

# 冬小麦上短控释期尿素的适宜施用量与施用方法研究

靳海洋<sup>1,2</sup>, 谢迎新<sup>1,2\*</sup>, 刘园<sup>1,2</sup>, 马冬云<sup>1,2</sup>, 朱云集<sup>1,2,3</sup>, 王晨阳<sup>1,2</sup>, 贺德先<sup>1\*</sup>

(1 河南农业大学农学院, 河南郑州 450002; 2 河南农业大学国家小麦工程技术研究中心, 河南郑州 450002;

3 河南农业大学资源与环境学院, 河南郑州 450002)

**摘要** 【目的】控释尿素受土壤温度、水分等环境条件的影响,应用效果不一。对比相同施氮量下一次性基肥控释尿素与尿素分期施用,以及控释尿素和普通尿素追施对冬小麦籽粒产量、品质,氮肥利用率及综合经济效益的影响,可为控释尿素的合理施用提供理论和技术依据。【方法】采用大田试验,选用新麦 26 为供试材料,随机区组试验设计,调查了冬小麦籽粒产量、主要品质性状、氮肥利用率及经济效益。设两个试验,试验 1: 控释尿素和普通尿素各设 5 个氮肥水平,即 N 0、120、160、200 和 240 kg/hm<sup>2</sup>; 试验 2: 设不施氮肥、N 200 kg/hm<sup>2</sup> 总氮量下普通尿素和控释尿素均 40% 返青期追施 3 个处理。【结果】1) 与不施氮(CK) 相比,控释尿素和普通尿素均可显著提高小麦籽粒产量,且随着施氮量的增加而增加,其中以分期施用普通尿素 N 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理籽粒产量最高。相同施氮量下,分期施用普通尿素处理小麦籽粒产量显著高于一次性基肥控释尿素处理(N 160 kg/hm<sup>2</sup> 除外)。然而,返青期追施控释尿素处理小麦籽粒产量显著高于同期追施普通尿素处理,增产率达 15.8%; 2) 相同施氮量下,分期施用普通尿素处理较一次性基肥控释尿素处理的小麦籽粒容重、蛋白质含量、水分含量、湿面筋含量均有所提高,且两种尿素处理间籽粒容重在 N 160 kg/hm<sup>2</sup> 和 N 200 kg/hm<sup>2</sup> 时差异达显著水平。然而,返青期追施控释尿素处理小麦籽粒容重、湿面筋含量、蛋白质含量等品质指标显著高于同期追施普通尿素处理; 3) 两种尿素处理氮肥农学利用率和氮肥偏生产力随施氮量的增加而降低,在相同施氮量下分期施用普通尿素处理显著高于一次性基肥控释尿素处理。此外,与分期施用普通尿素处理相比,一次性基肥控释尿素处理减少了小麦拔节期追肥人工成本投入,但由于一次性基肥控释尿素处理籽粒产量较低和氮肥价格较高,导致经济效益相对较低。然而,试验 2 结果表明,返青期追施控释尿素处理氮素利用率(氮肥农学效率、氮肥偏生产力及氮素回收率)和经济效益显著高于同期追施普通尿素处理。【结论】本研究地区较适宜的推荐氮肥施用量为 N 200 kg/hm<sup>2</sup>,一次性基肥控释尿素较适宜于劳力欠缺的农户,而对于个别劳力充足的农户则适宜采用分期追施普通尿素或者小麦返青期追施控释尿素的氮肥管理技术。因此,在当前农村劳动力日益减少,用工成本日益增加以及种粮比较效益持续降低的大环境下,氮肥肥料合理选择和施用技术要依据实际情况而定。

**关键词:** 控释尿素; 普通尿素; 冬小麦; 籽粒产量; 氮肥利用率; 经济效益

中图分类号: S143.1<sup>+</sup>5; S512.1<sup>+</sup>1.62 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2016)02-0542-08

## Study on the suitable application rate and method of urea with short controlled-release period in winter wheat

JIN Hai-yang<sup>1,2</sup>, XIE Ying-xin<sup>1,2\*</sup>, LIU Yuan<sup>1,2</sup>, MA Dong-yun<sup>1,2</sup>, ZHU Yun-ji<sup>1,2,3</sup>, WANG Chen-yang<sup>1,2</sup>, HE De-xian<sup>1\*</sup>

(1 College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

2 National Engineering Research Center for Wheat Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

3 College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

**Abstract** 【Objectives】The application effect of controlled-release urea is usually affected by temperature, soil moisture and other environmental factors, so the reported effect was varied. To provide theoretical and technical supports for selecting the appropriate nitrogen fertilizers and application methods, two comparison experiments between the controlled-release urea and common urea application on winter wheat were performed. 【Methods】A wheat cultivar, Xinmai 26 was used as the experimental crop, and two field experiments were designed with a

