

局部施磷对玉米磷、锌拮抗作用的影响

王 岩¹, 郭 涛², 邢 丹^{1*}

(1. 贵州省农业科学院辣椒研究所, 贵州 贵阳 550006; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘 要: 以玉米为试验材料, 采用分根装置 (设置 A、B 根室), 研究了不同锌水平下局部施磷或整体施磷对玉米生长以及磷、锌含量的影响。试验设置 3 个磷水平 (0、100、200 mg/kg, 分别记为 P0、P100、P200), 两个锌水平 (0、5 mg/kg, 分别记为 Zn0、Zn5)。玉米生长 40 d 后收获, 测定其地上部与地下部生物量、磷、锌元素含量。结果显示, 无锌供应条件下, 所有处理地上部和地下部的生物量随施磷水平的提高而显著增加, 供锌处理后, 生物量变化也有相同的趋势。局部施磷导致施磷一侧地下部生物量显著增加。玉米植株磷含量会随施磷水平的提高而增加, 而锌含量呈相反的变化趋势。供锌条件下, 供磷 (P100、P200) 一侧 (B 室) 相对未供磷 (P0) 一侧 (A 室) 锌含量分别显著降低了 16.7% 和 16.1%; 不供锌条件下, 锌含量分别降低了 13.1% 和 19.9%。玉米植株磷吸收量与根部生物量 (B 室) 的比值随施磷水平的提高呈下降趋势, 且相对于均匀施磷, 局部施磷条件导致 B 室的这一比值显著降低。局部施磷方式加剧了磷对锌的拮抗作用, 抑制了根对锌的吸收, 同时磷水平的提高抑制锌由地下部向地上部转运; 磷、锌拮抗作用的发生是玉米植株的整体反应, 而非只发生在局部。

关键词: 分根试验; 锌; 磷; 拮抗作用

磷是作物生长所必需的大量营养元素之一, 对作物产量的形成有着重要作用。然而由于淋洗、固定、土壤生化过程等原因, 土壤中的磷元素通常呈现高度的异质性分布^[1]。对于施入土壤中的磷肥, 也很容易被土壤中大量的钙、铁、铝化合物所固定, 因此磷在根际的分布变异较大, 植物根系通常处于局部供磷的情况^[2]。为了从土壤中的磷富集区捕获足够的磷来满足自身生长发育需要, 植物通常会增加根系在磷富集区内的生长和扩大根系表面积来增强对磷的吸收^[3-4]。有研究者在对小麦、油菜、玉米等作物的研究中证实了局部磷肥的施用对根系的刺激效应^[5-6]。磷、锌存在显著的交互作用, 磷肥的大量施用和在土壤中的富集是影响土壤和作物锌营养的关键因素^[7-8], 施入土壤中的磷酸盐被土壤中大量的钙、铁、铝化合物固定后, 能将锌固定在土壤胶体表面, 进而降低锌的生物有效性^[9], 说明了土壤中有效锌的化学失活是磷-锌拮抗作

用的主要机制, 水培条件下营养液中磷浓度的增加未降低植物中锌的含量进一步支持了这一结论^[10]。在农业生产施肥过程中, 为了减少土壤对施入的磷肥的固定, 采用局部施肥的方式, 这种方式在一定程度上减少了磷与锌广泛接触几率, 是否会减弱磷、锌拮抗作用呢? 目前的研究较少。

因此, 当植物根系处于局部供磷的情况时, 磷、锌之间的拮抗作用是否会减弱? 磷、锌之间的拮抗作用为整体还是局部反应? 这些问题有助于深刻理解磷、锌之间的拮抗作用。故本试验利用分根技术手段, 研究根系局部施磷对玉米生长状况以及磷、锌拮抗作用的影响。这对于调整施肥方式提高作物磷、锌利用率具有重要意义, 同时为从根本上理解磷、锌之间的拮抗作用机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试作物: 玉米 (*Zea mays* L.) “精科糯 2000”。种子用 10% H₂O₂ 表面消毒 10 min, 随后用蒸馏水冲洗, 在 25℃ 恒温培养箱中催芽 30 h 后, 在盛有石英砂的培养盆中育苗, 随时补充水分和养分, 待根系长出 5 ~ 8 cm 时进行分根。

