

猪粪与化肥配施对春玉米碳氮代谢及产量与品质的影响

张玉平^{1,2,3,4}, 荣湘民^{1,2,3,4*}, 刘强^{1,2,3,4}, 谢桂先^{1,2,3,4}, 黄涛^{2,3}, 吴巍^{3,4}

(1.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2.土壤肥料资源高效利用国家工程实验室, 湖南 长沙 410128; 3.农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 4.植物营养湖南省普通高校重点实验室, 湖南 长沙 410128)

摘要:采用田间小区试验,以不同比例猪粪、猪粪堆肥、沼渣沼液与无机肥配施,研究其对春玉米光合特性、碳氮代谢关键酶活性、产量与品质的影响。结果表明:有机无机肥配施有利于改善春玉米光合特性,提高玉米功能叶硝酸还原酶(NR)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性,确保稳产并改善品质,其中,以20%的猪粪堆肥与化肥配施处理效果最好,与施纯化肥相比,其春玉米的叶片净光合速率、蒸腾速率分别提高了13.35%和9.81%,灌浆期NR和SPS活性分别提高了17.96%和9.98%,籽粒中粗蛋白、粗淀粉含量分别提高了30.4%和7.48%,硝酸盐含量降低了49.97%,玉米增产7.94%。

关键词:猪粪肥;化肥;春玉米;产量;品质;硝酸还原酶;蔗糖磷酸合成酶

中图分类号: S511.062

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)03-0319-06

Effects of combination of organic manure and inorganic fertilizer on yield, quality and metabolism of carbon and nitrogen of spring maize

ZHANG Yu-ping^{1,2,3,4}, RONG Xiang-min^{1,2,3,4*}, LIU Qiang^{1,2,3,4}, XIE Gui-xian^{1,2,3,4}, HUANG Tao^{2,3}, WU Wei^{3,4}

(1.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.National Engineering Laboratory of Soil and Resources Efficient Utilization, Changsha 410128, China; 3.Hunan Provincial Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Use, Changsha 410128, China; 4.Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China)

Abstract: Field plot trial was conducted to study the effect of combination of different organic fertilizer, namely pig manure, manure composting or biogas manure and chemical fertilizer on yield, quality and metabolism of carbon and nitrogen of spring maize. Results showed that all the combinations of organic manure and chemical fertilizer improved the photosynthesis characteristics and enzyme activities of nitrate reductase (NR) and sucrose phosphate synthase (SPS) in functional leaves, and the yields and quality of spring maize. Chemical fertilizer with 20% manure composting showed the best effect, with which the net photosynthetic rate and transpiration rate increased by 13.35% and 9.81%, respectively, the enzyme activities of NR and SPS in functional leaves of spring maize at filling stage increased by 17.96% and 9.98%, respectively, the contents of crude protein and raw starch in spring maize corn improved by 30.4% and 7.48%, respectively, nitrate contents decreased by 49.97% and grain yield increased by 7.94%, compared to those with pure fertilizer application.

Key words: pig manure; fertilizer; spring maize; yield; quality; nitrate reductase; sucrose phosphate synthase

长期施用有机肥有利于提高旱地土壤养分可
持续指数和生产力^[1-2], 有机肥与化肥合理配施有

利于提高玉米的抗逆性、稳产性和籽粒的氨基酸与
蛋白质含量^[3]。孟军等^[4]认为, 只有在有机肥和化

收稿日期: 2011-10-10

基金项目: 国家“十二·五”科技支撑计划项目(2012BAD15B04); 湖南省教育厅重点实验室开放基金项目(11K034)

作者简介: 张玉平(1974—), 男, 湖南安仁人, 博士, 讲师, 主要从事植物营养生理生态研究, zhyp2003@126.com; *通信作者, rongxm2005@126.com

