

# 重庆地区酸性紫色土锌有效性及其影响因素研究<sup>①</sup>

石中山<sup>1</sup>, 王春苗<sup>1</sup>, 特拉津·那斯尔<sup>2</sup>, 杨剑虹<sup>1\*</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 伊犁职业技术学院农业工程系, 新疆伊犁 835000)

**摘要:** 以重庆地区紫色土为对象, 研究了重庆地区酸性紫色土 Zn 有效性及主要影响因素。结果表明: 供试紫色土全 Zn 含量为 40.2 ~ 89.6 mg/kg, 有效 Zn 含量在 0.2 ~ 4.2 mg/kg 之间; 用直线、幂函数和指数函数回归方程对影响有效 Zn 的主要土壤因素进行回归拟合, 土壤有效 Zn 与土壤全 Zn、有机质、全 N 含量呈极显著正相关关系, 相关系数依次为 0.524 3\*\*、0.530 8\*\*、0.509 7\*\*; 而与全 P 含量相关性显著 ( $r = 0.463 7^*$ ); 与土壤 pH 值呈极显著负相关关系 ( $r = -0.569 8^{**}$ ); 通径分析表明, 土壤理化性质对有效 Zn 的直接作用系数大小次序为全 Zn > 全 N > pH, 土壤全 Zn 对 Zn 有效性的直接作用最为明显。

**关键词:** 酸性紫色土; 锌; 有效性; 影响因素

**中图分类号:** S153

除母质因素外, 土壤全 Zn 含量的高低强烈地受到与土壤淋溶、淀积等相关的成土条件的影响。从地球化学角度来看, Zn 属中等迁移活性的元素, 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。Curtin 等<sup>[1]</sup>研究表明, pH 增加 1 个单位, 土壤溶液 Zn 离子浓度降低 4 ~ 10 倍, 土壤溶液中 Zn 的浓度与 pH 值负相关性达到极显著水平<sup>[2]</sup>。杨丽娟等<sup>[3]</sup>研究表明, 施 P 对土壤有效 Zn 含量影响不明显。而张淑香等<sup>[4]</sup>研究则得出施 P 可以增加土壤有效 Zn、Mn 含量的结果。Atanu 等<sup>[5]</sup>认为, 施 P 对土壤可提取态 Zn 影响结果不一致。富含有机质的土壤, 有效态 Zn 含量也高<sup>[6]</sup>; 施 N 明显提高土壤有效 Zn 含量<sup>[7]</sup>。

作为重庆市分布最广的土类, 紫色土面积占全市农用地总面积的 33.22%; 其中, 多为酸性紫色土, 在 1 m 左右深度的土壤剖面中, Zn 的分布比较均匀, 并没有积累于表层的趋势<sup>[8]</sup>, 但在农业生产中, 仍不时会有缺 Zn 表现。目前对于紫色土中 Zn 的有效性水平及其影响因素研究较少。因此, 本文选取重庆市内不同区域酸性紫色土, 通过对全 Zn、有效 Zn 及土壤基本性质的测定, 旨在分析紫色土全 Zn、有效 Zn 水平, 以及对 Zn 有效性的影响因素, 为合理改善土壤性质、合理施用 Zn 肥提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土样采集

土壤样品分别采自重庆垫江、奉节、武隆、丰都、合川、梁平、万州、长寿、荣昌、铜梁、云阳、石柱、开县等地。在各采样区选择代表性紫色母质发育的酸性旱地土作为采样点, 各样点经多点采集耕作层 (0 ~ 20 cm) 土壤后制成混合样品。共采集 26 个土壤样品, 基本性质如表 1。

### 1.2 土壤样品分析

(1) 土壤全 Zn 测定: NaOH 熔融法-原子吸收分光光度法测定 (日立 Z-5000)。

(2) 土壤有效 Zn 测定: 采用 0.1 mol/L HCl 提取 (pH < 6.5), 土: 水 = 1 : 2, 恒温 (25℃) 振荡 2 h, 过滤, 滤液用原子吸收分光光度法测定 (日立 Z-5000)。

