

文章编号: 1005-0906(2011)02-0123-06

有机肥磷替代化肥磷对春玉米干物质积累和磷素吸收的影响

刘占军¹, 谢佳贵², 张 宽², 王秀芳², 侯云鹏², 尹彩侠², 李书田¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 吉林省农业科学院农业环境与资源研究中心, 长春 130124)

摘 要: 2008 ~ 2009 年在吉林省公主岭黑土上研究有机肥磷部分替代化肥磷对春玉米干物质积累、产量、养分吸收和利用的影响。结果表明, 有机肥磷替代化肥磷增加苗期或拔节期土壤速效磷含量; 与 100% 化肥磷处理相比, 用 30% 有机肥磷替代化肥磷对玉米干物质积累、子粒产量和磷素吸收没有显著影响, 但显著增加营养体磷素的再分配率和对子粒的贡献率, 提高了磷素的农学效率。

关键词: 春玉米; 磷肥; 有机肥; 磷素吸收

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Biomass Accumulation and Phosphorus Uptake of Spring Maize as Influenced by Organic Manure Substitution for Chemical Phosphate

LIU Zhan-jun¹, XIE Jia-gui², LI Shu-tian¹, et al.(1. *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081*; 2. *Agricultural Environment and Resource Research Centre, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China*)

Abstract: In 2008 and 2009, field trials were conducted in spring maize in black soil of Jinlin to evaluate the effects of phosphorus (P) substitution by manure P on biomass, grain yield and P use efficiency. The results indicated that soil Olsen-P increased in seedling or jointing stage by manure substitutions. Compared with full chemical P, manure substitutions for P did not significant influence on biomass accumulation, grain yield and P uptake. Manure substitutions for P significantly increased P redistribution and contribution efficiency from vegetative parts to grain. Agronomic efficiency was also increased by manure substitution.

Key words: Spring maize; Phosphate fertilizer; Organic manure; Phosphorus uptake

磷在土壤中移动性差, 作物对其当季利用率低^[1], 大部分在土壤中积累。在 1980 ~ 2000 年的 20 年间, 我国土壤全磷含量平均增加 210 mg/kg, 速效磷(Olsen-P)增加 6 ~ 8 mg/kg, 年均增加 11%^[2]。随着农田土壤磷的逐渐积累, 农田磷的环境风险逐渐增大^[3]。提高磷肥当季利用率国内外已有许多研究^[4~6], 其中, 有机肥和化肥配施是有效措施之一。虽然我国有机肥资源丰富, 但利用率不高, 尤其东北地区长

期施用高浓度磷肥^[7], 而不施或很少施用有机肥^[8~10]。在保证粮食产量的前提下, 充分利用有机肥资源, 适量减少化学磷肥的施用, 是发展资源节约型和环境友好型施肥措施的对策之一^[11, 12]。

目前, 关于有机无机肥料配合施用对作物生长、产量、品质效应、土壤肥力以及养分利用率影响的研究已有大量报道, 但大多是在推荐的化肥用量基础上增施有机肥, 不考虑通过有机肥加入的养分数量。在氮磷钾养分一致的条件下研究有机肥与化肥配施的效应鲜见报道。因此, 本试验结合农民习惯施磷量和推荐施磷量, 研究有机肥磷替代部分化肥磷对春玉米生长发育、产量、养分吸收与利用的影响, 为东北春玉米合理施用磷肥提供依据。

1 材料与方法

收稿日期: 2010-03-25

基金项目: 国家“973”计划课题“肥料减施增效与农田可持续利用基础研究”(2007CB109308)

作者简介: 刘占军(1984-), 男, 河南新密人, 硕士, 从事肥料资源高效利用研究。E-mail: liuzhanjun07@yahoo.cn

李书田为本文通讯作者。Tel: 010-82108000-815

E-mail: stli@caas.ac.cn

1.1 试验设计

试验于 2008 ~ 2009 年在吉林省公主岭市陶家进行, 土壤基本理化性质见表 1。试验设 5 个处理: 不施磷(P0)、农民习惯施磷量 75 kg/hm²(P75)、施磷量 75 kg/hm² (70%化肥磷 + 30%有机肥磷,P75M)、推荐施磷量 60 kg/hm²(P60)、施磷量 60 kg/hm²(70%化肥磷 +30%有机肥磷,P60M)。化学磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 46%), 有机肥为腐熟猪粪(含 N 4.1%、P₂O₅ 5.6%、K₂O 4.2%)。各处理氮、钾肥用量相同, 分别为 N 190 kg/hm² 和 K₂O 90 kg/hm², 包括通过有机肥施入的氮、钾量, 氮肥用普通尿素(含 N 46%), 钾肥