肥合理配施的条件下才有可能实现玉米高产。近年来,由禽畜场增多、禽兽粪便难以及时处置带来的面源污染问题已引起广泛关注^[5-6],实现禽畜粪便肥料化、资源化利用是解决这些问题的关键。南方双季稻区畜禽废弃物肥料化还田已备受重视,而旱地作物-土壤生态系统对畜禽养殖废弃物的强大养分承载力亦不容忽视。相关研究^[7-10]表明,有机肥与无机肥配施有利于促进玉米根系生长,茎秆增粗,叶面积增大,株高增加,抽雄和吐丝提前,干物质及产量明显增加。以上研究的有机肥主要以商品有机肥、生物有机肥或沼肥为主,对以猪粪或猪粪堆肥为有机肥料来源应用于玉米生产上的研究报道较少。笔者研究不同猪粪型有机肥与化肥配施对玉米产量、品质及其碳氮代谢关键酶(NR、SPS)活性的影响,旨在为促进畜禽养殖废弃物在旱地土壤上肥料化利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米品种为冀丰 58。供试土壤为紫潮泥菜园土,其全氮、全磷、全钾和有机质含量分别为 1.30、0.84、23.4、22.14 g/kg,碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 128.52、27.31、132.83 mg/kg, pH 值为 5.96。供试化肥为尿素(含 N 46%)、钙镁磷肥(含 P_2O_5 12%)、氯化钾(含 K_2O 60%)。供试猪粪(未腐熟)和沼渣沼液从农户家收集。猪粪堆肥为自制(添加了课题组前期研究筛选的纤维降解菌)。

1.2 试验设计

试验于 2009、2010 年在湖南省湘阴县白泥湖乡进行。采用田间小区定位试验(春玉米和小白菜轮作),分别用猪粪、沼渣沼液和猪粪堆肥代替不同比例的化肥氮,确保各施肥处理的氮、磷、钾施用总量相等。共设 7 个处理:T1(20%猪粪 N + 80%化肥 N)、T2(20%猪粪堆肥 N + 80%化肥 N)、T3(20%沼渣沼液 N + 80%化肥 N)、T4(10%猪粪堆肥 N + 90%化肥 N)、T5(30%猪粪堆肥 N + 70%化肥 N)、T6(纯化肥)、CK(不施肥)。随机区组排列,重复 3 次。小区面积为 18 m²。

各小区间用 PVC 板封闭,下埋 40 cm,露出地面 10 cm。每小区定植春玉米 84 株,N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量分别为 241.5、150 和 150 kg/hm²。有机肥全作基肥;氮肥按总 N 量的 30% 作基肥,30%作苗肥,40%作穗肥(大喇叭口期施);磷肥全作基肥施用;钾肥按总 K 量的 50%作基肥,50%作穗肥(大喇叭口期施)。2009 年春玉米于 3 月 25 日播种,4 月 15 日移栽,7 月 19 日收获计产;2010 年春玉米于 3 月 20 日播种,4 月 9 日移栽,8 月 6 日收获计产。

1.3 测定项目与方法

于春玉米吐丝期和灌浆期,采用 SPAD-502 叶绿素含量测定仪测定其功能叶(棒三叶)的叶绿素相对含量(SPAD 值);于灌浆期采用 LI-6400 型光合测定系统测定叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度(光强为 1 000 $\mu mol/m^2 \cdot s$);分别于吐丝期和灌浆期,采用活体法测定功能叶 NR 活性,采用间苯二酚法测定功能叶 SPS 活性。收获期按小区计产,随机取 5 株考种,晒干后测定 2009 年玉米籽粒粗蛋白、粗淀粉含量及 2010 年玉米可溶性糖和硝酸盐含量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 DPS 进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 供试春玉米功能叶的 NR 活性

