

## 豫西地区有效态 Zn 含量分布特征及其影响因素

付彭辉, 孔欣欣, 牛佩佩, 刘继奎, 孙梦晗, 王旭刚\*

(河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003)

**摘要:** 采用野外采样结合室内分析的方法, 研究了豫西地区有效 Zn 的分布特征及其影响因素, 以期对锌肥的施用提供依据。结果表明, 豫西地区土壤全 Zn 含量介于 63.437~164.675 mg/kg, 平均 81.483 mg/kg, 有效 Zn 含量介于 0.272~7.020 mg/kg, 平均 1.147 mg/kg, 表现为山地<丘陵<平原。土壤有效 Zn 与全 Zn、海拔高度、全 N、速效磷、有机质呈极显著正相关, 相关系数依次为 0.558、0.201、0.291、0.296、0.222, 与 pH 值呈显著负相关关系, 相关系数为 0.116; 有效 Zn 与全 Zn、pH 值的关系用直线方程可以较好拟合, 有效 Zn 与有机质、全 N、速效 P 的关系可用幂函数拟合, 有效 Zn 与海拔高度的关系宜用指数函数拟合; 路径分析表明, 各因子对有效 Zn 的影响程度大小顺序为海拔>全 N>速效 P>pH 值>有机质, 海拔对 Zn 有效性的作用最为明显。

**关键词:** 土壤; 锌; 有效态锌; 影响因素

中图分类号: S153 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)08-0077-05

## Influencing Factors and Distributing Characteristics of Soil Available Zn in the Western Henan Province

FU Peng-hui, KONG Xin-xin, NIU Pei-pe, LIU Ji-kui, SUN Meng-han, WANG Xu-gang\*

(College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** Influencing factors and distributing characteristics of soil available Zn in the western Henan province were studied. Results showed that, total soil Zn was mostly within the range of 63.437–164.675 mg/kg, with an average of 81.483 mg/kg, and available Zn was mostly within the range of 0.272–7.020 mg/kg, with an average of 1.147 mg/kg. Soil available Zn increased in the sequence of mountain<hill<plain. For the soil in the western Henan province, a significantly positive correlation was found between soil available Zn and total Zn, altitude, total nitrogen, available phosphorus, and organic matter, and the correlation coefficients were 0.558, 0.201, 0.291, 0.296, 0.222, respectively. A significantly negative correlation existed between soil pH and available Zn with a correlation coefficient of 0.116. Linear functions fitted the relationships better between available Zn and total Zn or pH. Power functions fitted the relationships better between available Zn and organic, total nitrogen, available phosphorus. The relationship between soil available Zn and height could be expressed by an exponential function. The results of path analysis indicated that the direct acting coefficient of soil chemical and physical factors on soil available Zn was in the following order: altitude>total nitrogen>available phosphorus>pH>organic. The contents of soil available Zn were mainly affected by altitude.

**Key words:** soil; Zn; available zinc; influencing factors

收稿日期: 2012-03-01

基金项目: 河南科技大学大学生研究训练计划项目(2011259); 河南省烟草专卖局项目(20071); 河南省科技攻关项目(11210211007)