供试土壤: 供试土壤为中性紫色土, 采自西南大学国家紫色土肥力与肥料效益监测站。基本性状

收稿日期: 2018-09-11; 录用日期: 2018-10-19

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金 (CARS-24-G-19); 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2018] 2329; 黔科合平台人才 [2017] 5709)。

作者简介: 王岩 (1991-), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 研究方向为植物养分资源管理。E-mail: 270237985@qq.com。

通讯作者: 邢丹, E-mail: 2004xingdan@163.com。

为 pH 值 6.7、有机质 19.52 g/kg、碱解氮 21.07 mg/kg、全钾 14.44 g/kg、有效磷 28.71 mg/kg、速效锌 1.05 mg/kg。

1.2 试验设计

试验容器选用塑料盆，将塑料盆从中间分隔开，用聚氯乙烯粘合剂将塑料布粘在中间，并用密封胶密封使其不漏水，从而将盆分隔成两个根室（A、B 室），两室之间无连通，玉米根系平均分配在 2 个根室。模拟农业生产实践中穴施的方法，对玉米进行局部施磷（图 1）。试验设置 3 个磷水平（0、100、200 mg/kg），两个锌水平（0、5 mg/kg），试验共设置 10 组处理（表 1），每个处理 4 个重复。所有处理控制氮水平 150 mg/kg，钾水平 100 mg/kg。磷肥用过磷酸钙，锌肥用硫酸锌，氮肥用硝酸铵，钾肥用硫酸钾。试验在植物营养光照培养室进行，每天补充光照，控制光照时间（14 h/d），控制温度（25℃），称重法控制土壤水分含量，使之保持在田间持水量的 50% ~ 60% 之间。

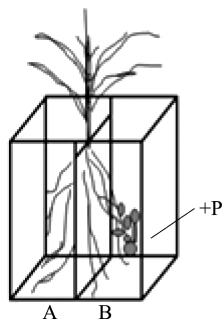


图 1 分根装置试验示意图

表 1 试验处理

处理编号	A 根室		B 根室	
Zn0P0-0	P0	Zn0	P0	Zn0
Zn0P0-100	P0	Zn0	P100	Zn0
Zn0P0-200	P0	Zn0	P200	Zn0
Zn0P100-100	P100	Zn0	P100	Zn0
Zn5P0-0	P0	Zn5	P0	Zn5
Zn5P0-100	P0	Zn5	P100	Zn5
Zn5P0-200	P0	Zn5	P200	Zn5
Zn5P100-100	P100	Zn5	P100	Zn5

注：P0、P100、P200 表示施磷水平分别为 0、100、200 mg/kg；Zn0、Zn5 表示施锌水平分别为 0、5 mg/kg。

1.3 测定项目与方法

植株生长 40 d 后收获，植株地下部（分 A、B

室）和地上部用蒸馏水洗干净后，于 105℃ 杀青 30 min，然后 70℃ 烘干至恒重，用于生物量的测定。植株锌、磷含量的测定参照《土壤农业化学分析方法》^[11]。

1.4 数据处理

运用 SPSS 18.0 对试验数据进行二因素或单因素统计分析，5% 水平下 LSD 多重比较检验各处理平均值之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米植株生长的影响

均匀施磷条件下，地上部生物量会随着供磷水平的提高而显著增加（表 2），不供锌的情况下，相对于未供磷，均匀施磷为 100 mg/kg 时，地上部生物量显著提高了 165.9%，供锌时提高了 144.1%。局部施磷处理也能显著增加地上部生物量。当两种施肥方式所供磷总量相同时，局部施磷导致地上部生物量高于均匀施磷，这说明局部施磷对玉米的促生效果强于均匀施磷。整体而言，供磷水平和施肥方式相同时，与不供锌相比，供锌显著地增加了植株地上部的生物量。

表 2 不同处理对玉米生物量的影响 (g)

