

冬小麦、夏玉米高效施肥技术研究

孙克刚¹,杨焕焕¹,张琨^{2,3},和爱玲¹,杜君¹

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所/河南省农业生态与环境重点实验室,河南 郑州 450002;

2. 河南省农业科学院 小麦研究所,河南 郑州 450002; 3. 河南农业大学 农学院,河南 郑州 450002)

摘要:为提高氮肥利用率以及降低农民劳动强度,2013—2014年在驻马店砂姜黑土区进行冬小麦、夏玉米田间试验,研究小麦、玉米高效施肥技术。结果表明,与单施磷钾肥相比,施用氮肥显著提高了小麦、玉米产量,小麦增产19.4%~41.8%,玉米增产16.7%~39.4%;与农民习惯施肥处理相比,优化施肥处理和等氮量控释肥一次性施入在提高产量方面效果显著,小麦增产11.2%~17.0%,玉米增产11.7%~18.4%;与优化施肥处理相比,等氮量控释肥一次性施入在提高玉米、小麦产量方面效果相当,且减少了施肥次数;与等氮量控释肥一次性施入处理相比,减量20%氮素处理存在减产风险,玉米减产幅度为5.2%~8.7%,小麦减产幅度为4.9%~7.1%。与农民习惯施肥处理相比,优化施肥处理和等氮量控释肥一次性施入在提高氮肥利用率方面效果显著,小麦氮肥利用率提高了58.3%~74.4%,玉米氮肥利用率提高了64.9%~83.7%;在降低土壤剖面硝态氮残留量方面,控释肥处理效果较好。综合分析,控释肥一次性施入处理在提高产量和氮肥利用率方面效果显著,同时减少了施肥次数,且在降低土壤剖面硝态氮残留量方面效果较好。

关键词:控释肥;高效施肥技术;玉米;小麦;产量;氮肥利用率;土壤硝态氮

中图分类号:S147 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2017)10-0038-07

Study on High Efficient Fertilization Technology of Winter Wheat and Summer Maize

SUN Kegang¹, YANG Huanhuan¹, ZHANG Kun^{2,3}, HE Ailing¹, DU Jun¹

(1. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Science/
Henan Key Laboratory of Agricultural Eco-environment, Zhengzhou 450002, China; 2. Wheat Research Institute, Henan
Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 3. Agricultural College of Henan Agricultural University,
Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to improve nitrogen use efficiency and reduce the labor intensity of farmers, a field experiment was conducted in winter wheat-summer maize field in lime concretion black soil region of Zhumadian to study high-efficiency fertilization technique from 2013—2014. The results showed that compared with phosphorus and potassium fertilizer treatment, the application of nitrogen fertilizer significantly increased crop yield. The yield of wheat and maize increased by 19.4%—41.8% and 16.7%—39.4% respectively. Compared with farmer custom fertilizer treatment, the optimized fertilization treatment and nitrogen controlled-release fertilizers treatment had significant effects on increasing yield. The yield of wheat increased by 11.2%—17.0%, and the yield of maize increased by 11.7%—18.4%. Compared with the optimized fertilization treatment, the application of controlled release fertilizer got the same effect on increasing the yield of wheat and maize, while it reduced fertilization frequency. Compared with controlled release fertilizer, under 20% reduction in nitrogen treatment, the yield of wheat and maize decreased by

收稿日期:2017-04-21

基金项目:农业部行业专项(201303103);河南省科技厅攻关项目(152102110142);科技部攻关项目(2015BAD23B02)

作者简介:孙克刚(1965-),男,河南固始人,研究员,硕士,主要从事植物营养与精准农业养分管理方面的研究。

E-mail:kgsun@ipni.ac.cn

4.9%—7.1% 和 5.2%—8.7% 分别。与农民定制肥料处理相比,优化施肥处理和控释肥处理对增加氮肥利用效率有显著影响。小麦氮肥利用效率增加 58.3%—74.4%,玉米氮肥利用效率增加 64.9%—83.7%。此外,结果表明控释肥在减少土壤 NO_3^- -N 含量方面效果更好,在提高产量和氮肥利用效率方面,减少了施肥次数,有助于降低土壤硝态氮残留。

Key words: controlled-release fertilizer; high-efficiency fertilization technique; maize; wheat; yield; nitrogen use efficiency; soil nitrate nitrogen

