

武都区不同土壤类型微量元素分布研究

王选社¹, 杨子凡², 董 博³

(1. 甘肃省陇南市武都区农业技术推广中心, 甘肃 武都 746000; 2. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 对武都区耕层土壤进行取样, 测试分析 150 个土样的铁、锰、铜、锌、硼、硫和硅共 7 项指标。对测试结果根据采样经纬度对应到土壤图, 再采用径向基函数插值法进行空间插值, 获取 27 个土种各微量元素平均值和全区各微量元素平均值。有效铁石渣土含量最高, 浅红土最低; 有效锰亚高山灌丛草甸土含量最高, 粗骨质碳酸盐褐土含量最低; 有效铜含量耕种砂质黄棕壤最高, 羊血土最低; 有效锌绵黄土含量最高, 浅红土最低; 有效硼含量山地耕种草甸土最高, 石渣土最低; 有效硫含量砂砾质碳酸盐褐土最高, 浅红土最低; 有效硅含量亚高山灌丛草甸土最高, 麻黄土最低。武都区土壤微量元素含量普遍低, 且空间分布不均。

关键词: 武都区; 土壤类型; 微量元素; 分布; 研究

中图分类号: S159.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2015)11-0041-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2015.11.015

Study on Distribution of Trace Elements in Different Soil Type of Wudu District

WANG Xuanshe¹, YANG Zifan², DONG Bo³

(1. Wudu District Agricultural Technology Extension Center, Wudu Gansu 734000, China; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The contents of 7 indicators included Fe, Mn, Cu, Zn, B, S and Si are analyzed of 150 soil samples which are sampling from the topsoil of Wudu district. According to the latitude and longitude of sampling points, the results of test could correspond to the soil map, then using radial basis function interpolation method for spatial interpolation, got the trace elements average value of 27 kinds of soil species and the trace elements average value of this region. The content of available Fe of lithosol is highest, and the lowest is shallow laterite. The content of available Mn of subalpine shrub meadow soil is highest, crude bone carbonate cinnamon is lowest. The content of available Cu of farming sandy yellow brown is highest, the yangxuetu is lowest. The content of available Zn of cotton loess is highest, the lowest is shallow laterite. The content of available B of mountain cultivated meadow soil is highest, the lithosol is lowest. The content of available S of sandy and gravelly carbonate cinnamon, and the minimum is shallow laterite. The content of available Si of subalpine shrub meadow soil is highest, the hemp loess is minimum. The contents of soil trace elements of Wudu district are generally in a lower level, and the space distribution of trace elements are uneven.

Key words: Wudu area; Soil type; Trace elements; Distribution; Research

土壤微量元素虽然含量微少但却是作物生长发育必不可少的条件^[1]。根据“木桶原理”, 铁、锰、铜、锌、硼、硫、硅、钼等都是作物所需的元素, 同大量元素一样也是组成“木桶”的木条, 每 1 根木条的长短都决定了木桶的盛水量。因此,

每种微量元素的丰缺都对作物的产量和品质有重要决定性作用^[2]。武都区是甘肃省特色农业的主产区和优势区, 除小麦、玉米、马铃薯等主要农作物外, 还有油橄榄、花椒、茶叶、纹党等特色经济作物。我们对武都区不同土壤类型微量元素

收稿日期: 2015-05-05

作者简介: 王选社(1971—), 男, 甘肃陇南人, 农艺师, 主要从事土壤肥料、农业节水等农业技术推广工作。联系电话: (0)13919989208。E-mail: 21701023@qq.com

通讯作者: 董 博(1981—), 男, 山东聊城人, 助理研究员, 博士, 主要从事水肥调控和数字农业工程等研究工作。联系电话: (0931)7611161。E-mail: hdnnyjs@163.com

[4] 刘世海, 孙 慧, 魏芳红, 等. 旱地胡麻全膜覆土穴播栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2010(11): 59-60.

[5] 叶春雷, 石有大, 罗俊杰, 等. 种植密度对旱地胡麻产量及品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014(4): 11-

13.