处理	地上部生物量	A 室生物量	B 室生物量
Zn0P0-0	2.47F	0.16aC	0.16aE
Zn0P0-100	5.03D	0.17bC	0.27aC
Zn0P0-200	7.07B	0.24bB	0.40aA
Zn0P100-100	6.57C	0.23aB	0.22aD
Zn5P0-0	3.47E	0.17aC	0.17aE
Zn5P0-100	6.37C	0.24bB	0.33aB
Zn5P0-200	8.50A	0.27bB	0.42aA
Zn5P100-100	8.47A	0.32aA	0.33aB
	显著性		
锌水平 (Z)	**	**	NS
磷水平 (P)	**	**	**
磷水平 × 锌水平 (P × Z)	NS	*	NS

注：表中数据为平均值 ± SD，数据后不同大写字母表示同一列不同处理间差异达 5% 显著水平，不同小写字母表示同一处理不同根室之间差异达到 5% 显著水平。* 表示 $P < 0.05$ ；** 表示 $P < 0.01$ ；NS 表示差异不显著。下同。

根部生物量随施磷水平的提高而显著增加。在 A、B 两室施磷水平相同时，两根室生物量无显著差异，随供磷水平的提高而显著增加。施磷一

侧（B 室）较未施磷一侧（A 室）生物量显著增加：无锌供应条件下，局部施磷导致 B 室生物量相对 A 室显著提高了 58.8%、66.7%；锌供应条件下，其 B 室生物量分别提高了 37.5%、55.6%。这说明玉米根系在磷供应区大量增生。值得注意的是，与不供磷相比，局部施磷导致未供磷根室（A 室）的生物量增加，这可能是磷在植物体内发生了转移。

2.2 不同处理对玉米锌营养和转运的影响

由表 3 可知，无论是局部施磷还是均匀施磷，植株地上部锌含量都随磷水平的提高而呈下降趋势，但锌吸收量呈相反趋势，这可能与生物量有关。施磷水平相同时，施锌提高了玉米地上部的锌

含量。当施磷总量相同时，相对均匀施磷，局部施磷导致地上部锌含量下降。

对于玉米根部的锌含量和吸收量，锌含量随施磷水平的提高而降低，锌吸收量呈现相反的趋势。当两根室施磷水平一致时，A、B 两室锌含量、吸收量无显著差异。供磷一侧（B 室）锌含量降低：供锌条件下，供磷一侧（B 室）相对未供磷一侧（A 室）锌含量分别显著降低了 16.7% 和 16.1%；不供锌条件下，B 室锌含量分别降低了 13.1% 和 19.9%。综上所述，说明供磷水平的提高加剧了磷对锌的拮抗作用，降低了根部锌含量。磷锌的交互效应对根部锌含量有显著的影响，但对根部锌吸收量影响不显著。

表 3 不同处理对玉米锌含量、吸收量、转运系数的影响

处理	地上部		地下部锌含量		地下部锌吸收量		根部锌吸收量 / 总吸收量		总吸收量 / 根部生物量	
	锌含量	锌吸收量	A 室	B 室	A 室	B 室	A 室	B 室	A 室	B 室
	(mg/kg)	(mg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(μg)	(μg)	(%)	(%)	(g/kg)	(g/kg)
Zn0P0-0	45.69B	0.11D	65.62aB	67.62aB	10.58aBC	11.08aC	7.89aA	8.42aA	0.83aC	0.82aBC
Zn0P0-100	38.78C	0.19C	61.26aBC	53.22bCD	10.41aC	14.37bB	4.76bB	6.54aBC	1.23aB	0.81bBC
Zn0P0-200	37.53C	0.27B	55.72aBC	46.75bD	13.57aABC	18.62bA	4.61bB	6.28aBC	1.25aB	0.75bC
Zn0P100-100	41.35BC	0.27B	54.03aBC	54.25aC	12.17aABC	11.94aC	4.13aB	4.07aD	1.31aAB	1.35aA
Zn5P0-0	51.81A	0.18C	88.66aA	91.87aA	14.81aAB	15.87aB	7.07aA	7.58aAB	1.26aB	1.22aA
Zn5P0-100	46.59AB	0.29B	59.58aBC	49.60bCD	14.46aABC	16.30aB	4.39aB	5.02aCD	1.35aAB	1.00bB
Zn5P0-200	44.9B	0.38A	55.87aBC	39.68bF	15.17aA	16.41aB	3.73aB	4.01aD	1.54aA	0.99bB
Zn5P100-100	46.63AB	0.39A	51.21aC	49.66aCD	16.36aA	16.61aAB	3.84aB	3.89aD	1.34aAB	1.28aA
显著性										
锌水平 (Zn)	**	**	*	*	**	*	NS	*	**	*
磷水平 (P)	**	**	**	**	NS	NS	**	**	**	NS
磷水平 × 锌水平 (P × Z)	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS

