

# 不同磷源对作物根际效应影响的研究

刘世亮<sup>1</sup> 介晓磊<sup>2</sup> 李有田<sup>2</sup> 安志装<sup>1</sup> 胡著邦<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 河南农业大学 郑州 450002)

**摘要** 本文通过网室盆栽和室内分析相结合的方法,研究了多种 P 源施入石灰性土壤后对作物根际生物活性性质的影响,结果表明:对于不同 P 源处理,小麦生长过程中根际、非根际微生物种群的数量及根际效应(R/B)有显著差异,其大小顺序为:K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>>CaMg-P>SSP>FA>CK。微生物数量在生育后期达到高峰。作物根际磷酸酶活性随生育期的进展逐步增强。不同 P 源处理影响下的土壤磷酸酶活性有一定的差异,总体顺序为 FA>SSP>K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>>CaMg-P>CK。土壤碱性磷酸酶活性显著地高于中性磷酸酶活性。

**关键词** 根际;微生物;磷酸酶;根际效应

**中图分类号** S154.2; S158.3

根际是微生物活动特别旺盛的环境<sup>[1]</sup>。它一般是指根-土界面不足 1mm 到几毫米范围内的微区土壤,也是植物-土壤-微生物与其环境条件相互作用的场所<sup>[2]</sup>。由于根系分泌的作用,以及根际范围内较强的微生物活动,使根际土壤的物理、化学和生物学等方面的性质明显不同于土体土壤<sup>[3]</sup>。其中根际微生物的数量比原土体高出 5~10 倍。植物营养状况和土壤养分形态从多方面影响着根际微生物的活性,而根际微生物活动反过来又影响着植物的生长发育及其对养分的活化和摄取能力。土壤中的营养物质的丰缺也影响着土壤微生物的数量和活性。P 是生物生长发育所必需的大量营养元素之一。它既是生物体内许多重要有机化合物的组分,同时又以多种方式参与生物体内各种代谢过程。土壤是土壤微生物 P 营养的主要来源<sup>[4]</sup>。因此土壤中 P 素形态及有效性将会影响根际及非根际土壤中微生物数量和根际效应。鉴于此,本文研究了不同 P 源对作物根际生物活性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

试验土壤采自河南农业大学试验农场潮土耕作层(0~20cm)。土壤质地为轻壤质土壤。基本理化性状为:有机质 14.8g/kg,全 N 0.404g/kg,全 P 0.805g/kg,速效 P 32.0mg/kg, pH 8.10,物理性粘粒 257.9g/kg,土壤中性磷酸酶(pH=7.0)(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

20.52mg/kg,碱性磷酸酶(pH=9.4)(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)159.2mg/kg, CaCO<sub>3</sub> 含量为 45.0mg/kg。

### 1.2 供试肥料

N 肥:尿素(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>),含 N 量为 46.06%;K 肥:硫酸钾(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>),分析纯;P 肥:磷酸氢二钾(K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>),分析纯;过磷酸钙(SSP),含 P 量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)14.00%;钙镁磷肥(CaMg-P),含 P 量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)13.27%;氟磷灰石(FA),含 P 量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)44.95%。

### 1.3 试验设计

采用网室盆栽试验,共设 5 个处理,包括 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>、SSP、CaMg-P、FA 等不同的 P 源及对照(CK),随机设计,8 次重复。每盆装土 3kg,每千克土壤加 N:250mg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:250mg, K<sub>2</sub>O:250mg 与土壤充分混匀,控制土壤相对含水量 70%左右。用 300 目尼龙网缝制根袋装入混好土壤 500g,埋入有土样土壤 2.5kg 的盆中央。每盆袋中种小麦(品种为豫麦 18-64)作为指示物,间苗后(按大田密度计)保留 4 株。生长期定期灌水,保持土壤相对含水量为田间持水量 70%左右。分别在播种期(基础土样)、分蘖期、拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期等时期取样,取样分根袋内(根际土)、根袋外(非根际土)土样进行分析。

### 1.4 分析方法

土壤磷酸酶测定法:磷酸苯二钠比色法<sup>[5]</sup>;土壤微生物种群数量测定法:稀释平板混菌法<sup>[6]</sup>测定根际土和非根际土中的细菌、放线菌和真菌菌落数。

## 2 结果分析

### 2.1 几种 P 源对作物根际微生物的影响及其根际效应

由表 1 可见, 在供试土壤中, 随着小麦的生育进程, 根际和非根际土壤细菌的数量逐渐增加。在拔节期前增幅很小, 其后大幅度提高,  $K_2HPO_4$  处理在小麦灌浆期达最高, 其它处理均以成熟期最高。各时期根际土壤中细菌含量均以施加  $K_2HPO_4$  的处