收稿日期: 2014-7-17 接受日期: 2014-12-01 网络出版日期: 2015-07-24

基金项目: “十二五”科技支撑计划(2013BAD07B07, 2011BAD16B07); 农业部公益性行业科研专项(201303102, 201203079, 201203031) 资助。

作者简介: 靳海洋(1991—) 男, 河南南召人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力与作物高产栽培研究。E-mail: jinhaiyang321@163.com

\* 通信作者 E-mail: xiyingxin@tom.com; hedexian@126.com

randomized block. Grain yield, quality traits, nitrogen use efficiency and economic benefit of winter wheat between controlled-release urea and common urea were systematically studied. In the 1st experiment, the controlled-release urea was basal applied in one time, and 60% of commercial urea was basal applied and 40% top dressed at reviving stage, all the two kinds of urea were applied in the five levels: 0 (CK1), 120, 160, 200 and 240 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. In the second experiment, using no N fertilizer as control (CK2), 200 kg/hm<sup>2</sup> of N was applied, and controlled-release urea and commercial urea were all applied in ratio of top-dressed 40%. **【Results】** 1) Compared to CK1, grain yield of winter wheat was significantly increased with the increase of nitrogen application rates of both controlled-release urea and common urea, and the treatment with common urea split application reached the highest grain yield as much as N 240 kg/hm<sup>2</sup>. Compared with controlled-release urea one-time application at the same nitrogen rate, the treatment with common urea split application could significantly increase grain yield of winter wheat but not exhibit significant difference at the N 160 kg/hm<sup>2</sup> nitrogen rate. However, compared with topdressing common urea at reviving stage, topdressing controlled-release urea could significantly increase grain yield of winter wheat by 15.8%. 2) Under the same nitrogen rate, compared with controlled-release urea one-time application as base fertilization, common urea split application could increase grain bulk density, grain protein content, grain moisture content, wet gluten content of winter wheat, and grain bulk density at nitrogen application rate with N 160 kg/hm<sup>2</sup> and N 200 kg/hm<sup>2</sup> exhibited significant increases. However, topdressing controlled-release urea at reviving stage could significantly increase grain bulk density, wet gluten content and grain protein content of winter wheat compared with topdressing common urea. 3) Nitrogen use efficiency such as nitrogen fertilizer agronomic efficiency and nitrogen partial productivity was decreased with the increase of nitrogen application rate for both common urea and controlled-release urea, and nitrogen use efficiency in the treatment with common urea split application was significantly higher than that in the treatment with controlled-release urea one-time application at the same nitrogen rate. Compared with common urea split application, controlled-release urea one-time application as base fertilization reduced labor cost of nitrogen topdressing at the jointing stage of winter wheat, but the grain yield decreased and the increase in input cost eventually resulted in lower economic benefit in the treatment with controlled-release urea one-time application. However, the results of 2nd experiment showed that, compared with topdressing common urea at reviving stage of winter wheat, topdressing controlled-release urea at this stage could significantly increase nitrogen use efficiency including nitrogen fertilizer agronomic efficiency, nitrogen partial productivity and nitrogen N recovery efficiency, and economic benefit. **【Conclusions】** The rate of recommended nitrogen is 200 kg/hm<sup>2</sup> in this region. Based on a consideration of labor shortage of farmers, controlled release urea is suitable for one-time base application, and when farmer labors are abundant, common urea is suitable for base and topdressing fertilizer, or controlled-release urea suitable for topdressing fertilizer at reviving stage of winter wheat. Therefore, appropriate urea types and application methods as nitrogen fertilizer could be chosen to increase farmers' income depending on the actual situation under the background of limited labor in rural area as well as increase in labor force cost and decrease in benefits of growing grain crop at present.

**Key words:** controlled-release urea; common urea; winter wheat; grain yield; nitrogen (N) use efficiency; economic benefit

氮肥是影响小麦生长发育最为活跃的因子, 氮肥施入时间、品种及施入量都对小麦籽粒产量和品质的形成有重要影响。控释尿素由于可延长养分的释放期, 理论上可以进行一次性施肥, 减少用于追肥的劳动力和机械投入, 提高养分的利用率。然而, 控释尿素的施用效果国内外研究结论不一, 有研究发现, 与普通尿素相比, 控释尿素可显著提高作物产量<sup>[1]</sup>, 且在提高小麦籽粒产量和