由表 3 可知，单位根重（A 室）锌的吸收随施磷水平的提高而增加，这说明局部施磷能够促进未施磷一侧根对锌的吸收。而施磷一侧（B 室），这一比值则随磷水平的提高呈现下降的趋势，这说明根对锌的吸收受到高磷水平的抑制。而当施磷总量一致时，相对于均匀施磷，局部施磷条件导致 B 室的这一比值显著降低，分别降低了 80.0%、30.0%，而 A 室的差异不显著，这说明相对于均匀施磷，局部施磷方式加剧了磷对锌的拮抗作用，抑制了根对

锌的吸收。

玉米根部锌吸收量与总吸收量的比值随着磷水平的提高而下降，这说明锌从根部向地上部分的转运受到施磷水平的影响。同时，相同供磷水平条件下，施锌处理导致锌的转运系数均低于未施锌处理，说明锌的转运还受土壤锌的影响。

2.3 不同处理对玉米磷营养的影响

由表 4 可知，玉米地下部磷含量和吸收量随施磷水平提高而显著增加。两侧施磷水平一致时，不

表 4 不同处理对玉米磷含量、吸收量的影响

处理	地上部		地下部磷含量		地下部磷吸收量	
	磷含量 (mg/kg)	磷吸收量 (mg)	A 室 (mg/kg)	B 室 (mg/kg)	A 室 (μg)	B 室 (μg)
Zn0P0-0	0.68DE	1.68F	0.84a	0.84aD	0.13a	0.13aE
Zn0P0-100	1.07B	5.38D	1.16b	1.41aB	0.19b	0.38aBC
Zn0P0-200	1.15B	8.13B	1.20b	1.58aAB	0.29b	0.63aA
Zn0P100-100	1.58A	10.38A	1.56a	1.62aA	0.34a	0.34aBC
Zn5P0-0	0.53E	1.83F	0.61a	0.66aD	0.10a	0.11aE
Zn5P0-100	0.65DE	4.14E	0.73b	1.08aC	0.17a	0.35aBC
Zn5P0-200	0.95C	8.07B	0.80b	1.15aC	0.20b	0.48aB
Zn5P100-100	0.79D	6.69C	0.76a	0.80aD	0.24a	0.26aD
显著性						
锌水平 (Z)	**	NS	**	**	*	*
磷水平 (P)	**	**	*	*	**	*
磷水平 × 锌水平 (P × Z)	NS	NS	**	**	*	*

同根室之间磷含量和吸收量无差异，局部施磷时，施磷一侧（B 室）的磷含量均显著高于另一根室。供锌之后，无论是局部施磷还是均匀施磷，植物地下部磷含量和吸收量均呈下降趋势。

局部施磷条件下，玉米地上部磷含量和吸收量随着供磷水平的增加而显著增加。未供锌条件下，集中供磷为 100、200 mg/kg 时，相对于供磷为 0 mg/kg，玉米地上部磷含量和吸收量分别增加了 57.4% 和 69.1%、220.2% 和 383.9%；锌供应条件下，分别提高了 22.6% 和 79.3%、126.2% 和 340.9%。相同供磷水平下，无论是局部施磷还是均匀施磷，施锌导致玉米地上部磷含量降低。综上所述，土壤锌水平对玉米植株磷含量有显著影响。

