

华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析

卢艳丽, 白由路, 王磊, 王贺, 杜君, 王志勇

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部作物营养与施肥重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 田间试验以常规施肥为对照, 分析了华北平原北部小麦-玉米轮作区缓控释肥不同配比和用量土壤硝态氮含量和产量性状的变化。结果表明, 常规用量分次施肥(100% UD)处理, 土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量在小麦生育后期仍然维持较高的水平, 并且穗数、千粒重以及产量相对较高; 缓控释肥处理土壤中硝态氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)含量与 100% UD 相比处于较低的水平, 但产量无显著差异。玉米生长季缓控释肥表现出了明显优势, 肥料利用率提高, 玉米穗秃尖长度减小; 其中减少 20% 用量的缓控释肥处理(80% SCR)产量显著高于常规施肥处理, 增产达到 18.3%。缓控释肥缓慢释放的特性有利于被作物及时充分吸收, 减少了在土壤中因淋失而造成浪费的机会, 从而使得肥料利用率提高。从小麦、玉米两季的变化情况来看, 还需要进一步优化肥料在不同生长季之间的配置, 使缓控释肥料发挥其最大潜力, 实现小麦玉米产量双高产和经济效益、环境效益同步提高。

关键词: 中低产田; 小麦玉米轮作; 缓控释肥; 硝态氮; 产量

中图分类号: S145.6; S512

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)01-0209-07

Efficiency analysis of slow/controlled release fertilizer on wheat-maize in North China

LU Yan-li, BAI You-lu, WANG Lei, WANG He, DU Jun, WANG Zhi-yong

(Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In contrast to traditional fertilizing, nitrate nitrogen content in soil and yield factors of wheat-maize applied slow/controlled release fertilizer with different amounts and rates in North China was analyzed. The results indicated that nitrate nitrogen content still maintain high level during late growing period, and the yield traits such as panicle number, 1000-grain weight as well as actual yield keep high level if fertilized according to recommendation at the ratio of 6:4:2 at pre-sowing, reviving and jointing respectively (the treatment named as 100% UD). The formulated slow/controlled release fertilizer (CSR) showed lower nitrate nitrogen content in soil, but had no influence on yields compared with 100% UD. CSR showed a positive impact on maize production, e. g. increased fertilizer use efficiency, decreased bare top length. The yield of 80% SCR is 18.3% higher than that of 100% UD. Crop could absorb nutrient timely and fully with the application of SCR because the nutrient is released slowly and avoided of the loss risk by leaching. On the whole, further study on how to optimize SCR fertilization distribution during the wheat and maize growing season was needed for the purpose of increasing economic and environmental benefits simultaneously.

Key words: medium-low yield field; wheat-maize rotation; slow/controlled release fertilizer; nitrate nitrogen; yield

肥料利用率低是化肥使用上普遍存在的问题。许多研究表明, 我国氮肥的当季利用率仅为 30%~35%^[1-2]。氮的损失特别严重, 不仅造成了

直接的经济损失, 而且部分地区因施肥不当已引起环境污染, 出现地表富营养化、地下水 and 蔬菜中硝态氮含量超标、氧化亚氮排放量增加等问

收稿日期: 2009-10-26

接受日期: 2010-06-16

基金项目: 国家 973 计划(2007CB109306); 国家自然科学基金(31000937)资助。

作者简介: 卢艳丽(1976—), 女, 内蒙古赤峰市人, 博士, 主要从事作物营养诊断与施肥研究。Tel: 010-82108664; E-mail: luyi@caas.net.cn