(3) 土壤其他基本性质的测定<sup>[9]</sup>: 土壤 pH 值采用电位计法 (土: 水 = 1 : 1), 有机质采用重铬酸钾容量法 (外加热法), 全 N 用半微量凯氏法; 全 P 用 NaOH 熔融法-钼兰比色法测定, 设 3 次重复。

### 1.3 数据处理

回归分析采用 Microsoft Excel 统计软件, 通径分析采用 SPSS 10.0 For Windows 进行处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 酸性紫色土锌含量及有效性水平

我国土壤全 Zn 含量在 3 ~ 709 mg/kg, 平均为 100 mg/kg<sup>[10]</sup>。由表 2 可知, 供试重庆地区酸性紫色土全 Zn 含量范围为 22.4 ~ 89.3 mg/kg, 最高含量与最低含

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BADA4B01) 和西南大学生态学重点学科“211 工程”建设项目资助。

\* 通讯作者 (yjh@swu.edu.cn)

作者简介: 石中山 (1984—) 男, 重庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤化学。E-mail: shanshan632@hotmail.com

表1 土壤样品基本情况

Table 1 Basic properties of tested soils

样品编号	采样点	土壤母质	土种名称	土壤利用方式
1	垫江	侏罗纪沙溪庙组砂岩	沙土	麦-玉-苕
2	垫江	侏罗纪沙溪庙组砂、泥岩	半沙半泥	麦-玉-苕
3	垫江	侏罗纪沙溪庙组泥岩	石骨子夹沙	麦-玉-苕
4	奉节	侏罗纪沙溪庙组泥岩	大眼泥	麦-芝麻
5	武隆	侏罗纪沙溪庙组泥岩	半沙半泥	麦-玉-苕
6	丰都	侏罗纪自流井组泥、页岩	沙土	麦(花生)-玉-苕
7	合川	侏罗纪沙溪庙组泥岩	半沙半泥	菜园
8	梁平	侏罗纪沙溪庙组砂岩	沙土	麦-玉-苕
9	梁平	侏罗纪沙溪庙组砂岩	夹沙土	低产果园
10	梁平	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥	麦-玉-苕
11	万州	侏罗纪沙溪庙组泥岩	半沙半泥	麦-玉-苕
12	万州	侏罗纪沙溪庙组泥、页岩	大眼泥	麦-玉-苕
13	长寿	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥土	麦-玉-苕
14	长寿	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥	新果园 夏橙
15	荣昌	侏罗纪沙溪庙组砂岩	沙土	柑桔
16	荣昌	侏罗纪遂宁组泥岩	紫黄泥土	生姜
17	荣昌	侏罗纪遂宁组粉砂岩	半沙半泥	麦-玉-苕
18	铜梁	侏罗纪蓬莱镇组砂岩	油沙土	苕-蔬
19	云阳	侏罗纪蓬莱镇组砂岩	半沙半泥土	脐橙园
20	石柱	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥	玉-苕
21	石柱	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥土	蔬菜
22	石柱	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥土	辣椒
23	开县	侏罗纪沙溪庙组砂岩	沙土	柑橘园
24	开县	侏罗纪遂宁组粉砂岩	半沙半泥土	玉-苕-蔬菜
25	开县	侏罗纪沙溪庙组砂岩	半沙半泥土	红桔园
26	开县	侏罗纪沙溪庙组砂泥岩	半沙半泥	脐橙丰产园

注：土壤名称采用紫色土习惯命名。

表2 土壤样品分析结果

Table 2 Analytical results of tested soils

样品编号	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 Zn (mg/kg)	有效 Zn (mg/kg)
1	4.9	7.71	0.538	0.515	51.9	1.25
2	4.7	12.8	0.897	0.763	61.8	1.55
3	6.0	11.0	0.812	0.703	68.5	1.32
4	6.1	14.1	0.922	0.464	62.5	3.59
5	6.4	12.3	0.646	0.293	39.4	0.198
6	5.2	9.04	0.574	0.426	58.2	0.348
7	4.5	10.4	0.833	0.676	57.1	1.51
8	4.7	11.1	0.820	0.264	48.8	2.20
9	4.9	11.3	0.793	0.497	67.0	1.32
10	6.0	5.77	0.494	0.323	47.8	1.73
11	5.2	10.0	0.664	0.746	78.7	9.76
12	4.9	19.5	0.474	0.647	78.0	9.76
13	4.6	13.1	0.886	0.813	64.7	3.13