由表 1 可知,春玉米灌浆期功能叶 NR 活性均高于吐丝期;与 CK 相比,除 2009 年春玉米吐丝期 T3 的功能叶 NR 活性降低外,所有施肥处理均增强,说明施肥是激活春玉米功能叶 NR 活性的重要因素。与 T6 相比,2009 年春玉米吐丝期 T2、T4、T5 的功能叶 NR 活性略有增强,T1、T3 的稍弱;灌浆期 T2 的 NR 活性增强,其他有机肥与无机肥配施处理的均减弱,其中,T2 的功能叶 NR 活性在 2 个时期均最高,吐丝期和灌浆期分别比 T6 提高了 28.77%和 25.97%。与 T6 相比,2010 年春玉米吐丝期和灌浆期 T2、T4 功能叶 NR 活性均有增强,灌

浆期分别提高了 17.96%和 7.6%。综合分析可知，配施化肥处理能明显提高春玉米生长旺期功能叶 NR 活性，促进氮素吸收与同化。

表1 供试春玉米功能叶的NR活性

Table 1 Activities of nitrate reductase in functional leaves of tested spring maize $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h}^{-1})$

处理	NR 活性			
	2009 年吐丝期	2009 年灌浆期	2010 年吐丝期	2010 年灌浆期
T1	(8.11±1.08)ab	(35.54±3.17)abAB	(8.17±1.44)bcAB	(15.71±0.47)bcB
T2	(11.01±1.15)a	(42.98±7.80)aA	(11.07±1.70)aA	(23.12±4.60)aA
T3	(7.40±1.08)b	(23.73±6.27)cB	(7.47±1.32)cAB	(16.36±2.01)bcB
T4	(8.58±1.59)ab	(29.72±5.61)bcAB	(10.09±2.09)abA	(21.07±2.19)abAB
T5	(10.23±1.42)ab	(34.12±5.82)abAB	(8.21±0.84)bcAB	(14.56±1.72)cB
T6	(8.55±1.09)ab	(38.17±5.51)abA	(8.86±1.66)abcAB	(19.60±5.00)abAB
CK	(7.95±0.84)b	(7.69±1.72)dC	(6.44±1.30)cB	(13.97±2.97)cB

2.2 供试春玉米的 SPS 活性

由表 2 可知，与 CK 相比，所有施肥处理的 SPS 活性均有增强，其中 2009 年 T3 春玉米灌浆期的 SPS 活性极显著增强，2010 年 T1、T2、T4 处理的显著增强。与 T6 处理相比，2009 年春玉米吐丝期各施肥处理的 SPS 活性均有不同程度的增强，2010 年除 T2、T3 外，其他有机肥与无机肥配施处理的 SPS 活性也均有增强；2009 年春玉米灌浆期 T3 的 SPS 活性显著增强，其他有机肥与无机肥配施处理均略有降低，

2010 年有机肥与无机肥配施处理均略有提高。

同比例氮素的不同猪粪型有机肥与化肥配施处理(T1、T2、T3)间相比，2009 年春玉米灌浆期 T3 处理功能叶 SPS 活性显著高于 T1 处理，极显著高于 T2 处理；此外，两季春玉米吐丝期和灌浆期的 SPS 活性测定结果均表明，不同比例的猪粪堆肥与化肥配施处理间均无显著性差异，这可能与 2009 年 4 月低温期过长、5 月后急剧升温，2010 年雨季长且季节分布不均等气候条件的影响有关。

表2 供试春玉米功能叶的SPS活性

Table 2 Activities of sucrose phosphate synthase in functional leaves of tested spring maize $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h}^{-1})$

处理	SPS 活性			
	2009 年吐丝期	2009 年灌浆期	2010 年吐丝期	2010 年灌浆期
T1	(1.92±0.29)b	(4.32±0.54)bAB	(2.09±0.91)ab	(4.81±0.12)a
T2	(2.20±0.37)ab	(4.15±0.48)bB	(1.82±0.20)abc	(4.63±0.26)a
T3	(2.16±0.72)ab	(5.34±0.47)aA	(1.35±0.54)bc	(4.51±0.88)ab
T4	(1.99±0.36)ab	(4.29±0.68)bAB	(2.14±0.25)ab	(4.80±0.33)a
T5	(2.75±0.66)a	(4.16±0.43)bB	(2.31±0.59)a	(4.47±0.43)ab
T6	(1.92±0.22)b	(4.35±0.80)bAB	(1.87±0.28)abc	(4.21±0.51)ab
CK	(1.70±0.22)b	(4.13±0.20)bB	(1.21±0.06)c	(3.72±0.51)b