2.4 根部锌吸收量对地上部锌吸收量的影响以及磷水平对土壤锌有效性的影响

施磷一侧（B 室）根部生物量与根部锌吸收量呈正相关关系（图 2）。土壤中有有效锌含量在高磷（200 mg/kg）水平下显著降低（图 3）。未施磷一侧（A 室）根锌吸收量与地上部锌吸收量的关系用曲线表示（图 4A），即地上部锌吸收量随 A 室根锌吸收量呈先增高后降低的趋势，在中值时到达最大。施磷一侧（B 室）根锌吸收量与地上部锌吸收量无显著关系（图 4B）。

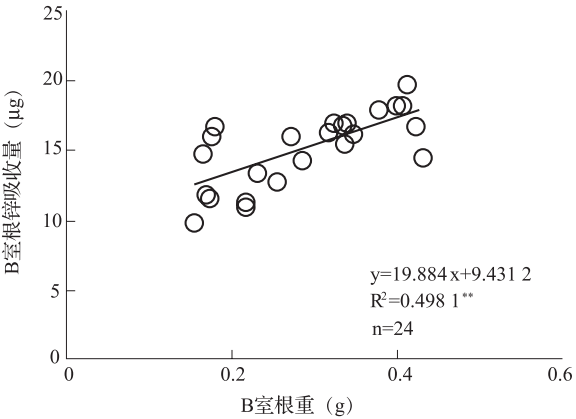


图 2 根部生物量与根部锌吸收量的相关关系
注：** 表示在 P<0.01 差异显著。

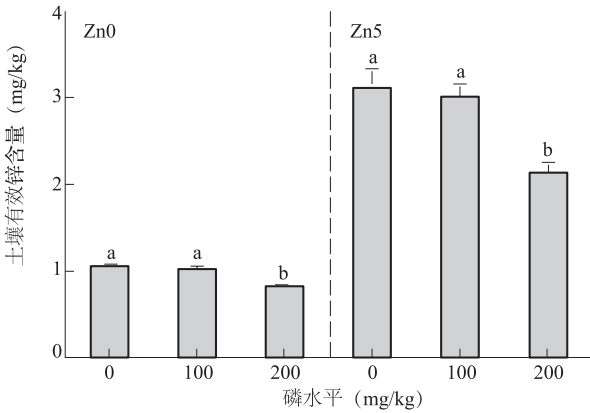


图 3 不同施磷水平对土壤锌有效性的影响

注：不同小写字母表示不同磷水平下，土壤有效锌含量差异显著（P<0.05）。

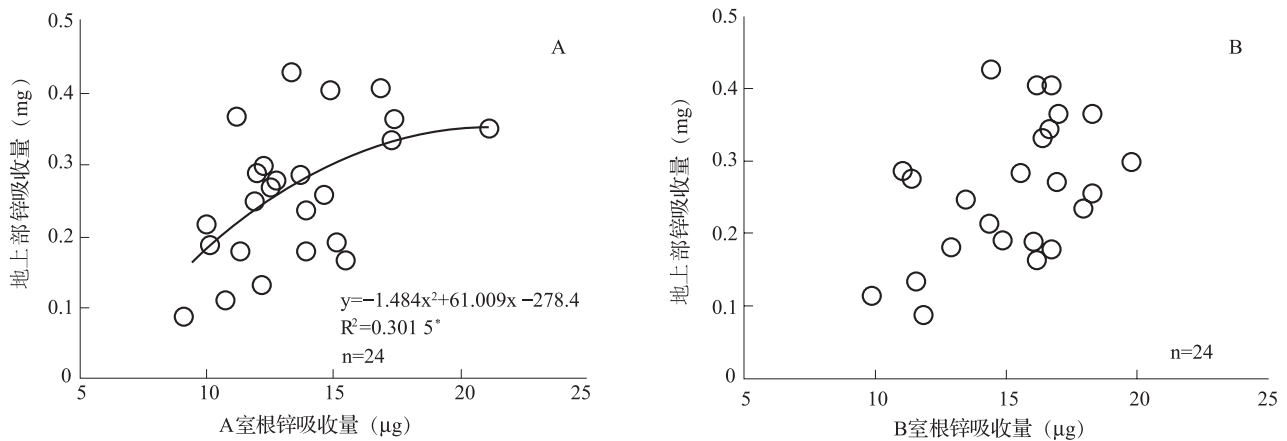


图4 根部锌吸收量与地上部锌吸收量的关系

注: * 表示在 $P < 0.05$ 差异显著。

3 小结与讨论

有研究表明,当养分供应被限制在局部根系时,作物可以通过增加供应区根系的生长或养分吸收效率而得到补偿^[5]。本试验发现,与不供磷相比,局部施磷不但可以促进磷供应区根系的生长(表2),且非磷供应区根系的生物量和磷含量也会提高(表3),这说明部分根系供磷能促进植株根系的生长和对磷的吸收,部分根系缺磷能促进地上部的同化物向根部运输^[6],这就保证了作物的正常生长。

试验结果表明,无论是局部施磷还是均匀施磷,随着磷水平的不断提高,玉米植株地上部和地下部锌含量逐渐下降,这说明磷锌拮抗作用为整体反应而不只发生在局部。与此同时,玉米植株的磷含量不断提高。以往的研究也发现,供磷显著降低秸秆、根系的锌含量,但同时也增加磷含量^[12]。前人研究表明施磷降低锌由地下部向地上部转运^[13],而最近研究发现,锌由地下部向地上部转运不受供磷水平的影响^[14]。本试验发现,局部施磷条件下,随供磷水平的提高,锌的转运系数呈现下降的趋势,这表明锌由地下部向地上的运输受供磷水平的影响,进而影响了地上部锌含量。同时,相同供磷水平下,供磷处理导致锌的转运系数均高于未施磷处理,锌的转运还会受供磷的影响。

施磷降低胞质或水溶性锌含量,进而影响锌的生理有效性和代谢^[15],但最近研究发现植株锌浓度下降不是简单的生物量增加而导致“稀释效应”的结果^[16]。本研究也证实了这一观点,高磷水平条件

