

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2015.12.2015040302

陈娟, 宋帅, 史雅娟, 等. 富硒农业生产基地土壤硒资源空间分布特征及评价[J]. 环境化学, 2015, 34(12): 2185-2190
CHEN Juan, SONG Shuai, SHI Yajuan, et al. Spatial distribution and assessment of selenium in soils of a Se-enrich agricultural production base [J]. Environmental Chemistry, 2015, 34(12): 2185-2190

富硒农业生产基地土壤硒资源空间分布特征及评价*

陈娟¹ 宋帅¹ 史雅娟^{1**} 徐湘博¹ 孙宏杰² 吕永龙¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085; 2. 山东省淄博市博山区农业综合开发办公室, 淄博, 255200)

摘 要 以山东省淄博市博山区作为富硒产业基地的代表,在该区域网格化均匀布点采集表土样品,测定总硒含量,利用 GIS 技术分析土壤硒的空间分布特征并对其含量水平进行评价,提出富硒产业发展建议,以期以富硒农业发展提供支持.结果表明,博山区土壤全硒含量的范围为 0.105—1.460 mg·kg⁻¹,几何均值为 0.305 mg·kg⁻¹,与全国土壤硒元素平均水平(0.29 mg·kg⁻¹)相当.土壤硒元素与地质构造密切相关,与土壤总有机碳、总氮呈极显著相关关系,且表土全硒浓度基本呈现出随海拔升高而降低的趋势.缺硒土壤(含缺硒 7% 和少硒 13%)所占比例为 20%,足硒土壤约占 55%,富硒土壤所占比例为 25%,博山南部农业规划区土壤主要是缺硒和足硒土壤,需添加外源硒肥才能实现发展富硒产业的目标.
关键词 硒背景值, 硒资源, 富硒农业, 硒含量评价.

Spatial distribution and assessment of selenium in soils of a
Se-enrich agricultural production base

CHEN Juan¹ SONG Shuai¹ SHI Yajuan^{1**} XU Xiangbo¹ SUN Hongjie² LYU Yonglong¹

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085, China;
2. Boshan Agricultural Comprehensive Development Office, Zibo City, Zibo, 255200, China)

Abstract: Soil samples were collected from Boshan, Zibo City, a Se-enriched agricultural production base, to determine the contents of Se in soils using Atomic fluorescence spectrometry. Spatial distribution and assessment of Se in soils were analyzed with the aid of GIS, in order to support Se-enriched agriculture in Boshan. The results showed that the total Se contents in soils of Boshan ranged from 0.105 mg·kg⁻¹ to 1.460 mg·kg⁻¹, with a mean of 0.305 mg·kg⁻¹, which was comparable to that of the national level (0.29 mg·kg⁻¹). Se contents in the soils were closely related to geological structure, and decreased with the increase of altitude. Soil Se content was significantly correlated with total organic carbon as well as total nitrogen. The area with a lack of Se (including 7% of the area with a lack of Se, and 13% of the area with low Se content) accounted for 20%, the area with medium Se content accounted for 55%, and Se-rich soil area accounted for 25%. However, agricultural soils in southern Boshan are mainly with medium Se content or a lack of Se, so artificial selenium is needed for Se-enriched agriculture in the region.
Keywords: selenium background value, selenium resource, Se-enriched agriculture, assessment of selenium.

硒不仅是人体必需矿物质营养元素^[1],而且对清除人体自由基、延缓衰老^[2]、提高免疫力和预防癌

2015 年 4 月 3 日收稿.
* 公益性行业(农业)科研专项(201303106);国家重点基础性科技专项(2013FY111100);国家自然科学基金(41271487)资助.
* * 通讯联系人, E-mail: yajuanshi@rcees.ac.cn

症有非常重要的意义^[3-4].世界上有 40 多个国家和地区缺硒,我国 72%为缺硒或低硒地区^[5-7],有 70%的人口生活在缺硒地区^[8].如东北大部分地区人均每日硒摄入量仅有 10 μg ,远低于中国营养学会和国际硒学会推荐的日最低摄入量 50 μg 和 60 μg ^[9].研究表明,通过合理施硒,提高农产品硒含量是补充人体硒营养的根本途径^[7],富硒农业具有广泛的发展前景.