题^[3-5]。资料显示,为防止供肥过剩,利用缓控释肥养分缓慢释放的特点,改变普通速溶肥料养分供应过于集中,使利用率得到提高^[6-7]。通常缓/控释肥可比速效氮肥利用率提高 10%~30%,在目标产量相同的情况下,施用缓/控释肥比传统速效肥料可减少用量 10%~40%^[8]。Wang 等^[9]指出,尽管目前缓控释肥的价格是普通肥料的几倍,但是缓控释肥在作物产量和减少环境污染等方面优于普通尿素,将有利于农业生产的可持续性发展;另外,缓控释肥肥效期长,能满足植物在整个生长期对养分的需求。试验表明,在缓释条件下硝酸还原酶活性高峰持续时间较长而且延后,中后期还能维持较高水平,表明氮肥在缓控条件下的释放有利于小麦的氮素代谢和高产^[10];而且采用一次性施肥可大大节省施肥劳动力。徐明岗等^[11]在水稻上应用缓控释肥表明,早稻施用控释氮肥,可成功地实现施肥、播种、抛秧的一次性技术配套与结合,减轻劳动强度,提高了水稻产量。

近年来,我国对控释肥料养分释放的机理及包衣技术的研究取得了显著的成效^[12]。但是,仍存在一些问题,如价格高就是限制缓控释肥推广应用的一个主要因素;缓控释肥的肥效还缺少系统定量的评价也阻碍其发展。同时,缓控释肥在大田作物上的应用效果还需大量的试验验证,尤其是针对华北北部中低产田小麦-玉米轮作条件下缓控释肥的应用和推广问题,还缺少系统定量的评价。为此,本研究比较了不同施肥条件下小麦季和玉米季土壤中氮素含量的变化动态,分析常规施肥与等量养分的缓控释肥和减少用量的缓控释肥在小麦、玉米生物学性状以及产量上的差异,对缓/控释肥在中低产小麦-玉米轮作田是否可以减施增效增产进行分析和评价,以探讨一次性施肥的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2008~2009 年于中国农业科学院(万庄)国际农业产业园内(116°35'19.51"E, 39°35'51.75"N)。土壤类型属潮土,质地粉沙,麦播前土壤 pH 为 8.10,有机质为 4.10 g/kg、全 N 0.151 g/kg、速效 P 20.40 mg/kg、速效 K 80.20 mg/kg。

试验设如下处理: 1) 100% 包膜尿素一次性基施(100% CRU); 2) 100% 普通尿素一次性基施(100% UB); 3) 100% 普通尿素分次施(100% UD),

小麦分基施、返青、拔节 3 次施入,施肥比例为基肥:返青:拔节=6:4:2,玉米分苗期和大喇叭口期施入,施肥比例为苗期:大喇叭口期=4:6; 4) 100% 配方缓控释肥一次性基施(100% SCR); 5) 80% 配方缓控释肥一次性基施(80% SCR); 6) 80% 普通尿素一次性基施(80% UB); 7) 80% 普通尿素分次施分播前、返青、拔节 3 次施入(80% UD); 8) 对照不施任何肥料(CK)。3 个重复,小区面积为 4 m × 8 m。施肥量是根据国家测土施肥中心 ASI 方法推荐,以 N、P₂O₅、K₂O 分别为 180、90、60 kg/hm² 作为 100% 用量。

供试肥料包括: 1) 专用配方控释肥(N:P₂O₅:K₂O=24:12:12),其中控释氮素占配方肥中氮素的 60%,为树脂包膜尿素,含氮量为 43%,控释期为 4 个月,配方肥中磷、钾分别为磷酸一铵和氯化钾(山东金正大集团提供); 2) 玉米专用配方控释肥(N:P₂O₅:K₂O=26:10:12),其中氮素为树脂包膜尿素,含氮量为 43%,控释期为 3 个月,其它同小麦专用配方控释肥(山东金正大集团生产); 3) 普通尿素,含 N 46%(中国石油化工有限公司生产); 4) 磷肥为磷酸二铵和过磷酸钙,其中磷酸二铵含 N 18%,含 P₂O₅ 46%(云南云天化集团生产),过磷酸钙含 P₂O₅ 12%(安徽铜陵生产); 5) 钾肥为硫酸钾,含 K₂O 50%(俄罗斯进口商贸有限公司生产)。