品质的同时还能够提高氮肥利用率<sup>[2]</sup>, 也有结果表明, 在相同施氮量条件下, 包膜控释尿素没有显著增加籽粒和生物产量<sup>[3-5]</sup>, 不能增加作物的氮素吸收<sup>[5-6]</sup>。为此, 本研究通过两个田间试验, 考察了一次性基施控释尿素与返青期追施控释尿素对小麦产量、蛋白质含量等品质性状、氮肥利用率及最终经济效益的影响, 为控释尿素的合理施用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验于 2011 年 10 月~2013 年 6 月在中国科学院封丘农业生态实验站(35°04′N, 113°10′E)进行, 试验地处于典型的黄淮海灌溉农田区。供试土壤为黄河沉积物上发育的砂质潮土, 其 0—20 cm 耕层土壤基础养分指标分别为有机质 7.48 g/kg、全氮 0.68 g/kg、碱解氮 58.4 mg/kg、速效钾(K) 71.2 mg/kg、速效磷(P) 8.6 mg/kg、pH 值 8.02。

### 1.2 试验设计

选用国审小麦品种新麦 26 作为供试材料, 试验采用随机区组设计, 3 次重复, 小区面积为 16 m<sup>2</sup> (4 m × 4 m), 试验小区四周用深 0.7 m 的水泥预制板分隔, 四角水泥密封。共设置两个田间试验, 均为 10 月 20 日播种, 次年 6 月 5 日收获。小麦全生育期按当地高产田标准管理。

试验 1: 控释尿素一次性基施和普通尿素分期施用比较试验。普通尿素(CU)和控释尿素(CRU)均设 5 个氮肥水平, 即施 N 0(CK1)、120、160、200 和 240 kg/hm<sup>2</sup>。控释尿素(N 45%, 控释期 3 个月)由山东农业大学肥业科技有限公司提供, 普通氮、磷、钾肥料分别为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%)和氯化钾(K<sub>2</sub>O 60%)。每个小区 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 用量均为 150 kg/hm<sup>2</sup>。控释尿素处理的肥料全部一次性基施, 普通尿素处理的 60% 普通尿素和全部磷、钾肥作为基肥在播种前一次性基施, 剩余 40% 普通尿素在小麦拔节期(3 月 25 日)追施。

试验 2: 控释尿素与普通尿素追施比较试验。根据上年度试验结果, 以不施氮肥为对照(CK2), 在基施普通尿素的前提下设返青期追施普通尿素(CU)和返青期追施控释尿素(CRU), 共 3 个试验处理。各处理均按照 60% 氮肥和全部磷、钾肥在播种前一次性基施, 剩余 40% 氮肥按照普通尿素和控释尿素两种氮肥类型在小麦返青期(3 月 5 日)追施。两种尿素处理氮肥用量均为 N 200 kg/hm<sup>2</sup>, 各处理磷、钾肥用量均为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 测定指标和方法

1.3.1 生物产量、籽粒产量及构成因素 于小麦成熟期每个小区取 1 m 双行植株进行室内考种, 监测样点株数、样点穗数、茎秆风干重、穗粒数、千粒重。试验小区小麦全部收获折算为单位面积

籽粒产量。

1.3.2 小麦籽粒主要品质性状 采用 FOSS 近红外谷物籽粒分析仪(Infratec™ 1241, FOSS, 瑞士)测定小麦籽粒水分、蛋白质含量和湿面筋含量; 用 HGT-1000A 型谷物容重器测定小麦籽粒容重。

### 1.4 数据计算

收获指数 = 样株籽粒产量 / 样株地上部分生物产量;

氮肥农学利用效率(AE, kg/kg) = (施氮处理籽粒产量 - 无氮处理籽粒产量) / 施氮量;

氮肥偏生产力(PEP, kg/kg) = 施氮处理籽粒产量 / 施氮量<sup>[7-8]</sup>;

氮素回收效率(RE, %) = (施氮处理植株吸氮量 - 无氮处理植株吸氮量) / 施氮量 × 100。

经济效益分析: 以尿素价格为 2000 yuan/t、控释尿素价格为 3060 yuan/t、氯化钾 2800 yuan/t、重过磷酸钙 2600 yuan/t、小麦价格按 2.20 yuan/kg 计算, 追肥劳动力投入当地水平为 450 yuan/hm<sup>2</sup>, 其他投入包括种子、农药、整地、播种、灌溉、收获等, 按当地水平 2400 yuan/hm<sup>2</sup> 计算。

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行试验数据处理和分析, 采用 Duncan 法进行多重比较, 显著性水平取  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 籽粒产量及产量构成