作为江北最大的有机农业生产基地^[10],山东省淄博市博山区在发展有机农业的基础上,拟重点发展有机富硒农业,然而目前尚缺乏该区域土壤硒的背景值研究.本研究拟在该区域均匀布点分析土壤硒的含量,利用 GIS 技术分析硒的空间分布特征并对其含量水平进行评价,以期全面评估区域土壤硒含量的水平和空间格局,对于指导产业规划、区域发展具有重要意义.

1 材料和方法

1.1 研究区概况

博山区位于鲁中山区北部,淄博市西南部,东经 $117^{\circ}43'$ — $118^{\circ}42'$,北纬 $36^{\circ}16'$ — $36^{\circ}31'$,是山东半岛城市群的重要组成部分,面积共 698 km^2 ,是国务院批准的山东半岛沿海开放城区之一.博山处于山东的山区地带,地域小气候特征明显,年平均降水量 713.3 mm ^[11].近年来,当地有机农业发展迅速,建立了初具规模的猕猴桃、茶叶、金银花、“黑五类”等特色农业产业基地,先后 100 余种农产品得到有机认证或有机转换认证,成为全国最大的有机桔梗生产基地,山东省最大的有机猕猴桃、有机中药材生产基地.

1.2 样品采集与处理

2013 年采用 3 $\text{km} \times 3 \text{ km}$ 网格布点方法在博山区布设样点,如图 1 所示,采集 0—20 cm 的表层土壤,每个样点均由半径 5 m 范围内采集的 5 个土样混合而成,混合土样约 2 kg .通过 GPS 定位实际采样点,并对样点的周围环境进行记录、拍照,总共采集并测定土壤样品 61 个.

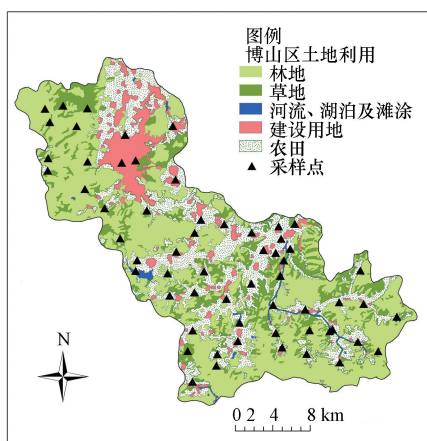


图 1 博山地区采样点位及土地利用示意图

Fig.1 Sampling locations and land use structure

土壤硒含量测定:土样在室内风干后过 100 目筛,称取 0.50 g 土样,加入 10 mL 浓硝酸和 2 mL (优级纯)过氧化氢,放置过夜,采用微波消解仪消解.消解完全后冷却至室温,转移至 50 mL 三角瓶,置于 160 $^{\circ}\text{C}$ 电热板上加热分解,至溶液剩余 2 mL 时取下.稍冷后加入 6 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液 5 mL ,继续加热待烧杯内白烟冒尽,取下冷却至室温后,用 5% 盐酸溶液定容至 50 mL .待测液放置冰箱内保存,采用原子荧光法测定总硒.整个实验分析过程中采用空白对照、样品平行等方法监控.空白实验组无待检测物检出.实验采用的标准土样 GSS-11 (标准物质 Se 含量: $0.20 \pm 0.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),3 组平行实验测得为:0.208、0.181、0.201 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值为 0.197 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,测量结果可靠.

土壤总有机碳 (TOC) 采用总有机碳分析仪测定.称取过 100 目筛的 5 g 土样,以 30 mL 盐酸 (1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 浸没 24 h 后,用抽滤瓶 (抽滤过程用超纯水) 将浸泡过的土样 pH 调节至中性,以 pH 试纸检验.取出滤膜 50 $^{\circ}\text{C}$ 烘干后称取 25 mg 测定总有机碳.

土壤总氮(TN)采用元素分析仪测定,用过 100 目筛的原土,称取重量为 30 mg.

土壤 pH 采用 pH 计电极法测得.量取 25 mL 超纯水于 50 mL 离心管中,加入过 100 目筛的 5 g 土样,振荡 5—6 min,静置 30 min,用 pH 计测定上清液.

