

刘 博, 雒沛文, 齐永波, 等. 氨基酸增效磷肥对黄褐土磷有效性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 269–272.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.061

# 氨基酸增效磷肥对黄褐土磷有效性的影响

刘 博, 雒沛文, 齐永波, 张国漪, 黄界颖, 梁越敢, 章力干

(安徽农业大学资源与环境学院, 安徽合肥 230036)

**摘要:**我国当季的磷肥利用率较低, 因此, 提高磷肥的利用率是迫切需要解决的技术难题。拟通过土壤培养试验, 探明氨基酸增效磷肥对土壤磷有效性的影响。设置不施肥组(CK)、单施磷肥组(P)、1%氨基酸+磷肥组(AP<sub>1</sub>)和5%氨基酸+磷肥组(AP<sub>2</sub>), 在实验室进行90 d的黄褐土培养试验, 研究氨基酸增效磷肥对土壤中速效磷含量、磷形态转化和磷酸酶活性等的影响。与单施磷肥组相比, 氨基酸增效磷肥可以显著提高培养过程中前期(培养3 d)、后期(培养90 d)土壤的速效磷含量, 提升幅度约为6%~8%。氨基酸增效磷肥提高土壤速效磷含量的原因包括3个方面: 首先, 氨基酸可以促进土壤磷酸钙盐(Ca-P)向磷酸铝(Al-P)、磷酸铁(Fe-P)转化, 减少土壤中磷的固定; 其次, 氨基酸增效磷肥可以提高土壤中磷酸二酯酶、碱性磷酸单酯酶的活性, 从而促进土壤中有机磷向无机磷转化; 再次, 氨基酸增效磷肥降低了土壤的pH值。研究结果为氨基酸增效磷肥的推广提供了理论依据。

**关键词:**氨基酸增值磷肥; 黄褐土; 有效性; 磷转化; 酶活性

**中图分类号:** S143.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0269-04

磷(P)是植物生长发育过程中不可缺少的一种必要营养元素<sup>[1]</sup>。由于土壤特定的理化性质和磷酸盐的化学行为, 磷进入土壤后的有效性迅速降低, 当季利用率一般仅有10%~25%, 绝大多数肥料磷以无效态存在于土壤中<sup>[2]</sup>。添加磷肥虽然增加了土壤磷的供应能力, 但是超过一定限度时会危害水体生态安全<sup>[3]</sup>。因此, 如何减少土壤磷的固定, 提高磷肥的利用率是迫切要解决的技术难题。

目前在腐殖酸、海藻酸、氨基酸等增效剂提高磷肥利用率方面已有探索性的研究。日本桥本雄司曾发现, 腐殖酸能减少土壤对磷的固定<sup>[4]</sup>; 李志坚等研究发现, 由改性腐殖酸、聚合谷氨酸、发酵海藻液制成的增效磷肥能提高土壤中磷肥的利用率<sup>[5]</sup>; 周红梅将海藻提取物作为添加剂进行土壤培养试验, 发现海藻提取物能提高土壤无机磷酸二钙(Ca<sub>2</sub>-P)、磷酸铝(Al-P)含量, 从而提高磷在土壤中的有效性<sup>[6]</sup>。氨基酸富含氨基和羧基, 与磷酸混合可能会提高磷的有效性, 改善土壤中磷的营养状况<sup>[7]</sup>。张健研究表明, 水溶性肥料中添加氨基酸发酵尾液能产生明显的增效作用, 从而提升土壤中的速效磷(Olsen-P)含量<sup>[8]</sup>。但是氨基酸对土壤酶活性、磷形态转化等的影响及其增效作用机制尚不清楚。