黄淮海平原是我国重要的粮食生产基地,其中小麦和玉米种植占有重要的地位^[1-3]。施用氮肥是提高作物产量的重要手段,但农民为了追求高产,往往加大肥料的投入量,这样不仅导致氮肥利用率偏低,而且还会造成环境污染^[4-7]。农民施肥习惯上只重视基肥,传统的施肥方式并不适用于当前农业绿色生产的需要^[8]。大量研究表明,根据作物需肥规律施肥可以提高肥料的利用效率^[9-11],氮肥后移可以更加有效地利用肥料,但同时也增加了施肥次数,提高了农民的劳动强度。控释肥料具有养分释放与作物需求同步、挥发淋溶少、对环境污染少等优点,因此成为新型肥料的研究热点^[12-14]。当今城镇化发展、农村劳动力转移、种植业机械化程度的提高,都需要简化的农作物栽培施肥措施^[15-16]。为了满足当前农业节肥增效绿色生产的需要,探讨控释肥料在玉米、小麦作物上一次性施肥技术对促进农业资源高效利用和农业可持续发展具有重要的意义。鉴于此,在河南省驻马店市砂姜黑土区采用大

田小麦、玉米控释肥试验,研究控释肥对玉米、小麦产量、氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响,旨在通过研究控释肥料的高效施用技术,提高氮肥利用率,并为降低施肥劳动强度提供技术参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验区位于河南省驻马店市,土壤类型为砂姜黑土,地力为中低水平,共设置中等肥力点(驻马店农科院农场)和低肥力点(驻马店市西平县盆尧镇于营村)2个试验点,中等肥力点小区面积为 30 m^2 ,低肥力点小区面积为 48 m^2 。玉米试验:试验品种为郑单 958,播种量为 75 000 株/ hm^2 ,播种日期为 2013 年 6 月 18 日。小麦试验:试验品种为新农 979,播种量为 165 kg/hm^2 ,播种日期为 2013 年 10 月 6 日。种植前采取耕作层土壤(0~20 cm)进行基础土样分析,具体养分情况详见表 1。

表 1 供试土壤的理化性状

作物	地点	pH	有机质含量/ (g/kg)	碱解氮含量/ (mg/kg)	速效磷含量/ (mg/kg)	速效钾含量/ (mg/kg)	有效硫含量/ (mg/kg)
小麦	于营村	6.4	8.5	84.3	11.2	55.1	15.8
	农场	6.7	9.1	88.7	12.1	60.3	16.3
玉米	于营村	6.4	9.5	85.1	10.2	53.6	15.3
	农场	6.0	9.4	85.7	11.3	59.5	15.7

1.2 试验设计

玉米、小麦试验在中等肥力和低等肥力点上均设置 7 个处理:处理 1,单施磷钾肥(CK);处理 2,习惯施肥(完全按调查的农民习惯用量配比和方式操作,即尿素按 4:6 在苗期、拔节期 2 次施入,氮肥用量为 225 kg/hm^2);处理 3,优化施肥(根据当地测土配方及往年试验数据确定各养分投入量、基追比和施用方式,尿素按 4:6 在苗期、拔节期 2 次施入,氮肥用量为 180 kg/hm^2);处理 4,控释肥 A(与优化施肥等氮量,氮来自控释肥 A,一次性底施,氮肥用量

为 180 kg/hm^2);处理 5,80% 控释肥 A(与优化施肥处理相比减少 20% 氮用量,氮来自控释肥 A,一次性底施,氮肥用量为 144 kg/hm^2);处理 6,80% 控释肥 B(与优化施肥处理相比减少 20% 氮用量,氮来自控释肥 B,一次性底施,氮肥用量为 144 kg/hm^2);处理 7,80% 控释肥 C(与优化施肥处理相比减少 20% 氮用量,氮来自控释肥 C,一次性底施,氮肥用量为 144 kg/hm^2)。每个处理重复 3 次,完全随机区组排列。

以上所有处理 P、K 用量相同,均为 P_2O_5 90

kg/hm^2 、 K_2O $120 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。试验中磷肥为过磷酸钙,含 12% 的 P_2O_5 ;钾肥为氯化钾,含 60% 的 K_2O ;控释肥 A(含氮量 44%)为山东农科院研制的可降解树脂包膜控释肥性肥料;控释肥 B(含氮量 44%)为金正大树脂包膜肥料;控释肥 C(含氮量 44%)为中国农大自制聚酯类包膜肥料。