1.3 数据处理

经 Shapiro-Wilk 正态分布检验,博山区样品硒含量数据呈对数正态分布,故本文采用其几何平均值及数据范围区间表示样本特征.博山区域内部各产业区硒含量数据偏正态分布,采用数据中位数表示样本特征.采用 SPSS 21.0 分析土壤硒和土壤 TOC、TN、pH 的相关关系.并在 ArcGIS 9.3 中应用 Inverse Distance Weighting(IDW)插值模块,建立研究区域硒元素的空间分布图.

2 结果与讨论

2.1 博山区域表土硒含量特征

对博山区土壤硒含量(表 1)进行分析,结果表明,博山区土壤的全硒含量变幅较大,土壤硒含量最低点位于东南部生态片,仅为 0.105 mg·kg⁻¹(dw,下同),最大值出现在博山城区博山公园附近的土样,达到 1.460 mg·kg⁻¹.区域土壤硒含量几何均值为 0.305 mg·kg⁻¹,与文献报道的国内其他地区硒含量(表 1)相比,博山区的平均硒含量远低于中国硒都——湖北恩施(4.06 mg·kg⁻¹),是东北、陕西、西藏等缺硒地区含量的 2 倍左右,与全国土壤硒元素平均含量(0.29 mg·kg⁻¹)相当,是全世界平均硒含量(0.20 mg·kg⁻¹)的 1.5 倍.

表 1 山东省淄博市博山区土壤硒含量及与其他地区的比较

Table 1 The contents of selenium in soils of Boshan compared with other reported regions

地区	硒含量/(mg·kg ⁻¹)		资料来源
山东淄博博山	0.105—1.460	几何均值:0.305 中值:0.285	本文
东北	0.11		[12]
贵州	0.39		[13]
陕西	0.12		[14]
北京	0.28		[15]
西藏	0.15		[16]
江苏南京	0.18		[15]
湖北恩施	4.06		[17]
全国	0.29		[18]
世界	0.20		[19]

2.2 博山区域表土硒含量与土壤 TOC、TN 以及 pH 的相关性分析

研究表明,土壤 TOC、TN 以及 pH 等理化性质可能互相影响^[20-24].用偏相关分析法分析各变量间的相关性结果如下:

土壤硒含量与土壤总有机碳呈极显著相关,相关系数为 0.617($P<0.01$).除成土母质的影响,土壤有机质可能是土壤硒含量最重要的影响因素.有机质对土壤 Se 的吸附和固定起重要作用,有机质含量越高的土壤对 Se 的吸附能力越强,土壤中 Se 的含量也相对较高^[20],也有研究认为表层土壤的 Se 有 80% 以上是与有机质相结合的^[23].

土壤硒含量与土壤总氮相关系数为 0.336($P<0.01$),相关关系达极显著水平,与李杰等的研究结果相同^[21];肖春燕等研究表明,土壤有机质与总氮含量之间存在极显著正相关性^[24],可能是土壤 Se 与土壤 TN 呈极显著正相关关系的原因.

土壤 pH 可通过氧化还原电位、黏土矿物吸附量、土壤微生物活性总类等间接影响土壤硒状态变化,一般来说,pH 值越高,土壤中硒可溶性越强,活性越大,越容易遭受淋失^[25].土壤 pH 是控制亚硒酸盐和硒酸盐之间转化^[25]的主要因素,可能与亚硒酸盐和硒酸盐有较好的相关性.所以通常认为土壤硒含量与土壤 pH 呈极显著的负相关^[22].但本研究中土壤硒含量与土壤 pH 相关系数为 -0.099

($P=0.464$), 相关关系不显著. 可能由于本次采集土样多为农田, 受到人为干扰较大, 所以此关系并不显著.

此次土壤样品主要集中在农田, 质地多为轻壤土和中壤土, 并未发现土壤硒含量和土壤类型的相关性.