2.3 供试春玉米叶片的叶绿素相对含量

由表 3 可知，所有施肥处理的叶片叶绿素相对含量均极显著高于 CK。与 T6 相比，2009 年春玉米吐丝期仅 T1、T2 的叶绿素 SPAD 值增加；灌浆期 T1 略低，其他处理均有提高；2010 年除 T3(吐丝期)和 T5(灌浆期)外，其他有机肥与无机肥配施处理均

略有提高。T1、T2、T3 处理间相比，春玉米叶片叶绿素相对含量 2009 年以 T2 最高，2010 年以 T1 最高，但处理间差异不显著。不同猪粪堆肥配施比例 (T2、T4、T5)间相比，2009 年以 T2 最高，2010 年以 T4 最高。这种差异的出现可能与猪粪施入土壤后的纤维分解相对缓慢，肥效滞后有关。

表3 供试春玉米的叶绿素相对含量 (SPAD值)

Table 3 Chlorophyll contents in leaves of differet spring maize treatments(SPAD)

处理	叶绿素相对含量			
	2009 年吐丝期	2009 年灌浆期	2010 年吐丝期	2010 年灌浆期
T1	(59.25±1.48)aA	(58.44±0.56)aA	(58.79±1.67)aA	(63.90±1.43)aA
T2	(61.24±1.98)aA	(60.72±1.61)aA	(57.76±1.34)aA	(61.45±2.33)aA
T3	(58.55±3.12)aA	(59.18±3.37)aA	(56.03±1.33)aA	(61.78±2.18)aA
T4	(59.13±2.06)aA	(59.57±1.98)aA	(58.85±1.76)aA	(62.18±1.69)aA
T5	(59.09±3.85)aA	(59.89±0.06)aA	(57.33±2.13)aA	(59.60±1.53)aA
T6	(59.18±1.88)aA	(58.59±3.17)aA	(57.09±2.56)aA	(59.96±0.96)aA
CK	(48.39±2.83)bB	(48.74±1.48)bB	(46.69±1.28)bB	(47.65±1.24)bB

2.4 供试春玉米叶片的光合特性

由表 4 可知,2009 年各施肥处理的春玉米叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度与 CK 相比均增加;各配施肥处理除 T3 显著降低胞间 CO₂ 浓度外,其他处理均略有升高,但差异不显著。T2、T4、T5 处理春玉米叶片的净光合速率比 T6 分别增加了 17.24%、10.92%、9.02%,且 T4 显著高于 T1、T3;T3 的叶片蒸腾速率显著降低,T2、T4、T5 的略有增加;T1、T2、T3、T4 的叶片胞间 CO₂ 浓度略有降低。综合分析可知,T2、T4、T5 均能提高春玉米叶片净光合速率与蒸腾速率,T2、T4 降低胞间

CO₂ 浓度,T2、T5 可提高叶片气孔导度,猪粪堆肥与化肥配施有利于改善春玉米的光合特性,且以 T2 效果最好。

由于 2010 年春玉米光合作用强度测定的时期(灌浆后期)较晚,其光合作用与蒸腾作用强度均明显减弱,且各施肥处理间均无显著性差异;与 T6 相比,T2 叶片的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度分别提高了 13.35%、9.81%和 12.5%,胞间 CO₂ 浓度降低了 6.31%,且均高于其他有机肥与无机肥配施处理。