试验为小麦-玉米一个轮作周期,小麦为保丰 104,玉米为郑单 958。其中冬小麦于 2008 年 10 月 12 日播种,2009 年 6 月 14 日收获;夏玉米于 2009 年 6 月 20 日播种,9 月 28 日收获。小麦季浇封冻水、返青水、拔节水、灌浆水和麦黄水 4 次;玉米季由于雨水比较充足,没有灌水。

1.2 样品采集与测定

小麦、玉米成熟期按小区测定实际产量,并进行考种。小麦考核的指标有穗数、株高、穗长、粒数、小穗数、千粒重;玉米考核的指标为穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃尖长、穗粒数、百粒重。

分别于小麦、玉米不同生育时期采集 0—20、20—40 cm 土样,自封袋封好带回室内立刻采用 KCl 提取液进行振荡提取,过滤后在流动分析仪进行硝态氮含量的比色测定,同时测定土壤含水量。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理小麦土壤硝态氮含量变化

2.1.1 等量养分包膜氮肥、缓控释氮肥与普通尿素对土壤硝态氮含量的影响 正常施肥量条件下,全

部包膜氮肥、缓/控释氮肥、普通尿素一次性施肥和普通尿素分次施肥以及不施肥处理土壤硝态氮含量的变化(图1)看出,0—20、20—40 cm 土层 NO_3^- -N 含量均随生育期延长呈下降的趋势,且施肥处理显著高于不施肥对照。相对于缓控释专用肥料(100% SCR),全部包膜氮素处理(100% CRU)前期土壤 NO_3^- -N 含量偏低,后期在 0—20 cm 与 100% SCR 处理接近;但在 20—40 cm 土壤硝态氮含量有升高的趋势,这与其氮素释放量有关。但普

通尿素一次性施肥,则明显出现前期土壤 NO_3^- -N 含量较高,而后期相对于缓控释肥和分次施肥处理土壤 NO_3^- -N 含量降低,表现出肥料浪费迹象。相对于一次性施肥,分次施肥可以更好地满足作物不同阶段需肥要求,提高肥料的利用率。按照常规推荐用量分次施肥的处理(100% UD)土壤 NO_3^- -N 的变化相对较平稳,尤其是在 0—20 cm,在后期仍维持较高的含量。

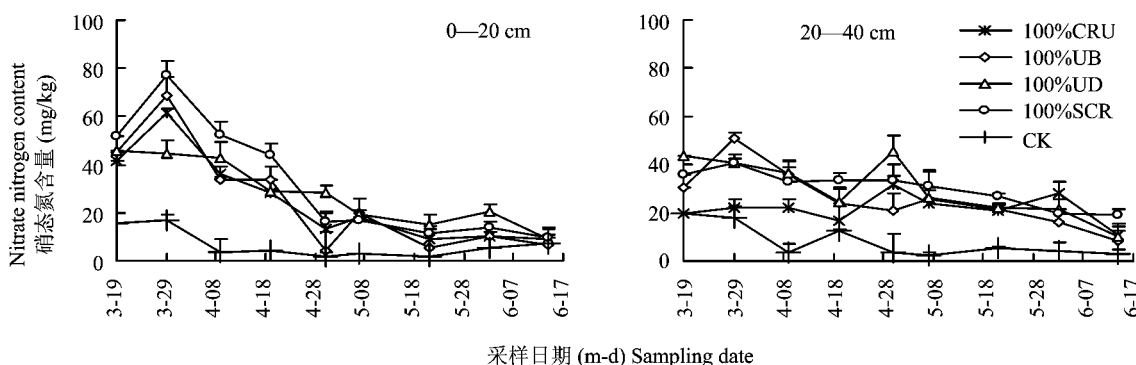


图1 等量养分包膜氮肥、缓/控释氮肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较
Fig.1 Comparison of soil nitrate nitrogen content of coated urea, slow-releasing fertilizer and urea under the same nutrient content