作者简介: 付彭辉(1990-), 男, 河南漯河人, 在读本科, 研究方向: 土壤植物营养。

\* 通讯作者: 王旭刚(1978-), 男, 河南南阳人, 副教授, 博士, 主要从事土壤化学研究。E-mail: nywxg@yahoo.com.cn

豫西位于我国黄土高原东南缘,是黄土高原向黄淮海平原过渡的中心地带,该区属温暖带半湿润偏旱气候,土壤类型以石灰性土壤为主,微量元素 Zn 有效性不高<sup>[1-3]</sup>。Zn 是提高作物品质的重要元素,缺 Zn 导致小麦体内游离氨基酸含量增加、蛋白质含量降低。除母质因素外,全 Zn 含量的高低受与土壤淋溶、淀积等相关成土条件的强烈影响。从地球化学角度来看,Zn 属中等迁移活性元素,但其活性在很大程度上受到土壤水分、pH 值、有机质及其他共存元素等因素的影响<sup>[4-5]</sup>。高 pH 值明显降低土壤中 Zn 的含量,高 pH 值的石灰性土壤中锌的生物有效性低,主要是黏粒和碳酸钙对锌的吸附和高浓度的  $\text{HCO}_3^-$  强烈抑制锌的吸收及向地上部分的转移<sup>[6]</sup>造成的;严连香等<sup>[7]</sup>在长江三角洲典型地区探索土壤有效锌的时空变化及其影响因素认为,有机质与土壤有效 Zn 含量之间有正相关关系,何忠俊等<sup>[8]</sup>在研究了氮锌交互作用对黄棕壤锌形态的影响后提出,施氮可明显提高土壤有效 Zn 含量。有效 Zn 含量与磷的关系相对复杂,杨丽娟等<sup>[9]</sup>研究了长期施用有机肥和化肥对菜田土壤锌有效性的影响,认为单施或者配施磷肥对土壤有效 Zn 含量影响不明显;张淑香等<sup>[10]</sup>认为干旱条件下施磷可以增加土壤有效 Zn 含量。

由于受土壤性质、土壤管理和土壤环境条件等因素的影响,土壤有效 Zn 呈现出时空变异的特征,而这种变异有可能造成区域性土壤环境中 Zn 的缺乏或过量,进而影响作物生长或通过食物链影响人体健康。鉴于此,通过调查豫西地区土壤中有效 Zn 的分布特征及其与海拔高度、作物茬口、灌溉条件等因素的关系,以期为指导 Zn 肥的施用、改善作物 Zn 素营养提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

洛阳市地处河南省西部,位于暖温带南缘向北亚热带过渡地带,属暖温带大陆性季风气候。年平均气温  $14.7^\circ\text{C}$ ,降雨量  $601.6\text{ mm}$ 。地势西高东低。境内山川丘陵交错,地形错综复杂,其中山区  $45.51\%$ ,丘陵  $40.73\%$ ,平原占  $13.76\%$ 。土壤共分为 12 个土类,广泛分布的主要是棕壤、褐土、红黏土、潮土 4 类。

### 1.2 土壤样品采集

土壤样品分别采自洛阳市新安县、嵩县、孟津县、伊川县、汝阳县、宜阳县、洛宁县。在各采样区选择具有代表性的采样点,每个采样点按照具有代表

性、采样量最少的原则,采集耕层( $0\sim 20\text{ cm}$ )混合土壤样品,同时记录采样点的前茬作物、地形特征等基本信息。共采集样品 546 个,覆盖东经  $111^\circ 12' 27''\sim 112^\circ 46' 07''$ ,北纬  $34^\circ 01' 08''\sim 34^\circ 56' 15''$ ,囊括了山地、丘陵和平原 3 种地形条件下的土壤样品,样品经风干、研磨、过筛后贮于封闭的聚乙烯袋中备用。

### 1.3 土壤样品分析

1.3.1 土壤基本性质 土壤 pH 值采用电位法测定<sup>[11]</sup>;有机质含量采用重铬酸钾法外加热容量法测定<sup>[11]</sup>;全氮采用凯氏定氮法测定;全磷采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$  消化-钼锑抗比色法测定;速效磷采用  $0.5\text{ mol/L NaHCO}_3$  提取钼锑抗比色法测定<sup>[12]</sup>。从所采集的 546 个样品中随机选择 104 个样品进行上述土壤理化性质分析。

