 姚剑飞,吴俊,叶要清,等.影响黄山古树名木生长的因素及对策[J].安徽农学通报,2013,19(9):114-115.
- [2] 尤扬,张晓云,刘晓杰,等.卫辉市区古树名木现状调查及保护探讨[J].河南科技学院学报,2012,40(5):13-18.
- [3] KELSEY P, HOOTMAN R. Soil resource evaluation for a group of sidewalk street tree planters[J]. Journal of arboriculture, 1990, 16(5): 113-117.
- [4] JIM C Y. Soil compaction as a constraint to tree growth in tropical & subtropical urban habitats[J]. Environmental conservation, 1993, 20(1): 35-49.
- [5] 侯传庆. 上海土壤[M]. 上海:上海科学技术出版社,1992.
- [6] 张树民. 古树名木衰弱诊断及抢救技术[J]. 中国城市林业, 2012, 10(5): 40-43.
- [7] 刘瑜,徐程扬. 古树健康评价研究进展[J]. 世界林业研究, 2013, 26(1): 37-42.
- [8] JIM C Y. Massive tree-planting failures due to multiple soil problems[J]. Arboricultural journal, 1993, 17(3): 309-311.
- [9] CRAUL P J. The nature of urban soils: Their problems and future[J]. Arboricultural journal, 1994, 18(3): 275-287.
- [10] 李方敏,艾天成,周治安,等. 用主成分分析法评价渍害土壤肥力[J]. 地域研究与开发, 2001, 20(4): 65-67.
- [11] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [12] 李跃林,李志辉,李志安,等. 桉树人工林地土壤肥力灰色关联分析[J]. 土壤与环境, 2001, 10(3): 198-202.
- [13] 王政权. 地质统计学及其生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社, 1999: 1-149.
- [14] 史舟,李艳. 地统计学在土壤学中的应用[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2006: 1-190.
- [15] MUELLER T, PUSULURI N B, MATHIAS K K, et al. Map quality for ordinary kriging and inverse distance weighted interpolation[J]. Soil science society of America journal, 2004, 68(6): 2042-2047.
- [16] 吴立新,史文中. 地理信息系统原理与算法[M]. 北京:科学出版社, 2003: 184.

(上接第101页)

- [4] 蒋文婷. 莱州湾南岸地质环境脆弱性分析与评价[D]. 青岛:国家海洋局第一海洋研究所, 2008.
- [5] 刘恩峰,张祖陆,沈吉,等. 莱州湾南岸潍河下游地区咸水入侵灾害成因及特征[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 78-82, 87.
- [6] 刘衍君,曹建荣,高岩,等. 莱州湾南岸海水入侵区土壤盐渍化驱动力分析与生态对策[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 209-213.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 南京:河海大学出版社, 2000.