续表 2

14	4.4	10.3	0.596	0.591	51.8	2.92
15	4.8	10.6	0.676	0.419	22.4	1.83
16	3.9	18.1	0.990	0.759	37.2	2.80
17	4.3	12.2	0.792	0.734	62.9	2.90
18	5.3	8.16	0.572	0.420	61.3	0.579
19	6.2	8.99	0.608	0.601	66.7	1.45
20	4.3	18.6	1.24	0.481	53.9	1.68
21	5.9	12.4	0.731	0.595	58.3	1.53
22	5.1	6.18	0.766	0.646	53.4	1.32
23	6.0	12.8	0.656	0.531	66.0	1.79
24	5.6	11.5	0.562	0.322	48.7	2.18
25	4.6	20.6	1.11	0.729	68.6	2.03
26	6.0	17.0	0.908	2.01	89.3	3.20

量之间相差近 4 倍, 全Zn含量变异系数为 23.6%, 分布相对集中。土壤有效Zn含量 0.198 ~ 9.76 mg/kg, 平均值为 2.46 mg/kg, 样本有效Zn变异系数为 94.2%, 数据分布离散, 变异较大, 说明土壤Zn有效性受诸多因素的影响。

## 2.2 影响土壤有效锌的因素分析

### 2.2.1 土壤全Zn与有效Zn含量的关系

土壤全Zn是土壤供应Zn的基础, 其含量受到成土母质和成土过程等因素的影响。由图 1 可以看出, 土壤有效Zn含量随着全Zn含量的变化而变化, 且呈现正态相关性。将土壤全Zn含量与有效Zn含量作相关性分析, 由表 3 可以看出, 土壤全Zn与有效Zn之间存在着极显著正相关, 即供试重庆地区酸性紫色土全Zn含量高, 有效Zn含量也相对较高, 在幂函数、指数函数和直线回归方程的回归系数中, 直线方程的相关系数 $r$ 值最大, 达到 0.524