理为最高, 最大值在根际和非根际分别为  $867 \times 10^8$  个/g 干土和  $92.6 \times 10^8$  个/g 干土, 这说明施入  $K_2HPO_4$  更有利于土壤中细菌的繁殖。总的看来影响土壤中细菌数量大小的顺序为  $K_2HPO_4 > SSP > CaMg-P > FA > CK$ 。

根际效应指根际环境对微生物的影响, 可以从根际微生物的数量上反映出来, 一般用“根际/本土比”(R/B)来表示, 即根际土壤微生物与邻近的非根际土壤微生物数量之比。

表 1 不同 P 源对小麦土壤中细菌的影响 ( $\times 10^8$  个/g 干土)  
Table 1 Effect of sources of P on bacteria in soil under wheat ( $\times 10^8$ /g dry soil)

时 期		CK	$K_2HPO_4$	SSP	CaMg-P	FA
分蘖期	根际 (R)	0.45	0.84	0.67	0.63	0.52
	非根际 (B)	0.37	0.27	0.58	0.49	0.44
	R/B	1.22	3.14	1.15	1.26	1.19
拔节期	根际 (R)	0.59	1.34	0.77	0.72	0.65
	非根际 (B)	0.27	0.37	0.65	0.57	0.53
	R/B	2.18	3.67	1.19	1.28	1.23
抽穗期	根际 (R)	2.26	69.6	1.02	3.46	2.67
	非根际 (B)	0.53	8.67	0.93	0.67	0.59
	R/B	4.30	8.03	1.10	5.17	4.46
灌浆期	根际 (R)	1.68	867.0	11.1	5.67	3.67
	非根际 (B)	0.478	92.6	6.56	0.79	0.683
	R/B	3.51	9.36	1.69	7.20	5.37
成熟期	根际 (R)	3.36	99.7	21.6	16.7	9.67
	非根际 (B)	0.867	60.5	6.67	6.97	8.67
	R/B	3.86	1.65	3.23	2.40	1.12

表 2 不同 P 源对小麦土壤中真菌的影响 ( $\times 10^4$  个/g 干土)  
Table 2 Effect of sources of P on fungi in soil under wheat ( $\times 10^4$ /g dry soil)

时 期		CK	$K_2HPO_4$	SSP	CaMg-P	FA
分蘖期	根际 (R)	0.411	8.67	4.26	5.48	0.419
	非根际 (B)	0.115	0.549	0.746	0.326	0.0836
	R/B	3.58	15.80	5.71	16.81	5.01
拔节期	根际 (R)	0.337	9.67	1.36	0.28	0.431
	非根际 (B)	0.0539	0.621	0.069	0.0826	0.0657
	R/B	6.25	15.57	14.04	15.50	6.56
抽穗期	根际 (R)	2.34	8.96	4.29	7.26	0.65
	非根际 (B)	0.47	0.76	0.53	0.66	0.087
	R/B	5.0	11.80	8.03	11.03	7.57
灌浆期	根际 (R)	3.56	33.60	6.36	6.96	4.97
	非根际 (B)	0.79	1.59	0.59	0.63	0.94
	R/B	4.58	21.13	10.65	11.12	5.30
成熟期	根际 (R)	0.47	6.65	0.61	5.30	0.47
	非根际 (B)	0.092	0.43	0.17	0.55	0.092
	R/B	5.06	15.50	3.66	9.63	5.10

从细菌 R/B 比来看, 各种处理的根际效应均在灌浆期达到最大值, 并以  $K_2HPO_4$  处理的根际效应最为明显, 而且和 CK 的差距也最大; 同一生长期不同 P 源处理根际效应 R/B 存在差别。由于细菌 R/B 值与植物根系活动强弱、根际养分形态种类、浓度及 pH 环境等密切相关, 因而这里仅仅能看出一个大致情况。

由表 2 可见, 在供试土壤中根际和非根际土壤真菌数量随小麦生育期进展逐渐增加, 除 CaMg-P 处理外, 都在灌浆期达到最高峰, 其中以  $K_2HPO_4$  处理中最高, 达  $33.6 \times 10^4$  个/g 干土和  $1.59 \times 10^4$  个/g 干土, 而在成熟期各处理的真菌数量都有不同程度的下降。各生育期不同处理间根际真菌数量和 R/B 值变化趋势一致, 其顺序为:  $K_2HPO_4 > CaMg-P >$

$SSP > FA > CK$ 。

同样由表 3 可以看出, 供试土壤中放线菌数量变化情况及根际效应与细菌、真菌的情况大致相同。根际和非根际土壤放线菌数量也随小麦生育期进展逐渐增加, 在灌浆期达到最高峰, 其中以  $K_2HPO_4$  处理最高, 达  $307 \times 10^4$  个/g 干土, 而在成熟期各处理的数量都有下降。各生育期不同处理间根际放线菌数量和 R/B 值大小变化趋势一致, 其大致顺序为:  $K_2HPO_4 > CaMg-P > SSP > FA > CK$ 。