本研究设置氨基酸与磷酸氢二铵的不同配比试验组进行土壤培养试验, 研究氨基酸增效磷肥对土壤中速效磷、磷形态转化和磷酸酶活性的影响, 以期阐明氨基酸增效剂提高磷利用效率的机制, 为氨基酸增效剂的推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验于2017年7—11月在安徽农业大学实验室进行。供试土壤为黄褐土, 采于安徽合肥, 供试土壤的基本理化性状如下: 有机质含量为9.3 g/kg, 全氮含量为0.85 g/kg, 碱解氮含量为51.3 mg/kg, 总磷含量为0.32 g/kg, 速效磷含量为6.39 mg/kg, pH值为7.45。供试氨基酸溶液由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所提供。

### 1.2 试验设计

本试验共设置4个处理: (1)不施肥(CK); (2)单施磷肥(P); (3)1%氨基酸+磷肥(AP<sub>1</sub>); (4)5%氨基酸+磷肥(AP<sub>2</sub>)。每个处理重复15次, 每次取样时从每组中破坏性取3个。

培养方法: 称取50 g土壤于培养杯中, 根据试验设计分别加入磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量为0.3 g/kg)、氨基酸磷肥(氨基酸量分别按磷肥的1%、5%投加), 与土壤均匀混合后, 调节土壤的含水量为田间持水量的60%, 用带孔保鲜膜封口, 将培养杯置于25℃人工气候箱内保持湿度培养。试验期间定期称质量, 用质量法补充水分。在培养后的3、15、30、60、90 d取样, 部分新鲜土样用于磷酸单酯酶、磷酸二酯酶活性以及<sup>31</sup>P核磁共振的测定, 其余土样风干、研磨并过尼龙筛后备用, 用于pH值、速效磷、无机磷形态的分析。

### 1.3 分析方法

速效磷含量采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法<sup>[9]</sup>测定, 总磷含量采用钼酸铵分光光度法测定, pH值用pH计测定(土水比为1 mL: 2.5 g)。无机磷形态Al-P、磷酸铁(Fe-P)、闭蓄态磷(O-P)和Ca-P的分析采用无机磷形态分级测定方法<sup>[10]</sup>。将培养的新鲜土壤样品用氢氧化钠-乙二胺四乙酸(简称NaOH-EDTA)浸提离心后, 取其上清液, 用于液态<sup>31</sup>P核磁共振波谱分析<sup>[11-12]</sup>。磷酸单酯酶活性的测定采

收稿日期: 2018-09-11

基金项目: 国家重点研发计划(编号: 2016YFD0200402-3)。

作者简介: 刘 博(1992—), 男, 安徽池州人, 硕士研究生, 主要从事农业资源利用方面的研究。E-mail: 605782972@qq.com。

通信作者: 章力干, 硕士, 副教授, 主要从事新型肥料的研发与应用工作。E-mail: zhangligan1965@163.com。

用对硝基苯磷酸盐法,磷酸二酯酶活性的测定采用双对硝基苯磷酸盐法<sup>[10]</sup>。

磷肥的固定可以用如下公式计算<sup>[13]</sup>:固定率=[(施入的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量-土壤速效磷增加量)/施入的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量]×100%。其中,速效磷增加量是指 90 d 时施磷肥组与 CK 组速效磷用量的差值。