下,玉米植株地上部锌含量随供磷水平增加显著下降(表3),但其生物量变化差异不显著(表2)。有研究者发现,低磷水平增加作物籽粒和秸秆中的锌,而高磷水平则导致其锌的下降^[17];也有研究者发现,随着施磷量的增加,地上部生物量和锌含量呈先增加后减小的趋势^[18]。在农业生产过程中,提倡磷肥集中施用以提高肥效^[19],但本试验发现,对玉米进行局部施磷,促进施磷一侧根系生长的同时降低其锌含量。因此,生产实践中如何优化磷肥的施用来获得锌的最大积累,需要进一步研究。

综上所述,作物局部施磷加剧了磷对锌的拮抗作用,抑制了根对锌的吸收,同时磷水平的提高抑制锌由地下部向地上部转运;磷、锌拮抗作用的发生是玉米植株的整体反应,而非只发生在局部。

参考文献:

- [1] Jackson R B, Caldwell M M. The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantification with geostatistics[J]. Ecology, 1993, 74 (2): 612-614.
- [2] Sun H, Zhang F, Long L, et al. The morphological changes of wheat genotypes as affected by the levels of localized phosphate supply[J]. Plant and Soil, 2002, 245 (2): 233-238.
- [3] Rose T J, Rengel Z, Ma Q, et al. Crop species differ in root plasticity response to localised P supply[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2009, 172 (3): 360-368.
- [4] 严小龙, 廖红, 戈振扬. 植物根构型特性与磷吸收效率[J]. 植物学报, 2000, 17 (6): 511-519.
- [5] Drew M C, Saker L R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. II. Localized compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when NO_3^- is restricted to only part of the root system[J]. Journal of Experimental Botany, 1975, 26: 79-90.