用氯化钾(含 K₂O 60%)。肥料全部作基肥条施后起垄种植玉米, 各处理重复 4 次, 随机排列, 小区面积 30 m²。

供试玉米品种为郑单 958, 播种密度 6.0 万株 / hm², 常规田间管理。在苗期、拔节期、喇叭口期、抽雄期、灌浆期和收获期测定玉米生物量和养分含量, 并采取耕层 0 ~ 20 cm 土壤样品测定有效磷含量。2008 年试验取样时间为出苗后 21、42、58、70、106、131 d, 2009 年试验取样时间为出苗后 18、52、68、81、108、142 d。

表 1 试验地耕层土壤基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil (0–20 cm) in the experiment sites

年 份	土壤类型	pH 值	有机质(g/kg)	速效磷(mg/kg)	硝态氮(mg/kg)	铵态氮(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
Year	Soil type	pH value	Organic matter	Olsen-P	Nitrate N	Ammonium N	Available K
2008	黑 土	6.1	29.4	29.4	11.1	21.1	127.0
2009	黑 土	5.5	24.7	29.2	11.9	16.1	176.6

1.2 分析测定与统计方法

土壤 pH、有机质、速效钾等采用常规分析; 土壤速效磷采用 Olsen 法, 用 0.5 mol/L (pH=8.5) 的 NaHCO₃ 浸提 – 钼锑钒比色法测定; 各生育期植株全磷用 H₂SO₄–H₂O₂ 消煮, 采用钒钼黄比色法测定^[13]。

磷肥表观回收率 (REP)=(施磷区收获期地上部吸磷总量 – 不施磷区收获期地上部吸磷总量) / 施磷量; 磷肥农学效率 (AEP)=(施磷区产量 – 不施磷区产量) / 施磷量; 磷肥吸收效率 (UEP)= 施磷区收获期地上部吸磷总量 / 施磷总量^[14]; 磷素再分配率 = (抽雄期营养体磷积累量 – 成熟期营养体磷积累量) / 抽雄期营养体磷积累量; 对子粒磷贡献率 = (抽雄

期营养体磷积累量 – 成熟期营养体磷积累量) / 收获期子粒磷积累量^[15]。所有数据采用 Excel 2000 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施磷处理对春玉米干物质积累的影响

2008 年除抽雄期不施磷处理干物质积累显著降低外, 其他时期各处理间干物质积累无显著差异(表 2)。无论在习惯施磷量还是推荐施磷量下, 30% 有机肥磷替代化肥磷对各生育期玉米干物质累积没有显著影响, 习惯施磷量和推荐施磷量间无显著差异。

表 2 不同施磷处理对春玉米不同生育期干物质累积量的影响

Table 2 Effects of different P treatments on dry matter accumulation of spring maize at different growing stages kg/hm²

年 份	处 理	苗 期	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	灌浆期	收获期
Year	Treatment	Seedling stage	Jointing stage	Belling stage	Tasselling stage	Filling stage	Maturing stage
2008	P0	53 a	1 076 a	5 707 a	6 985 b	19 643 a	21 248 a
	P75	54 a	1 279 a	5 954 a	8 331 a	20 322 a	22 027 a
	P75M	54 a	1 403 a	5 239 a	8 106 a	19 282 a	22 217 a
	P60	52 a	1 338 a	6 104 a	8 096 a	18 817 a	23 074 a
	P60M	51 a	1 264 a	5 555 a	7 669 ab	20 020 a	22 493 a
	P0	9 a	684 c	3 562 c	7 738 d	12 533 c	14 891 b
2009	P75	10 a	870 b	4 868 a	8 728 a	14 191 a	16 500 a
	P75M	9 a	981 a	4 448 b	8 547 ab	13 255 bc	16 348 a
	P60	11 a	846 b	4 244 b	7 954 cd	13 526 ab	16 409 a
	P60M	11a	668 c	3 790 c	8 212 bc	13 075 bc	16 219 a

注: 表中同列不同字母表示处理间在 5% 水平上差异显著。下表同。
Note: Numbers followed by the same letter in the same column showed no significant difference at 5% level. The same as the following tables.