1.4 统计分析

运用 SPSS 统计分析软件进行相关性和显著性分析。

2 结果与分析

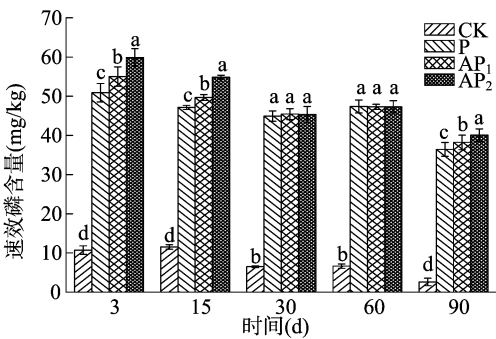
2.1 氨基酸磷肥对土壤速效磷含量的影响

由图 1 可以看出,在整个土壤培养阶段,各处理组速效磷含量随着培养时间的延长而逐渐降低,氨基酸处理组速效磷含量均高于单施磷肥组。在试验后的 3、15、90 d,氨基酸处理组的速效磷含量显著高于单施磷肥组。在试验后的 90 d,氨基酸处理组的速效磷含量比单施磷肥组提高了 6% (AP<sub>1</sub>)、8% (AP<sub>2</sub>)。以上结果表明,氨基酸增效剂能在前期、后期减少磷在土壤中的固定,增加土壤中的速效磷含量。因为氨基酸施入土壤后能改善土壤的物理环境,活化难溶的磷,提高磷的利用率;另一方面,氨基酸在微生物作用下被分解为有机酸,进而络合土壤中能与磷结合的钙、铁、铝,减少磷的固定,提高了磷的利用率<sup>[14-15]</sup>。

与 1% 氨基酸处理组相比,5% 氨基酸处理能显著提高土壤中的速效磷含量,在试验后的 3、15、90 d,速效磷含量分别提高了 8%、9%、7%。表明增加氨基酸施用浓度对土壤中速效磷含量有一定的促进作用,可以提高磷的有效性。

2.2 氨基酸磷肥对土壤 pH 值的影响

土壤 pH 值是土壤酸碱度的重要指标,是影响土壤中营养元素释放和有效性的重要因素<sup>[16]</sup>。由图 2 可以看出,在培养的前 30 d,pH 值总体呈下降的趋势。在试验后 15、30 d,与单施磷肥组相比,氨基酸处理组的 pH 值明显降低。这是因为氨基酸在土壤中易被微生物水解,生成酸性物质。在黄褐土中施入氨基酸增效磷肥可以降低土壤 pH 值,这有助于提高磷肥的有效性<sup>[7]</sup>。



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示其间差异显著 (P<0.05)。图 2、图 4 同

图1 土壤培养条件下氨基酸增效磷肥对土壤速效磷含量的影响

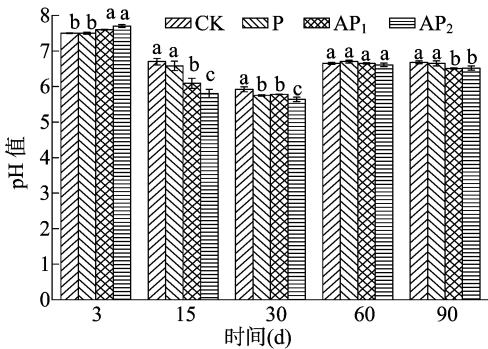


图2 土壤培养条件下氨基酸增效磷肥对黄褐土 pH 值的影响

2.3 氨基酸磷肥对土壤无机磷含量的影响

无机磷是主要的土壤磷源,土壤中的 Al-P、Fe-P 是重要的潜在速效磷供给源,而 O-P (闭蓄态磷)、Ca-P 为植物难以利用的磷。由表 1 可以看出,黄褐土中的 Al-P、Fe-P、Ca-P 含量较高,O-P 含量较低。在试验后 3 d,与单施磷肥组(P)相比,氨基酸处理组 (AP<sub>1</sub>、AP<sub>2</sub>) 可以增加土壤中的 Al-P、Fe-P 含量,降低 Ca-P 的含量;Al-P 含量增加了 19.22% (AP<sub>1</sub>)、20.37% (AP<sub>2</sub>),Fe-P 含量提高了 24.22% (AP<sub>1</sub>)、30.23% (AP<sub>2</sub>)。结果表明,氨基酸能够促进 Ca-P 向 Al-P、Fe-P 转化。Al-P、Fe-P 作为速效磷的重要供给源,其含量的增加有利于提高土壤中磷的有效性<sup>[17-20]</sup>。