- [6] 庞欣, 李春俭, 张福锁. 部分根系供磷对小麦幼苗生长及同化物分配的影响[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 719-724.
- [7] Stukenholtz D D, Olsen R J, Gogan G, et al. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition I [J]. Soil Sci.Soc. Am.Proc, 1966, 30(6): 759-763.
- [8] Gao X, Akhter F, Tenuta M, et al. Mycorrhizal colonization and grain Cd concentration of field-grown durum wheat in response to tillage, preceding crop and phosphorus fertilization [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(5): 750-758.
- [9] Pérez-Novo C, Bermúdez-Couso A, López-Periago E, et al. Zinc adsorption in acid soils: Influence of phosphate [J]. Geoderma, 2011, 162(3): 358-364.
- [10] Ova E A, Kutman U B, Ozturk L, et al. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution [J]. Plant and Soil, 2015, 393(1-2): 147-162.
- [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] Zoltán Izsáki. Effects of phosphorus supplies on the nutritional status of maize (*Zea mays* L.) [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2014, 45(4): 516-529.
- [13] Dwivedi R S, Randhawa N S, Bansal R L. Phosphorus-zinc interaction [J]. Plant and Soil, 1975, 43(1): 639-648.
- [14] Zhang W, Chen X X, Liu Y M, et al. Zinc uptake by roots and accumulation in maize plants as affected by phosphorus application and arbuscular mycorrhizal colonization [J]. Plant and Soil, 2017, 413(1-2): 59-71.
- [15] Xue Y, Yue S, Zhang W, et al. Zinc, iron, manganese and copper uptake requirement in response to nitrogen supply and the increased grain yield of summer maize [J]. Plos One, 2014, 9(4): e93895.
- [16] Zhu Y G, Smith F A, Smith S E, et al. Phosphorus efficiencies and their effects on Zn, Cu, and Mn nutrition of different barley (*Hordeum vulgare*) cultivars grown in sand culture [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2002, 53(4): 5-13.
- [17] Yang X W, Tian X H, Lu X C, et al. Impacts of phosphorus and zinc levels on phosphorus and zinc nutrition and phytic acid concentration in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(13): 2322-2328.
- [18] Zhang W, Liu D, Li C, et al. Zinc accumulation and remobilization in winter wheat as affected by phosphorus application [J]. Field Crops Research, 2015, 184(6): 155-161.
- [19] 孙海国, 张福锁. 不同施磷方式对小麦生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2000, (6): 46.

Effects of local application of phosphorus on the antagonism of zinc and phosphorus in maize (*Zea mays* L.)

WANG Yan¹, GUO Tao², XING Dan^{1*} (1. Pepper Research Institute of Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guizhou Guiyang 550006; 2. College of resources and environment of Southwestern University, Chongqing 400716)

Abstract: The split-root technique (the root was placed in two compartments A and B) was applied to research the effects of local phosphorus application or whole phosphorus application with different zinc application level on the growth of maize and zinc and phosphorus contents. Pot experiment was conducted with different levels of zinc (Zn0, Zn5) and phosphorus (P0, P100, P200) and plant biomass, Zn and P contents were measured after cultured for 40 days. The results showed that the biomass of shoot and root in all treatments increased as phosphorus concentration increased, and same trend occurred when the Zn was supplied. Local application of phosphorus led to increase of root biomass in the room B. The phosphorus content and absorption amount of maize increased with the increase of phosphorus application, however, the zinc content showed the opposite trend. Under the condition of zinc supply, for the P100 and P200 treatments, zinc content in P supply side (room B) was significantly lower than that in P supply side (room A) by 16.7% and 16.1% respectively. Under the condition of no zinc supply, the zinc content of compartment B was significantly reduced by 13.1% and 19.9%. The ratio of zinc uptake to root biomass (B compartment) of maize decreased with the increase of phosphorus application level. Compared with the whole phosphorus application, the ratio in B compartment decreased significantly under local phosphorus application. Local application of phosphorus could promote root growth and absorption of phosphorus in maize, at the same time, the increase of phosphorus level improved the transport of zinc from the root to the shoot. Antagonism of zinc and phosphorus was the whole response, not the local reaction.

Key words: split-root experiment; zinc; phosphorus; antagonism