2009 年除苗期各处理无显著差异外,其他各生育时期不施磷与各施磷处理相比显著降低干物质积累量。习惯施磷量下,用 30%的有机肥磷替代化肥磷除拔节期干物质积累量显著高于全部化肥磷处理外,其他时期低于全部化肥磷处理,并在大喇叭口期和灌浆期达显著差异($P<0.05$)。推荐施肥量下,利用 30%的有机肥磷替代化肥磷处理干物质在拔节期和大喇叭口期显著低于全部化肥磷处理。抽雄期前习惯施磷干物质积累显著高于推荐施磷,而在灌浆期和收获期差异不显著。

2.2 不同施磷处理对春玉米磷素吸收的影响

春玉米磷素积累与干物质积累一样,随生长发育而逐渐增加(表 3)。2008 年从苗期到抽雄期各处

理地上部磷素累积量无显著差异,直到灌浆和成熟期各施磷处理磷素累积量显著高于不施磷处理。推荐施磷量 30%有机磷替代化肥磷处理磷素累积量最高,说明在合理用量下有机肥、无机肥配合有利提高磷素的有效性。2009 年从苗期到收获期各施磷处理地上部磷素累积量显著高于不施磷处理,在前期(拔节期和大喇叭口期)习惯施磷量下,30%有机磷替代化肥磷和全部化肥磷处理地上部磷素累积量都显著高于推荐施磷量下的磷素累积量,而从抽雄期到收获期差异不显著。其原因可能是 2009 年玉米生育期降雨量少,温度较低,影响玉米对磷的吸收。2009 年试验中春玉米地上部干物质积累量和吸磷量均较 2008 年试验显著降低。

表 3 不同施磷处理对春玉米不同生育期地上部磷素积累量的影响

Table 3 Effects of different P treatments on P accumulation in above ground parts of maize at different growing stages kg/hm²

年 份	处 理	苗 期	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	灌浆期	成熟期
Year	Treatment	Seedling stage	Joining stage	Belling stage	Tasseling stage	Filling stage	Maturing stage
2008	P0	0.33 a	5.4 b	26.0 a	26.6 a	37.9 c	44.5 b
	P75	0.31 a	6.6 ab	27.7 a	30.4 a	47.9 ab	49.6 ab
	P75M	0.35 a	7.3 a	20.9 a	26.9 a	42.5 bc	49.2 ab
	P60	0.30 a	7.0 a	22.8 a	27.5 a	44.7 bc	47.3 ab
	P60M	0.30 a	6.3 ab	20.1 a	27.3 a	52.2 a	50.0 a
2009	P0	0.02 b	1.9 c	9.2 d	19.0 b	17.8 c	23.6 c
	P75	0.03 a	2.6 b	18.1 a	23.5 a	25.7 a	27.3 a
	P75M	0.03 a	3.1 a	13.5 b	23.3 a	24.4 ab	26.0 ab
	P60	0.03 a	2.5 b	12.0 bc	21.0 ab	22.6 b	26.1 ab
	P60M	0.03 a	2.1 c	11.7 c	22.6 a	23.4 b	25.1 bc

2.3 不同施磷处理对春玉米产量及其构成因素的影响

施磷能显著提高春玉米百粒重,而对穗长、穗粒数没有显著影响(表 4)。2008 年施磷春玉米产量增产 1.7%~5.0%,未达到显著水平,但习惯施磷量和推荐施磷量下,30%有机磷替代化肥磷处理产量高于全部化肥磷处理。2009 年习惯施磷量下均显著提高春玉米产量,比不施磷增产 6.4%;推荐施磷量下增产效果不显著。可见,有机肥、无机肥配合施用,虽然减少了 30%的化肥磷,而且部分氮和钾也被有机肥替代,但并未使春玉米产量下降,尤其在干旱年份有机肥、无机肥配合效果更明显,这可能与提高玉米根系数量和活力有关^[6],也与有机肥可提供中微量营养元素有关,还可能与有机肥提高水分利用效率有关^[7]。因此,利用有机肥磷替代部分化肥磷是可行的,可节省化肥磷的投入。