2.1.2 减量条件下缓控释肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较 采用减少 20% 用量的缓控释肥(80% SCR)和普通尿素分次施肥(80% UD)与常规施肥(100% UD)以及等量养分的缓控释肥(100% SCR)进行比较。结果表明,在 0—20cm 的耕层范围内,普通尿素分次施肥在生育后期土壤 NO_3^- -N 含量水平高于缓控释肥;而 20—40 cm 土层内表现为在拔节期以前 80% SCR 土壤 NO_3^- -N 含量明显低于常规施肥和等量养分的缓控释肥,

以后三者无明显差异。图2看出,在 0—40 cm 土层内整体趋势以 100% SCR > 80% SCR,尤其是拔节到孕穗期间,即减少用量的处理土壤 NO_3^- -N 含量水平较低。另外,减少 20% 的缓控释肥处理土壤 NO_3^- -N 含量在 0—40 cm 土层内均低于 100% UD。对于小麦而言,减少 20% 用量的缓控释肥(80% SCR)和分次施肥(80% UD)仍然表现为分次施用普通尿素处理土壤硝态氮含量比较高,在开花期以后二者相近的趋势。

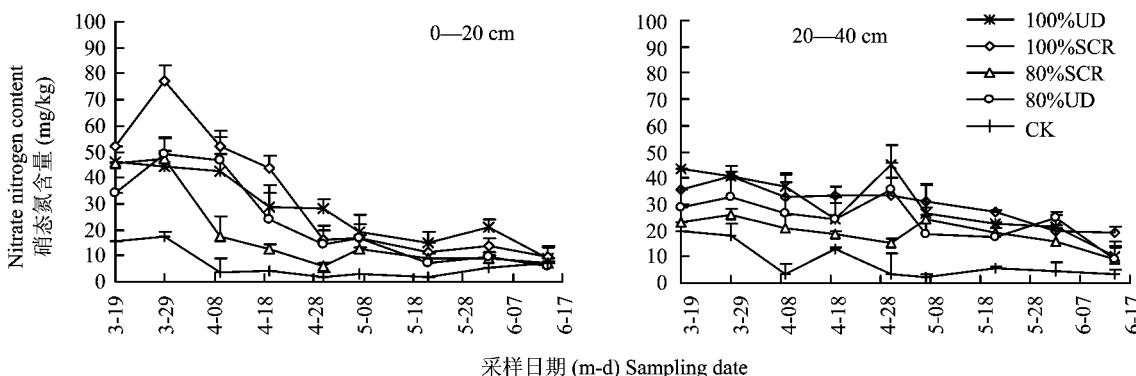


图2 减少施肥量条件下包膜氮肥、缓/控释氮肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较
Fig.2 Comparison of soil nitrate nitrogen content of coated urea, slow-releasing fertilizer and urea under the reduced application rate

2.2 不同施肥处理玉米土壤硝态氮含量变化

2.2.1 等量养分包膜氮肥、缓控释氮肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较 图3为正常施肥量下包膜氮肥、缓/控释氮肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量的变化。图3看出,普通尿素一次性施肥处理在玉米土壤 NO₃-N 含量表现为前期土壤中含量很高,而后期下降明显,尤其是0—20 cm 土层;而20—40 cm 土层也表现为前期含量较高。说明一次

性施肥使得肥料供应过于集中,下渗的比较多,是造成肥料浪费的主要途径。与小麦类似,全部包膜处理(100% CRU)在前期土壤硝态氮含量明显低于其它处理,可能会导致前期供氮不足;而100% UD 处理整个生育期变化相对比较平缓。相对于100% UD 处理,等量养分的100% SCR 处理在0—20 cm 土层中表现为前期较高,灌浆期略低,之后二者较接近。