[6] 王玉富, 粟建光. 亚麻种植资源描述和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

(本文责编: 陈 伟)

含量与分布进行研究分析, 以期为农作物生产以及提高农产品品质提供参考。

1 研究区概况

陇南市武都区位于甘肃东南部, 属秦巴山区, 秦巴山系结合部, 长江流域嘉陵江中游。东与康县相接, 南连陕西省宁强县、四川省青川县和文县, 西接文县、舟曲县、宕昌县, 北邻宕昌县、礼县、西和县。地处北纬 $32^{\circ} 48' \sim 33^{\circ} 38'$, 东经 $104^{\circ} 35' \sim 105^{\circ} 40'$ 。全区辖 36 个乡(镇), 689 个行政村, 11.06 万户, 54.04 万人, 其中农业户 10.34 万户 46.55 万人; 耕地面积 7.244 万 hm^2 。海拔在 667 ~ 3 600 m, 从亚热带到温寒带气候兼有, 年平均降水量 420 mm, 最大可达 900 mm, 降水充足; 年蒸发量平均 1 816 mm, 无霜期 210 ~ 240 d, 10°C 的平均积温为 4 568 $^{\circ}\text{C}$ 。境内地貌类型分为河谷川坝区、半山干旱区、高寒阴湿区和林缘区 4 个类区。

武都区内主要有潮土、褐土、棕壤、水稻土、黄棕壤等 7 个土类, 潮土、碳酸盐褐土、淋溶褐土、侵蚀褐土、棕壤、黄棕壤等 12 个亚类, 52 个土属, 71 个土种。成土母质以洪积母质、黄土母质、残积母质和坡积母质 4 类为主。洪积母质主要分布在境内各河沟漫滩和一、二阶地, 以白龙江、北峪河流域分布最广。黄土母质广泛分布在区内高、中、低山的表层, 厚度不一, 易耕, 保水保肥性能好。残积母质主要分布在中北和东南部石质山地。坡积母质主要分布在山坡脚或山坡平缓处, 母质分化程度低, 多为粗砂或碎石, 土壤发育程度弱, 多生长杂草和灌丛。

武都区土壤类型丰富, 海拔差异大, 其土壤垂直分布主要有 3 种类型: 第一, 柯家河下游—月照山土壤垂直带谱, 区带内土壤为黄棕壤, 阳坡为淋溶褐土; 第二, 白龙江畔—擂鼓山、北峪河畔—铁家山土壤垂直带谱, 该区土壤类型复杂, 主要有水稻土、潮土、碳酸盐褐土、淋溶褐土、山地草甸土、亚高山灌丛草甸土垂直分布和潮土、侵蚀性褐土、碳酸盐褐土、淋溶褐土、山地草甸土、亚高山灌丛草甸土垂直分布, 垂直带谱较为完整; 第三甘泉河畔—韭山垂直带, 主要表现为碳酸盐褐土、淋溶褐土、山地草甸土的地带性分布。

2 材料与方法

2.1 土样采集与制备

根据全区测土配方施肥项目安排, 于 2014 年秋收后 65 d 内在全区 36 个乡(镇)120 个行政村根据 NY/T 1121.1-2006 行业标准设置取样单元大小, 按

照取样单元全区共取样 150 个, 取样地块前茬作物为玉米、小麦、马铃薯和油菜。采集深度为 0 ~ 20 cm 耕层土壤。采集土样涉及潮土、褐土、砂黄土、红粘土、石质土、石渣土和水稻土 7 个土属。对采集的土样及时在室内自然风干, 研磨后分别过 1 mm 孔径尼龙筛和 0.149 mm 孔径尼龙筛, 各取不少于 100 g 的过筛土样装入塑料密封瓶内备用。

2.2 测试分析

对 150 个土样的有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效硫和有效硅进行测试分析。有效铁、有效锰、有效铜、有效锌采用 AAS 法测定, 有效硼采用姜黄素比色法测定, 有效硫用氯化钙溶液浸提法测定, 有效硅用柠檬酸浸提比色法测定^[3]。