1.3 测定方法

1.3.1 产量和氮肥利用率 小麦收获后,每个小区取 5 m^2 样品脱粒测产,产量以风干质量表示,折算成公顷产量。玉米成熟后,每个小区实收样品脱粒测产,产量以风干质量表示。植株全氮含量用浓硫酸-双氧水联合消煮,凯氏定氮法测定。氮肥利用率 = (施氮区吸氮量 - 不施氮区吸氮量)/施氮量 $\times 100\%$ 。

1.3.2 土壤硝态氮 作物收获后,用土钻取 0~90 cm 深度的土样,每小区 3 钻,每 30 cm 为 1 层,按层次混匀,用流动分析仪测定硝态氮含量。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2007 进行数据处理,利用 SPSS 18.0 进行方差分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米、小麦产量的影响

2.1.1 小麦产量 由表 2 可知,穗数方面,2 个试验点各施氮处理与 CK 相比达到显著差异,控释肥处理在增加小麦的穗数方面效果较好;穗粒数方面,

控释肥 A 处理在 2 个试验点均达到最大值(低肥力点、中等肥力点均为 33.3 粒),但与优化处理及其他控释肥处理未达到显著差异;千粒质量方面,2 个试验点各施氮处理间未达到显著差异,但均显著高于 CK;产量方面,与 CK 相比,不同施氮处理产量都有不同程度的提高,增产幅度为 26.1%~41.8%(低肥力点)和 19.4%~39.7%(中等肥力点),且达到显著差异,说明施用氮素可以提高小麦的产量。低肥力点产量最高的为控释肥 A 处理,达到 $7337 \text{ kg}/\text{hm}^2$,其次为优化处理,达到 $7260 \text{ kg}/\text{hm}^2$;中等肥力点产量最高的仍为控释肥 A 处理,达到 $7622 \text{ kg}/\text{hm}^2$,其次为优化处理,达到 $7373 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。低肥力点、中等肥力点二者的产量与习惯施肥处理达到显著差异,增产幅度为 11.2%~17.0%,说明控释肥 A 全部基施和优化施肥处理在提高产量方面效果优于农民习惯施肥;与控释肥 A 处理相比,80% 控释肥 A 处理减产了 4.9%(低肥力点)和 5.5%(中等肥力点),80% 控释肥 B 处理减产了 6.4%(低肥力点)和 6.7%(中等肥力点),80% 控释肥 C 处理减产了 6.0%(低肥力点)和 7.1%(中等肥力点),且达到显著差异,说明减氮 20% 时,小麦产量显著下降,但减氮 20% 处理与农民习惯施肥相比,产量提高了 5.2%~6.9%(低肥力点)和 8.7%~10.6%(中等肥力点)。综上所述,与单施磷钾肥处理相比,增施氮素显著提高了小麦的产量。

表 2 不同施肥处理对小麦产量的影响

试验点	处理	穗数/(万穗/ hm^2)	穗粒数/粒	千粒质量/g	实际产量/(kg/hm^2)
低肥力点	CK	567.0c	29.2b	40.6b	5175d
	习惯施肥	627.0b	30.7b	43.8a	6527c
	优化处理	639.0ab	33.1a	43.6a	7260a
	控释肥 A	648.0a	33.3a	43.8a	7337a
	80% 控释肥 A	640.5a	32.9ab	43.4a	6980b
	80% 控释肥 B	637.5ab	32.7ab	43.3a	6867b
	80% 控释肥 C	640.5a	32.8ab	43.3a	6900b
中等肥力点	CK	564.0c	29.4c	40.8b	5456d
	习惯施肥	627.0b	31.6b	44.0a	6513c
	优化处理	643.5b	32.8ab	43.9a	7373ab
	控释肥 A	651.0a	33.3a	44.1a	7622a
	80% 控释肥 A	642.0b	33.1a	43.5a	7205b
	80% 控释肥 B	640.5b	33.1a	43.2a	7115b
	80% 控释肥 C	645.0ab	32.9ab	43.6a	7082b

注:同列不同小写字母分别表示同一试验点不同处理在 0.05 水平差异显著,下同。

2.1.2 玉米产量 由表 3 可知,穗粒数方面,与 CK 比较,施用氮肥可以显著增加玉米的穗粒数,2 个肥力点均为控释肥 A 处理穗粒数最大,其次为优化处理,二者未达到显著差异;与控释肥 A 处理相比,减