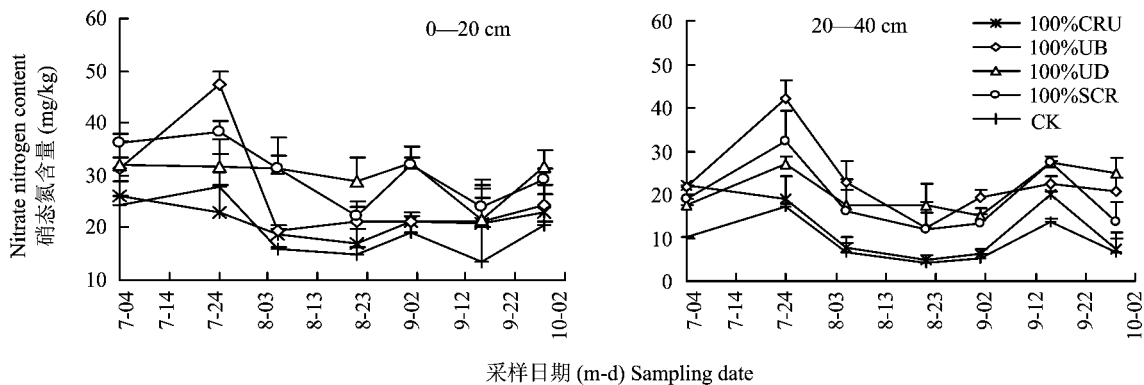


图3 等量养分包膜氮肥、缓/控释氮肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较
Fig.3 Comparison of soil nitrate nitrogen content of coated urea, slow-releasing fertilizer and urea under the same nutrient content

2.2.2 减量条件下缓控释肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较 对常规施肥、缓控释肥和减少用量施肥处理的土壤硝态氮含量进行比较,结果(图4表明,减少20%用量的缓控释肥处理(80% SCR)整个生育期土壤中 NO₃-N 含量均处于相对较低的水

平,但明显高于对照。这可能是缓控释肥利用率高的一个表现,即土壤中 NO₃-N 含量尽管不高,但在土壤中却能维持适量的速效氮水平以保障作物的需要。

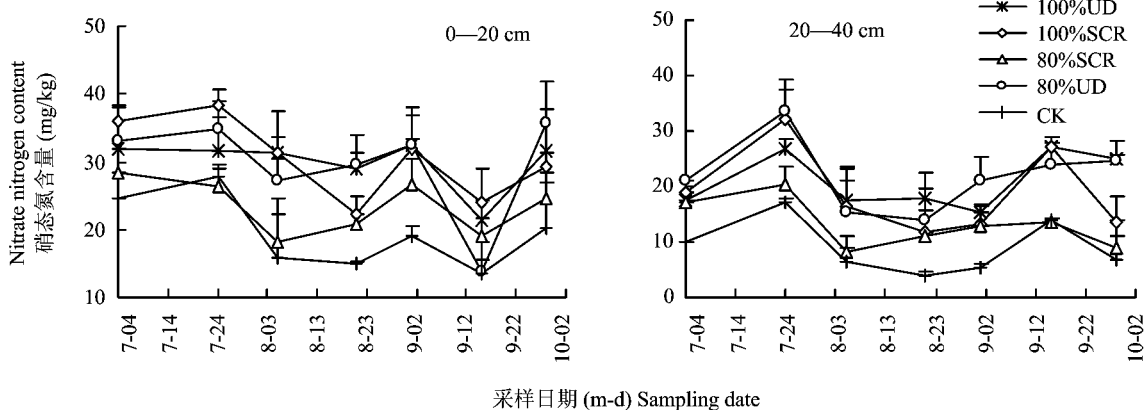


图4 减少施肥量条件下包膜氮肥、缓/控释氮肥与普通尿素处理土壤硝态氮含量比较
Fig.4 Comparison of soil nitrate nitrogen content of coated urea, slow-releasing fertilizer and urea under the reduced application rate

2.3 不同施肥处理作物产量及其性状的变化

2.3.1 小麦产量及其性状的差异 按照推荐用量进行分次施肥处理(100% UD)的产量在所有处理中最

高,其优势主要体现在粒数和千粒重上。说明100% UD 处理保证了生育后期作物对肥料的需求,因为在生育后期,穗数基本已成定型,但穗粒数和千

粒重有很大变化,此期缺肥将会影响子粒形成及灌浆过程,而分次施肥可以使作物养分在后期得到补充。缓控释肥处理,除了穗数外,各生物学性状上略低于100% UD处理,但差异不明显。各处理小麦穗数、株高以及千粒重均未达到显著水平,而粒数则以