2.3 分析方法

对 150 个测试数据使用 Arcgis 中的 Radial Basis Functions (径向基函数插值)方法进行插值分析^[4]。径向基函数是一个取值依赖于离原点距离的实值函数^[5], 也就是 $\Phi(x) = \Phi(\|x\|)$, 或者还可以是到任意一点 c 的距离, c 点称为中心点, 也就是 $\Phi(x, c) = \Phi(\|x - c\|)$ 。任意一个满足 $\Phi(x) = \Phi(\|x\|)$ 特性的函数 Φ 都叫做径向函数, 标准的一般使用欧几里得距离。

径向基函数插值是假设有一个实值函数 $F = F(x)$, $x \in R^d$, 构造一个逼近函数 $S(x)$ 来求得某点 x 处的函数值用来表示其逼近 F 的程度, 其计算公式如下:

$$S(x) = \sum_{i=1}^N a_i \Phi(\|x - x_i\|), \quad x \in R^d$$

式中 $\Phi(t)$, $t \geq 0$, 是一个确定的实值函数, 也就是径向基函数, $\|x - x_i\|$ 表示欧几里得距离, a_i , $i = 1, 2, \dots, N$ 是待定系数; x_i 点, $i = 1, 2, \dots, N$ 是函数逼近点。该方法适用于样点单元大但采样点少的区域空间分析; 已知样点之间的相互影响小, 结果分布更加均匀。该插值方法对于区内土壤类型图斑面积大、土种缺失、各向同性的特点更加合理。

3 结果与分析

3.1 不同土壤类型微量元素含量

根据径向基函数插值结果, 利用 EXCEL 数据透视功能对插值结果进行分析统计, 得到不同土壤类型各微量元素含量平均值(表1)。

由表 1 可以看出, 有效铁含量最高的土种是石渣土, 其次是粘质棕壤, 有效铁含量分别是 7.80 mg/kg 和 7.58 mg/kg; 含量最低的是浅红土,

为 3.65 mg/kg。有效锰含量最高的是亚高山灌丛草甸土，其次是青绵砂土，含量分别为 5.49 mg/kg 和 5.18 mg/kg；含量最低的粗骨质碳酸盐褐土，为 3.60 mg/kg。有效铜含量最高的土种为耕种砂质黄棕壤和棕壤土，含量分别为 1.757 mg/kg 和 1.665 mg/kg；含量最低的是羊血土，为 0.319 mg/kg。有效锌含量最高的为绵黄土，其次为砂砾质碳酸盐褐土，含量分别为 1.052 mg/kg 和 0.978 mg/kg；含量最低的为浅红土和棕壤土，其中浅红土没有测出有效锌，棕壤土有效锌含量为 0.312 mg/kg。有效硼含量最高的为山地耕种草甸土和山地草甸土，其有效硼含量分别为 0.930 mg/kg 和 0.911 mg/kg；含量最低的是石渣土，为 0.739 mg/kg。有效硫含量最高的为砂砾质碳酸盐褐土，其次为黄胶土，有效硫含量分别为 35.14 mg/kg 和 35.04 mg/kg；除

浅红土没有测出硫含量之外，含量最低的为黄土，有效硫含量 10.52 mg/kg。有效硅含量最高的为亚高山灌丛草甸土，其次为砂砾质碳酸盐褐土，含量分别为 159.83 mg/kg 和 141.72 mg/kg；含量最低的是麻黄土，为 43.08 mg/kg。

3.2 微量元素丰缺

对全区不同土壤微量元素平均值进行统计分析，有效铁为 6.14 mg/kg，有效锰 4.50 mg/kg，有效铜 0.637 mg/kg，有效锌 0.510 mg/kg，有效硼 0.843 mg/kg，有效硫 22.62 mg/kg，有效硅 95.33 mg/kg。根据甘肃省耕层土壤养分分级标准(表2)^[6]，有效铁、有效锰平均含量处于四级水平，含量低；有效铜、有效锌平均含量处于三级水平，含量较低；有效硼平均含量处于三级水平，含量较低；有效硫平均含量处于四级水平，含量低；有效硅未分