1.3.2 土壤 Zn 含量测定 土壤有效 Zn 采用 DTPA 提取(DTPA- $\text{CaCl}_2$ -TEA 体系, $6\text{ mol/L HCl}$  调节  $\text{pH}=7.3$ ),土液比为  $1:2$ ,恒温  $25^\circ\text{C}$  振荡,浸提时间为  $2\text{ h}$ ,过滤,取上清液,原子吸收法测定<sup>[12]</sup>。从所采集的 546 个样品中随机选择 23 个样品进行全 Zn 分析,土壤全 Zn 采用三酸( $\text{HF-HNO}_3\text{-HClO}_4$ )消化法制备待测液,原子吸收法测定(VARIAN AA240),重复 3 次。

1.3.4 数据处理 数据采用 Excel 和 SPSS 18.0 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 豫西地区土壤全 Zn 含量及其有效率

我国土壤全 Zn 含量在  $3\sim 709\text{ mg/kg}$ ,平均为  $100\text{ mg/kg}$ <sup>[13]</sup>。豫西地区土壤全 Zn 含量为  $63.437\sim 164.675\text{ mg/kg}$ ,平均为  $81.483\text{ mg/kg}$ (表 1),明显低于全国平均水平,全 Zn 含量变异系数为  $26.91\%$ ,分布相对集中。进一步统计分析表明,全 Zn 含量与有效 Zn 含量之间呈极显著线性正相关关系, $y=0.019x-0.384(r=0.558,P<0.01)$ ,其中, $y$  为有效 Zn 含量, $x$  为全 Zn 含量。由方程的斜率可知,豫西地区有效 Zn 平均占全 Zn 的  $1.91\%$ 。

表 1 豫西地区土壤有效 Zn 与全 Zn 含量

样品编号	有效 Zn/ (mg/kg)	全 Zn/ (mg/kg)	Zn 有效率/ %
1	0.610	80.051	0.76
2	1.080	85.124	1.27
3	0.945	92.380	1.02
4	0.562	120.721	0.47
5	0.733	63.437	1.16

续表 1 豫西地区土壤有效 Zn 与全 Zn 含量

样品编号	有效 Zn/ (mg/kg)	全 Zn/ (mg/kg)	Zn 有效率/ %
6	0.675	69.323	0.97
7	0.877	74.324	1.18
8	0.590	66.853	0.88
9	1.259	69.816	1.80
10	0.693	83.662	0.83
11	1.482	66.907	2.22
12	0.840	81.886	1.03
13	3.756	164.675	2.28
14	0.833	72.655	1.15
15	2.201	76.697	2.87
16	1.546	78.066	1.98
17	0.708	81.587	0.87
18	1.306	69.296	1.88
19	0.965	76.297	1.26
20	2.380	73.794	3.23
21	1.238	70.070	1.77
22	0.876	81.702	1.07
23	0.845	74.791	1.13

注:Zn 有效率为有效 Zn 占全 Zn 的比例。

2.2 豫西地区土壤有效 Zn 的分布特征

对本次采集的 546 个土壤样品的有效 Zn 含量统计分析(表 2)发现,豫西地区土壤有效 Zn 含量介于 0.272~7.020 mg/kg,平均值为 1.147 mg/kg,变异系数为 77.620%,数据分布离散。说明豫西地区有效 Zn 含量随区域地形、土壤类型等的差异而变异较大。就区域分布来看,如表 2 所示,豫西地区有效 Zn 含量以洛宁县平均含量较高,为 1.337 mg/kg,以伊川县平均含量较低,仅为 0.793 mg/kg,极差达 0.544 mg/kg,就同一区域而言,有效 Zn 含量分布也不均匀,以新安县有效 Zn 变化较小,变异系数为 31.304%,以嵩县变异最大,达 92.670%。

不同地形条件下有效 Zn 含量也显著不同,且表现为山地<丘陵<平原,以平原含量最高,可达 1.318 mg/kg,山地最低(0.879 mg/kg),相同地形条件下变异也不同,以平原地区最大,变异系数为 72.15%,山地最小,变异系数为 54.26%(表 3)。