表4 供试春玉米叶片的光合特性

Table 4 Photosynthesis characteristics of tested spring maize

处理	净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		气孔导度/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		胞间 CO ₂ 浓度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	
	2009 年	2010 年	2009 年	2010 年	2009 年	2010 年	2009 年	2010 年
T1	25.86 cBC	21.37	10.65 abAB	4.92	0.40 ab	0.20	199.56 ab	138.38
T2	34.69 aA	25.98	12.51 aA	6.38	0.66 ab	0.27	201.56 ab	146.06
T3	27.00 bcABC	24.04	9.30 bB	5.68	0.33 ab	0.25	172.67 b	153.95
T4	32.82 aAB	21.60	12.38 aA	5.24	0.57 ab	0.19	205.78 ab	148.73
T5	32.26 abABC	21.45	12.54 aA	5.62	0.71 a	0.23	223.78 a	165.69
T6	29.59 abcABC	22.92	12.01 aA	5.81	0.65 ab	0.24	213.00 ab	155.42
CK	24.39 cC	22.97	9.15 bB	5.84	0.31 b	0.23	182.78 ab	147.02

2.5 供试春玉米的产量及产量构成因素

由表 5 可知,各施肥处理的春玉米棒长、百粒重和产量均高于 CK,且产量显著提高。与 T6 相比,2009 年 T1、T2、T3、T5 的棒长显著增长,各有机肥与无机肥配施处理的百粒重均略有提高,产量有所降低,但差异不显著;2010 年各有机肥与无机肥

配施处理春玉米棒长略短,但百粒重与产量均提高,其中,T1、T2 产量较高,分别增加了 7.87%和 7.94%。综合分析可知,各施肥处理的产量及其构成因素均无显著性差异,说明以猪粪型有机肥与化肥配施不会导致春玉米产量降低。

表5 供试春玉米的棒长和百粒重及产量
Table 5 Corn cob and 100-kernal weights and yield of tested pring maize

处理	棒长/cm		百粒重/g		产量/(kg·hm ⁻²)	
	2009 年	2010 年	2009 年	2010 年	2009 年	2010 年
T1	22.5 a	19.83 aA	28.8 abAB	30.71 a	5 632.4 aAB	7 605.11 aA
T2	21.0 a	19.83 aA	29.0 abAB	31.03 a	5 499.9 aAB	7 610.40 aA
T3	21.3 a	19.83 aA	31.1 aA	29.97 a	6 134.8 aA	7 150.58 aA
T4	20.1 ab	19.49 aA	29.1 abAB	29.51 a	5 363.6 aAB	7 277.24 aA
T5	21.6 a	18.36 aA	30.7 aAB	29.42 a	6 267.9 aA	7 331.02 aA
T6	20.9 ab	19.93 aA	28.6 abAB	29.97 a	6 466.8 aA	7 050.40 aA
CK	16.8 b	16.80 bB	26.7 bB	28.87 b	3 623.2 bB	3 897.60 bB

2.6 供试春玉米的籽粒品质

由表 6 可知，与 CK 相比，各有机肥与无机肥配施处理的春玉米籽粒中粗蛋白与可溶性糖含量显著或极显著提高；T3 的粗淀粉含量也极显著提高，其他各处理提高或降低差异均不显著；硝酸盐含量除 T1、T6 极显著提高外，其他各处理虽提高，但差异不显著。与 T6 相比，各有机肥与无机肥配

施处理的春玉米籽粒中粗蛋白含量均极显著提高，其幅度达 30.4%~42.8%；T1、T3、T5 的可溶性糖含量提高，T2、T4 降低，差异均不显著；粗淀粉含量均提高，且 T2、T3、T5 分别提高 7.48%、12.93%和 9.63%；硝酸盐含量除 T1 降低不显著外，其他有机无机肥配施处理均极显著降低，其降幅达 42.37%~46.97%。