表 1 武都区不同土壤类型各微量元素插值平均结果

土壤名称	有效铁 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	有效硫 (mg/kg)	有效硅 (mg/kg)
潮土	6.24	4.49	0.466	0.509	0.909	20.05	108.90
粗骨质碳酸盐褐土	5.22	3.60	0.421	0.369	0.782	22.16	114.69
耕种砂质黄棕壤	7.14	4.42	1.757	0.443	0.780	21.93	85.56
耕种砂质棕壤	6.92	4.75	0.866	0.598	0.795	19.28	87.38
红粘土	5.09	4.39	0.360	0.648	0.829	23.87	91.26
黄胶土	6.09	4.75	0.437	0.598	0.902	35.04	114.49
黄土	6.12	4.58	0.537	0.321	0.867	10.52	94.86
黄土性淋溶褐土	6.13	4.59	0.464	0.584	0.814	15.58	107.24
黄土性碳酸盐褐土	5.81	4.64	0.427	0.510	0.900	18.72	101.16
灰砂土	5.87	4.47	0.361	0.584	0.891	30.96	89.90
淋溶黄土	5.50	4.28	0.437	0.458	0.834	20.24	97.61
淋溶石渣土	7.41	4.98	0.698	0.433	0.841	22.34	116.07
麻黄土	5.99	4.29	0.433	0.488	0.882	17.93	43.08
绵黄土	6.68	4.97	0.585	1.052	0.903	23.66	57.68
浅红土	3.65	3.80	0.324	0.000	0.807	0.00	90.31
侵蚀黄土	6.36	4.46	0.472	0.327	0.819	25.59	91.52
青绵砂土	7.27	5.18	0.610	0.430	0.874	24.37	81.14
砂砾质碳酸盐褐土	4.63	3.99	0.405	0.978	0.840	35.14	141.72
砂质棕壤	6.55	4.20	0.746	0.365	0.809	26.63	93.58
山地草甸土	5.21	4.22	0.384	0.788	0.911	17.44	70.59
山地耕种草甸土	5.14	4.19	0.360	0.410	0.930	28.17	65.53
石渣土	7.80	5.15	0.657	0.346	0.739	31.76	93.37
亚高山灌丛草甸土	7.32	5.49	0.662	0.718	0.875	26.10	159.83
羊血土	4.59	4.24	0.319	0.663	0.804	19.46	129.17
粘质棕壤	7.58	4.78	0.846	0.416	0.839	22.51	90.18
棕黄土	6.41	4.33	0.598	0.422	0.785	20.34	77.30
棕壤土	7.02	4.27	1.665	0.312	0.785	30.93	79.70

表 2 甘肃省土壤养分(中微量元素)分级标准

等级	有效锌 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效铁 (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	有效硫 (mg/kg)
I(高)	>2.00	>15	>15.00	>2.00	>2.00	>40
II(中等)	1.00~2.00	9.00~15.00	10.00~15.00	1.00~2.00	1.00~2.00	40~50
III(较低)	0.50~1.00	7.00~9.00	4.50~10.00	0.50~1.00	0.50~1.00	30~40
IV(低)	0.30~0.50	3.00~7.00	2.50~4.50	0.20~0.50	0.20~0.50	20~30
V(极低)	≤0.30	≤3.00	≤2.50	≤0.20	≤0.20	≤20