3\*\*, 可以较好地表达供试土壤全Zn与有效Zn之间的相关关系。

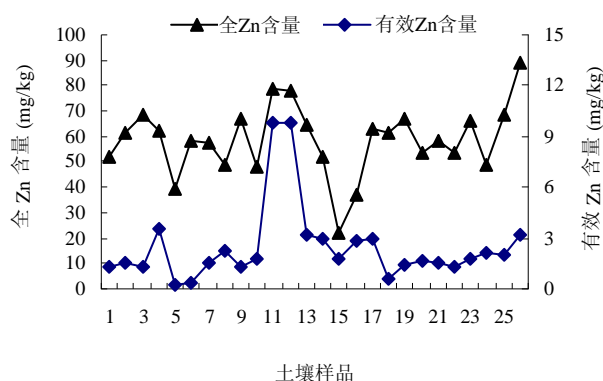


图 1 土壤全Zn与有效Zn含量

Fig. 1 Contents of soil total zinc and available zinc

表 3 土壤性质与有效 Zn 含量回归方程

Table 3 Regression equations between soil properties and available zinc content

土壤性质	回归方程		
	直线方程	幂函数	指数函数 n
全 Zn	$Y = 0.0832X - 2.4587$ ( $r = 0.5243^{**}$ )	$Y = 0.0278X^{1.0316}$ ( $r = 0.3524^*$ )	$Y = 0.4169e^{0.0248X}$ ( $r = 0.4382^*$ )
有机质	$Y = 0.2424X - 0.7976$ ( $r = 0.5308^{**}$ )	$Y = 0.1418X^{1.0091}$ ( $r = 0.4337^*$ )	$Y = 0.5631e^{0.0897X}$ ( $r = 0.4640^*$ )
全 N	$Y = 5.5801X - 1.9438$ ( $r = 0.4783^{**}$ )	$Y = 2.833X^{1.6924}$ ( $r = 0.5097^{**}$ )	$Y = 0.3416e^{2.1092X}$ ( $r = 0.5074^{**}$ )
全 P	$Y = 5.0928X - 0.4164$ ( $r = 0.3537$ )	$Y = 3.6302X^{1.1478}$ ( $r = 0.4490^*$ )	$Y = 0.4716e^{2.3603X}$ ( $r = 0.4637^*$ )
pH	$Y = -0.6269X + 4.9271$ ( $r = 0.5698^{**}$ )	$Y = 82.795X^{-2.4879}$ ( $r = 0.5124^{**}$ )	$Y = 17.084e^{-0.4807X}$ ( $r = 0.5092^{**}$ )

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,  $n = 26$ ,  $Y$ 为有效Zn含量,  $X$ 为土壤性质指标值。

### 2.2.2 土壤pH值与有效Zn含量的关系

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<sup>[11]</sup>。由表 2、3 可见, 这种趋势在酸性紫色土上表现非

常明显。供试土壤pH值在 3.9 ~ 6.4 之间, 回归分析结果表明在供试土壤上有效Zn含量与土壤pH值呈极显著的负相关关系。即土壤pH值降低, Zn有效性增强, 反

之有效性差。直线、幂函数和指数函数回归方程相关系数分别为 0.569 8\*\*、0.512 4\*\*、0.509 2\*\* (表 3)，相关性均达到极显著水平。其中直线方程的相关系数最大( $r = 0.569 8^{**}$ )，说明直线方程可以较好地表达二者的相关性。土壤 pH 值和有效 Zn 之间的直线方程回归曲线如图 2a 所示，二者呈现良好的相关性。

**2.2.3 土壤全 P 与有效 Zn 含量的关系** 由表 3 可知，供试紫色土全 P 与有效 Zn 含量之间呈正相关关系，即土壤 (全 P < 1 000 mg/kg)，P 含量越高，土壤有效

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方程相关系数达到显著水平，而其中指数函数的相关系数最高，达到  $r = 0.463 7^*$ 。故指数函数可以较好地表达供试重庆地区酸性紫色土样品有效 Zn 与 P 含量之间的相关性 (图 2b)。说明在酸性紫色土中施 P 可以增加 Zn 的有效性，这可能是由于磷酸根与  $Zn^{2+}$  在土壤中可变电荷的表面上发生竞争性专性吸附，使  $Zn^{2+}$  进入土壤溶液，提高 Zn 的有效性。