2.4 不同施磷处理对磷素利用效率的影响

营养体磷素再分配对春玉米生长后期物质合成、运输及经济产量形成有重要意义。方差分析表明,2009 年干旱条件下,磷肥用量显著影响营养体磷素对子粒的贡献率,有机肥提高春玉米营养体磷素再分配及对子粒磷贡献率,尤其在推荐施磷量和干旱年份更明显(表 5)。习惯施磷量下,与全部化肥磷相比,30%有机肥磷替代化肥磷对营养体磷素再分配率没有显著影响,但 2008 年显著增加了营养体磷素对子粒磷素贡献率。推荐施磷量下,与全部化肥磷相比,30%有机肥磷替代化肥磷提高营养体磷素的再分配率和对子粒磷的贡献率,除 2008 年磷素再分配率不显著外,其余都达显著水平。说明有机无机磷素配合有利于营养体磷素的利用。2009 年干旱和低温年份由于磷素的吸收受到限制,因而营养体磷素再分配率和对子粒磷贡献率都显著高于降雨相对丰沛和气温相对较高的 2008 年。

农学效率反映肥料养分的作用^[18]。两年结果表

明,磷的农学效率为 0.8%~9.6%。2008 年推荐施磷量下的农学效率高于习惯施磷量下的农学效率,而 2009 年习惯施磷量下的农学效率高于推荐施磷量下的农学效率(表 6)。30%有机肥磷替代化肥磷处理的农学效率高于(或相当于)对应的全部化肥磷处理,说明有机无机磷素配合提高磷的农学效率。

表 4 不同施磷处理对春玉米产量及其构成因素的影响
Table 4 Effects of different P applications on grain yield and its components of maize

年 份	处 理	穗长(cm)	穗粒数(粒)	百粒重(g)	产量(kg/hm ²)	增产率(%)
Year	Treatment	Ear length	Grain number per spike	100-grain weight	Yield	Yield increase
2008	P0	16.4 a	619 a	32.8 b	11 391 a	
	P75	16.2 a	608 a	34.2 a	11 586 a	1.7
	P75M	16.3 a	605 a	34.0 a	11 661 a	2.4
	P60	16.8 a	624 a	35.1 a	11 835 a	3.9
	P60M	16.6 a	633 a	34.0 a	11 965 a	5.0
2009	P0	15.3 a	521 a	26.6 b	7 269 b	
	P75	15.0 a	595 a	30.5 a	7 733 a	6.4
	P75M	14.1 a	562 a	32.4 a	7 735 a	6.4
	P60	14.2 a	575 a	30.1 a	7 314 b	0.6
	P60M	15.3 a	506 a	30.1 a	7 378 ab	1.5

表 5 不同施磷处理对春玉米磷素再分配的影响
Table 5 Effects of different P applications on P-redistribution in spring maize %

处 理 Treatment	2008 年		2009 年	
	磷素再分配率	对子粒磷贡献率	磷素再分配率	对子粒磷贡献率
	N-redistribution rate	N-contribution rate	N-redistribution rate	N-contribution rate
P0	46.2 ab	33.6 d	60.9 bc	71.7 bc
P75	51.7 a	43.0 c	62.8 ab	85.9 a
P75M	50.7 a	51.1 b	64.5 ab	84.9 a
P60	42.0 b	35.9 cd	55.9 c	69.8 c
P60M	46.8 ab	59.7 a	66.8 a	77.3 b

表 6 不同施磷处理对磷素利用效率的影响
Table 6 Effects of different P applications on P use efficiency %

处 理 Treatment	2008 年			2009 年		
	农学效率	回收率	吸收效率	农学效率	回收率	吸收效率
	AEP	REP	UE	AEP	REP	UE
P75	2.6	15.6	1.5	6.2	11.3	0.83
P75M	3.6	14.4	1.5	6.2	7.3	0.79
P60	7.4	10.7	1.8	0.8	9.5	1.00
P60M	9.6	21.0	1.9	1.8	5.7	0.96

磷素的回收率一般只有 5.7%~21.0%,2008 年明显高于 2009 年。从吸收效率上看,2008 年的磷素吸收量是施用量的 1.5~1.9 倍,属系统耗竭型,磷素的投入不足;2009 年磷素吸收量是施用量的 0.8~1.0 倍,磷素投入产出基本平衡,属系统维持型。因此,作物对磷素的吸收和平衡与不同年份的降雨量和温度有很大关系,在推荐施磷中应当予以充分考虑。