表 2 豫西地区土壤有效 Zn 的区域分布特征

采样区域	平均值/ (mg/kg)	标准差/ (mg/kg)	变异 系数/%	最小值/ (mg/kg)	最大值/ (mg/kg)
洛宁县	1.337	0.538	40.239	0.388	3.138
孟津县	1.063	0.790	74.318	0.433	4.029
汝阳县	1.177	0.976	82.923	0.398	7.020
嵩县	1.146	1.062	92.670	0.272	5.313
新安县	0.805	0.252	31.304	0.512	1.642
伊川县	0.793	0.274	34.552	0.393	1.667
宜阳县	0.922	0.369	40.022	0.400	2.625
豫西地区	1.147	0.866	77.620	0.272	7.020

表 3 豫西地区土壤有效 Zn 的地形分布特征

地形	平均值/ (mg/kg)	标准差/ (mg/kg)	变异 系数/%	最小值/ (mg/kg)	最大值/ (mg/kg)
山地	0.879	0.477	54.27	0.272	4.029
丘陵	1.154	0.638	55.29	0.400	7.020
平原	1.318	0.951	72.15	0.388	5.313

2.3 影响土壤有效 Zn 含量的因素分析

2.3.1 有效 Zn 含量与土壤 pH 值的关系 一般认为,随着土壤 pH 值降低,土壤 Zn 的有效性有呈增加的趋势,回归分析结果表明,在供试土壤上有效 Zn 含量与 pH 值呈显著负相关关系,直线方程和指数方程的相关系数均达显著水平,以直线回归方程的相关系数最大,说明在豫西地区有效 Zn 含量随 pH 值升高呈现线性降低趋势(表 4)。

2.3.2 有效 Zn 含量与有机质的关系 豫西地区土壤有机质含量与有效 Zn 含量之间呈显著正相关,幂函数和指数函数回归方程相关系数为 0.222 和 0.210,均达到极显著水平,其中幂函数回归方程相关系数最大,说明幂函数方程可以更好地表示二者的相关性。由此可见,土壤有机质可以促进 Zn 元素的活化,从而提高其有效性。这主要是因为有机质中的酸性基团可以活化土壤 Zn,从而形成可溶性 Zn 的络合物,增加其有效性<sup>[14]</sup>。

2.3.3 有效 Zn 含量与土壤 N、P 含量的关系 由表 4 可知,豫西地区土壤全 N 含量与有效 Zn 含量之间呈极显著正相关。幂函数和指数函数回归方程相关系数分别为 0.291 和 0.271,均达极显著水平,有效 Zn 随土壤 N 素含量增加而增加。其中幂函数回归方程相关系数最大,可以更好地表示土壤有效 Zn 与土壤全 N 之间的关系,说明土壤增施 N 肥可以提高 Zn 的有效性,这可能与施用氮肥促进作物根系生长,促进了土壤 Zn 的活化有关。

豫西地区土壤全 P 含量与有效 Zn 含量之间呈正相关关系,未达到显著水平(表 4)。而土壤速效 P 与有效 Zn 含量之间呈极显著正相关关系,即速效 P 含量越高,有效 Zn 含量越高。在 3 种回归方程的回归系数中,幂函数和指数函数回归方程的相关系数分别为 0.296 和 0.225,分别达到极显著和显著水平,其中幂函数相关系数最大,可以较好地表达供试土壤速效 P 与有效 Zn 之间的相关关系。

2.3.4 海拔高度 通过对 546 个土壤样品(海拔介于 230~1 020 m)的海拔高度与有效 Zn 含量的相关分析可知,土壤海拔高度与有效 Zn 含量之间呈正相关关系,即海拔越高,有效 Zn 含量越高。由 3 种回归方程的相关系数分析可知,幂函数和指数函数的回归方程

相关系数达到极显著水平,指数函数可以更好地表达供试洛阳地区土壤样品有效 Zn 与海拔之间的相关性。不仅温度随海拔升高而降低,pH 值也随海拔升高而降低,本试验条件下(海拔<1 020 m),海拔与 pH 值的

