

秸秆还田下氮肥用量对玉米产量及土壤无机氮的影响

张鑫, 隋世江, 刘慧颖, 安景文*

(辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 研究连续2年秸秆还田下氮肥用量对玉米产量、氮肥利用率及土壤硝态氮的影响, 结果表明, 玉米产量随着施氮量的增加逐渐增加, 施氮量达到 $216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 产量最高, 施氮量超过 $216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时产量有降低的趋势。相同施氮处理玉米产量年际变化明显, 2010年较2009年产量提高0.69%~4.75%。氮肥利用率、氮肥农学利用率和氮收获指数随着秸秆还田年限的增加, 均有不同程度的增加。2年0~100 cm土层土壤硝态氮含量均以施氮 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 最高, 且有向土壤深层迁移的趋势, 对浅层地下水构成潜在的威胁。与施氮 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 相比, 施氮 168、192 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理0~100 cm土壤无机氮残留量2年平均减少39.87%、35.84%和29.38%。相同施氮处理, 0~100 cm土壤无机氮累积量2010年较2009年略有降低。综合考虑玉米产量、氮肥利用率与生态环境效益, 该地区最适施氮量 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右。

关键词: 秸秆还田; 玉米产量; 氮肥利用率; 无机氮

中图分类号: S181

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2014)03-0279-06

doi: 10.13254/j.jare.2014.0012

Effect of Different Application Rate of Nitrogen Fertilizer Under Straw Return on Maize Yield and Inorganic Nitrogen Accumulation

ZHANG Xin, SUI Shi-jiang, LIU Hui-ying, AN Jing-wen*

(Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: We investigated the influences of different nitrogen fertilizer rate on maize production, nitrogen use efficiency and soil nitrate nitrogen at straw return farmland for two years. The results showed that maize production increased with the increment of nitrogen fertilizer. The maize production was the highest at $216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N216) of nitrogen use and began to decrease when the amount of nitrogen use was beyond $216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. There were significant interannual differences on maize production in the same treatment. The maize production in 2010 increased 0.69%~4.75% compared with that in 2009. Nitrogen use efficiency, nitrogen agronomic efficiency and nitrogen harvest index improved with the year of straw return. The highest nitrate nitrogen accumulation was found in the treatment of $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N240) in 0~100 cm soil layer. Soil nitrate content increased with the depth of soil. This may potentially increased the risk of nitrate pollution on shallow groundwater. Compared with N240, the nitrate nitrogen accumulation of N168 ($168 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), N192 ($192 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and N216 ($216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) were equally reduced by respectively 39.87%, 35.84% and 29.38% in 0~100 cm soil layer. Considering the maize production, nitrogen use efficiency and ecological environmental benefits, the optimum amount of nitrogen use should be $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

Keywords: straw incorporation; maize yield; nitrogen fertilizer use efficiency; inorganic nitrogen

我国秸秆资源丰富, 每年约产生7亿t的秸秆。秸秆中含有丰富的氮、磷、钾等养分, 是农业生产中可直接利用的有机资源^[1]。长期秸秆还田, 可以改善土壤结构和土壤理化性状, 增加土壤有机质^[2]、土壤速效氮、速效磷和速效钾等养分含量, 持续提高土壤肥

力^[3], 有利于作物生长发育和提高作物产量^[4-5], 既可实现农业资源再利用, 又减轻焚烧带来的环境污染。

然而, 近年来由于农业生产中长期大量的施用氮肥以及秸秆腐解所转化的氮素, 使农田生态系统氮素盈余不断增加, 残留的无机氮主要以硝态氮形式存在^[6], 一旦超出了作物的吸收能力和土壤的固持能力^[7]将导致土壤中残留的氮素淋出根层, 增加氮素淋失的潜在风险^[8-9]。杨振兴等^[10]研究表明长期秸秆还田提高作物产量的同时增加土壤氮素盈余, 提高硝态氮淋失的风险。赵鹏等^[11]研究认为秸秆还田提高了土壤 NH_4^+-N