2.5 不同施磷处理对耕层土壤 0~20 cm 速效磷含量的影响

由图 1 可知,2008 年各施磷处理土壤速效磷含量表现为拔节期升高,大喇叭口期和抽穗期下降,灌浆期又上升,收获期下降到一定水平;不施磷处理土壤速效磷含量处在相对较低水平;相同施磷水平下,苗期和大喇叭口期土壤速效磷含量均表现为 30%有机肥磷替代化肥磷处理高于全部化肥磷处理,说

明在等磷水平下,30%有机肥磷替代可提高前期土壤有效磷含量。其原因一方面有机肥中的磷酸酶能提高磷的活性^[19];另一方面有机肥中含有多种有机酸根(如柠檬酸根、草酸根、酒石酸根等),这些有机阴离子与磷酸根通过竞争吸附提高土壤磷的活性^[20]。2009 年土壤速效磷的变化与 2008 年不同,表

现出拔节期有所上升,之后一直下降,到灌浆期才维持到一定水平;不施磷处理土壤速效磷也一直在相对较低的水平,这也是产量下降的原因;习惯施磷处理土壤速效磷含量高于推荐施磷处理,尤其在拔节期最明显,是干物质和子粒产量较高的原因。

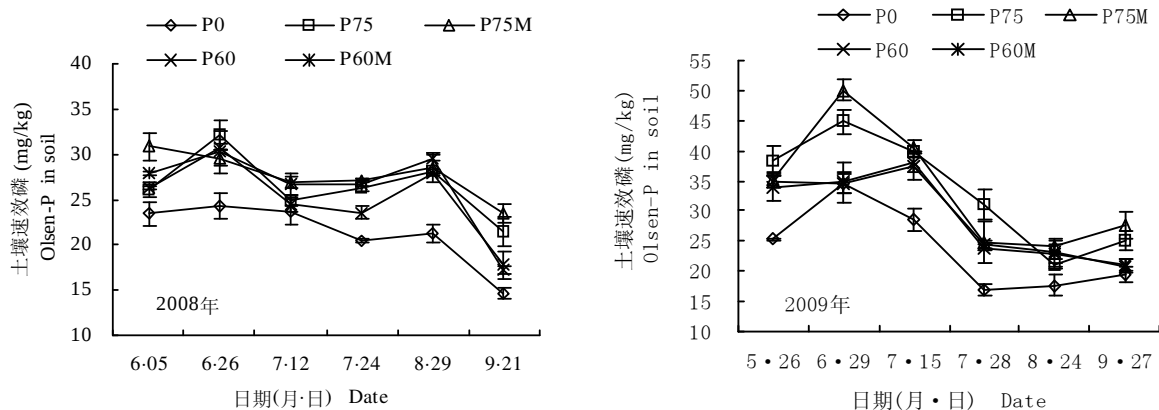


图 1 不同施磷处理不同生育期耕层 0~20 cm 土壤速效磷含量变化

Fig.1 Changes of different P treatments on available P in surface soil(0 – 20 cm) at different growing stages of spring maize

3 结论与讨论

春玉米的施磷效应在不同年份表现不同,其干物质积累、磷素吸收和利用效率有一定差异,与气象因子有很大关系。2008 年降雨较多,整个生育期(5~9 月)降雨量达 628 mm,较正常年份(约 477 mm)增加 31.7%;2009 年同期降雨量仅为 356 mm,平均减少 25.4%,属干旱年份。2008 年 5~9 月平均最高气温均高于 2009 年同期水平,6 月份的最低气温也高于 2009 年。干旱和低温显著影响土壤磷的有效性、玉米干物质积累和养分吸收。利用 30% 有机肥(腐熟猪粪)磷替代化肥磷,有利于维持前期较高的土壤有效磷水平,提高磷肥的吸收和利用,提高春玉米营养体磷素再分配率及对子粒磷贡献率,有利于春玉米光合产物的运输及春玉米经济产量的形成。但在干旱年份利用有机肥替代时,有机磷矿化受到影响,应适当增加磷的用量,以弥补干旱对磷有效性的影响。

从两年的结果看,利用 30% 有机肥磷替代化肥磷的春玉米产量与全部化肥磷处理相当,虽未增加产量,但节省了 30% 的化肥磷。各处理氮、钾用量一致,有机磷替代的同时,部分氮和钾也被有机肥替代,相应减少了化肥氮和钾的施用量。虽然从加入磷素总量计算磷素农学效率和磷素回收率没有因有机磷替代而增加,但若不考虑有机肥磷而根据化肥磷