总的看来, 在供试土壤中, 在小麦不同生育期内由于施入不同 P 源, 明显地影响根际和非根际土壤中各种微生物数量, 这势必会对土壤中 P 素的形态、作物生长及对 P 的吸收等产生影响。

表 3 不同 P 源对小麦土壤中放线菌的影响 ( $\times 10^4$  个/g 干土)

Table 3 Effect of sources of P on actinomyceto in soil under wheat ( $\times 10^4$  g dry soil)

时 期		CK	$K_2HPO_4$	SSP	CaMg-P	FA
分蘖期	根际 (R)	2.08	10.7	2.61	7.97	2.08
	非根际 (B)	1.68	1.88	4.24	4.67	1.50
	R/B	1.24	5.69	0.61	1.71	1.39
拔节期	根际 (R)	7.97	30.9	3.67	9.67	4.26
	非根际 (B)	5.9	5.26	4.16	5.13	3.19
	R/B	1.21	5.87	0.88	1.88	1.34
抽穗期	根际 (R)	32.7	96.7	9.56	10.9	7.64
	非根际 (B)	10.7	8.15	5.17	2.26	2.78
	R/B	3.06	11.8	1.85	4.82	2.75
灌浆期	根际 (R)	27.7	307	26.5	56.9	10.4
	非根际 (B)	8.14	32.6	7.58	8.96	8.56
	R/B	3.40	9.42	3.50	6.35	1.21
成熟期	根际 (R)	10.6	64.7	12.7	46.3	59.7
	非根际 (B)	18.1	22.7	19.1	20.7	40.3
	R/B	0.58	2.85	0.66	2.24	1.48

## 2.2 不同 P 源对小麦不同生育时期磷酸酶活性的影响

由表 4 可见, 不同 P 源对小麦不同生育期根际和非根际土壤中中性磷酸酶活性有不同程度的影响, 酶活性在小麦生育期内变化幅度最大的是 FA 处理, 在灌浆期根际土中中性磷酸酶活性达到最大为  $36.9 \text{ mg/kg 土}$ 。由于 FA 属于难溶性磷酸盐, 施入土壤后难以满足作物根系吸收。作物为了维持其正常生长, 需要不断分解土壤中已有的难溶性 P 素, 在这种低 P 胁迫条件下, 根系及土壤微生物会分泌一定的磷酸酶, 以促进土壤难溶 P 的活化, 小麦拔

节-抽穗后的小麦吸 P 强度较大, 土壤有效 P 更低, 因而磷酸酶的分泌量也较大, 可以提高土壤中的磷酸酶含量, 这与关松荫所阐述的土壤中有有效 P 素含量低时, 土壤的磷酸酶含量增多一致<sup>[5]</sup>。与 FA 相比, 其余 3 种 P 源及 CK 根际土壤酶活性相对较低。CK 虽供 P 情况最差, 但酶活性稍低于 FA。

另外从整体上看, 根际土壤的中性磷酸酶活性明显高于非根际土壤, 而且随着生育期的进展, 根际土壤的磷酸酶活性是增加的, 这可能与根际微生物数量的增加 (前已述), 植物根系量增大, 分泌有机物增多, 以及根际 P 素亏缺等有一定的关系。

由表 5 可见,碱性磷酸酶活性要远高于中性磷酸酶活性,这主要与供试土壤呈弱碱性的条件有关( $\text{pH}=8.1$ )。随着小麦的生长,各处理小麦根际土壤中的碱性磷酸酶活性随着小麦生育期的进展逐步提高,在成熟期各处理根际土壤中碱性磷酸酶活性都达到最大值,其中以 CK 为最高,其次是 FA、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ 、SSP、CaMg-P 等处理,而且根际土壤与非根际土壤中酶活性差异逐步增大,这与作物随生

长发育的进程根系活力的增强、根系分泌物数量增多、根际有效 P 素逐渐减少有关,即根系活力愈强、微生物数量增加、植物吸 P 量的增加以及土壤有效 P 含量降低,植物要求从土壤难溶的 P 素中获取更多的 P 素以供其正常生长发育,所以碱性磷酸酶活性整体是增高的,来溶解土壤 P 库中的难溶态 P 素,以满足作物的需要。

表 4 不同 P 源对小麦土壤中中性磷酸酶活性的影响 ( $\text{pH}=7$ ) ( $\text{P}_2\text{O}_5$  mg/kg)

Table 4 Effect of sources of P on activity of neutral phosphatase in soil under wheat