收稿日期: 2014-01-13

基金项目: 公益性行业科研专项(201103039); “十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD14B04)

作者简介: 张鑫(1981—), 男, 山东桓台人, 硕士, 助理研究员, 从事施肥与农业生态环境研究。E-mail: billyxin@163.com

* 通信作者: 安景文 E-mail: jingwena@yahoo.com.cn

含量,降低了土壤 NO_3^- -N 含量。李贵桐等^[12]研究表明秸秆还田可提高表层土壤无机氮含量。本研究选择在浅层地下水地区,探讨秸秆还田条件下氮肥用量对玉米产量、氮肥利用率及土壤无机氮累积量的影响,揭示秸秆还田条件下合理的氮肥施用量,在保证作物增产前提下,提高氮肥利用率,减少土壤无机氮残留,降低氮素淋失风险,为实现农业可持续发展提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2010 年在辽宁省清原县北三家乡押虎沟进行,该地区地下水埋藏浅,浅土层约 2~5 m,属中温带大陆性季风气候。供试土壤类型为草甸土,试验土壤基础地力 pH 值 5.2,有机质 $26.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $1.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 (P_2O_5) $20.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 (K_2O) $51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试玉米品种辽单 28,试验区田间管理同大田。

1.2 试验设计

试验设玉米秸秆全量还田下 N 肥用量 0、168、192、216、240 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 5 个水平,分别以 N0、N168、N192、N216、N240 表示。每个处理 3 次重复,小区面积 33.3 m^2 ,小区随机排列,其中 N 25%作底肥,剩余氮肥在玉米拔节期追施,P、K 肥均作基肥一次施入,其用量分别为 P_2O_5 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。秸秆用量 $9\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,秸秆粉碎还田,还田深度 20 cm。

1.3 测定方法

在玉米收获期采集 0~20、20~40、40~60、60~80、

80~100 cm 的土壤样品,每个小区随机取 5 个点,混合制样,装于自封袋中,将样品带回置于 $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下冷冻保存。鲜土解冻混匀,称取 5 g 土,加入 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ CaCl_2 溶液 50 mL,振荡 30 min 后过滤,同时测定土壤含水量,用流动分析仪(SKALAR SAN++)测定浸提液中的硝态氮(NO_3^- -N)。玉米产量测定:试验小区全区收获计算产量。

氮肥利用率(%)=(施氮区植株总吸氮量-空白区植株总吸氮量)/施氮量 $\times 100\%$;

氮肥农学效率($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)=(施氮区产量-空白区产量)/施氮量;

氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量;

氮收获指数=籽粒氮积累量/植株总氮积累量;

土壤硝态氮累积量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)=土层厚度(cm) $\times$ 土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) $\times$ 土壤硝态氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)/10。

1.4 数据处理

试验数据均采用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田下氮肥用量对玉米产量和氮肥利用率的影响

秸秆还田下不同氮肥用量对玉米产量和氮效率的影响见表 1。从表 1 可以看出,施氮量从 $168 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 上升到 $216 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,玉米籽粒产量逐渐增加,但达到 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,玉米籽粒产量下降,这表明过量的氮肥投入并不能有效地提高玉米产量。2 年各施氮处

表 1 不同处理对玉米产量和氮肥利用率的影响

Table 1 Effect of different treatments on maize yield and nitrogenous fertilizer use efficiency