氮 20%,穗粒数均有不同程度的降低;百粒质量方面,除低肥力点习惯施肥处理与 CK 差异不显著外,2 个试验点其他各施氮处理均与 CK 达到显著差异,优化处理和控释肥处理在增加玉米的百粒质量方面

均优于习惯施肥处理,百粒质量最大的仍为控释肥 A 处理;产量方面,与 CK 比较,不同施氮处理产量都有不同程度的提高,增产幅度为 17.8% ~ 39.4% (低肥力点) 和 16.7% ~ 33.9% (中等肥力点),且与 CK 达到显著差异,说明施用氮素可以提高玉米籽粒产量。低肥力点产量最高的为控释肥 A 处理,达到 $8\text{ 787 kg}/\text{hm}^2$,其次为优化处理,达到 $8\text{ 522 kg}/\text{hm}^2$,中等肥力点产量最高的仍为控释肥 A 处理 ($8\text{ 976 kg}/\text{hm}^2$),其次为优化处理 ($8\text{ 733 kg}/\text{hm}^2$),低肥力点、中等肥力点二者的产量与习惯施肥处理达到显著差异,增产幅度为 11.7% ~ 18.3%,说明控释肥 A 全部基施和优化施肥处理在提高产量方面效果优于农民习惯施肥;与控释肥 A 处理相比,80% 控释肥 A 处理减产了

6.7% (低肥力点) 和 5.2% (中等肥力点),80% 控释肥 B 处理减产了 7.5% (低肥力点) 和 6.5% (中等肥力点),80% 控释肥 C 处理减产了 8.7% (低肥力点) 和 8.3% (中等肥力点),除中等肥力点 80% 控释肥 A 处理未达到显著差异外,其他均达到显著差异,说明减氮 20% 时,玉米产量下降,但减氮 20% 处理与习惯施肥处理相比,低肥力点显著提高,中等肥力点除 80% 控释肥 C 处理有所增加但未达到显著差异外,80% 控释肥 A 和 80% 控释肥 B 处理均显著提高,说明与农民习惯施肥相比,虽然氮肥用量减少了 20%,但提高了玉米的产量,且产量提高了 8.1% ~ 10.4% (低肥力点) 和 5.2% ~ 8.8% (中等肥力点)。

表 3 不同施肥处理对玉米产量的影响

试验点	处理	穗粒数/粒	百粒质量/g	实际产量/(kg/hm ²)
低肥力点	CK	396.6c	25.5c	6 302d
	习惯施肥	449.6b	26.1c	7 425c
	优化处理	458.1ab	29.6a	8 522ab
	控释肥 A	468.6a	30.1a	8 787a
	80% 控释肥 A	450.9b	28.8b	8 199b
	80% 控释肥 B	444.4bc	28.8b	8 124b
	80% 控释肥 C	438.2bc	29.0ab	8 025b
中等肥力点	CK	409.1d	26.4c	6 702e
	习惯施肥	449.4c	27.5b	7 820d
	优化处理	467.1ab	29.8a	8 733ab
	控释肥 A	471.6a	29.9a	8 976a
	80% 控释肥 A	452.6b	29.7a	8 505abc
	80% 控释肥 B	453.9b	29.4ab	8 394bc
	80% 控释肥 C	455.3b	28.7b	8 229cd

2.2 不同施肥处理对玉米、小麦氮肥利用率的影响

由表 4 可知,小麦低肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.7% ~ 42.3%,氮肥利用率最高的为 80% 控释肥 A 处理 (42.3%),其次是控释肥 A 处理 (41.1%),利用率最低的为习惯施肥处理 (23.7%)。与农民习惯施肥处理相比,优化施肥处理增幅为 66.2%,控释肥 A 处理增幅为 73.4%,80% 控释肥 A 处理增幅为 78.5%,80% 控释肥 B 处理和 80% 控释肥 C 处理增幅为 70.0%。中等肥力点各施氮处理氮肥利用率为 21.1% ~ 37.2%,氮肥利用率最高的为 80% 控释肥 A 处理 (37.2%),其次是控释肥 A 处理 (36.8%),最低为习惯施肥处理 (21.1%)。与习惯施肥处理相比,优化处理增幅为 58.3%,控释肥 A 处理增幅为 74.4%,80% 控释肥 A 处理增幅为 76.3%,80% 控释肥 B 处理增幅为 67.8%,80% 控释肥 C 处理增幅为 64.0%。不论是低肥力点还是中等肥力点,其他各施氮处理与农民习惯施肥相比均达到显著差异,但其他各施氮处理

