

黑土、黑钙土玉米苗期根际无机磷的 形态变化*

李志洪 陈丹 曹国军

(吉林农业大学, 长春 130118)

VARIATION OF INORGANIC PHOSPHATE IN RHIZOSPHERE ON BLACK EARTH AND CHERNOZEM DURING MAIZE SEEDLING STAGE

Li Zhi-hong, Chen Dan Cao Guo-jun

(Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

关键词 黑土, 黑钙土, 玉米根际, 无机磷形态

中图分类号 S153.61

现在对植物利用土壤磷的研究不仅限于传统的“有效磷”观点。根际土壤磷被根系活化、耗竭的作用相当明显^[1,2], 并且植物不同基因型的这种作用也存在着差异。蒋柏藩、顾益初报道了石灰性土壤无机磷分级体系^[3]和分级方法^[4], 并将 Ca-P 细分为 Ca_2 -P、 Ca_8 -P 和 Ca_{10} -P, 这一分级方法也适合于中性土壤。本文应用根盒培养技术, 在黑土和黑钙土上研究玉米根际对各形态无机磷的活化以及肥料磷的利用。

1 材料和方法

供试土壤采自吉林农大东山黑土(中壤土)和前郭县套浩太乡黑钙土(砂壤土)耕层。黑土有机质 29.2g/kg, pH(H₂O) 7.22, CEC20.9cmol(+)/kg, 有效磷(Olsen-P)11.32mg/kg, 全磷 0.46g/kg, 粘粒(<0.001mm)26.3%。黑钙土有机质 20.7g/kg, pH8.24, CEC11.2cmol(+)/kg, 有效磷(Olsen-P)4.87mg/kg, 全磷 0.28g/kg, 粘粒 17.6%, CaCO₃ 3.5%。供试作物为玉米, 品种为白单 9、铁单 4 和四单 8。

土壤风干过 2mm 筛, 底肥为 N(NH₄NO₃)100mg/kg, K(K₂SO₄)100mg/kg, Zn(ZnSO₄)1mg/kg。设不加

* 吉林省科学技术委员会资助项目

收稿日期: 1997-02-20; 收到修改稿日期: 1998-03-15

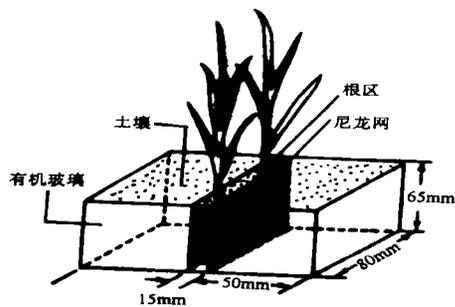


图1 玉米根盒示意图

磷(-P)和加磷(+P, KH_2PO_4 50mg/kg) 2个处理。土壤装入自制根盒(图1), 根区盒装土90g, 每一根外盒装土280g, 根区盒和根外盒之间用350目尼龙网隔开。土壤容重控制为 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 左右, 盒外用不透光塑料包紧。玉米种经消毒后发芽3d, 每个根区盒播种已发芽种子2粒, (2次重复)。土壤水分以蒸馏水补充并保持在田间持水量左右。在室内生长一周, 室外生长6周。收获时将根区与根外盒小心分开, 分别收获地上和地下部分植物。根区盒中土壤为根际土(RS)。根外盒土壤用自制刨刀沿根区一侧按0—1, 1—3, 3—5(近

根际)和 $>5\text{mm}$ (非根际NRS)切分, 土壤无机磷分级用顾一蒋分级法^[4], 土壤pH采用1:2.5土水比, pH8—2型酸度计测定。

2 结果与讨论

2.1 黑钙土根际 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 的变化

2.1.1 不加磷(-P)处理根际无机磷形态变化 3个玉米品种生长7周, 4种磷形态($\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Fe-P 和 Al-P)总和在根际有明显的亏缺(表1), 白单9玉米根际磷亏缺率

表1 黑钙土玉米根际各无机磷形态含量变化(mgP/kg)