100% UD 显著高于100% SCR、80% UD 和 CK。不同施肥处理小麦实际产量高低顺序为100% UD > 100% SCR > 100% CRU > 80% UD > 80% SCR > 100% UB > CK,各处理之间的差异均未达到显著水平(表1)。

表1 不同施肥处理小麦产量及生物学性状差异分析

Table 1 Difference analysis for yield and biological traits of winter wheat in different fertilizing treatments

处理 Treatment	穗数(No.) Spike No.	株高(cm) Plant height	穗长(cm) Ear length	粒数(No.) Seed No.	小穗数(No.) Spikelet No.	千粒重(g) 1000-grain wt.	实际产量(kg/hm ²) Actual yield
100% CRU	37 a	61.4 a	7.0 a	36 ab	15 abc	38 a	3300 a
100% UB	38 a	61.2 a	6.2 abc	32 abc	16 a	35 a	3315 a
100% UD	35 a	63.6 a	6.2 abc	37 a	15 ab	37 a	3705 a
100% SCR	37 a	62.4 a	6.0 bc	27 bc	13 bc	35 a	3525 a
80% SCR	39 a	66.2 a	6.4 ab	32 abc	15 abc	37 a	3495 a
80% UB	35 a	61.0 a	6.5 ab	31 abc	15 abc	36 a	3540 a
80% UD	35 a	58.0 a	5.9 bc	27 bc	14 abc	35 a	3150 a
CK	41 a	58.3 a	5.6 c	24 c	13 c	37 a	3225 a

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at 5% level.

2.3.2 玉米产量及其性状差异 不同处理玉米产量和生物学性状比较(表2)看出,穗行数和行粒数变化稳定,各处理之间没有显著区别;穗长以100% SCR处理最长,显著长于100% CRU和CK处理;穗粗以100% UD处理的值最大,但未表现出一定规律性;秃尖的长度在不同处理之间表现出一定的差异性,以一次性施肥的100% UB和80% UB处理以及CK较长,这与后期供肥不足有关;百粒重在各处理之间也没有显著差异。各处理实际产量以80% SCR

处理产量显著高于其它各处理,但与100% SCR处理未达到显著水平。尽管80% SCR处理土壤中NO₃-N含量水平并不高(图4),但是产量却最高,说明缓控释肥肥料利用率较高。各处理实际产量高低顺序为:80% SCR > SCR > 80% UD > 100% UB > 100% CRU > 80% UB > 100% UD > CK。相对于常规施肥,100% SCR和80% SCR处理增产分别达到9.8%和18.3%;相对于不施肥处理,增产达到12.8%和21.6%。

表2 不同施肥处理玉米生物学性状差异显著性分析

Table 2 Difference significance analysis for biological traits of summer maize in different fertilizing treatments

处理 Treatment	穗长(cm) Ear length	穗粗(cm) Ear diameter	穗行数(No.) Rows per ear	行粒数(No.) Kernels per row	秃尖长(cm) Bare top	穗粒数(No.) Seeds per ear	百粒重(g) 100-grain wt.	产量(kg/hm ²) Yield
100% CRU	14.2 b	15.5 ab	15.4 a	33.4 a	0.31 ab	512 a	27 a	7337 bc
100% UB	14.7 ab	15.3 b	14.8 a	33.6 a	0.47 a	497 a	28 a	7525 bc
100% UD	14.7 ab	16.1 a	15.6 a	33.8 a	0.38 ab	527 a	29 a	7045 c
100% SCR	15.6 a	15.7 ab	15.3 a	34.9 a	0.21 b	536 a	29 a	7733 ab
80% SCR	15.0 ab	15.8 a	15.6 a	34.3 a	0.26 b	536 a	27 a	8336 a
80% UB	15.2 ab	15.8 a	15.3 a	34.1 a	0.32 ab	522 a	28 a	7191 bc
80% UD	14.6 ab	15.6 ab	14.8 a	33.0 a	0.29 ab	488 a	29 a	7671 bc
CK	14.1 b	15.7 ab	15.5 a	32.7 a	0.44 ab	506 a	28 a	6858 c

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at 5% level.