表 1 氨基酸增效磷肥对黄褐土无机磷组分的影响

试验时间 (d)	处理	无机磷含量 (mg/kg)			
		Al-P	Fe-P	O-P	Ca-P
3	CK	10.01 ± 1.11c	15.58 ± 0.846d	2.91 ± 0.01a	13.37 ± 1.10a
	P	35.01 ± 1.73b	25.80 ± 1.301c	0.71 ± 0.05c	13.17 ± 2.72a
	AP <sub>1</sub>	41.74 ± 0.43a	32.05 ± 0.923a	1.79 ± 1.09a	12.76 ± 1.84a
	AP <sub>2</sub>	42.14 ± 1.28a	33.60 ± 1.19b	1.50 ± 0.74b	9.15 ± 1.76b
30	CK	8.83 ± 1.63c	13.08 ± 0.55b	0.70 ± 0.71a	35.27 ± 2.67a
	P	56.17 ± 4.72a	31.52 ± 2.32a	1.28 ± 0.98a	21.14 ± 1.86b
	AP <sub>1</sub>	40.07 ± 2.84b	30.98 ± 0.54a	1.56 ± 0.36a	28.03 ± 1.39b
	AP <sub>2</sub>	38.55 ± 1.65b	31.46 ± 0.38a	0.93 ± 0.66a	25.51 ± 1.56b
90	CK	22.29 ± 0.41b	22.44 ± 1.40b	0.31 ± 0.08a	27.61 ± 1.78a
	P	62.92 ± 3.37a	45.86 ± 3.03a	0.25 ± 0.01a	27.79 ± 2.9a
	AP <sub>1</sub>	61.89 ± 2.9a	56.52 ± 1.37a	0.52 ± 0.06a	29.63 ± 1.37a
	AP <sub>2</sub>	63.20 ± 3.8a	58.31 ± 4.70a	0.40 ± 0.13a	31.10 ± 2.87a

注:同列数据后标有不同小写字母者表示其间差异性达 0.05 水平。

由表 2 无机磷与速效磷含量的相关性可知,Al-P、Fe-P 含量与速效磷含量呈极显著的正相关关系,表明 Al-P、

表 2 土壤速效磷含量与不同形态无机磷含量之间的相关性

试验时间 (d)	类别	相关系数				
		Al - P 含量	Fe - P 含量	O - P 含量	Ca - P 含量	Olsen - P 含量
3	Al - P 含量	1.000	0.983 **	-0.756	0.308	0.926 **
	Fe - P 含量		1.000	-6.370	-0.230	0.845 **
	O - P 含量			1.000	0.204	0.945
	Ca - P 含量				1.000	0.319
	Olsen - P 含量					1.000
30	Al - P 含量	1.000	0.919 **	0.689 *	0.978	0.910 **
	Fe - P 含量		1.000	0.688 *	0.887	0.999 **
	O - P 含量			1.000	0.521	0.703 *
	Ca - P 含量				1.000	0.872
	Olsen - P 含量					1.000
90	Al - P 含量	1.000	0.671 *	0.310	0.576	0.995 **
	Fe - P 含量		1.000	0.762 **	0.390	0.623 *
	O - P 含量			1.000	0.662 *	0.307
	Ca - P 含量				1.000	0.634 *
	Olsen - P 含量					1.000

注: \*\* 表示相关性在 0.01 水平上显著; \* 表示相关性在 0.05 水平上显著。

Fe - P 含量可以反映土壤中磷的有效性。在试验中期( 试验后 30 d ),与单施磷肥相比,氨基酸组的 Al - P、Fe - P 含量低于单施磷肥组,Al - P、Fe - P 含量的减少降低了土壤磷的有效性。在试验末期( 试验后 90 d ),氨基酸组的 Al - P、Fe - P 含量整体上高于单施磷肥组。