玉米 基因型	土壤磷 形态	-P					+P				
		RS ¹⁾	0—1	1—3	3—5(mm)	NRS ¹⁾	RS	0—1	1—3	3—5(mm)	NRS
白 单 9	$\text{Ca}_2\text{-P}$	2.07	2.43	3.18	3.55	4.67	7.08	7.83	8.78	9.50	10.23
	$\text{Ca}_8\text{-P}$	28.46	28.83	30.87	36.07	36.25	42.77	44.63	50.39	52.43	54.60
	Al-P	13.99	18.32	20.18	20.81	20.03	18.64	22.66	23.11	23.28	22.83
	Fe-P	20.66	20.18	21.62	19.22	20.19	24.01	24.01	25.92	24.01	24.37
	总和 ²⁾	65.18	69.74	75.85	79.65	81.14	92.50	99.13	108.2	109.2	112.03
铁 单 4	$\text{Ca}_2\text{-P}$	2.20	2.88	2.95	3.18	5.13	5.78	5.94	6.73	7.29	9.78
	$\text{Ca}_8\text{-P}$	30.68	31.61	33.26	35.26	36.03	35.54	37.26	39.05	39.12	47.30
	Al-P	9.96	16.77	18.32	21.73	20.65	17.09	24.63	30.62	32.57	26.17
	Fe-P	18.27	19.22	21.62	21.44	20.94	21.66	23.58	23.05	24.49	23.40
	总和	61.11	70.48	75.67	81.31	82.75	80.07	91.61	98.85	103.77	106.65
四 单 8	$\text{Ca}_2\text{-P}$	3.91	4.12	5.05	6.35	5.91	5.97	9.50	10.25	10.99	10.68
	$\text{Ca}_8\text{-P}$	28.11	32.4	31.45	34.78	36.50	37.38	39.98	46.48	48.16	52.30
	Al-P	13.74	21.64	22.12	21.59	23.65	19.61	26.05	29.73	29.26	26.04
	Fe-P	15.10	18.26	20.18	20.40	18.79	18.40	20.18	21.62	29.62	23.44
	总和	60.14	76.42	81.8	83.12	84.85	81.36	96.31	108.12	115.03	112.46
	O-P	37.36	37.36	34.26	36.25	37.90	37.61	38.91	37.36	41.10	38.92
$\text{Ca}_{10}\text{-P}$	37.28	37.42	39.14	37.28	37.81	39.14	37.28	37.28	38.93	38.42	

1) RS为根际; NRS为距根区5mm以远的非根际(下同)。2)为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 之和(下同)。

(与非根际土壤相比,该区域磷含量降低的百分数,下同)为 19.6%,铁单 4 和四单 8 为 26.2% 和 29.1%。4 种磷形态在根际的亏缺率不同,但其大小排列顺序基本相同。白单 9 是 $\text{Ca}_2\text{-P}$ (55%) > Al-P (30.1%) > $\text{Ca}_8\text{-P}$ (21.5%), Fe-P 亏缺率几乎为零;铁单 4 为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ (57%) > Al-P (51.7%) > $\text{Ca}_8\text{-P}$ (14.8%) > Fe-P (12.8%), 四单 8 为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ (46%) > Al-P (41.9%) > $\text{Ca}_8\text{-P}$ (23.2%) > Fe-P (19.6%)。从根际磷亏缺的绝对量比较, Al-P 亏缺量最大 (6—10.7mg/kg), $\text{Ca}_8\text{-P}$ 次之 (5.3—8.4mg/kg), $\text{Ca}_2\text{-P}$ (2.6—2.9mg/kg) 和 Fe-P (0—3.7mg/kg) 较低。随与根距离的增加, Fe-P 的亏缺率降低很快,而 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 和 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 的亏缺率降低较缓慢,说明黑钙土 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 和 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 在根际的有效范围比 Fe-P 宽,可在 3mm 左右,这与前人^[9]的研究结果基本相同。

2.1.2 加磷 (+P) 处理根际无机磷形态变化 在 +P 处理中,施入的肥料磷被根系吸收主要发生在根际或近根际区,根际各形态磷含量接近于或略高于 -P 处理非根际的水平,在远离根的各土层中各形态磷随距离的增加其含量提高。+P 处理的白单 9 玉米根际 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 相对增量 (与 -P 处理的非根际区域比较相应磷含量增加的百分数,下同) 分别为 51%, 18%, -6.9% 和 19%, 在 +P 处理非根际中, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 的相对增加量为 119%、51%、14% 和 21%。其增加量可看作是施入磷素转化固定的结果,这说明施入磷有效性随根的距离增加而降低。

+P 处理中的铁单 4 玉米根际与 -P 处理非根际相比, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 和 Fe-P 稍有增加, $\text{Ca}_8\text{-P}$ 略有降低,而 Al-P 降低的幅度较大 (-3.6mg/kg), 远离根区的各形态磷含量提高,在 +P 处理非根际土壤中, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 的相对增加量分别为 91%、31.3%、26.7% 和 11.7%。四单 8 根际 4 种形态磷同铁单 4 根际基本一致,在非根际土壤中 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 的相对增加量分别为 79.4%、43.3%、10% 和 24.7%。