表 3 武都区不同土壤类型微量元素丰缺情况

土壤名称	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌	有效硼	有效硫
潮土	较低	低	低	较低	较低	低
粗骨质碳酸盐褐土	较低	低	低	低	较低	低
耕种砂质黄棕壤	较低	低	中等	低	较低	低
耕种砂质棕壤	较低	低	较低	较低	较低	极低
红粘土	较低	低	低	较低	较低	低
黄胶土	较低	低	低	较低	较低	较低
黄土	较低	低	较低	低	较低	极低
黄土性淋溶褐土	较低	低	低	较低	较低	极低
黄土性碳酸盐褐土	较低	低	低	较低	较低	极低
灰砂土	较低	低	低	较低	较低	较低
淋溶黄土	较低	低	低	低	较低	低
淋溶石渣土	较低	低	较低	低	较低	低
麻黄土	较低	低	低	较低	较低	极低
绵黄土	较低	低	较低	中等	较低	低
浅红土	低	低	低	极低	较低	极低
侵蚀黄土	较低	低	低	低	较低	低
青绵砂土	较低	低	较低	低	较低	低
砂砾质碳酸盐褐土	较低	低	低	较低	较低	较低
砂质棕壤	较低	低	较低	低	较低	低
山地草甸土	较低	低	低	较低	较低	极低
山地耕种草甸土	较低	低	低	低	较低	低
石渣土	较低	低	较低	低	较低	较低
亚高山灌丛草甸土	较低	低	较低	较低	较低	低
羊血土	较低	低	低	较低	较低	极低
粘质棕壤	较低	低	较低	低	较低	低
棕黄土	较低	低	较低	低	较低	低
棕壤土	较低	低	中等	低	较低	较低

级未作比较。

3.3 不同土壤类型微量元素丰缺

根据甘肃省养分分级标准, 对不同土壤类型各微量元素含量进行分析, 各土壤类型微量元素含量高低丰缺见表 3。可见各土壤类型有效铁含量普遍较低, 有效锰含量普遍低; 有效铜含量空间分布不均, 普遍较低, 仅耕种砂质黄棕壤和棕壤土含量达到中等水平; 有效锌含量空间分布不均, 普遍较低, 仅绵黄土含量达到中等水平; 有效硼含量普遍较低; 有效硫空间分布不均, 处在极低到较低水平。

4 小结与建议

1) 浅红土土壤微量元素含量普遍贫瘠, 除未监测出有效锌、有效硫外, 有效铁含量也甚微, 其余微量元素均低于全省最低水平, 应加强各类微肥的施用。同时, 注重粗骨质碳酸盐褐土有效锰的施用, 羊血土有效铜的施用, 石渣土有效硼的施用、黄土有效硫的施用和麻黄土有效硅的施用。

2) 棕壤土、褐土、黄土作为全区最主要的耕作土壤类型, 各土种微量元素分布差异大。粗骨质、石渣土、碳酸盐土类质地粗糙、pH 高、土层浅薄, 保肥能力差, 微量元素含量普遍较低, 应注

重该类土种区域微肥的施用。

3) 土壤微量元素高低受土壤 pH、土壤 Eh、土壤水分状况、土壤有机质、土壤质地、吸附作用和土壤微生物综合影响^[7-9]。因此要注意土壤 pH 监测, 土壤有机质、微生物提升和土壤质地等改良, 通过改变土壤理化性状的方法培肥土壤微量元素。

4) 全区土地面积广阔, 土壤微量元素样点分布相对少, 对有些土壤类型的涉及还不到位, 特别是应加强对耕作土壤类型的样点分布与采样分析工作, 在今后 3 a 应增加采样点 600~900 个。

5) 应根据作物需肥规律针对性施用微肥^[10-11]。例如, 加强豆类作物硼肥的施用, 水稻有效硅的施用, 茶叶、蔬菜有效铁和有效锌的施用, 油橄榄有效锌和有效钼的施用。

参考文献:

- [1] 张 昱, 刘春瑾. 土壤微量元素研究进展[J]. 甘肃科技, 2009, 25(10): 90-92.
- [2] YANG MEI, SHI LEI, XU FANGSEN. Effects of B, Mo, Zn, and Their Interactions on seed yield of rape-seed[J]. Pedosphere, 2009, 19(1): 53-59.
- [3] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版, 北京: 中国农业出版社, 2002.