关系为  $y = -0.0007x + 7.543$ , ( $r = 0.181, n = 400$  时  $r_{0.01} = 0.128$ ),二者呈负相关关系,达到极显著水平。因此,海拔高度对有效 Zn 含量的影响可能是由于 pH 值或者温度的变化造成的。

表 4 土壤性质与有效 Zn 含量回归方程

土壤性质	回归方程		
	直线方程	幂函数	指数函数
pH( $n=546$ )	$y = -0.182x + 2.421 (r = 0.116^*)$	$y = 2.933x^{-0.564} (r = 0.096)$	$y = 1.956e^{-0.098x} (r = 0.109^*)$
海拔( $n=546$ )	$y = 0.0003x + 0.966 (r = 0.098)$	$y = 0.170x^{0.284} (r = 0.161^{**})$	$y = 0.690e^{0.0007x} (r = 0.201^{**})$
有机质( $n=104$ )	$y = 0.222x + 0.985 (r = 0.094)$	$y = 0.807x^{0.693} (r = 0.222^*)$	$y = 0.494e^{0.498x} (r = 0.210^*)$
全 N( $n=104$ )	$y = 0.536x + 0.576 (r = 0.157)$	$y = 0.695x^{1.262} (r = 0.291^{**})$	$y = 0.284e^{0.923x} (r = 0.271^{**})$
全 P( $n=104$ )	$y = 0.0002x + 1.172 (r = 0.037)$	$y = 0.039x^{0.511} (r = 0.154)$	$y = 0.630e^{0.0008x} (r = 0.143)$
全 Zn( $n=23$ )	$y = 0.019x - 0.384 (r = 0.558^{**})$	$y = 0.046x^{0.710} (r = 0.305)$	$y = 0.532e^{0.008x} (r = 0.362)$
速效 P( $n=104$ )	$y = 0.023x + 1.045 (r = 0.181)$	$y = 0.358x^{0.453} (r = 0.296^{**})$	$y = 0.714e^{0.028x} (r = 0.225^*)$

注:括号内为各回归方程的相关系数,\*表示  $P < 0.05$  显著相关,\*\*表示  $P < 0.01$  显著相关, $n$  为样本数, $y$  为有效 Zn 含量, $x$  为土壤性质指标值。

2.3.5 有效 Zn 含量与作物茬口的关系 由表 5 可知,不同茬口土壤有效 Zn 含量差异显著,其中在前茬作物为大豆的土壤中含量为最高,前茬辣椒和花生的土壤有效 Zn 含量最低。前茬作物对土壤有效 Zn 含量的影响可能与作物根系对土壤 Zn 的活化、吸收有关。大豆根瘤菌的固 N 作用减少了对硝态氮的吸收、根系分泌物尤其是有机酸的分泌降低了土壤 pH 值,石中山等<sup>[15]</sup>认为施 N 肥可提高 Zn 的有效性,另外,大豆含 Zn 量较低,介于 32~59 mg/kg<sup>[16]</sup>,花生含 Zn 量(根系 82.9 mg/kg,茎叶 61.8 mg/kg)<sup>[17]</sup>较高,这也可能是前茬种植大豆的土壤有效 Zn 含量较前茬种植花生的土壤有效 Zn 含量高的一个原因。

表 5 不同作物茬口有效 Zn 含量

前茬作物	有效 Zn 含量/(mg/kg)
大豆(33)	1.457±0.255a
谷子(59)	0.983±0.080cde
红薯(64)	0.923±0.057de
花生(32)	0.800±0.051e
辣椒(35)	0.776±0.058e
烟草(252)	1.190±0.066bc
玉米(43)	1.063±0.107cd
芝麻(28)	1.357±0.408ab