小麦生长期		CK	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	SSP	CaMg-P	FA
分蘖期	根际 (R)	22.2	27.7	30.3	20.7	24.9
	非根际 (B)	18.5	21.7	19.5	17.8	19.4
拔节期	根际 (R)	24.8	21.4	33.6	28.5	25.6
	非根际 (B)	18.0	18.2	19.8	17.7	17.4
抽穗期	根际 (R)	35.5	27.3	34.6	36.3	36.8
	非根际 (B)	20.3	19.1	18.9	18.3	19.3
灌浆期	根际 (R)	32.5	29.0	34.4	27.4	36.9
	非根际 (B)	20.6	19.2	16.7	16.9	18.4
成熟期	根际 (R)	32.5	33.1	29.2	23.9	34.6
	非根际 (B)	20.6	18.3	24.2	19.7	19.9

表 5 不同 P 源对小麦土壤碱性磷酸酶活性的影响 ( $\text{pH}=9.4$ ) ( $\text{P}_2\text{O}_5$  mg/kg)

Table 5 Effect of sources of P on activity of alkaline phosphatase in soil under wheat

小麦生长期		CK	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	SSP	CaMg-P	FA
分蘖期	根际 (R)	168.9	164.1	212.0	150.5	189.2
	非根际 (B)	141.8	172.2	195.9	135.2	153.3
拔节期	根际 (R)	234.4	198.1	198.4	221.1	205.4
	非根际 (B)	179.4	157.3	153.0	147.7	179.5
抽穗期	根际 (R)	257.3	240.4	206.4	193.5	222.5
	非根际 (B)	192.3	188.5	171.1	128.0	177.6
灌浆期	根际 (R)	268.4	270.3	258.6	216.0	192.5
	非根际 (B)	229.4	171.2	237.1	200.5	152.2
成熟期	根际 (R)	306.6	283.6	264.5	253.8	286.1
	非根际 (B)	208.7	202.4	245.3	191.3	196.1

虽然非根际土壤中没有植物根系的活动但所含 P 素仍是作物吸收的一个来源,由表 4、5 可看出,随小麦生育期的进展以及对 P 的吸收,磷酸酶活性也是逐步增高的,通过与微生物数量增加相比较,不难推测出这部分活性的增加与微生物活动加强而分泌磷酸酶以及其它土壤生物活动的加强有关。

### 3 小 结

(1) 施加不同 P 源处理,小麦生长过程根际、

非根际微生物种群的数量及根际效应 (R/B) 有显著差异,其大小顺序为: $\text{K}_2\text{HPO}_4 > \text{CaMg-P} > \text{SSP} > \text{FA} > \text{CK}$ 。随小麦生育期进展,根际微生物逐渐提高,并在生育后期达到高峰。

(2) 作物根际磷酸酶活性随生育期的进展逐步增强。不同 P 源处理下的土壤磷酸酶活性有一定的差异,总体顺序为: $\text{FA} > \text{SSP} > \text{K}_2\text{HPO}_4 > \text{CaMg-P} > \text{CK}$ 。土壤碱性磷酸酶活性显著地高于中性磷酸酶活性。

## 参考文献

- 1 陈华癸. 微生物学. 北京: 农业出版社, 1988
- 2 刘芷宇. 土壤 - 根系微区域养分环境研究概况. 土壤学进展, 1980, 8(3): 1~11
- 3 张福锁, 曹一平. 根际动态过程与植物营养. 土壤学报, 1992, 29 (3): 239~250
- 4 张福锁, 龚元石主编. 土壤与植物营养研究新动态(第三卷). 北京: 中国农业出版社, 1997, 170~184
- 5 关松荫编著. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986
- 6 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 1996

**EFFECT OF SOURCES OF P ON CROP RHIZOSPHERE**

Liu Shiliang<sup>1</sup> Jie Xiaolei<sup>2</sup> Li Youtian<sup>2</sup> An Zhizhuang<sup>1</sup> Hu Zhubang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; <sup>2</sup> Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

**Abstract** A combined method of pot culture under net with lab analysis was used in studying effect of sources of P on biological activity in crop rhizosphere in calcareous soil. The results show significant differences between treatments of different P sources, in population of microorganisms in soils inside and outside the crop rhizosphere and rhizosphere effect (R/B) during wheat growth period, with a decreasing sequence of  $K_2HPO_4 > CaMg-P > SSP > FA > CK$ . The population of microorganisms peaked at the later stage of the wheat growth. The activity of phosphatase in the crop rhizosphere increased with the crop growth, but varied from treatment to treatment in the decreasing order of  $FA > SSP > K_2HPO_4 > CaMg-P > CK$ . The activity of alkaline phosphatase was remarkably higher than that of neutral one.

**Key words** Rhizosphere, Microorganism, Phosphatase, Rhizosphere effect