2.4 氨基酸磷肥对黄褐土<sup>31</sup>P - NMR 的影响

土壤<sup>31</sup>P - NMR 图谱常见含磷化合物( NaOH - EDTA 提取)的化学位移在 25 ~ -25 ppm 之间<sup>[21]</sup>,本研究中添加氨基酸的土壤中主要有正磷酸盐( 简称 Ortho - P,化学位移为 5 ~ 7 ppm)和焦磷酸盐( 简称 Pyro - P,化学位移为 -4 ~ -5 ppm)。正磷酸盐为土壤中主要的无机磷形态,占总磷的 90% ~ 100%( 表 3、图 3)。<sup>31</sup>P - NMR 图谱中有机磷( 磷酸单脂的化学位移为 3 ~ 6 ppm,磷酸二脂的化学位移为 2.5 ~ -1.0 ppm)含量很低,可能与土壤有机质含量较低有关<sup>[22]</sup>。

表 3 液态<sup>31</sup>P - NMR 分析土壤 NaOH - EDTA

浸提液中的磷组分含量			
试验时间 (d)	组别	正磷酸盐含量 (mg/kg)	焦磷酸盐含量 (mg/kg)
3	CK	64.82	nd
	P	227.17	nd
	AP <sub>2</sub>	261.93	nd
30	CK	74.98	nd
	P	218.74	nd
	AP <sub>2</sub>	228.47	nd
90	CK	106.95	26.19
	P	354.83	5.38
	AP <sub>2</sub>	343.32	7.01

注:nd 表示未检测出。

由表 3、图 3 可以看出,与空白组相比,单施磷肥和添加氨基酸磷肥均能提高土壤正磷酸盐含量。单施磷肥组与氨基酸处理组的磷形态无明显差异,在土壤中主要以无机磷为主。这与已有土壤类型的磷形态研究结果类似<sup>[23-25]</sup>,因为添加的肥料为无机磷肥,提高了土壤中的无机磷含量。在试验末期( 试验后 90 d ),与空白组相比,单施磷肥组与氨基处理组均

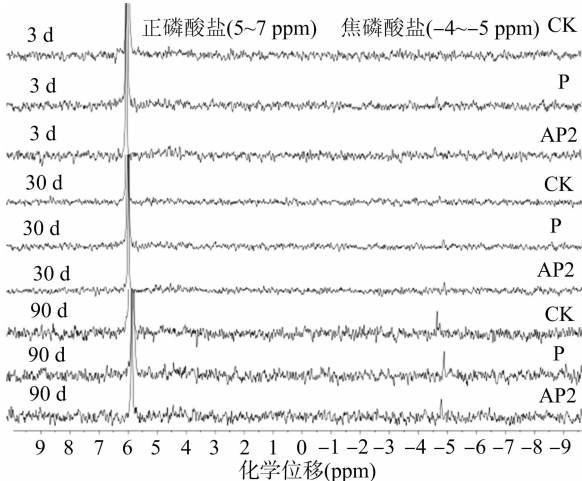


图 3 土壤 NaOH-EDTA 提取液的液体<sup>31</sup>P 核磁共振谱图

降低了焦磷酸盐含量,氨基酸处理组的焦磷酸盐含量高于单施磷肥组。

2.5 氨基酸磷肥对黄褐土磷酸酶活性的影响

磷酸二酯酶主要作用于土壤中的磷酸二酯,将其水解为磷酸单脂,此后又在磷酸单酯酶的作用下转化为植物可利用的正磷酸盐<sup>[26]</sup>。在试验的前期、末期( 试验后 3、90 d ),与单施磷肥组相比,氨基酸处理组( AP<sub>1</sub>、AP<sub>2</sub> )能显著提高土壤中磷酸二酯酶活性,其中试验后 3 d 的 AP<sub>1</sub>、AP<sub>2</sub> 处理组磷酸二酯酶活性分别提高了 50%、54%( 图 4)。磷酸二酯酶活性与无机正磷酸盐具有相同的变化趋势,表明磷酸二酯酶活性的增强能提高无机正磷酸盐含量。