2.2 黑土根际 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 的变化

2.2.1 不加磷 (-P) 处理根际各形态磷的变化 黑土 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 含量均高于黑钙土 (表 2), 而 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量较低。玉米根系对各形态无机磷的吸收与黑钙土不同,在 -P 处理中,白单 9 根际 4 种形态磷总和的亏缺率为 21.1%, 铁单 4 为 29.8%, 四单 8 为 32.8%, 随与根距离增加,磷亏缺率降低。各磷形态的亏缺率在 3 个玉米品种中也表现不同。白单 9 根际中其亏缺率由大到小的顺序为 Al-P > $\text{Ca}_2\text{-P}$ > $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Fe-P ; 铁单 4 根际中表现为 Al-P > $\text{Ca}_2\text{-P}$ > $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Fe-P ; 四单 8 根际中为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ > Fe-P > Al-P > $\text{Ca}_8\text{-P}$ 。这些说明各基因型玉米对土壤 P 的吸收能力有差异。

2.2.2 加磷 (+P) 处理根际各形态磷变化 黑土 +P 处理中,3 个玉米根际土壤中 4 种形态无机磷总量一般都低于 -P 处理非根际土壤的含量,这似乎可以认为,施入土壤中的磷素在近根际区被根系全部利用,并且土壤磷酸盐的一部分也被活化吸收了。尽管施入土壤中的磷素转化形态还不清楚,可以看出在近根际区其利用率是最高的。随离根越远,施入的磷素被固定的数量也越高。种植 3 种玉米品种的非根际土壤各形态无机磷的增加量稍有差异,但其规律性基本相同, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 绝对增加量 (与 -P 处理的非根际区域比较) 范围分别是 12.25—12.39、3.35—5.57、10.78—13.09 和 9.02—13.26mg/kg, 其相对增加量分别为 94.3—95.9%、32.7—63.1%、43.5—53.5% 和 11.2—16.3%。从绝对增加量分析比较, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 与 Al-P 最高, Fe-P 次之, $\text{Ca}_8\text{-P}$ 最低。

表2 黑土玉米根际各无机磷含量变化(mgP/kg)

玉米 基因型	土壤磷 形态	-P					+P				
		RS	0—1	1—3	3—5(mm)	NRS	RS	0—1	1—3	3—5(mm)	NRS
白 单 9	Ca ₂ -P	9.13	10.05	10.62	10.80	12.09	11.73	14.52	17.68	22.14	24.37
	Ca ₈ -P	5.97	6.89	6.72	7.09	8.83	8.57	9.13	11.43	13.91	14.40
	Al-P	14.61	18.02	22.73	22.61	24.79	22.35	26.38	27.93	37.22	35.57
	Fe-P	69.46	70.42	69.46	71.85	80.18	75.20	81.42	81.42	80.49	89.20
	总和	99.35	105.38	108.79	112.34	125.89	117.85	131.45	138.46	153.75	165.17
铁 单 4	Ca ₂ -P	8.57	8.94	9.87	11.55	12.77	11.92	15.45	18.98	23.62	25.02
	Ca ₈ -P	6.71	7.08	8.76	7.64	9.10	9.31	10.24	11.17	12.10	13.90
	Al-P	14.30	19.87	21.42	25.14	24.48	23.59	24.52	28.81	33.50	37.57
	Fe-P	58.45	71.85	67.07	69.40	79.02	66.59	77.11	82.38	82.38	88.60
	总和	88.03	107.74	107.12	113.73	125.37	111.41	127.32	141.34	151.60	165.09
四 单 8	Ca ₂ -P	6.98	7.84	11.55	12.85	13.14	12.67	20.10	21.96	24.74	25.53
	Ca ₈ -P	7.84	8.39	8.39	9.13	10.22	10.80	12.85	13.78	14.12	13.57
	Al-P	19.09	21.71	21.28	24.43	25.57	23.27	26.98	29.77	31.63	36.80
	Fe-P	54.63	67.85	70.42	70.89	81.34	62.76	86.68	82.38	93.38	94.60
	总和	88.54	104.79	111.64	117.30	130.27	109.50	146.61	147.89	166.87	170.50
	O-P	77.62	86.91	85.98	88.46	89.10	79.88	84.52	93.11	93.30	93.30
	Ca ₁₀ -P	46.57	46.57	52.58	52.15	51.74	47.50	55.86	53.07	52.15	52.92