之间差异不显著,说明优化施肥和施用控释氮肥处理在提高氮肥当季利用率方面均优于农民习惯施肥,当氮肥用量减少 20% 时对氮肥利用率并没有显著的影响。

玉米低肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.4% ~ 48.0%,氮肥利用率最高的为 80% 控释肥 A 处理 (48.0%),其次是 80% 控释肥 B 处理 (45.2%),利用率最低的为习惯施肥处理 (23.4%)。与习惯施肥处理相比,优化处理增幅为 70.5%,控释肥 A 处理增幅为 78.2%,80% 控释肥 A 处理增幅为 105.1%,80% 控释肥 B 处理增幅为 93.2%,80% 控释肥 C 处理增幅为 82.5%。中等肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.9% ~ 48.5%,氮肥利用率最高的为 80% 控释肥 A 处理 (48.5%),其次为 80% 控释肥 B 处理 (46.1%),最低为习惯施肥处理 (23.9%)。与习惯施肥处理相比,优化处理增幅为 64.9%,控释肥 A 处理增幅为 83.7%,80% 控释肥 A 处理增幅为 102.9%,80% 控释肥 B 处理增

幅为 92.9%, 80% 控释肥 C 处理增幅为 70.3%。低肥力点、中等肥力点各施氮处理与农民习惯施肥相比均达到显著差异, 说明优化施肥和施用控释氮肥处理在提高氮肥利用率方面均优于农民习惯施肥。控释肥 A 处理较优化处理提高了 4.5% (低肥力点) 和 11.4% (中等肥力点), 说明等氮量时, 施用控释肥在提高氮肥的利用率方面效果较好。与控释肥 A 处理相比, 当氮肥用量减少 20% 时, 80% 控释肥 A 处理提高了 15.1% (低肥力点) 和 10.5% (中等肥力点), 80% 控释肥 B 处理提高了 8.4% (低肥力点) 和 5.0% (中等肥力点), 80% 控释肥 C 处理低肥力点提高了 2.4%, 中等肥力点降低了 7.3%。

表 4 不同施肥处理对小麦、玉米氮肥利用率的影响

处理	小麦氮肥利用率/%		玉米氮肥利用率/%	
	低肥力点	中等肥力点	低肥力点	中等肥力点
习惯施肥	23.7b	21.1b	23.4d	23.9e
优化处理	39.4a	33.4a	39.9c	39.4d
控释肥 A	41.1a	36.8a	41.7c	43.9bc
80% 控释肥 A	42.3a	37.2a	48.0a	48.5a
80% 控释肥 B	40.3a	35.4a	45.2ab	46.1ab
80% 控释肥 C	40.3a	34.6a	42.7bc	40.7cd