如表 1 所示, 分期施用普通尿素与一次性基施控释尿素分别较对照处理增产 33.8%~47.1% 和 21.8%~35.5%; 相同施氮量下, 分期施用普通尿素均较一次性基施控释尿素显著提高小麦籽粒产量(N 160 kg/hm<sup>2</sup> 未达显著水平), 平均增产 4.68%~9.82% (表 1), 可能是因为一次性基施控释尿素引起小麦苗期和生育后期氮素营养供应不足, 影响小麦生长发育, 导致籽粒产量下降, 该试验结果表明, 对于生育期较长的冬小麦, 不适宜采用控释尿素一次性基施的方法。由表 1 试验 2 可以看出, 小麦返青期追施控释尿素处理的小麦籽粒产量显著高于同时期追施等量普通尿素处理, 表明在小麦返青期追施控释尿素比追施普通尿素可以更好地满足小麦生育中后期对氮素的养分需求。

由表 1 试验 1 还可以看出, 分期施用普通尿素的生物产量以 N 200 kg/hm<sup>2</sup> 处理最高, 其次为 N 160 kg/hm<sup>2</sup>, 最高施氮量处理(N 240 kg/hm<sup>2</sup>) 最低; 而一次性基施控释尿素的小麦籽粒产量从 N 160

kg/hm<sup>2</sup> 到 N 240 kg/hm<sup>2</sup> 差异不明显,生物产量在最高施氮量处理(N 240 kg/hm<sup>2</sup>)达到最高,导致其收获指数最低,表明一次性基施高量的控释尿素导致大量养分依然留在营养器官中,没有有效地向籽粒转移。由试验 2 结果可知,返青期追施控释尿素可以满足小麦生育中后期对氮素的养分需求,增加库的积累,提高收获指数。

通过对表 1 试验 1 产量构成因素分析发现,在等氮量下两种尿素处理间穗粒数、千粒重无明显差异,分期施用普通尿素处理单位面积成穗数高

于一次性基施控释尿素处理,表现为产量差异,进一步表明一次性基施控释尿素不能满足小麦苗期氮素需求,影响冬前小麦有效分蘖,导致成穗数降低,最终小麦籽粒产量下降。试验 2 结果表明,返青期追施控释尿素较同期追施普通尿素显著提高小麦成穗数和穗粒数,从而导致追施控释尿素处理小麦籽粒产量显著高于追施普通尿素处理,表明返青期追施控释尿素可为小麦生育中后期提供相对充足的氮素供应,为促蘖成穗和穗粒数增加奠定营养基础。

表 1 控释尿素与普通尿素施用下小麦籽粒产量及其构成要素

Table 1 Grain yield and components of winter wheat under application of controlled-release urea and common urea

施氮量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	处理 Treatment	穗数 Spikes (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weight(g)	生物产量 Biomass (kg/hm <sup>2</sup> )	籽粒产量 Grain yield (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 Increase (%)	收获指数 Harvest index		
试验 1	0	CK1	459 d	31 a	43.75 a	12486 c	4858 e	—	—	0.39 ab
1st experiment	120	CRU	534 cd	31 a	42.45 b	16907 b	5918 d	21.8	—	0.35 bc
		CU	578 bc	33 a	41.84 bc	17480 b	6499 bc	33.8	9.82	0.37 bc
	160	CRU	604 abc	30 a	41.76 bcd	17369 b	6322 c	30.1	—	0.37 bc
		CU	620 ab	32 a	41.98 bc	17733 b	6618 bc	36.2	4.68	0.39 ab
	200	CRU	612 abc	31 a	41.34 cd	17720 b	6377 c	31.3	—	0.36 bc
		CU	651 ab	33 a	41.03 de	18581 ab	6816 ab	40.3	6.88	0.37 bc
240	CRU	653 ab	32 a	40.92 e	20177 a	6582 bc	35.5	—	0.33 c	
	CU	675 a	29 a	41.23 cde	16735 b	7148 a	47.1	8.60	0.43 a	
试验 2	0	CK2	468 c	31 c	40.23 a	14315 c	5305 c	—	—	0.37 c
2nd experiment	200	CU	576 b	34 b	40.80 a	17206 b	6903 b	30.1	—	0.40 b
		CRU	628 a	38 a	41.37 a	18017 a	7994 a	50.7	15.80	0.44 a

注( Note): CK—不施氮肥 No nitrogen fertilizer; CU—普通尿素 Common urea; CRU—控释尿素 Controlled-release urea( release period: 3 months); 数据后不同字母分别表示同一试验不同处理间差异显著(  $P < 0.05$ ) Different letters mean values in the same experiment significantly different among the treatments at the 0.05 level.