3 讨论与结论

未来肥料研究的重点应是如何提高肥料效率与利用率,而不是继续大幅度提高施肥水平^[13]。缓控释肥料因其具有提高肥料利用率、减轻施肥对环境的污染以及一次性施肥等潜在优点已经成为今后肥料发展的趋势。本研究对华北小麦玉米轮作区缓控释肥与常规肥料不同施肥处理土壤氮素消长以及产量因子变化进行了分析。结果表明,在小麦-玉米轮作的条件下,小麦季土壤硝态氮含量表现为常规施肥量的普通尿素处理(100% UD)在整个小麦生育时期分配合理,尤其在生育后期仍然维持较高的水平,而该处理的小麦产量也是所有处理中最高的;减少20%用量的处理土壤硝态氮含量水平则相对降低,产量也有所减少。可见,小麦季保证各生育阶段的氮肥供应是促进高产的保障。与等量养分普通尿素处理相比,缓控释肥处理土壤硝态氮水平处于相对较低的状态,但是产量与各处理间没有显著差异。在玉米季土壤硝态氮含量表现为一次性施肥前期土壤中硝态氮含量很高,后期很快下降,尤其是0—20 cm 土层中出现严重的浪费现象;而全部包膜肥料则正好相反,由于释放缓慢导致前期供氮不足。与小麦季类似,100% UD 处理整个生育期变化相对比较平缓,整个生育期均能维持一定水平的土壤氮量;等量养分的缓控释肥处理(100% SCR)土壤硝态氮水平相对较低,而减少用量的缓控释肥处理(80% SCR)整个生育期土壤中硝态氮含量均处于相对较低的水平,但土壤中硝态氮含量明显高于不施肥(CK)。80% SCR 处理达到了较高的产量水平,并且显著高于常规施肥处理(100% UD)。说明缓控释肥在玉米季发挥了有效的作用。

孙克刚等^[14]对小麦-玉米周年轮作制下的控释肥及控释 BB 肥肥效的研究结果表明,利用缓控释肥比同等用量的普通尿素增产 873 ~ 860 kg/hm²,小麦氮素利用率分别提高 46.1% 和 48.6%;氮素用量相同时,玉米产量比同等用的普通尿素增产 8.3%~8.4%;而使用控释尿素用量比普通尿素用量减少 1/3 时,小麦、玉米作物产量并没有下降。在本研究条件下,从小麦、玉米两季土壤硝态氮含量和产量的变化看,缓控释肥在玉米季表现出了明显的优势,尽管小麦季以 100% UD 产量相对较高,但与缓控释肥处理没有显著差异;而在玉米季,80% SCR 处理比常规施肥处理增产 18.3%,缓控释肥却达到了减肥增产的效果。由于廊坊试验区