年份 Year	处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	总吸氮量 Total N uptake/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	氮肥利用率 Nitrogen fertilizer use efficiency/ %	氮肥偏生产力 Nitrogen partial productivity/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	氮肥农学效率 Nitrogen fertilizer agronomic efficiency/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	氮收获指数 Nitrogen harvest index
2009 年	N0	7 566.20e	111.65c	—	—	—	0.64a
	N168	8 203.31d	171.14b	35.41a	48.83a	3.79d	0.52bc
	N192	9 039.62b	178.99a	35.07a	47.08b	7.67a	0.54b
	N216	9 137.35a	181.51a	32.34a	42.30c	7.27b	0.54b
	N240	8 987.51c	176.22ab	26.90b	37.45d	5.92c	0.51c
2010 年	N0	7 647.00d	110.02d	—	—	—	0.64a
	N168	8 389.94c	172.26c	37.04a	49.94a	4.42d	0.55cd
	N192	9 100.49b	178.72b	35.78a	47.40b	7.57b	0.58b
	N216	9 441.23a	186.79a	35.54a	43.71c	8.30a	0.56b
	N240	9 096.90b	181.67b	29.85b	37.90d	6.04c	0.54d

注:小写字母表示 5% 水平差异显著。下同。

Note: The small letters indicate significantly differences of 5% levels. The same as below.

理产量较 N0 提高 8.42%~20.77%、9.7%~23.45%，2 年均以 N216 产量最高，平均产量为 9 289.29 kg·hm⁻²。施用氮肥显著增加了植株总吸氮量，2 年总吸氮量分别较 N0 提高 53.28%~62.57% 和 56.56%~69.77%，2 年总吸氮量均以 N216 最高，分别为 181.51 kg·hm⁻² 和 186.79 kg·hm⁻²。总吸氮量随着施氮量的增加而增加，当施氮量达到一定程度时，总吸氮量不再增加。氮肥利用率和氮肥偏生产力均随施氮量的增加而逐渐降低，2 年氮肥利用率均以 N168 最高，N168、N192 和 N216 处理间差异不显著，但显著高于 N240。氮肥偏生产力 2 年均以 N168 最高，且显著高于其他处理。2 年氮肥农学利用率 N192 和 N216 显著高于其他处理。相同处理氮收获指数随着秸秆还田年限的增加而升高。

2.2 秸秆还田下氮肥用量对土壤硝态氮含量的影响

秸秆还田下氮肥用量对玉米收获期 0~100 cm 土层土壤硝态氮含量的影响见图 1。从图 1 可以看出，2009 年和 2010 年玉米收获期 0~100 cm 土层土壤硝态氮含量变化趋势基本一致，即随土层加深而降低。0~40 cm 土层土壤硝态氮含量，施氮处理均高于 N0，说明施氮提高了土壤中硝态氮含量；N168、N192 和 N216 处理 40~100 cm 土层土壤硝态氮含量与 N0 相近。2009 年玉米收获期 N240 处理 40~60 cm 土层土壤硝态氮含量出现峰值，2010 年 N240 处理 60~80 cm 土层出现峰值，这表明过量的氮肥投入，导致土壤中残留的硝态氮有向深层土壤迁移的趋势。

2.3 秸秆还田下氮肥用量对土壤铵态氮含量的影响

秸秆还田下氮肥用量对玉米收获期 0~100 cm 土

层土壤铵态氮含量的影响见图 2。从图 2 可以看出，连续 2 年试验中，玉米收获期 0~100 cm 土层土壤铵态氮含量随土层加深而降低。0~40 cm 土层土壤铵态氮含量受施氮影响较大，表现出随施氮量的增加而增加的趋势，40 cm 土层以下土壤铵态氮含量为 3~6 mg·kg⁻¹，受施肥影响较小，且分布均匀。

2.4 秸秆还田下氮肥用量对土壤无机氮累积量的影响

秸秆还田下氮肥用量对土壤无机氮累积量的影响见表 2。从表 2 可以看出，施氮显著增加了 0~100 cm 土层土壤无机氮累积量，硝态氮累积量占无机氮累积量的 62.05%~70.76% (2 年平均)，这表明硝态氮是无机氮的主要存在形式。2 年 0~100 cm 土层土壤无机氮累积量均以 N240 最高，且显著高于其他处理。与 N240 相比，N168、N192 和 N216 处理 0~100 cm 土层无机氮累积量 2009 年分别减少 37.65%、32.36% 和 24.12%；2010 年分别减少 42.08%、39.32% 和 34.63%。从年际变化看，相同施氮处理 0~100 cm 土层土壤无机氮累积量 2010 年比 2009 年分别降低 8.35%、11.48%、14.99% 和 1.33%。