## 2.2 籽粒主要品质性状

由表 2 试验 1 可以看出,相同施氮水平下,分期施用普通尿素处理籽粒蛋白质含量与一次性基施控释尿素处理相比无显著差异,小麦籽粒水分含量均显著高于一次性基施控释尿素处理。小麦籽粒湿面筋含量随着施氮量的增加而增加,同一施氮水平下,分期施用普通尿素处理较一次性基施控释尿素处理湿面筋含量均有所提高,但二者差异未达显著水平。通过对小麦籽粒容重分析发现,一次性基施控释尿素处理间和分期施用普通尿素处理间籽粒容重无明显差异,在等量氮素供应条件下,分期施用普通尿素处理均较一次性基施控释尿素处理籽粒容重有所增加,且在 N 160

kg/hm<sup>2</sup> 和 N 200 kg/hm<sup>2</sup> 施氮水平下差异达显著水平,表明一次性基施控释尿素处理对小麦中后期氮素养分供应状况不如分期施用普通尿素处理,进而影响小麦品质性状指标。

从表 2 试验 2 结果可以看出,返青期追施控释尿素处理较同期追施普通尿素处理能够显著提高小麦籽粒容重、湿面筋含量和蛋白质含量,表明满足小麦中后期氮素充足供应的返青期追施控释尿素处理具有改善小麦籽粒品质性状的作用。

## 2.3 氮肥利用率

由表 3 试验 1 结果可看出,随着施氮量的增加,两种氮肥处理的氮肥偏生产力、分期施用普通尿素处理的氮肥农学利用率均随施氮量的增加呈逐渐降

表 2 不同处理小麦籽粒主要品质性状  
Table 2 Quality characteristics of wheat grains in different treatments

处理 Treatment	施氮量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	含水量 Moisture (%)	容重 Bulk density (g/L)	湿面筋含量 Wet gluten (%)	蛋白质含量 Protein (%)	
试验 1 1st experiment	CK1	0	9.07 c	799 a	25.12 c	13.73 c
	CU	120	9.30 a	797 abc	28.73 ab	15.60 ab
		160	9.33 a	799 ab	29.20 ab	15.80 a
		200	9.27 a	797 ab	29.47 a	16.33 a
		240	9.30 a	794 bcd	29.53 a	16.07 a
CRU	120	9.13 b	795 bcd	27.27 b	14.97 b	
	160	9.10 b	793 cd	28.53 ab	15.77 ab	
	200	9.13 b	792 d	28.40 a	15.90 ab	
	240	9.13 b	793 cd	28.83 a	16.13 a	
试验 2 2nd experiment	CK2	0	9.13 b	789 b	26.33 c	13.87 c
	CU	200	9.38 a	791 b	28.75 b	15.86 b
	CRU	200	9.42 a	801 a	29.84 a	16.58 a

注( Note): CK—不施氮肥 No nitrogen fertilizer; CU—普通尿素 Common urea; CRU—控释尿素 Controlled-release urea( release period: 3 months); 数据后不同字母分别表示同一试验不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters mean values in the same experiment significantly different among the treatments at the 0.05 level.

低趋势,但一次性基施控释尿素处理的氮肥农学利用率呈先升高再降低趋势,并以 N 160 kg/hm<sup>2</sup> 施氮处理氮肥农学利用率最高, N 240 kg/hm<sup>2</sup> 施氮处理最低。由表 3 还可看出,在等量氮肥供应条件下,分期施用普通尿素处理的氮肥偏生产力、氮肥农学利用率均显著高于一次性基施控释尿素处理。从氮素

回收率来看,分期施用普通尿素处理随着施氮量的增加显著降低,而施用控释尿素处理则呈现先降低后升高趋势,且回收率均高于 30% (表 3),表明施用控释尿素,尤其是在高量施氮情况下 (N 240 kg/hm<sup>2</sup>) 有利于提高氮素回收效率,有减少农田土壤氮素环境污染的效果,具有相对较好的环境效益。

表 3 不同处理氮肥利用效率  
Table 3 Nitrogen use efficiency in different treatments

处理 Treatment	施氮量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	偏生产力 Partial productivity (kg/kg)	农学效率 Agronomic efficiency (kg/kg)	氮回收率 N recovery (%)	
试验 1 1st experiment	CU	120	54.16 a	13.67 a	48.5 a
	CU	160	41.36 c	11.00 b	39.1 b
		200	34.08 e	9.79 bc	37.9 c
		240	29.78 g	9.54 bc	23.3 d
		CRU	120	49.32 b	8.84 cd
160	39.51 d		9.15 cd	36.8 c	
200	31.89 f		7.60 de	31.7 d	
240	27.43 h		7.18 e	36.9 c	
试验 2 2nd experiment	CU	200	34.52 b	7.99 b	26.4 b
	CRU	200	39.97 a	13.45 a	32.8 a

注( Note): CK—不施氮肥 No nitrogen fertilizer; CU—普通尿素 Common urea; CRU—控释尿素 Controlled-release urea( release period: 3 months); 数据后不同字母分别表示同一试验不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters mean values in the same experiment significantly different among the treatments at the 0.05 level.