土壤保肥性较差,因此必须保证作物生长季节适量的肥料供应,既要不断满足作物的吸收需要,又不能过量供应造成浪费。缓控释肥在小麦季没有表现出显著的产量差异,可能是一些不确定因素影响了小麦养分的吸收和最终的产量;但是在玉米季却表现出较好的效果,尽管土壤中保持的硝态氮含量水平并不高,但是却达到了提高产量的目的。这说明了缓控释肥缓慢释放的特性使得肥料利用率提高,被作物及时并充分吸收而减少了在土壤中淋失而造成浪费的机会。可见,在中低产田小麦玉米轮作条件下,缓控释肥养分缓慢释放的优点,既提高了肥料利用效率,节约成本,保证了作物各生育阶段的养分供应,还可起到了环保作用,有利于农业可持续发展。由于本试验是在廊坊中低产田小麦-玉米轮作区进行的缓控释肥应用效果初步探索,因此,对当地土壤保水保肥特性以及肥料的推荐用量上仍存在较大的探索空间,有必要进一步优化肥料在不同生长季之间的配置,以实现经济效益、环境效益同步提高。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 1-6.
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and strategies and techniques for its reduction[J]. Soil Environ. Sci., 2000, 9 (1): 1-6.
- [2] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 193-205.
Li S X. The current state and prospect of plant nutrition and fertilizer science[J]. Plant Nut. Fert. Sci., 1999, 5(3): 193-205.
- [3] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 228-231.
Zhu Z L, Wen Q X. Chinese Soil Nitrogen[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 228-231.
- [4] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F *et al.* Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedol. Sin., 2008, 45(5): 915-924.
- [5] 应宗荣, 李静, 欧阳钊, 等. 木粉对缓释化肥包膜透过能力的调控[J]. 化工进展, 2008, 27(6): 872-877.
Ying Z R, Li J, Ouyang Z *et al.* Adjusting effect of wood powder to urea permeation capability of membranes for slow-release fertilizers[J]. Chem. Indus. Engin. Prog., 2008, 27(6): 872-877.
- [6] 许秀成, 李荫萍, 王好斌. 包裹型肥料/控释肥料的专题报告[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 1-12.
Xu X C, Li D P, Wang H B. A special report on coated slow/controlled release fertilizer[J]. Phosph. Comp. Fert., 2000, 15(3): 1-12.

- [7] 韩晓日. 新型缓/控释肥料研究现状与展望[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(1): 3-8.
Han X R. Current situation and prospects of new type slow and controlled releasing fertilizers [J]. J. Shenyang Agric. Univ., 2006, 37(1): 3-8.
- [8] 黄丽娜,刘俊松. 我国缓/控释肥发展现状及产业化存在的问题[J]. 资源开发与市场,2009,25(6): 527-530.
Huang L N, Liu J S. Development status of Chinese slow/controlled release fertilizers and the problems in its industrialization [J]. Resour. Develop. Mark., 2009, 25(6): 527-530.
- [9] Wang Z, Zhu J G, Gao R *et al.* Nitrogen cycling and losses under rice-wheat rotations with coated urea and urea in the Taihu Lake Region[J]. Pedosphere, 2007, 17(1): 62-69.
- [10] 王海红,宋家永,贾宏昉,等. 肥料缓施对小麦氮素代谢及产量的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(7): 335-336.
Wang H H, Song J Y, Jia H F *et al.* Effects of slow-release fertilizer on nitrogen metabolism and yield of wheat[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(7): 335-336.
- [11] 徐明岗,孙小凤,邹长明,等. 稻田控释氮肥的施用效果与合理施用技术[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4): 487-493.
Xu M G, Sun X F, Zou C M. Effects and rational application of controlled-release nitrogen fertilizer in paddy field of southern China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(4): 487-493.
- [12] 张桥,樊小林. 我国控释肥料生产应用现状与发展对策[J]. 广东农业科学,2005,(1): 52-53.
Zhang Q, Fan X L. Status and countermeasures on production and application of controlled released fertilizers [J]. Guangdong Agric. Sci., 2005, (1): 52-53.
- [13] 赵秉强,林治安,刘增兵. 中国肥料产业未来发展道路—提高肥料利用率减少肥料用量[J]. 磷肥与复肥,2008,23(6): 1-4.
Zhao B Q, Lin Z A, Liu Z B. The future developing route for China's fertilizer industry—increasing the use efficiency and decreasing the consumption of fertilizer [J]. Phosph. Comp. Fert., 2008, 23(6): 1-4.
- [14] 孙克刚,和爱玲,李丙奇,胡颖. 小麦-玉米周年轮作制下的控释肥及控释 BB 肥肥效试验研究[J]. 中国农学通报,2009, 25(12): 150-154.
Sun K G, He A L, Li B Q, H Y. Study on the effect of the controlled released urea on wheat-corn [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2009, 25(12): 150-154.