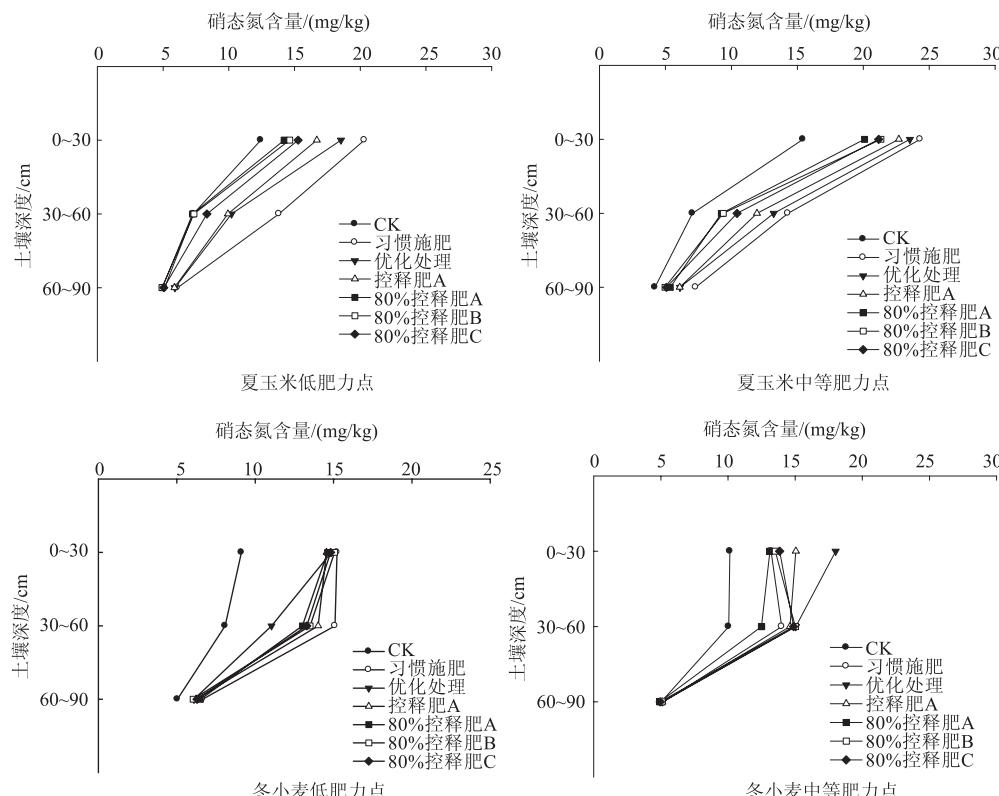


图 1 不同处理对土壤剖面硝态氮含量的影响

3 结论与讨论

将控释肥应用到大田作物是解决当前肥料利用率低的重要途径之一, 欧美等国早已将其应用从花

2.3 不同施肥处理对土壤剖面硝态氮含量的影响

由图 1 可知, 玉米、小麦收获后, 各处理土壤硝态氮在 0~30 cm 土层中含量达到最高值, 且主要集中在 0~60 cm 土层, 60 cm 以下土壤硝态氮含量明显降低, 且同一土层各施氮处理的土壤硝态氮含量明显高于 CK, 说明施氮处理提高了土壤硝态氮含量。与控释肥 A 处理相比, 3 个减量 20% 控释肥处理硝态氮含量均有所降低, 玉米降幅为 9.9%~14.8%, 小麦降幅为 11.8%~18.8%, 说明随着施氮量的增加, 土壤硝态氮残留量增加; 在玉米上的 2 个试验点 0~30 cm 土层, 习惯施肥、优化施肥和控释肥 A 处理土壤硝态氮含量呈逐渐降低趋势, 与习惯施肥处理相比, 优化施肥处理和控释肥 A 处理降幅为 3.2%~17.8%, 冬小麦低肥力点趋势相同, 中等肥力点趋势不同, 其优化施肥处理硝态氮残留量最高, 0~30 cm 土层为 18.01 mg/kg。综上所述, 控释肥处理能够保持土壤剖面较低的硝态氮含量, 降低硝态氮的淋失风险, 这可能与控释肥被作物较好地吸收利用有关。

卉等经济作物上转移到水稻、马铃薯等大田作物上^[17~18]。氮肥的合理使用往往能显著提高作物的籽粒产量, 但我国的氮肥利用率却一直达不到世界先进水平^[19~22]。有研究表明, 施用控释肥可以提高

玉米、小麦产量^[24-25]。本研究表明,增施氮素显著提高了玉米、小麦的产量,控释氮肥全部一次性基施处理在提高玉米、小麦产量方面达到了最佳效果,这与前人^[26-27]研究结果一致。目前,我国氮肥市场仍以常规尿素为主,施肥方式主要是基施和追施相结合,但常规尿素容易水解,往往造成氮肥的损失,且当前由于劳动力成本的提高,农民往往采用简化的施肥管理措施,控释肥一次性施肥技术因此成为目前研究热点^[28-29]。陈金锋等^[29]研究表明,小麦一次性施肥模式中引入控释氮肥(包衣尿素)的优化配方施肥模式用工量相对较少,产值和纯效益均为最高。本研究中,控释氮肥 A 全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高玉米、小麦产量方面效果相当,说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了小麦产量还减少了施肥次数、降低了劳动强度,主要原因可能是控释肥合理的养分释放期和作物需求期较为一致,氮肥利用率较高。曾祥明等^[30]研究表明,与农民习惯施肥处理比较,优化施肥处理的氮肥吸收利用率、农学利用率和偏生产力均大幅度提高,本研究表明,在提高氮肥当季利用率方面,各施氮处理效果均优于农民习惯施肥。过量施肥不仅会造成资源浪费,还会导致严重的环境污染,不利于我国环境保护和农业的可持续发展。张婧等^[31]研究表明,相对于优化施氮处理,一次性施肥可以有效降低 N₂O 排放强度。杨俊刚等^[32]、董亮等^[33]研究发现,收获季后施用控释肥处理土壤中的硝态氮含量并没有显著增加,即控释肥能减少硝态氮在各个土层的累积,进而降低硝态氮的淋溶风险。本研究表明,在保证产量的情况下,控释肥处理土壤硝态氮含量低于优化施肥和农民习惯施肥处理,说明控释肥处理降低了土壤硝态氮的含量,这可能与控释肥抑制了硝态氮向下层移动和淋失有关。