表3 试验2 结果显示,在 N 200 kg/hm<sup>2</sup> 施氮水平下,返青期追施 40% 控释尿素处理氮肥偏生产力、农学利用效率以及氮素回收率均显著高于返青期追施 40% 普通尿素处理,该试验结果也表明返青期追施控释尿素具有提高氮肥利用率、降低农田土壤氮素环境污染的作用。

#### 2.4 经济效益分析

由表4 试验1 可看出,在相同施氮水平下,虽然分期施用普通尿素处理较一次性基施控释尿素处理增加了小麦拔节期追肥的人工成本,但分期施用普通尿素处理肥料成本较低、小麦籽粒产量较高,最终导

致分期施用普通尿素处理在扣除肥料成本、追肥人工和其他投入后的纯收益显著高于一次性基施控释尿素处理。由表4 试验2 可看出,相同施氮水平下,虽然控释尿素的价格较高,返青期追施控释尿素处理肥料成本显著高于追施普通尿素处理,但返青期追施控释尿素处理相对较高的小麦籽粒产量和产值足以弥补其高投入的肥料成本,最终纯收益显著高于返青期追施普通尿素处理。因此,一次性基施控释尿素不适宜于本研究地区小麦的生长和效益,而底施普通尿素与返青期追施控释尿素处理可带来较高的籽粒产量和经济效益,具有推广应用价值。

表4 不同氮肥施用效益分析

Table 4 Analysis on economic effect from different nitrogen treatments

处理 Treatment	施氮量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	籽粒产量 Grain yield (kg/hm <sup>2</sup> )	产值 Output (yuan/hm <sup>2</sup> )	肥料成本 Fertilizer cost (yuan/hm <sup>2</sup> )	追肥人工 Labor input (yuan/hm <sup>2</sup> )	其他投入 Other input (yuan/hm <sup>2</sup> )	纯收益 Income (yuan/hm <sup>2</sup> )
试验1 1st experiment	CK1 0	4858 e	10688 e	1548	0	2400	6740 e
	CU 120	6499 bc	14297 bc	2070	450	2400	9377 bc
	160	6618 bc	14559 bc	2243	450	2400	9466 abc
	200	6816 ab	14996 ab	2417	450	2400	9729 ab
	240	7148 a	15726 a	2591	450	2400	10285 a
	CRU 120	5918 d	13020 d	2364	0	2400	8256 d
	160	6322 c	13908 c	2636	0	2400	8872 bcd
	200	6377 c	14030 c	2908	0	2400	8722 cd
	240	6582 bc	14481 bc	3180	0	2400	8901 bcd
试验2 2nd experiment	CK2 0	5305 c	11671 c	1268	0	2400	8003 c
	CU 200	6903 b	15187 b	2137	450	2400	10200 b
	CRU 200	7994 a	17587 a	2334	450	2400	12403 a

注( Note): CK—不施氮肥 No nitrogen fertilizer; CU—普通尿素 Common urea; CRU—控释尿素 Controlled-release urea( release period: 3 months); 数据后不同字母分别表示同一试验不同处理间差异显著(  $P < 0.05$ ) Different letters mean values in the same experiment significantly different among the treatments at the 0.05 level.

### 3 讨论

#### 3.1 产量及产量构成

本研究表明,一次性基施控释尿素的效果不如分期施用普通尿素,主要在于苗期不能提供足够的氮素营养满足小麦的分蘖,返青后,又没有足够的养分供应小麦成穗,导致小麦分蘖数和成穗数均低于分期施用普通尿素。在小麦返青期追施控释尿素较同期追施普通尿素处理显著增加了单位面积成穗数、穗粒数,最终追施控释尿素处理小麦籽粒产量显著高于追施普通尿素处理。有研究表明,在小麦

拔节期出现两极分化,小麦生长加快<sup>[9]</sup>,需肥量增加,在小麦起身拔节期追施一次氮肥,可使小麦拔节后的营养生长和生殖生长同时得到充足的氮素营养,提高分蘖成穗数和小花结实率,促进营养器官氮素向籽粒中转运<sup>[10]</sup>。拔节期前后追施氮肥是通过增加单位面积成穗数、穗粒数从而提高小麦籽粒产量<sup>[11]</sup>。本研究也证实,在小麦起身拔节期追施普通尿素或者在返青期追施控释尿素使氮素营养在拔节期释放,能够根据小麦生长需肥特性供给小麦生长所需要的氮素营养,提高有效分蘖成穗数,进而提高小麦籽粒产量,而在小麦播种期间一次性基施控释

尿素则根据包膜材料的释放特性进行养分释放,释放时间和释放量受土壤温度、水分等环境条件的影响较大,不能满足小麦苗期及中后期对氮素养分的需求,最终导致籽粒产量降低。因此,分期施用普通尿素或者返青期追施控释尿素较一次性基施控释尿素更能保证小麦生长发育所需的氮素营养,进一步可为产量提高奠定营养基础。