2.3 博山区域土壤硒的区域分布特征及评价

利用地理信息系统技术对博山的土壤硒含量的空间分布特征(图 2)进行分析, 博山地区土壤硒含量由北向南呈梯度递减, 高浓度硒含量的土壤集中在博山区西北部海拔较低的平原地区. 母质(母岩)类型是导致土壤含硒量高低的主要原因^[26-27], 土壤硒含量与岩石的岩性及形成的时代密切相关, 其中上寒武统的含硒量最高, 远高于其他时代的岩石含量, 且不同岩性含硒量的分布规律为: 浅变质泥岩>泥质粉砂岩>凝灰岩>花岗岩^[28]. 博山西北部主要为古生界石炭系海陆交互相含煤沉积地层, 岩性主要为泥岩、砂岩和灰岩; 博山中部主要为古生界寒武系海相沉积地层, 岩性主要为泥岩和灰岩, 同时博山中部还含有奥陶系海相碳酸盐岩沉积地层, 岩性为纯灰岩、泥灰岩、白云质灰岩及白云岩; 博山东南部为太古界-泰山群, 岩性为黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩、角闪片岩等^[29]. 博山地区硒含量的分布也印证了刘子宁等人的研究^[28].

博山区总体地势为南高北低, 南、东、西三面中低山环绕, 中间低山、丘陵、山涧、河谷排列, 北面为丘陵河谷地带, 结合图 2 不难看出, 硒元素含量呈现出随海拔的升高而降低的趋势. 山脊处土壤硒元素含量低, 而山谷处土壤硒含量普遍偏高, 除成土母质的影响外, 这可能与博山地貌形成有关, 片流、洪流等冲击作用将有机质包括硒元素带到谷底河流, 继而河流干涸形成现在的农田. 此外人类的耕种对农田土壤全硒的含量也起着一定影响, 在此次调查中, 林地土壤硒含量高于农田(农作物对土壤硒的消耗), 博山区的林地主要沿地势低洼的河流分布, 这也可能是硒元素含量呈现出随海拔的升高而降低的原因.

引用我国硒元素生态景观等级划分界限值^[30]作为评价标准, 对博山区表层土壤硒含量进行评价. 结果表明, 该区域无高硒土壤. 缺硒土壤(含缺硒 7%和少硒 13%)所占比例为 20%, 足硒土壤约占 55%, 富硒土壤所占比例为 25%.

2.4 富硒农业生产基地土壤硒资源背景评价

根据博山产业布局规划, 博山区将划分为“一核两区三片”, 包含城市综合服务核心、新区工业区、老城工业区、西部生态片、现代农业片和东南部生态片(图 3).

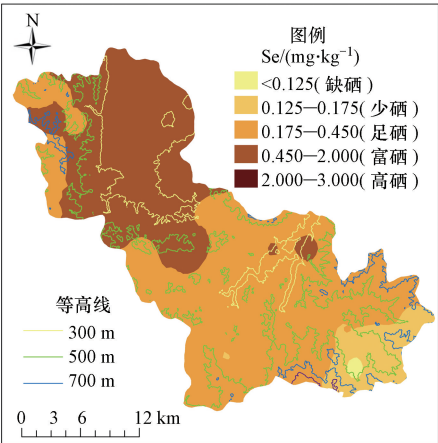


图 2 博山地区土壤硒含量空间分布图
(注: 分级标准为我国硒元素生态景观界限值^[30])

Fig.2 Spatial distribution of soil selenium content in Boshan region

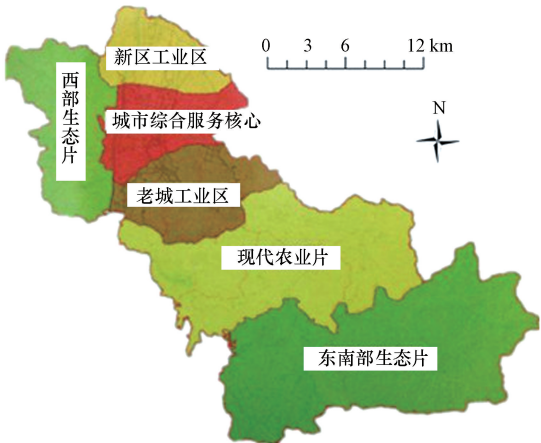


图 3 博山区“一核两区三片”
城乡产业布局规划^[35]
Fig.3 Urban industrial planning of Boshan area^[35]