注:表中数据为土壤平均值±标准误;括号内数字表示样本数;小写字母表示 0.05 水平显著性(LSD 法)。

2.3.6 影响土壤 Zn 有效性因素的通径分析 通径分析是通过自变量和因变量之间的相关分解来研究因变量的相对重要性。各因子对土壤有效 Zn 含量( $y$ )影响的多元回归方程为:

$y = -1.708 + 0.02x_1 + 0.103x_2 + 0.428x_3 + 0.146x_4 + 0.014x_5$ , 式中  $y$  为有效 Zn 含量(mg/kg),  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  分别为海拔高度、有机质含量、全 N 含量、pH 值、速效 P 含量。模型检验达到显著

水平( $F = 2.908$ , Significance  $F = 0.017$ ),说明进行通径分析具有意义。通径分析结果显示,有效 Zn 的影响因子  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  对有效 Zn 含量  $y$  的直接作用分别为:  $P_{1y} = 0.314, P_{2y} = 0.043, P_{3y} = 0.125, P_{4y} = 0.083, P_{5y} = 0.108$ 。由此可知,各因子对有效 Zn 的影响程度大小顺序为海拔>全 N>速效 P>pH 值>有机质。即从供试豫西地区土壤的测定指标综合因素来看,海拔对有效 Zn 含量直接影响最大,其次是全 N 含量。

### 3 结论与讨论

豫西地区土壤(pH 值范围为 4.3~7.7)全 Zn 含量在 63.437~164.675 mg/kg,平均值为 81.483 mg/kg,有效 Zn 含量为 0.272~7.020 mg/kg,平均值为 1.147 mg/kg。土壤有效 Zn 含量在不同地貌区差异显著,平原土壤中 Zn 含量最高。豫西地区土壤有效 Zn 含量与土壤全 Zn 含量、海拔高度、全 N 含量、速效磷含量、有机质含量呈极显著正相关,与 pH 值呈显著负相关关系。土壤有效 Zn 含量与土壤全 Zn 含量、pH 值的相关性用直线回归方程可以较好地拟合,幂函数回归方程可以较好地表示土壤有效 Zn 含量与土壤有机质、全 N、速效 P 含量的相关关系,而指数函数回归方程可以较好地表示土壤有效 Zn 含量与海拔高度的相关关系。影响因子中海拔高度对 Zn 有效性的直接影响作用最大,其次是全 N,可以通过增施氮肥来提高土壤 Zn 的有效性。

参考文献:

- [1] 张洁,姚宇卿,吕军杰,等. 豫西旱坡地长期保护性耕作土壤酶活性及其与肥力关系[J]. 干旱地区农业研究, 2011,29(2):142-146. (下转第 88 页)

的能力强于黑麦草。梨园种植白三叶草和黑麦草对土壤全氮、全磷、全钾有不同的影响,白三叶草和黑麦草可提高 0~40 cm 土层的全氮量,对全钾的含量无显著影响,但白三叶草和黑麦草可降低 0~40 cm 土层的全磷含量,生产中应注意增施磷肥。

3) 梨园种植白三叶草可显著提高土壤中脲酶、蔗糖酶活性,提高土壤磷酸酶活性,降低土壤过氧化氢酶活性;种植多年生黑麦草可显著提高土壤中脲酶、过氧化氢酶活性,提高蔗糖酶活性,降低磷酸酶活性。