3 讨论

研究表明，秸秆还田配施合理的氮肥用量可有效地增加作物产量^[13-14]。本研究连续 2 年进行秸秆还田试验表明，施氮量达到 216 kg·hm⁻² 时，产量最高，超过该施氮量时产量反而下降。相同处理玉米产量年际变化 2010 年玉米产量增产效果明显，较 2009 年提高 0.69%~4.75%，进一步证实了前人的研究成果，即秸

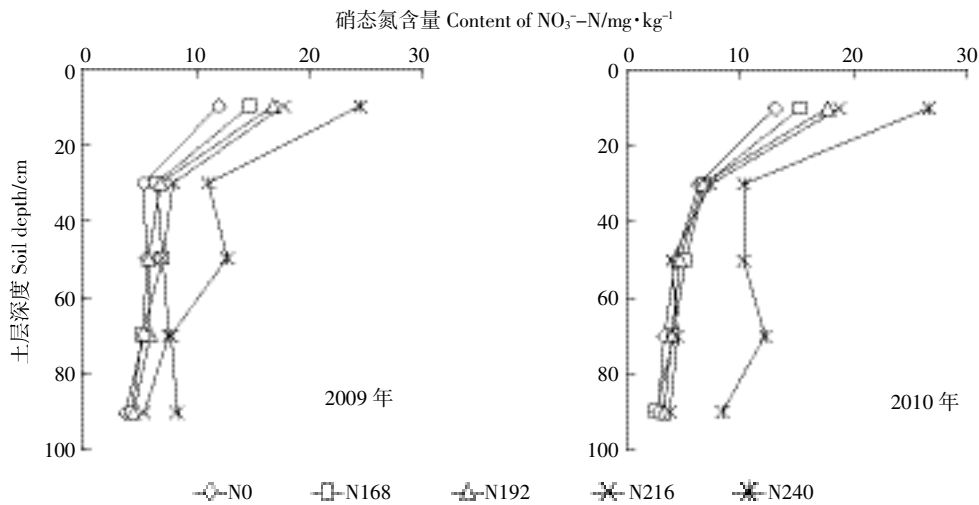


图 1 不同氮肥用量对玉米收获期 0~100 cm 土层土壤硝态氮含量的影响

Figure 1 Effect of different N fertilizer rate on soil NO₃⁻-N content in 0~100 cm during the harvest season of maize

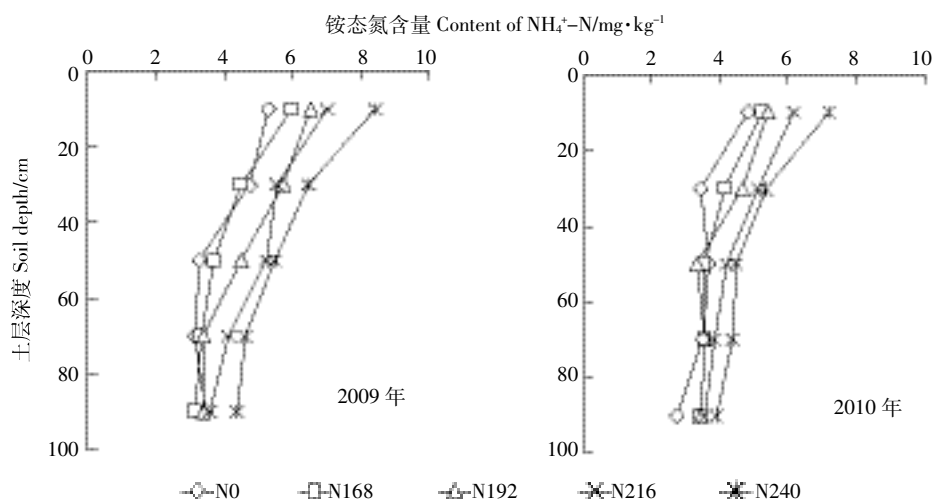


图 2 不同氮肥用量对玉米收获期 0~100 cm 土层土壤铵态氮含量的影响

Figure 2 Effect of different N fertilizer rate on soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content in 0~100 cm at the harvest season of maize