从图 2、图 3 和表 2 可以看出, 高浓度硒土壤主要集中在城市区、工业区和西部生态片. 北部区域历史上为煤矿生产区. 博山区煤炭探明储量有 3 亿吨, 盛产时期曾经有 113 个大小煤矿同时生产, 广泛分布于八陡、山头、城区、夏家庄、白塔、域城等北部镇村, 虽然现在绝大多数企业已经停产转型, 但近百年

的生产经营导致区域土壤矿物质含量丰富^[31],而煤矿遗留下来的大量煤渣等硒元素紧密伴生物质,对博山区北部土壤仍然具有长远的影响,从而导致该区域内土壤硒的富集^[32].除地质因素外,有研究认为,土壤硒元素的主要输入途径为大气干湿沉降^[33],根据近 20 年(1989—2008 年)监测,博山区主要以南风为主^[34],这很有可能是位于老煤矿区北部的西部生态片较其他农业片区硒含量高的原因之一.

表 2 山东省淄博市博山区“一核两区三片”硒含量
Table 2 The contents of selenium in soils of different functional areas

地区	样品量	硒含量范围/(mg·kg ⁻¹)	中值/(mg·kg ⁻¹)
城市综合服务核心	8	0.149—1.460	0.464
新区工业区	1	0.723	0.723
老城工业区	7	0.126—1.210	0.544
西部生态片	5	0.307—0.596	0.404
现代农业片	19	0.122—0.942	0.255
东南部生态片	21	0.105—0.423	0.206
博山区	61	0.105—1.460	0.278

博山农业生产主要规划为西部生态片、现代农业片和东南部生态片等 3 个片区,有机农业产业集中在现代农业片和东南部生态片.西部生态片和现代农业片的土壤个别为富硒土壤,大部分为足硒土壤,东南部生态片的硒含量最低,大部分是少硒地区,另含部分缺硒地区,因而该区域需通过外源添加硒元素才能实现发展富硒产业的目标.硒和其他微量元素一样,都具有两重性,适度有益,过度有害.有研究表明,表土总硒超过安全阈值(3.000 mg·kg⁻¹)时常会引起硒中毒^[36].因此,开展富硒农业,首先要了解土壤硒背景值,确定是否需要添加外源硒肥,同时根据作物需求,选择合理的施肥方式,才能安全有效地发展富硒农业.

3 结论

- (1)博山区土壤硒含量几何均值为 0.305 mg·kg⁻¹,与全国土壤硒元素平均含量(0.29 mg·kg⁻¹)相当.土壤硒含量与该地区地质构造密切相关.此外由于雨水淋溶作用,土壤硒元素沿山势分布,低洼谷底农田土壤硒元素含量高,山脊处农田土壤硒元素含量低,基本呈现出随海拔的升高而降低的趋势.
- (2)博山区表土总硒与土壤总有机碳、土壤总氮呈极显著正相关,与土壤质地、土壤 pH 无明显关系.
- (3)富硒土壤主要集中在城市和工业区,除地质原因外,该区域丰富的煤炭资源是土壤硒含量的主导因素.北部的西部生态片土壤总硒含量基本达富硒标准,需进一步勘察其他资源,为发展富硒农业提供有利条件.
- (4)博山区表层土壤大部分区域不属缺硒或少硒土壤,发展富硒农业具有一定基础,但农业用地富硒土壤比例很小,而且农业生产规划区域主要为少硒和足硒土壤,需要通过外源添加硒肥的方式,提高土壤硒含量水平,注重富硒农业的技术规范和合理管理,才能使富硒产业走上健康可持续发展的道路.

参 考 文 献

[1] 王少为.人体必需微量元素—硒[J].广东微量元素科学,1999(6): 50-51
[2] MEYSKENS J E F. Micronutrients//De Vita V T, Hellman S, Rosenberg S A. Cancer: principle & practice oncology [C]. New York: Lippincott Raven, 1997:573-579
[3] 齐玉薇,史长义.硒的生态环境与人体健康[J].微量元素与健康研究,2005;22 (2):63-66
[4] 顾公望,孙燕. 硒抗癌机理研究进展[J]. 中国肿瘤临床, 1994, 21 (2):139-142
[5] 周勋波,吴海燕,洪延生,等.作物施硒研究进展[J].中国农业科技导报,2002,6(6):45-50
[6] 王子健,赵利华,彭安.低硒带土壤中硒的挥发过程研究[J].环境化学, 1989,8(2): 7-11
[7] 王子健. 中国低硒带生态环境中硒的环境行为研究进展[J]. 环境化学, 1993,12(3): 237-243
[8] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量[M].北京:中国轻工业出版社,2001:67-68