2.3 根际土壤闭蓄态磷和 Ca₁₀-P 的有效性

以前认为旱田中碱性土壤中的闭蓄态磷(O-P)和 Ca₁₀-P对植物基本是无效的。我们仅对四单8玉米根际这两种磷形态进行了测定。黑土 - P 处理根际 O-P 含量为 77.62mg/kg, 在距根区 0—1mm 区间 O-P 为 86.91mg/kg, 这两区间 O-P 含量变化幅度很大, 但距根际 1mm 以上的各区中 O-P 的变化不十分明显, 直到 > 5mm 以外的区域, O-P 含量为 89.1mg/kg, 根际 O-P 比非根际降低了 11.48mg/kg, 即亏缺率为 13%。而在黑土 + P 处理中各区 O-P 普遍高于 - P 处理的相应区域, 这是由于一部分肥料磷转化的结果。比较 + P 处理的根际 O-P 含量(79.88mg/kg) 低于 - P 处理非根际(89.10mg/kg), 说明在根际区域根系除将大部分肥料磷吸收外, 还要对土壤原有的磷进行活化, 除对非闭蓄态磷活化吸收, 对 O-P 也可活化利用一部分。这可能是根系分泌的一些有机酸促进对氧化铁的还原, 而将 O-P 释放出来。

在 - P 和 + P 处理的黑土中, 根际 Ca₁₀-P 分别为 46.57 和 47.50mg/kg, 都低于 - P 处理非根际的 51.74mg/kg, - P 处理根际 Ca₁₀-P 降低了 9.9%, + P 处理降低了 8.2%, 表明根际 Ca₁₀-P 也可被根系活化吸收一部分。黑钙土两处理根际 O-P 和 Ca₁₀-P 变化不大(表 1), 这是由于石灰性土壤的 O-P 的闭结物质大部分是石灰质, 在短时间内根系所分泌的溶解物质难以将其溶解。

2.4 土壤根际 pH 变化

黑土和黑钙土原 pH 值分别为 7.22 和 8.24, 黑土 - P 处理根际 pH 因玉米品种有升有降(表 3), 但未达到显著水平, 在根区外 0—1mm pH 略有升高, 白单 9 和四单 8 该层与原

表3 玉米根盒各土层pH的变化

土壤	玉米 基因型	-P					+P				
		RS	0—1	1—3	3—5(mm)	NRS	RS	0—1	1—3	3—5(mm)	NRS
黑土	白单9	7.10	7.54*	7.37	7.30	7.20	7.26	7.60*	7.38	7.32	6.96
	铁单4	7.32	7.42	7.27	7.30	7.30	7.05	7.29	7.28	7.32	7.09
	四单8	7.32	7.65*	7.52*	7.46	7.38	7.32	7.47	7.50	7.48	7.48
黑钙土	白单9	8.24	8.14	8.26	8.29	8.30	8.25	8.08	8.13	8.11	8.20
	铁单4	8.18	8.23	8.24	8.24	8.24	7.98	8.08	8.13	8.18	8.06
	四单8	8.18	8.12	8.11	8.17	8.18	8.12	8.14	8.18	8.20	8.16

* 为 t 检验的 5% 显著水平

土 pH 差值达到显著水平,再随距离增加又恢复到原土 pH 左右。黑土 + P 处理白单 9 的 0—1mm 土层 pH 升高 0.4 单位,并达到显著水平。其它土壤的各土层 pH 变化均不显著。根际 pH 变化与植物种类、施肥水平和养分形态等多种因素影响有关,本文供试黑土 CEC 和盐基饱和度较高,黑钙土含有 CaCO_3 ,对根分泌有机酸和 H^+ 有缓冲作用。

参 考 文 献

1. 何念祖. 热带土壤磷的吸附作用. 土壤学进展, 1981, (5): 33—39
2. 张福锁, 李小林. 石灰性土壤磷的生物活化途径. 见: 土壤与植物营养研究新动态. 北京: 北京农业大学出版社, 1992. 1: 94—101
3. 蒋柏藩, 顾益初. 石灰性土壤无机磷分级体系的研究. 中国农业科学, 1989, 22(3): 58—66
4. 顾益初, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷分级的测定方法. 土壤, 1990, 22(2): 101—102
5. Gahoonia T S, Nielsen N E. The effect of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere. Plant and Soil, 1992, 143: 185—191