量计算,无论在习惯施磷量还是推荐施磷量下,有机肥磷替代显著提高化肥磷的利用效率。

与全部化肥磷处理相比,有机肥磷替代了 30% 的化肥磷,在整个生育期提高或维持土壤速效磷含量,提高磷的利用效率,与其他研究结果一致。这些研究中有有机无机配合都是在施用化肥磷的基础上再加入有机肥,有机无机配合的氮磷钾用量往往高于全部化肥磷处理。本研究有机无机配合与全部化肥磷是在氮磷钾用量一致基础上的比较,在效果上有一定差异,但有机无机配合提高磷有效性是一致的。

在当前东北地区黑土磷素盈余^[21],土壤速效磷含量增加,利用 30% 有机肥磷替代,减少化肥磷的施用是可行的,不会造成减产,还能提高磷素的利用效率。

参考文献:

- [1] 林继雄,林葆,艾卫. 磷肥后效与利用率的定位试验[J]. 土壤肥料,1995(6): 1-5.
- [2] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与复肥,2003,18(1): 4-8.
- [3] 张维理,武淑霞,冀宏洁,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学,2004,34: 1008-1017.
- [4] 刘建玲,廖文华,张作新,等. 磷肥和有机肥的产量效应与土壤积累磷的环境风险评价[J]. 中国农业科学,2007,40(5): 959-965.
- [5] 李中阳,李菊梅,徐明岗,等. 外源磷对土壤无机磷的影响及有效性[J]. 中国土壤与肥料,2007(3): 32-35, 62.
- [6] Ibrici H, Ryan J, Uiger A C, et al. Maintenance of phosphorus fer-

- tilizer and residual phosphorus effect on corn production[J]. Nutrient Cycling Agroecosystems, 2005, 72: 279–286.
- [7] 张四代, 王激清, 张卫峰, 等. 我国东北地区化肥消费与生产现状、问题及其调控思路[J]. 磷肥与复肥, 2007, 22(5): 74–78.
- [8] 高 强, 刘振刚. 吉林省有机无机肥料的生产和使用[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(5): 59–59.
- [9] 代继光, 宋 丹, 明 亮, 等. 辽宁省有机肥料资源利用及发展前景[J]. 辽宁农业科学, 2009(3): 59–60.
- [10] 齐晓宁, 王 洋. 东北黑土区玉米优质与高产的限制因素分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 104–106.
- [11] 宋秀杰. 我国有机肥利用现状及合理利用的技术措施[J]. 农村生态环境, 1997, 13(2): 56–59.
- [12] 梁勤爽, 刘 波, 王莎娜. 有机肥释放面源污染物的危害与调控对策[J]. 四川环境, 2008, 27(6): 25–28.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] Dordas, C A, Lithourgidis A S, Matsi T, et al. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation and partitioning in maize[J]. Nutr. Cycl. Agroecosys, 2008.
- [15] 何 萍, 金继运, 林 葆. 氮肥用量对春玉米叶片衰老的影响及其机理研究[J]. 中国农业科学, 1998, 31(3): 1–4.
- [16] Dobermann A. Nutrient use efficiency—measurement and management[M]. Brussels Belgium: IFA international workshop on fertilizer best management practices, 2007.
- [17] 曹翠玉, 王永和, 费乙晖, 等. 有机肥料对石灰性土壤供磷影响的研究[J]. 南京农业大学学报, 1992, 15(4): 117–119.
- [18] Reddy D D, Rao A S, Reddy K S, et al. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean–wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus [J]. Field Crops Research, 1999, 62(2–3): 181–190.
- [19] Bahl G. S, Toor G S. Influence of poultry manure on phosphorus availability and the standard phosphate requirement of crop estimated from quantity–intensity relationships in different soils[J]. Bioresource Technology, 2002, 85(3): 317–322.
- [20] Garg S, Bahl G. S. Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer P associated phosphatase activity in soils[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(13): 5773–5777.
- [21] 曹 宁, 曲 东, 陈新平, 等. 东北地区农田土壤氮、磷平衡及其对面源污染的贡献分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(7): 127–133.

(责任编辑: 胡 娟)