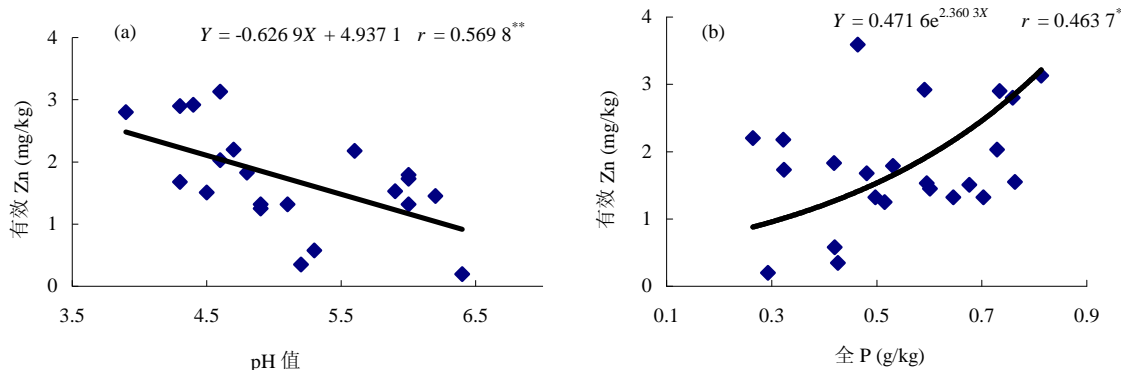


图 2 土壤 pH 值和全 P 与有效 Zn 的相关关系回归曲线

Fig. 2 Regression between pH, total phosphorus and available zinc

**2.2.4 土壤有机质与有效 Zn 含量的关系** 由表 3 可知，土壤有机质含量与有效 Zn 含量之间呈显著正相关，3 种拟合方程的相关系数分别达到 0.530 8\*\*、0.433 7\* 和 0.464 0\*，其中直线回归方程 (图 3a) 的相关系数最大，说明其可以更好地表示土壤有机质与有效 Zn 之间的相关性。说明土壤有机质可以活化 Zn 元素，提高其有效性。

**2.2.5 土壤全 N 与有效 Zn 含量的关系** 与土壤有机质一样，酸性紫色土全 N 与有效 Zn 含量之间呈现极显著的正相关。3 个回归方程的相关系数分别为 0.478 3\*\*、0.509 7\*\* 和 0.507 4\*\*，从而可知土壤 N 素与有效 Zn 含量之间的正相关关系密切且稳定。其中幂函数 (图 3b) 回归方程相关系数最大，可以更好地表示土壤有效 Zn 与全 N 之间的关系。说明土壤施用 N 肥可以

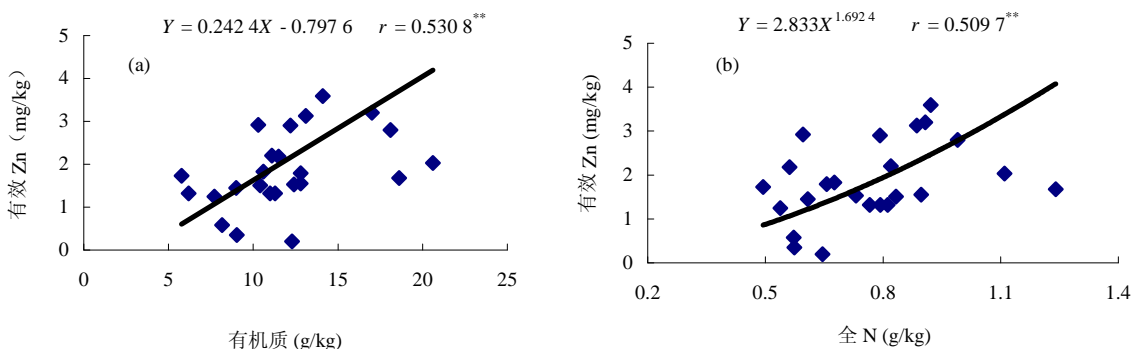


图 3 土壤有机质和全 N 与有效 Zn 的相关关系回归曲线

Fig. 3 Regressions between SOC, total nitrogen and available zinc



提高Zn的有效性。

### 2.3 影响土壤锌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。将试验中测定的影响土壤Zn有效性的各效应因子与有效Zn进行回归分析可得线性回归方程： $Y = 0.362X_1 - 0.088X_2 + 0.315X_3$ ，其中Y为有效Zn含量， $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 分别为土壤全Zn含量、pH值和全N含量。模型检验达到显著水平 ( $F = 3.574$ , Significance  $F = 0.030$ )，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 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 与有效Zn含量Y的直接通径系数分别为：0.362、-0.088和0.315。从各影响因子对有效Zn影响的通径系数可知，对有效Zn的影响程度大小顺序依次为：全Zn > 全N > pH。即从供试重庆地区紫色土的测定指标综合因素来看，土壤全Zn对Zn有效性影响最大，可以促进Zn的有效化，其次是全N含量。

### 3 结论

(1) 供试重庆地区酸性紫色土 (pH范围在3.9 ~ 6.4) 全Zn含量主要分布在40.2 ~ 89.6 mg/kg之间，平均值为58.7 mg/kg，有效Zn含量在0.423 ~ 2.86 mg/kg之间，平均值为2.46 mg/kg。