表 2 不同氮肥用量对玉米收获期 0~100 cm 土层土壤无机氮累积量的影响

Table 2 Effect of different N fertilizer rate on soil inorganic nitrogen accumulation in 0~100 cm soil at the harvest season of maize

年份 Year	处理 Treatment	$\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$					$\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$					合计 Total
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm	
2009 年	N0	33.36d	15.28d	16.35c	15.52b	10.68c	14.61e	13.09c	9.35e	8.85d	9.82b	146.92e
	N168	40.78c	18.10cd	20.51b	15.02b	12.38bc	16.45d	12.43c	10.47d	9.55c	8.88c	164.58d
	N192	46.25b	19.29bc	16.38c	17.39b	13.24bc	18.03c	15.92b	12.81c	9.63c	9.61b	178.55c
	N216	48.92b	22.24b	20.21b	21.95a	15.55b	19.34b	15.25b	14.96b	11.74b	10.14b	200.29b
	N240	67.66a	30.86a	36.49a	22.54a	23.95a	23.42a	17.96a	16.69a	12.13a	12.42a	264.12a
2010 年	N0	36.03e	17.70d	11.96c	9.37c	7.99c	13.29e	9.53e	10.36c	9.84c	7.82c	133.88e
	N168	42.32d	19.07c	14.73b	11.57b	7.35c	14.41d	11.45d	10.15cd	10.02c	9.76b	150.84d
	N192	48.86c	18.27cd	13.28bc	11.29bc	9.27bc	14.96c	12.88c	9.44d	10.02c	9.77b	158.04c
	N216	51.54b	20.42b	10.97c	12.82b	10.65b	17.00b	14.08b	11.86b	10.92b	10.02b	170.27b
	N240	73.28a	28.58a	29.33a	34.68a	23.65a	19.90a	14.82a	12.76a	12.37a	11.09a	260.46a

秆还田配施氮肥增加了作物产量,随着秸秆还田年限的增加,效果越来越明显^[15]。氮肥利用率、氮肥农学利用率和氮收获指数秸秆还田第二年比第一年均有不同程度的增加。这是由于秸秆还田可增加土壤有机质及速效养分,有效改善土壤结构,降低土壤容重,提高土壤孔隙度,增加土壤持水性和通透性,提高了水肥利用效率^[16-17]。

过量施用氮肥,土体中硝态氮向深层淋失的可能性越大^[18],增加了地下水硝态氮污染风险^[19-21]。本研究结果显示,当施氮 $240 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤硝态氮有向深层迁移的趋势,这与黄满湘等^[22]研究结果一致。无机氮是作物吸收氮素的主要形态,施氮显著增加了土壤无机氮残留量^[23]。汪军等^[3]研究表明,秸秆还田可降低土壤硝态氮和铵态氮含量。武际等^[24]研究认为连续秸

秆覆盖还田提升了表层土壤硝态氮和铵态氮含量,且随还田年限的延长而增加。本试验研究结果则显示,秸秆还田可减低玉米收获期 0~100 cm 土层土壤无机氮累积量,且随秸秆还田年限的延长,土壤无机氮累积量也随之降低。主要是由于秸秆为微生物生命活动提供了充足的碳源,土壤微生物活性增强,部分矿质氮被固持^[25],与此同时,秸秆还田提高了作物总吸氮量和氮肥利用率,减少了氮素损失。

4 结论

本研究结果表明,结合玉米产量与环境效益,秸秆全量还田条件下,施氮量 $200 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,可获得较高产量,氮肥利用率相对较高,并显著降低 0~100 cm 土壤硝态氮累积量,实现保护生态环境,促进当地农