- [9] 樊俊,王瑞,向必坤,等. 不同硒源对藁叶碎米苳吸收,转化硒的效应研究[J].中国土壤与肥料, 2014 (1): 63-68
- [10] 孙春晓,陈立诚,魏其宁,等.博山跃居江北最大有机农业生产基地[EB/OL].[2009-8-25].淄博新闻网. <http://www.zbnews.net>
- [11] 李密,郑良臣,孙云国.山东博山气候条件对有机农业的影响及对策[J].安徽农业科学, 2012(12):7280-7282
- [12] 程伯容.我国东北地区土壤中的硒[J].土壤学报,1980,17(1):55-60
- [13] 王甘露,朱笑青.贵州省土壤硒的背景值研究[J].环境科学研究,2003,16(1):23-26
- [14] 陈代中.陕西地区土壤中的硒[J].土壤学报,1984,21(3):245-256
- [15] 中国科学院土壤背景值协作组.北京、南京地区土壤中若干元素的自然背景值[J].土壤学报,1979,16(5):319-328
- [16] 张晓平,张玉霞.西藏土壤中硒的含量及分布[J].土壤学报,2000,37(4):558-562
- [17] 朱建明,郑宝山,毛大均,等.鱼塘坝微地域硒分布的景观地球化学研究[J].地球化学,2000,29(1):43-49
- [18] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990:28-87
- [19] Lisk D J.Trance metals in soils,plants and animals[J].Adv in Agro,1972,24:267-325
- [20] 商靖敏,罗维,吴光红,等.洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素[J].环境科学, 2015, 36(1): 301-308
- [21] 李杰,杨志强,刘枝刚,等.南宁市土壤硒分布特征及其影响因素探讨[J].土壤学报,2012,49(5):1012-1020
- [22] 章海波,骆永明,吴龙华,等.香港土壤研究Ⅱ.土壤硒的含量、分布及其影响因素[J].土壤学报,2005,42(3):404-410
- [23] 赵少华,宇万太,张璐,等.环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因[J].生态学杂志,2005, 24(10): 1197-1203
- [24] 肖春艳,武俐,赵同谦,等.南水北调中线源头区蓄水前土壤氮磷分布特征[J].中国环境科学, 2013,33(10):1814-1820
- [25] 沈燕春,周俊.土壤硒的赋存状态与迁移转化[J].安徽地质,2011,21(3):186-191
- [26] 王美珠,章明奎.我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J].浙江农业大学学报, 1996,22(1):89-93
- [27] 徐明星,潘卫丰,岑静,等.浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离[J].环境科学,2013,34(7):2775-2781
- [28] 刘子宁,窦磊,游远航.珠江三角洲台山地区硒的地球化学特征[J].现代地质, 2014,28(5):928-934
- [29] 地质地貌[EB/OL].[2012-2-21].淄博市情网. <http://www.bsqq.gov.cn>
- [30] 谭见安编译.环境硒与健康[M].北京:人民卫生出版社,1989:219-224
- [31] 高宏樟,张强.太原市煤粉尘降落量监测及其对土壤肥力的影响[J].山西农业科学,2008, 36(3):55-60
- [32] 龚淑英,邬新荣,徐平,等.浙江省长兴县富硒资源区及富硒农产品的调研[J].茶叶,2010,36(4):221-231
- [33] 唐玉霞,王慧敏,刘巧玲,等.河北省麦田土壤硒的含量、形态及其有效性研究[J].华北农学报,2010,25(B08):194-197
- [34] 博山风玫瑰图[EB/OL].[2014-10-24]. <https://www.baidu.com/>
- [35] 博山区“一核两区三片”城乡产业布局规划[EB/OL].[2014-10-24]. <https://www.baidu.com/>
- [36] 布和敖斯,张东威.土壤硒区域环境分异及安全阈值的研究[J].土壤学报,1995,32(2):186-193