综上所述,本试验条件下控释氮肥全部一次性基施不仅提高了玉米、小麦产量,还减少了施肥次数,农业生产中能降低劳动强度,且当施肥量减少 20% 时,与农民习惯施肥处理相比,作物产量并未下降,说明还可以适当地减少控释肥用量。控释肥在提高氮肥当季利用率方面效果显著,但当减少 20% 的施用量时,与控释氮肥全部基施处理相比,玉米、小麦试验上氮肥利用率都存在降低的情况,这可能与当年产量下降及肥料品种有关。在保证产量的情况下,控释肥处理收获后土壤硝态氮含量低于优化施肥和农民习惯施肥处理,说明控释肥处理降低了土壤硝态氮的含量。综合考虑,在玉米、小麦等大田作物上,合理地施用控释肥是协调作物高产和环境

保护的较好选择。

参考文献:

- [1] 殷培红,方修琦,马玉玲,等.21 世纪初我国粮食供需的新空间格局[J].自然资源学报,2006,21(4):625-631,678.
- [2] 陈丽,郝晋珉,艾东,等.黄淮海平原粮食均衡增产潜力及空间分异[J].农业工程学报,2015,31(2):288-297.
- [3] 杨晓梅,李桂花,李贵春,等.有机无机配施比例对华北褐土冬小麦产量与氮肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2014(4):48-52.
- [4] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [5] 郭胜利,党廷辉,郝明德.施肥对半干旱地区小麦产量、NO₃⁻-N 累积和水分平衡的影响[J].中国农业科学,2005,38(4):754-760.
- [6] 杨小梅,刘树伟,秦艳梅,等.中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1184-1192.
- [7] 王激清,刘社平,韩宝文.施氮量对冀西北春玉米氮肥利用率和土壤硝态氮时空分布的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):138-143.
- [8] 申向东,赵曦阳,艾鹏慧,等.传统农业施肥的不足及现代农业施肥的发展方向[J].河南农业科学,2016,45(12):77-81.
- [9] 王宜伦,李潮海,谭金芳,等.氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J].作物学报,2011,37(2):339-347.
- [10] 裴雪霞,王秀斌,何萍,等.氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):9-15.
- [11] 陈祥,同延安,亢欢虎,等.氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(3):450-455.
- [12] 赵斌,董树亭,张吉旺,等.控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J].作物学报,2010,36(10):1760-1768.
- [13] 丁洪,王跃思,秦胜金,等.控释肥对土壤氮素反硝化损失和 N₂O 排放的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(5):1015-1019.
- [14] 于淑芳,杨力,张民,等.控释肥对玉米小麦生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(1):128-133.
- [15] 付景,王生轩,尹海庆,等.施氮量对直播稻郑旱 10 号群体特征及产量的影响[J].河南农业科学,2017,46(1):30-35.
- [16] 武继承,杨永辉,潘晓莹,等.小麦-玉米滴灌水肥一体化的节水增产效应[J].河南农业科学,2017,46(2):16-21.