此外,从本研究结果看,一次性基施控释尿素与分期施用普通尿素籽粒产量产生差异的主要原因是控释尿素处理成穗数较低,这主要是一次性基施控释尿素引起小麦苗期及中后期氮素供应不足造成的,同时也与所选控释尿素控释期长短有关。本研究所选控释尿素养分释放期只有3个月,而小麦生育期近8个月,这就容易引起小麦苗期营养供应不足,而在小麦生长缓慢且对养分需求较少的越冬期氮素释放较多,小麦拔节后需要大量氮素养分供应时又显得不足,最终影响小麦生长,导致产量下降。

### 3.2 籽粒品质性状

本研究表明,随着普通尿素施氮量的增加,小麦籽粒蛋白质含量呈先升高后降低的趋势,这与李洪梅等<sup>[12]</sup>的研究结果相一致。研究还发现,在不同施氮量下普通尿素处理均较一次性基施控释尿素处理籽粒容重有所增加,返青期追施控释尿素处理小麦籽粒容重、湿面筋含量以及蛋白质含量均显著高于同期追施普通尿素处理,这与孙克刚等<sup>[13]</sup>研究结果不一致,分析原因主要是由于分期施用普通尿素或者返青期追施控释尿素可以保证小麦中后期氮素营养供应,而小麦中后期充足的氮素供应是提高小麦籽粒容重、蛋白质含量等品质性状的重要基础<sup>[14-15]</sup>。

### 3.3 氮肥利用效率

王英丽等<sup>[11]</sup>通过分期施肥的方式进行研究认为控释尿素较普通尿素能够提高氮肥利用率;孙克刚等<sup>[6]</sup>研究表明,一次性基施控释尿素较一次性基施普通尿素氮肥利用率显著增加,但一次性基施控释尿素较分期施用普通尿素氮肥利用率降低。在本试验条件下,分期施用普通尿素处理较一次性基施控释尿素处理能显著提高氮肥利用率(氮肥农学效率和氮肥偏生产力),基施普通尿素结合返青期追施控释尿素处理氮肥农学效率、回收率均显著高于同期追施普通尿素处理,分析原因可能主要由于分期施用普通尿素或者返青期追施控释尿素可以根据小麦生育期需肥特性及时供应氮素营养以满足其生长需求,而一次性基施控释尿素并不能完全按照小

麦需肥特性供给小麦所需的氮素营养,导致小麦苗期及中后期氮素供应不足,最终导致氮肥农学效率和回收率降低。

### 3.4 经济效益

有研究指出,与普通尿素相比,施用控释尿素能够增加作物产量,但由于成本的增加,实际收益并没有增加<sup>[16]</sup>,本试验结果与前人研究并不完全相同。本试验条件下,虽然一次性基施控释尿素能够降低追肥人工投入成本,但由于控释尿素处理小麦籽粒产量的降低以及氮肥成本的增加,最终导致在扣除投入成本后单位面积农田纯收益低于分期施用普通尿素处理,但返青期追施控释尿素处理纯收益明显高于同期追施普通尿素处理。试验结果还表明,在施氮量  $N 0 \sim 240 \text{ kg/hm}^2$  范围内, $N 160 \sim 240 \text{ kg/hm}^2$  施氮处理间纯收益无显著差异,而氮肥利用效率以  $N 160 \text{ kg/hm}^2$  处理最高, $N 240 \text{ kg/hm}^2$  最低,从维持土壤生产力和氮素的可持续充分供应考虑,本试验条件下,推荐  $N 200 \text{ kg/hm}^2$  作为本研究区域适宜的氮肥施用量。因此,在当前农村劳动力日益减少,用工成本日益增加以及种粮比较效益持续降低的大环境下,虽然一次性基施控释尿素具有省工省时的优势,较适宜于劳力欠缺的农户,但对于个别劳力充足的农户则适宜于选择普通尿素分期进行追施,而结合我国春节传统农民工返乡过年具备劳动力背景下选择在小麦返青期追施控释尿素的施肥管理技术将具有更广阔的应用前景。

## 4 结论

本研究地区较适宜的推荐氮肥施用量为  $N 200 \text{ kg/hm}^2$ 。在氮肥总用量相同条件下,与分期施用普通尿素相比,一次性基施控释尿素处理降低小麦籽粒产量、氮肥利用率、收获指数和最终经济效益,但返青期追施控释尿素较同期追施普通尿素显著提高小麦籽粒产量(增产 15.8%)、籽粒容重、湿面筋含量、蛋白质含量、氮肥利用率及最终经济效益。因此,一次性基施控释尿素并不适宜于本地区小麦生产,返青期追施控释尿素能够起到较好的增产增收作用。考虑到控释尿素价格较高,在实际生产中,可选用普通尿素基施、控释尿素追施的措施,实现小麦增产和农民增收。