(2) 重庆地区紫色土有效Zn与土壤全Zn、有机质、全N含量呈极显著正相关，相关系数依次为0.524 3\*\*、0.530 8\*\*、0.509 7\*\*；而与全P含量相关性显著 ( $r = 0.463 7^*$ )；与土壤pH值呈极显著负相关，相关系数为0.569 8\*\*。

(3) 土壤有效Zn与土壤全Zn、有机质、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有效Zn与土壤全N的相关关系，而指数函数可较好地表达有效Zn与土壤全P的相关性。

(4) 通径分析表明，有效Zn影响因子中全Zn对Zn有效性的直接作用最为明显，其次是全N，即施用N

肥可以直接增加Zn的有效性。

### 参考文献:

- [1] Curtin D, Smillie GW. Soil solution composition as affected by liming and incubation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1983, 47(4): 701-707
- [2] Meers E, Unamuno VR, Du Laing G, Vangronsveld J, Vanbroekhoven K, Samson R, Diels L, Geebelen W, Ruttens A, Vandegehuchte M, Tack FMG. Zn in the soil solution of un-polluted and polluted soils as affected by soil characteristics. *Geoderma*, 2006, 136: 107-119
- [3] 杨丽娟, 李天来, 刘好, 苏娜. 长期施用有机肥和化肥对菜田土壤锌有效性的影响. *土壤通报*, 2005, 36(3): 395-397
- [4] 张淑香, 王小彬, 金柯, 李秀英, 周勇, 姚宇卿. 干旱条件下氮、磷水平对土壤锌、铜、锰、铁有效性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4): 391-396
- [5] Atanu B, Mandal LN, Haldar M. Interaction of phosphorus and molybdenum and the availability of zinc, copper, manganese, molybdenum and phosphorus in waterlogged rice soil. *Plant and Soil*, 1982, 68: 271-278
- [6] 曾昭华. 农业生态与土壤环境中锌元素的关系. *吉林地质*, 2001, 20(3): 58-63
- [7] 何忠俊, 华璐, 洪常青. 氮锌交互作用对黄棕壤锌形态的影响. *农业环境科学学报*, 2004, 23(2): 209-212
- [8] 李贵, 欧阳洮, 钱承梁. 紫色土性水稻土中锌的含量状况以及锌肥对防治水稻僵苗的作用. *土壤*, 1982, 14(6): 220-223
- [9] 杨剑虹, 王成秋, 代亨林. *土壤农化分析与环境监测*. 北京: 中国大地出版社, 2008
- [10] 刘铮, 朱其清. *微量元素的农业化学*. 北京: 北京农业出版社, 1991
- [11] 韩凤祥, 胡霁堂, 秦怀英, 史瑞和. 我国某些旱地土壤中锌的形态及其有效性. *土壤*, 1990, 22(6): 302-306

## Available Zinc Content and Influence Factors of Acidity Purple Soil in Chongqing

SHI Zhong-shan<sup>1</sup>, WANG Chun-miao<sup>1</sup>, TELAJIN-Nasir<sup>2</sup>, YANG Jian-hong<sup>1</sup>

(1 *College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;*

*2 Yili Vocational and Technical College, Yili, Xinjiang 835000, China*)

**Abstract:** Soil total zinc, available zinc and other soil properties were measured to determine their distribution and to identify the influence factors for their variability in Chongqing. The results showed that soil total zinc ranged mostly from 40.2 to 89.6 mg/kg and available zinc was lower, mostly from 0.2 to 4.2 mg/kg. The analytical results of power functions, linear and exponential regression equations showed available zinc content significantly positively correlated with total zinc, organic matter, total nitrogen and total phosphorus contents ( $r = 0.524 3^{**}$ ,  $0.530 8^{**}$ ,  $0.509 7^{**}$  and  $0.463 7^*$ , respectively), but significantly negatively correlated with pH value ( $r = -0.569 8^{**}$ ); The results of path analysis indicated that the direct acting coefficients of soil chemical and physical factors on soil available zinc were in the following order: total zinc > total nitrogen > pH, the effect of total Zn on available zinc was most.

**Key words:** Acidity purple soil, Zinc, Validity, Related properties