7个旱地春小麦新品系品比试验

刘宏胜¹, 李映², 牛俊义³, 刘生学¹, 任亮¹, 赵仰徽¹, 高玉红³, 吴兵³

(1. 甘肃省会宁县农业技术推广中心, 甘肃 会宁 730799; 2. 甘肃省会宁县人力资源与社会保障局, 甘肃 会宁 730799; 3. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在会宁半干旱区进行了春小麦品比试验, 结果表明, 参试的7个春小麦新品系间产量差异达显著水平, 04013-1-3-5、06081-15-1、05151-2-6-2折合产量分别为3 284.71、3 067.25、2 889.86 kg/hm², 分别较对照定西35号增产26.99%、18.58%、11.73%, 且综合性状好, 抗寒性、抗旱性强, 千粒重高, 在田间自然条件下表现对条锈病高抗或免疫。06081-15-1、05151-2-6-2两品系在两年品比试验中均表现优良, 建议推荐参加甘肃省旱地春小麦区域试验。品系04013-1-3-5等下年继续进行品比试验。

关键词: 旱地; 春小麦; 新品系; 品比试验; 会宁

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2015)11-0045-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2015.11.016

Comparative Test of 7 New Spring Wheat Varieties in Dryland

LIU Hongsheng¹, LI Ying², NIU Junyi³, LIU Shengxue¹, REN Liang¹, ZHAO Yanghui¹, GAO Yuhong³, WU Bing³

(1. Huining Agriculture Technology Popularizing Center, Huining Gansu 730799, China; 2. State environment Protection administration of Huining, Huining Gansu 730799, China; 3. Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730030, China)

Abstract: To select the spring wheat with high yield and have strong resistance, that suitable arid and semi-arid area in central Gansu province even to the similar types of surrounding ecology regions, The field experiment is conducted to study on the characteristics of new spring wheat varieties which bred in Huining. The result shows that the yield difference between cultivars is significant in seven spring wheat lines tested, the yield of 04013-1-3-5, 06081-15-1, 05151-2-6-2 are 3 284.71 kg/hm², 3 067.25 kg/hm² and 2 889.86 kg/hm², which increased by 26.99%, 18.58% and 11.73%. The comprehensive properties are better, has higher grain yield, resistanced to cold, drought, stripe and even immuned to stripe in the field under natural conditions, the 06081-15-1 and 05151-2-6-2 have excellent performance in the two years variety test, So they are recommended to take the regional testing of Gansu province. The 04013-1-3-5 and other lines need to participate the comparison test of the next year.

Key words: Dryland; Spring wheat; New lines; Variety comparative; Huining county

小麦是我国主要粮食作物之一, 在国民经济中占有重要地位。春小麦是甘肃省主要粮食作物

收稿日期: 2015-04-21

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目(2014GB2G100140)部分内容

作者简介: 刘宏胜(1964—), 男, 甘肃会宁人, 高级农艺师, 研究方向为作物育种与高效栽培。联系电话: (0)13649303289。E-mail: gshnyj@163.com

通讯作者: 牛俊义(1957—), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博士生导师, 研究方向为作物栽培与生态生理。联系电话: (0)13893261699。E-mail: niujy@gsau.edu.cn

- [4] 王贵政. 基于GIS技术的土壤养分空间分布分析及应用[J]. 中国农学通报, 2010, 26(10): 187-191.
- [5] 王天化. 一种改进的径向基函数拟插值方法[D]. 吉林: 吉林大学, 2014: 3-6.
- [6] 崔云玲, 马忠明, 杨君林, 等. 甘肃省土壤养分丰缺状况及肥效研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 182-185.
- [7] 刘铮. 中国微量元素含量与分布特征[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 213-222.
- [8] 张泽浦, 王学军. 土壤微量元素含量空间分布的条件模拟[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 423-429.
- [9] 贾晓娟, 王祎, 韩梅, 等. 基于Kriging法的凉州区耕地土壤微量元素的空间插值研究[J]. 甘肃农业科技, 2013(7): 10-12.
- [10] 周俊, 杨子凡, 董博, 等. 张掖地区土壤微量元素空间分布及其对农产品质量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(33): 219-224.
- [11] 李海峰, 曾凡江, 桂东伟, 等. 不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征[J]. 生态学报, 2012, 32(6): 1 804-1 810.

(本文责编: 陈珩)