致谢:河南农业大学农学院本科实习生赵显芳、孔凡松和李思思参加了部分田间取样和室内分析工作,在此谨表谢意。

## 参考文献:

- [1] 张淑香,赵林萍,八木一行,等. 包膜尿素对玉米和小麦的生物学与环境效应[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6): 1086-1091.  
Zhang S X, Zhao L P, Yagi K, *et al.* Biological and environmental effect of coated urea on maize and wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1086-1091.
- [2] Yang Y C, Zhang M, Zheng L, *et al.* Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat[J]. Agronomy Journal, 2011, 103(2): 479-485.
- [3] Grant C A, Wu R, Selles F, *et al.* Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding[J]. Field Crops Research, 2012, 127: 170-180.
- [4] 满建国,周杰,王东,等. 硫加树脂包膜尿素控释肥对小麦干物质积累分配及产量的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(5): 1175-1182.  
Man J G, Zhou J, Wang D, *et al.* Effects of sulfur plus resin-coated controlled release urea fertilizer on winter wheat dry matter accumulation and allocation and grain yield[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(5): 1175-1182.
- [5] Nelson K A, Paniagua S M, Motavalli P P. Effect of polymer coated urea, irrigation, and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a claypan soil[J]. Agronomy Journal, 2009, 101(3): 681-687.
- [6] 孙克刚,和爱玲,胡颖,等. 控释尿素在夏玉米上的施用效果及氮素利用率研究[J]. 化肥工业,2013,40(1): 64-65,68.  
Sun K G, He A L, Hu Y, *et al.* Results of controlled release urea application on summer corn and study of nitrogen availability[J]. Chemical Fertilizer Industry, 2013, 40(1): 64-65, 68.
- [7] Nova R, Loomis R S. Nitrogen and production[J]. Plant and Soil, 1981, 58: 177-204.
- [8] 何晓雁,郝明德,李慧成,等. 黄土高原旱地小麦施肥对产量及水肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6): 1333-1340.  
He X Y, Hao M D, Li H C, *et al.* Effects of different fertilization on yield of wheat and water and fertilizer use efficiency in the Loess Plateau[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1333-1340.
- [9] 王彦丽,朱云集,郭天财,等. 冬小麦碳氮积累、转运和籽粒产量对小花发育期追氮的响应[J]. 麦类作物学报,2011,31(1): 98-105.  
Wang Y L, Zhu Y J, Guo T C, *et al.* The response of carbon and nitrogen accumulation and translocation and grain yield to nitrogen fertilizer dressing in winter wheat at floret development period[J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(1): 98-105.
- [10] 姜丽娜,张凯,宋飞,等. 拔节期追氮对冬小麦产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(4): 716-721.  
Jiang L N, Zhang K, Song F, *et al.* Effects of nitrogen topdressing at jointing stage on grain yield, benefit, absorption and utilization of nitrogen in winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2013, 33(4): 716-721.
- [11] 王丽英,张彦才,王凯辉,等. 包膜控释尿素对冬小麦产量和氮肥利用率的影响[J]. 华北农学报,2008,23(Suppl.1): 197-200.  
Wang L Y, Zhang Y C, Wang K H, *et al.* The effect of controlled-release coated urea on wheat yield and apparent N recovery rates[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(Suppl.1): 197-200.
- [12] 李洪梅,孟淑华,白洪立,等. 施氮量对不同强筋小麦品种产量和品质的影响[J]. 山东农业科学,2007,(4): 78-81.  
Li H M, Meng S H, Bai H L, *et al.* Effects of nitrogen rate on yield and quality of different strong gluten wheat varieties[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2007, (4): 78-81.
- [13] 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, Hu Y. Study on the effect of the controlled released urea on wheat-corn[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin. 2009, 25(12): 150-154.
- [14] 潘庆民,于振文. 追氮时期对冬小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2002,22(2): 65-69.  
Pan Q M, Yu Z W. Effects of nitrogen topdressing stage on grain quality and yield of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2002, 22(2): 65-69.
- [15] 孟维伟,于振文. 施氮量对济麦20籽粒产量、蛋白质含量及氮肥利用率的影响[J]. 山东农业科学,2007,(1): 75-76.  
Meng W W, Yu Z W. Effect of nitrogen fertilizer rate on the grain yield, protein content and nitrogen use efficiency of Jimai20[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2007, (1): 75-76.
- [16] Khakbazan M, Grant C A, Finlay G, *et al.* An economic study of controlled release urea and split applications of nitrogen as compared with non-coated urea under conventional and reduced tillage management[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2013, 93(3): 523-534.