业发展的可持续性。

参考文献:

- [1] 刘 骅,林英华,王西和,等. 长期配施秸秆对灰漠土质量的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(5): 1492-1497.
LIU Hua, LIN Ying-hua, WANG Xi-he, et al. Effect of long-term application of straw on grey desert soil quality[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(5): 1492-1497. (in Chinese)
- [2] 劳秀荣,孙伟红,王 真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
LAO Xiu-rong, SUN Wei-hong, WANG Zhen, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618-623. (in Chinese)
- [3] 汪 军,王德建,张 刚,等. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 40-44.
WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, et al. Effects of different nitrogen fertilizer rate with continuous full amount of straw incorporated on paddy soil nutrients[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(5): 40-44. (in Chinese)
- [4] 徐国伟,谈桂露,王志琴,等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746.
XU Guo-wei, TAN Gui-lu, WANG Zhi-qin, et al. Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on grain yield and quality and nitrogen use efficiency in direct-seeding rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2736-2746. (in Chinese)
- [5] 王如芳,张吉旺,董树亭,等. 我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1504-1510.
WANG Ru-fang, ZHANG Ji-wang, DONG Shu-ting, et al. Present situation of maize straw resource utilization and its effect in main maize production regions of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6): 1504-1510. (in Chinese)
- [6] 孙世友,刘孟朝,张国印,等. 不同氮肥措施对小麦-玉米轮作农田无机氮分布和累积的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(增刊): 94-98.
SUN Shi-you, LIU Meng-chao, ZHANG Guo-yin, et al. Effects of different fertilizations on soil nitrate-N distribution and accumulation under winter wheat summer maize cropping system[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(supplement): 94-98. (in Chinese)
- [7] 石祖梁,李丹丹,荆 奇,等. 氮肥运筹对稻茬冬小麦土壤无机氮时空分布及氮肥利用的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2434-2442.
SHI Zu-liang, LI Dan-dan, JING Qi, et al. Effects of nitrogen fertilization on temporal-spatial distribution of soil inorganic nitrogen and nitrogen utilization in wheat in rice-wheat rotation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2434-2442. (in Chinese)
- [8] 袁新民,杨学云,同延安,等. 不同施氮量对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 7-13.
YUAN Xin-min, YANG Xue-yun, TONG Yan-an, et al. Effect of N fertilizer rate on soil nitrate nitrogen accumulation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(1): 7-13. (in Chinese)
- [9] 王朝辉,李生秀,王西娜,等. 旱地土壤硝态氮残留淋溶及影响因素研究[J]. 土壤, 2006, 38(6): 676-681.
WANG Zhao-hui, LI Sheng-xiu, WANG Xi-na, et al. Nitrate nitrogen residue and leaching in dryland soil and influence factors[J]. *Soils*, 2006, 38(6): 676-681. (in Chinese)
- [10] 杨振兴,周怀平,关春林,等. 长期秸秆还田对旱地土壤硝态氮分布与累积的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(3): 179-182.
YANG Zhen-xing, ZHOU Huai-ping, GUAN Chun-lin, et al. Effect of long-term straw returning on distribution and accumulation of nitrate-nitrogen in dryland soil[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, 28(3): 179-182. (in Chinese)
- [11] 赵 鹏,陈 阜,李 莉. 秸秆还田对冬小麦农田土壤无机氮和土壤脲酶的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(3): 165-169.
ZHAO Peng, CHEN Fu, LI Li. Effects of straw mulching on inorganic nitrogen and soil urease in winter wheat field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(3): 165-169. (in Chinese)
- [12] 李贵桐,赵紫娟,黄元仿,等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 162-167.
LI Gui-tong, ZHAO Zi-juan, HUANG Yuan-fang, et al. Effect of straw returning on soil nitrogen transformation[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 162-167. (in Chinese)
- [13] 霍 竹,王 璞,付晋峰. 秸秆还田与氮肥施用对夏玉米物质生产的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 95-98.
HUO Zhu, WANG Pu, FU Jin-feng. Effects of crop residues incorporation and N fertilizer utilization on the matter production of summer maize[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(2): 95-98. (in Chinese)
- [14] 王 宁,闫洪奎,王 君,等. 不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 100-103.
WANG Ning, YAN Hong-kui, WANG Jun, et al. Research on effects of different amount straws return to field on growth development and yield of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(5): 100-103. (in Chinese)
- [15] 慕 平,张恩和,王汉宁,等. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 291-296.
MU Ping, ZHANG En-he, WANG Han-ning, et al. Effects of continuous straw return to soil on maize growth and soil chemical and physical characteristics[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(3): 291-296. (in Chinese)
- [16] 慕 平,张恩和,王汉宁,等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 81-85.
MU Ping, ZHANG En-he, WANG Han-ning, et al. Effects of continuous returning straw to maize tillage soil on chemical character and microbial biomass[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5): 81-85. (in Chinese)
- [17] 余延丰,熊桂云,张继铭,等. 秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(2): 169-171.
YU Yan-feng, XIONG Gui-yun, ZHANG Ji-ming, et al. The effect of straw reapplication on yields of grain crops and soil fertility in Jiangnan plain[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2008, 47(2): 169-171. (in Chinese)