(下转第 59 页)

- [7] 陆星星,龚兰芳,李明福,等.不同栽培条件与烤烟产质量关系分析[J].山地农业生物学报,2012,31(3):231-234.
- [8] 肖枢,龙荣,王锡云等.瑞丽地区烟草寄生性线虫与栽培关系研究[J].植物检疫,1997,11(1):8-10.
- [9] 周兴华.烟稻轮作与烟草土传病害发生关系的初步探讨[J].中国烟草,1993(2):39-40.
- [10] 刘志广,孙曙光,许自成,等.曲靖烟区不同前作对烤烟品质的影响[J].江西农业学报,2011,23(12):85-89.
- [11] 彭云.不同前作对烟田土壤养分供应、烟株营养及烟叶产质量的影响[D].昆明:云南农业大学,2009.
- [12] 崔学林.不同前作对植烟土壤及烟叶产质量的影响[D].长沙:湖南农业大学,2009.
- [13] 刘浩,周冀衡,张毅,等.不同土壤类型前茬作物对烤烟化学成分和品质的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(5):491-495.
- [14] 陶治.楚雄州土壤简说[J].楚雄师专学报,1992,7(3):41-48.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [16] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003:
- [17] 张信娣,曹慧,徐冬青,等.光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J].土壤,2008,40(3):443-447.
- [18] 贾志红,孙敏,杨珍平,等.施肥对作物根际微生物的影响[J].作物学报,2004,30(5):491-495.
- [19] 李忠环,韩智强,高福宏,等.不同前茬对烤烟根际土壤微生物的影响[J].中国农学报,2011,27(22):114-118.
- [20] 刘枫,赵正雄,李忠环,等.不同前茬作物条件下烤烟氮磷钾养分平衡[J].应用生态学报,2011,22(10):2622-2626.
- [21] 王勇,刘红恩,杨超,等.重庆市烤烟质量空间变异特征及其与作物茬口关系研究[J].江西农业学报,2011,23(9):5-8.
- [22] 刘加红,解燕,张拯研,等.富源烟区不同前作烤烟主要化学成分差异及其协调性研究[J].湖南农学,2010(16):26-28.
- [23] 李江舟,焦永鸽,代快,等.玉溪地区前茬作物对烤烟产质量的影响及施肥改进措施[J].安徽农业科学,2014,42(20):6597-6600,6652.

(上接第 43 页)

- [17] Hutchinson C M. Influence of a controlled release nitrogen fertilizer program on potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield and quality [J]. Acta Horticulturae, 2005, 684:99-102.
- [18] Kang B K, Han S H. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2005, 74(4): 225-229.
- [19] 徐新朋,周卫,梁国庆,等.氮肥用量和密度对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):763-772.
- [20] 赵宏伟,沙汉景.我国稻田氮肥利用率的研究进展[J].东北农业大学学报,2014,45(2):116-122.
- [21] 王秀斌,徐新朋,孙刚,等.氮肥用量对双季稻产量和氮肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1279-1286.
- [22] 冯波,孔令安,张宾,等.施氮量对垄作小麦氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响[J].作物学报,2012,38(6):1107-1114.
- [23] 任利沙,顾日良,贾光耀,等.灌浆期控水和施用控释肥对杂交玉米制种产量和种子质量的影响[J].中国农业科学,2016,49(16):3108-3118.
- [24] 郭新送,丁方军,孟庆羽,等.控释肥不同施用量及深度对宅基复垦地小麦产量与氮肥利用率的影响[J].土壤通报,2016,47(4):928-934.
- [25] 刘轶.控释肥氮释放对玉米小麦产量及氮素利用的影响[D].泰安:山东农业大学,2016.
- [26] 姜雯,张倩,张洪生.不同种植密度下缓/控释肥施肥量对夏玉米氮利用和籽粒产量影响[J].中国农学通报,2013,29(27):111-115.
- [27] 卢艳丽,白由路,王磊,等.华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):209-215.
- [28] 王宜伦,李潮海,谭金芳,等.超高产夏玉米植株氮素积累特征及一次性施肥效果研究[J].中国农业科学,2010,43(15):3151-3158.
- [29] 陈金锋,石国庆,吕桂芹.临清市小麦一次性施肥模式配方技术试验[J].中国农业信息,2016(24):117-119.
- [30] 曾祥明,韩宝吉,徐芳森,等.不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J].中国农业科学,2012,45(14):2886-2894.
- [31] 张婧,夏光利,李虎,等.一次性施肥技术对冬小麦/夏玉米轮作系统土壤 N₂O 排放的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(1):195-204.
- [32] 杨俊刚,倪小会,徐凯,等.接触施用包膜控释肥对玉米产量、根系分布和土壤残留无机氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(4):924-930.
- [33] 董亮,张玉凤,刘苹,等.控释肥减量施用对马铃薯产量、品质及土壤硝态氮含量的影响[J].江西农业学报,2012,24(6):86-89.