表6 供试春玉米的籽粒品质
Table 6 Quality of tested spring maize

处理	2009 年粗蛋白含量/(g·kg ⁻¹)	2009 年粗淀粉含量/%	2010 年可溶性糖含量/(g·kg ⁻¹)	2010 年硝酸盐含量/(mg·kg ⁻¹)
T1	85.0aA	81.4cdBC	14.26aA	1 197.42abAB
T2	81.5abA	84.8bcAB	12.27aA	805.64cBC
T3	88.8aA	89.1aA	13.28aA	875.61bcBC
T4	84.5abA	82.2cdBC	12.85aA	860.82bcBC
T5	85.3aA	86.5abAB	13.25aA	863.61bcBC
T6	62.5cB	78.9dC	13.13aA	1 519.24aA
CK	73.7bcAB	83.7bcBC	9.21bB	624.27cC

3 结论与讨论

已有研究^[11-12]表明，在中国南方双季稻区采用猪粪与化肥长期配施能显著改良稻田土壤物理、化学及生物化学性质，提高土壤质量和肥力；猪粪与化肥长期配施能明显提高土壤养分含量，增加土壤微生物数量，且两者之间有很好的正相关关系^[13]。笔者以此为基础，研究不同猪粪型有机肥与化肥配施后对旱地玉米生产的影响，结果表明，与单施化肥相比，2009 年春玉米产量均略有降低，但降低幅度并不明显；2010 年春玉米籽粒百粒重、产量均有增加，增产幅度为 1.42%~7.94%，说明有机肥与无机肥配施对春玉米有较大增产潜力。

已有研究^[14-15]表明，有机肥与无机肥配施能提

高玉米籽粒中粗脂肪、粗蛋白、氨基酸及游离氨基酸含量，并且玉米的抗逆性显著增强。本研究中，与单施化肥相比，不同猪粪型有机肥与化肥配施可显著增加春玉米籽粒中粗蛋白和粗淀粉含量，且 T1、T3、T5 的可溶性糖含量也有一定程度的增加，除 T1 外，所有有机无机肥配施处理的玉米籽粒中硝酸盐含量极显著降低，玉米籽粒品质明显改善。

周晓琳等^[16]认为，有机肥与氮肥配施穗位叶 POD、SOD、CAT 活性明显提高，MDA 含量降低。适量的施用有机肥可促进春玉米生育后期叶片 SOD、POD 活性提高，延缓叶片衰老^[17]。笔者研究不同猪粪型有机肥与化肥配施下春玉米功能叶 NR 和 SPS 活性的变化，结果表明，3 种不同的猪粪型有机肥与无机肥配施均能促进其活性提高，以猪粪