磷酸酶在土壤循环中起重要作用,可将有机磷转化为无机磷而被作物吸收利用<sup>[27-29]</sup>。与单施磷肥(P)相比,在整个培养阶段添加氨基酸的处理( AP<sub>1</sub>、AP<sub>2</sub> )会降低酸性磷酸单酯酶活性,不同浓度氨基酸处理组之间的酶活性无显著差异。酸性磷酸单酯酶在低磷条件下会被刺激分泌,当氨基酸含量增加时,土壤中速效磷含量增加,酸性磷酸单酯酶的刺激作用减弱,导致酸性磷酸单酯酶活性降低<sup>[30]</sup>。

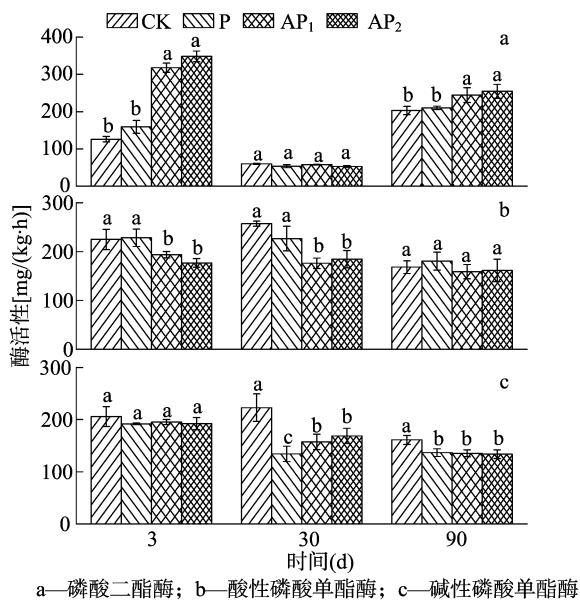


图4 氨基酸增效磷肥对磷酸酶活性的影响

碱性磷酸单酯酶活性是衡量环境中有机态磷转化潜力与补给机制的重要因素<sup>[31]</sup>。在试验前、后期(试验后3、90 d),添加氨基酸对碱性磷酸单酯酶活性的影响不显著。在试验中期(试验后30 d),与单施磷肥组相比,氨基酸处理组能够提高碱性磷酸单酯酶活性。碱性磷酸单酯酶活性的增强能够促进土壤中有机磷向无机磷转化。

### 3 结论

与单施磷肥组相比,添加氨基酸可以显著地增加土壤中速效磷的含量,尤其是在试验前期,并且土壤速效磷含量随着氨基酸用量的增加而提高。氨基酸可以降低土壤初期的pH值,促进Ca-P向Al-P、Fe-P转化。<sup>31</sup>P核磁共振结果表明,黄褐土中磷以无机正磷酸盐为主,氨基酸可以提高土壤中的正磷酸盐含量。此外,氨基酸可以提高土壤中磷酸二酯酶、碱性磷酸单酯酶的活性,促进有机磷向无机磷转化。

### 参考文献:

- [1] 高小龙,张恒文. 甘肃天水市麦积区果蔬土壤中氮、磷元素的测定[J]. 北京农业,2014(15):132-133.
- [2] 邱兰兰,贺山峰,石元亮. 活化剂对黑土磷有效性影响研究[J]. 土壤通报,2013,44(5):1168-1172.
- [3] 蒋柏藩. 磷肥在土壤中的形态转化及其有效性[J]. 土壤学进展,1981,9(2):1-11.
- [4] 邱燕,张鼎华. 南方酸性土壤磷素化学研究进展[J]. 福建稻麦科技,2003,21(3):14-17.
- [5] 李志坚,林治安,赵秉强,等. 增效磷肥对冬小麦产量和磷素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(6):1329-1336.
- [6] 周红梅. 海藻提取物对石灰性土壤磷及小油菜品质的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2006.
- [7] 李志坚,林治安,赵秉强,等. 增值磷肥对潮土无机磷形态及其变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(5):1183-1191.
- [8] 张健. 氨基酸发酵尾液对水溶肥料的增效作用与机理研究[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
- [9] 周明乐,夏国光,彭汉桥,等. 水中总磷测定——过硫酸钾氧化分