- [18] 周顺利, 张福锁, 王兴仁. 土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表观盈亏 II. 夏玉米[J]. 生态学报, 2002, 22(1): 48-53.
ZHOU Shun-li, ZHANG Fu-suo, WANG Xing-ren. The spatio-temporal variations of soil NO_3^- -N and apparent budget of soil nitrogen II. summer maize[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(1): 48-53. (in Chinese)
- [19] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 405-413.
LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Nitrate contamination of groundwater and its affecting factors in rural areas of Beijing plain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3): 405-413. (in Chinese)
- [20] 熊淑萍, 姬兴杰, 赵巧梅, 等. 不同肥料类型对土壤硝态氮时空变异的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 171-176.
XIONG Shu-ping, JI Xing-jie, ZHAO Qiao-mei, et al. Effects of different fertilizers on the spatial-temporal variations of soil nitrate[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(6): 171-176. (in Chinese)
- [21] 李燕婷, 李秀英, 赵秉强, 等. 缓释复混肥料对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(5): 45-48.
LI Yan-ting, LI Xiu-ying, ZHAO Bing-qiang, et al. Effect of controlled-release compounded fertilizers on maize yields and leaching loss of nitrate in soil profile[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(5): 45-48. (in Chinese)
- [22] 黄满湘, 章 申, 张国梁. 应用大型原状土柱渗漏计测定冬小麦-夏玉米轮作期硝态氮淋失[J]. 环境科学学报, 2003(1): 11-16.
HUANG Man-xiang, ZHANG Shen, ZHANG Guo-liang. Soil core lysimeter study of nitrate leaching from a winter wheat-summer maize rotation[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003(1): 11-16. (in Chinese)
- [23] 蔡红光, 张秀芝, 任 军, 等. 东北春玉米连作体系土壤剖面无机氮的变化特征[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(5): 143-156.
CAI Hong-guang, ZHANG Xiu-zhi, REN Jun, et al. Characteristics of inorganic nitrogen in soil profile for continuous maize production in Northeast China[J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2012, 40(5): 143-156. (in Chinese)
- [24] 武 际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 连续秸秆覆盖对土壤无机氮供应特征和作物产量的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1741-1749.
WU Ji, GUO Xi-sheng, LU Jian-wei, et al. Effects of continuous straw mulching on supply characteristics of soil inorganic nitrogen and crop yields[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(9): 1741-1749. (in Chinese)
- [25] 闫德智, 王德建. 添加秸秆对土壤矿质氮量微生物氮量和氮总矿化速率的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 631-636.
YAN De-zhi, WANG De-jian. Nitrogen mineralization of ^{15}N labeled straw added into the paddy soils in Taihu region[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43(3): 631-636. (in Chinese)