堆肥配施提高幅度最大,沼渣沼液配施提高幅度最小,综合结果以20%的猪粪堆肥与化肥配施为最佳配施比例。

不同来源的有机肥与无机肥配施及其配施比例对玉米主要农艺性状、产量和品质的影响不一^[18-20]。荣湘民等^[21]认为,中国南方红壤区有机肥无机肥适宜的配比为25%~50%的有机肥加75%~50%的化肥。刘海^[22]认为,以约50%的化肥与猪粪配施为适宜配施比例。吴光磊^[23]认为,有机肥与无机肥配施且有机肥用量为75 t/hm²条件下,有利于提高玉米产量及籽粒中蛋白质含量。从本研究的产量效应来看,2009年3种不同比例的猪粪堆肥与化肥配施处理玉米的产量均高于猪粪或沼渣沼液与化肥配施处理;2010年以猪粪堆肥与化肥配施处理的产量也具有一定的优势。与单施化肥相比,各有机肥与无机肥配施处理均能改善其品质,2009年以沼渣沼液与化肥配施处理的春玉米籽粒中粗蛋白与粗淀粉含量最高,2010年以不同比例猪粪堆肥与化肥配施的3个处理以及沼渣沼液与化肥配施处理可溶性淀粉含量较高,硝酸盐含量极显著降低。综合分析可知,以猪粪堆肥与化肥配合施用效果最好,且以20%的猪粪堆肥与化肥配施为最适宜的配施比例。此外,不同经、纬度和气象因子对水稻、玉米、小麦的产量可持续性指数(SYI)以玉米的变异性最大,且其产量与各因子间有显著相关关系^[2]。有机肥与无机肥配施对旱地作物生产的限制因子较水稻更为复杂,值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 高洪军,彭畅,李强,等.长期施肥对黑土养分供应能力和土壤生产力的影响[J].玉米科学,2010,18(6):107-110.
- [2] 李忠芳,徐明岗,张会民,等.长期施肥和不同生态条件下我国作物产量可持续性特征[J].应用生态学报,2010,21(5):1264-1269.
- [3] 张翔,朱洪勋,孙春河,等.有机与无机肥料配施对玉米籽粒品质和生产力的影响[J].中国农学通报,1997,13(5):31-33.
- [4] 孟军,任喜英,葛家麒,等.有机肥对玉米生产效应的研究[J].东北农业大学学报,1999(3):235-239.
- [5] 张维理,冀宏杰,Kolbe H,等.中国农业面源污染形势估计及控制对策 II.欧美国家农业面源污染状况及控制[J].中国农业科学,2004,37(7):1018-1025.
- [6] 张维理,徐爱国,冀宏杰,等.中国农业面源污染形势估计及控制对策 III.中国农业面源污染控制中存在问题分析[J].中国农业科学,2004,37(7):1026-1033.
- [7] 邹长明,孙善军,支婧婧,等.配方施肥和有机肥对玉米生长和产量的影响[J].安徽农学通报,2008,14(21):108-109.
- [8] 翁惠玉,任平合,武宗信,等.浅施有机肥与玉米高产关系的研究[J].山西农业科学,1989(9):9-10.
- [9] 薛菁芳,汪景宽,李双异,等.长期地膜覆盖和施肥条件下玉米生物产量及其构成的变化研究[J].玉米科学,2006,14(5):66-70.
- [10] 田艳洪,刘文志,王北兰,等.生物有机肥在大豆和玉米上应用效果研究[J].现代农业,2011(2):8-10.
- [11] 刘苗,孙建,李立军,等.不同施肥处理对粮饲兼用玉米品质及产量的影响[J].华北农学报,2010,25(6):225-228.
- [12] 聂军,郑圣先,杨曾平,等.长期施用化肥、猪粪和稻草对红壤性水稻土物理性质的影响[J].中国农业科学,2010,43(7):1404-1413.
- [13] 鲁艳红,杨曾平,郑圣先,等.长期施用化肥、猪粪和稻草对红壤水稻土化学和生物化学性质的影响[J].应用生态学报,2010,21(4):921-929.
- [14] 孙瑞莲,朱鲁生,赵秉强,等.长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用[J].应用生态学报,2004,15(10):1907-1910.
- [15] 张翔,朱洪勋,孙春河,等.有机与无机肥料配施对玉米籽粒品质和生产力的影响[J].中国农学通报,1997,13(5):31-33.
- [16] 周晓琳,薛登峰,刘树堂,等.长期定位施肥对夏玉米酶活性的影响[J].玉米科学,2009,17(3):116-119,123.
- [17] 汪仁,邢月华,包红静.施用有机肥对春玉米生育后期叶片酶活性的影响[J].杂粮作物,2010,30(4):299-301.
- [18] 梁平.不同来源有机肥对玉米品质及重金属吸收的调控研究[D].长春:吉林农业大学资源环境学院,2008.
- [19] 雷泽周,石光森,喻瑜,等.新改坡瘠地玉米高产施肥研究[J].西南农业大学学报,1993,15(4):311-313.
- [20] 李万星,刘永忠,曹晋军,等.肥料与密度对玉米农艺性状和产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(15):194-198.
- [21] 荣湘民,蒋健容,朱红梅,等.红壤旱地有机与无机肥料配合施用效果[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2001,27(6):453-456.
- [22] 刘海.有机肥与化肥配施对作物产量和紫色土肥力的影响[D].重庆:西南大学资源环境学院,2010.
- [23] 吴光磊.有机无机肥配施对玉米产量和品质的影响及生理基础[D].青岛:山东农业大学资源环境学院,2008.

责任编辑:杨盛强