4) 土壤脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶、蔗糖酶活性与土壤养分之间存在一定的相关性,说明土壤养分、土壤酶之间是相互作用、相互影响的,因此,将土壤酶与土壤养分相结合作为评价土壤肥力的指标之一,对土壤肥力评价指标体系具有重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 周志翔,李国怀,徐永荣. 果园生态栽培及其生态生理效应研究进展[J]. 生态学杂志,1997,16(1):45-52.
- [2] Greenham D W P. The environment of the fruit tree, managing fruit soils[J]. Hort Sci,1995,12:25-31.
- [3] 李全胜,吴建军,叶旭君,等. 土壤—植物下垫面对微生态环境的影响[J]. 应用生态学报,1999,10(2):241-244.
- [4] 李全胜,吴建军,王兆骞,等. 套种黑麦草对桃园近地层水热环境的影响及模拟研究[J]. 浙江农业学报,2000,12(1):20-24.
- [5] 毛培春,孟林,张周芳,等. 白三叶草对桃同小气候和桃品质的影响[J]. 草地学报,2006,14(4):360-364.
- [6] 刘梦云,常庆瑞,齐雁冰,等. 宁南山区不同土地利用方式土壤酶活性特征研究[J]. 中国生态农业学报,2006(3):67-70.
- [7] 路磊,李忠佩,车玉萍,等. 不同施肥处理对黄泥土微生物量碳氮和酶活性的影响[J]. 土壤,2006,38(3):309-314.
- [8] 徐雄,张健,张猛,等. 果—草人工生态系统中土壤微生物、土壤酶与土壤养分的关系[J]. 水土保持学报,2005,19(6):178-181.
- [9] 刘磊,陈立波,李志勇,等. 不同种植年限苜蓿对撂荒地土化学性状的影响[J]. 华北农学报,2011,26(B12):140-145.
- [10] 贾伟,周怀平,解文艳,等. 长期秸秆还田秋施肥对褐土微生物碳、氮量和酶活性的影响[J]. 华北农学报,2008,23(2):138-142.
- [1] 周志翔,李国怀,徐永荣. 果园生态栽培及其生态生理效应研究进展[J]. 生态学杂志,1997,16(1):45-52.
- [2] 郝汉舟,靳孟贵,李瑞敏,等. 耕地土壤铜、镉、锌形态及生物有效性研究[J]. 生态环境学报,2010,19(1):92-96.
- [3] 崔海燕,王明娣,介晓磊,等. 石灰性褐土中磷锌镉相互作用对其有效性的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(1):97-103.
- [4] Meers E, Unamuno V R, Du Laing G, et al. Zn in the soil solution of unpolluted and polluted soils as affected by soil characteristics[J]. Geoderma, 2006, 136(1-2):107-119.
- [5] 刘芳,崔海燕,介晓磊,等. 褐土含磷量对锌镉吸附与解吸的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(9):1862-1866.
- [6] 杜彩艳,祖艳群,李元. pH 和有机质对土壤中镉和锌生物有效性影响研究[J]. 云南农业大学学报,2005,20(4):539-543.
- [7] 严连香,黄标,邵学新,等. 长江三角洲典型地区土壤有效铜和锌的时空变化及其影响因素研究[J]. 土壤通报,2007,38(5):971-977.
- [8] 何忠俊,华珞,洪常青. 氮锌交互作用对黄棕壤锌形态的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(2):209-212.
- [9] 杨丽娟,李天来,刘好,等. 长期施用有机肥和化肥对菜田土壤锌有效性的影响[J]. 土壤通报. 2005,36(3):395-397.
- [10] 张淑香,王小彬,金柯,等. 干旱条件下氮、磷水平对土壤锌、铜、锰、铁有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(4):391-396.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 刘铮,朱其青. 微量元素的农业化学[M]. 北京:中国农业出版社,1991.
- [14] 王治喜. 溶解性有机质对紫色土中锌化学行为的影响[D]. 重庆:西南大学,2006.
- [15] 石中山,王春苗,特拉津·那斯尔,等. 重庆地区酸性紫色土锌有效性及其影响因素研究[J]. 土壤,2010,42(4):600-605.
- [16] 刘三才,任贵兴,朱志华,等. 豆类作物微量营养元素铁锌含量遗传研究概述[J]. 中国食物与营养,2009(12):48-50.
- [17] 赵明,蔡葵,任艳,等. 不同花生品种重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr 富集与转运规律[J]. 花生学报,2010,39(3):1-7.

(上接第 80 页)