- 光光度法[J]. 环境科学与技术,1986(4):20-22.
- [10] 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.
- [11] Smith M T, Cade-Menun B J, Tibbett M. Soil phosphorus dynamics and phytoavailability from sewage sludge at different stages in a treatment stream[J]. Biology and Fertility of Soils, 2006, 42(3): 186-197.
- [12] Turner B L. Organic phosphorus in Madagascan rice soils[J]. Geoderma, 2006, 136(1/2): 279-288.
- [13] 李丽,武丽萍,成绍鑫. 腐殖酸钾与速效磷肥结合形态对磷的有效性影响[J]. 土壤肥料,2000(3):7-9.
- [14] Bolan N S, Syers J K, Tillman R W. Ionic strength effects on surface charge and adsorption of phosphate and sulphate by soils[J]. European Journal of Soil Science, 1986, 37(3): 379-388.
- [15] Brady N C, Weil R R. The nature and properties of soils[M]. New Jersey, USA: Prentice-Hall Inc, 1996.
- [16] 黄文鹏. 不同氮磷钾肥对土壤pH和镉有效性的影响[J]. 山东工业技术, 2015(20): 267.
- [17] 聂广森. 长期定位施肥对潮土磷素组分和含量的影响[D]. 开封:河南大学,2017.
- [18] 韩晓日,马玲玲,王晔青,等. 长期定位施肥对棕壤无机磷形态及剖面分布的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(4):51-55,144.
- [19] 王斌,马兴旺,许咏梅,等. 腐殖酸对灰漠土棉田土壤无机磷形态的影响[J]. 新疆农业科学,2007,44(3):312-317.
- [20] 周红梅,黄成星,段成鼎,等. 海藻提取物对石灰性土壤无机磷组分及速效磷的影响[J]. 山东农业科学,2008(6):73-76.
- [21] 汪洪,宋书会,张金尧,等. 土壤磷形态组分分级及<sup>31</sup>P-NMR技术应用研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(2):512-523.
- [22] 解锋,李颖飞. 土壤中磷的形态及转化的探讨[J]. 杨凌职业技术学院学报,2011,10(1):4-8.
- [23] 彭喜玲,方海兰,占新华,等. 利用<sup>31</sup>P核磁共振技术研究污泥中磷在土壤中的形态转换[J]. 农业环境科学学报,2009,28(10):2104-2110.
- [24] 马瑞,方海兰,梁晶,等. 利用<sup>31</sup>P核磁共振技术研究不同磷肥施用方式对土壤磷形态的影响[J]. 上海农业学报,2013,29(3):14-19.
- [25] 韩晓日,温秋香,李娜,等. 棕壤有机无机磷分级方法的比较研究[J]. 沈阳农业大学学报,2011,42(6):692-697.
- [26] 曲博. 湿地土壤磷酸酶活性对土壤有机磷形态转化的影响研究[D]. 北京:北京林业大学,2015.
- [27] 谢钰容,周志春,廖国华,等. 低磷胁迫下马尾松种源酸性磷酸酶活性差异[J]. 林业科学,2005(3):58-62.
- [28] 于姣姐,殷丹阳,李莹,等. 生物炭对土壤磷素循环影响机制研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):17-21.
- [29] 任美霖,王绍明,张霞,等. 淮噶尔盆地南缘2种禾本科植物根鞘土壤理化性质、微生物数量及土壤酶活性研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):227-231.
- [30] 陈欢,李玮,张存岭,等. 淮北砂姜黑土酶活性对长期不同施肥模式的响应[J]. 中国农业科学,2014,47(3):495-502.
- [31] 李文华,邵学新,吴明,等. 杭州湾潮滩湿地土壤碱性磷酸酶活性分布及其与磷形态的关系[J]. 环境科学学报,2013,33(12):3341-3349.