

包膜尿素与普通尿素配施对冬小麦产量 及土壤氮素的影响

范震 田晓飞 翟胜 陈锦秀 丁新惠 张明慧 邓胜男

(聊城大学 环境与规划学院,山东 聊城 252059)

摘要 通过田间小区试验研究包膜尿素与普通尿素掺混后一次基施对冬小麦产量和氮素吸收利用的影响,为冬小麦简化高效施肥提供技术支持. 试验设不施氮(CK)、尿素一次基施(U1)、尿素减氮30%一次基施(70%U1)、尿素分次追施(U2)、70%包膜尿素与30%普通尿素掺混后一次基施(CRU)和70%包膜尿素与30%普通尿素掺混后减氮30%一次基施(70%CRU)6个处理. 结果表明:施用氮肥增加了冬小麦生物量和产量,包膜尿素配施普通尿素处理(CRU和70%CRU)较等施氮量尿素处理(U1和70%U1)产量平均显著增加7.91%,氮素利用率提高7.90%,净收益显著提高12.33%;CRU与U2处理产量差异不显著,但显著高于U1处理;70%CRU与U1处理产量差异不显著,但氮素利用率显著增加了30.4%. 等氮量的包膜尿素较普通尿素一次基施处理显著提高了返青期及灌浆期土壤硝态氮含量,且CRU与U2处理硝态氮含量无显著差异. 上述结果表明,包膜尿素普通尿素掺混后一次基施可满足小麦生育后期对氮素的需求,在保障产量的前提下减少了追肥次数和氮肥用量.

关键词 包膜尿素; 冬小麦; 产量; 氮肥利用效率

中图分类号 S147.5;S365

文献标识码 A

0 引言

小麦是我国重要的粮食作物之一,施用氮肥是其重要的增产措施^[1],但长期大量施用氮肥也带来了氨挥发、氧化亚氮排放造成全球气候变暖,氮的流失和淋失造成水体富营养化等一系列问题^[2,3]. 冬小麦生育期较长,以追肥的方式实现“氮肥后移”能提高小麦产量和氮素利用率^[4],但在小麦价格较低和农村劳动力大量向城市转移的背景下,后期追肥人力成本较高,而全生育期速效氮肥一次性施用难以达到稳产、增产的目标.

简化施肥技术、提高肥料养分利用率、降低施肥成本能促进农民增加收入^[5]. 包膜尿素是通过聚合物包膜等形式实现氮素按设定的释放率和释放时间释放,使其与作物吸收养分规律相一致的新型肥料^[6]. 大量研究表明包膜尿素能够减少土壤中氮素损失,以更少的氮肥用量实现小麦高产稳产^[7-9]. Zheng等^[7]研究表明包膜尿素氮素释放与冬小麦各生育期氮素需求具有较好的同步性,一次基施就能够保证小麦中后期土壤氮素供应强度. Tian等^[8]通过4年7季的田间试验探明了施用包膜尿素能够显著降低土壤硝态氮向深层次土壤淋溶的风险,减少氮素损失. 纪洋等^[9]则证明施用包膜尿素可以有效抑制小麦生长季单位产量 N_2O 排放,且其对单位产量 N_2O 的减排量随着施氮量的增加而增加. 然而,包膜尿素成本高于普通尿素,且前期氮素释放较慢,单施包膜尿素易造成作物前期氮素供应不足,将包膜尿素与普通尿素掺混后速效氮部分保证前期氮的供应,而控释氮部分保证中后期供应,从而降低肥料用量和施肥成本^[10]. 包膜尿素养分释放缓慢且可

收稿日期:2019-10-06

基金项目:国家自然科学基金项目(41807092);山东省高等学校科学技术计划项目(J18KA173);聊城大学博士基金项目(318051839)资助

通讯作者:田晓飞,男,汉族,博士,讲师,研究方向:新型肥料研发与应用,E-mail:tianxiaofei624@163.com.

控^[11],释放周期长,通过与普通尿素掺混后一次性施用,速效氮部分保证前期氮的供应,而包膜控释氮部分保证中后期供应,在保证小麦产量的同时显著降低肥料和施肥成本^[12,13],具有较好的应用潜力。

本研究以环氧树脂包膜尿素为原料,综合分析包膜尿素养分释放特征、各生育期土壤氮素供应动态变化以及冬小麦产量和氮素吸收利用,研究普通尿素与包膜尿素掺混后一次基施对冬小麦产量及氮素利用的影响,为冬小麦简化高效施肥提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2018-2019 年在山东省聊城市高围村(36°18'46"N,116°09'60"E)进行,供试土壤为潮土,试验开始前 0-20 cm 土壤 pH 为 7.92,有机质含量为 12.48 g/kg,全氮 0.71 g/kg,硝态氮 24.54 mg/kg,铵态氮 6.47 mg/kg,有效磷 17.18 mg/kg,速效钾 143.52 mg/kg。

供试小麦品种为济麦 22。供试包膜尿素为山东农大肥业科技有限公司生产的树脂包膜尿素(N 43.3%),其在 25℃ 静水中释放曲线呈“直线型”(图 1),在 90 d 时氮素累积释放 85.42%,说明所用包膜尿素释放期约为 3 个月。其余肥料包括大颗粒尿素(N 46.4%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 46.2%)和氯化钾(K₂O 60.1%)。

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理,分别为不施氮肥(CK)、尿素一次基施(U1);尿素分次追施(U2)、减量 30% 尿素一次基施(70%U1)、70%包膜尿素与 30%普通尿素掺混后一次基施(CRU)和 70%包膜尿素与 30%普通尿素掺混后减氮 30%一次基施(70%CRU),每个处理重复 3 次,随机区组排列。所有处理均基施 P₂O₅ 150 kg/hm² 和 K₂O 75 kg/hm²。全量氮肥处理施氮量为 180 kg/hm²,减 30% 氮肥用量处理为 126 kg/hm²。CRU 和 70%CRU 处理中控释氮占总氮量的 70%,所有肥料均作为基肥一次性施入;U2 处理氮肥基施 70%,拔节期(2019 年 4 月 15 日,播种后 187 d)追施 30%。

小区面积为 21.0 m²(长 5.0 m,宽 4.2 m)。各小区播种前人工开沟条施肥料,肥料埋深 10-15 cm。2018 年 10 月 10 日播种小麦,播种量为 120 kg/hm²,2019 年 6 月 3 日收获。各处理生育期管理措施完全一致,且与农民常规管理措施相同。

1.3 测定项目与方法

分别在小麦苗期(2018 年 11 月 15 日,施肥播种后 36 d)、返青期(2019 年 3 月 15 日,施肥播种后 155 d)、灌浆期(2019 年 5 月 10 日,施肥播种后 212 d)和收获后(2019 年 6 月 3 日,施肥播种后 236 d)采集土壤样品。由于肥料为条施,土壤采样时在小麦行和肥料行各选取 3 点 0-20 cm 土壤样品,混匀后用四分法取部分土样带回实验室,立即用 0.01 mol/L CaCl₂ 浸提(土水比 1:10),紫外分光光度法测定硝态氮和铵态氮含量^[14],同时采用烘干法测定土壤水分含量。收获时,取各小区的中间 5 行(长 1 m)小麦统计有效穗数和穗粒数,并实收测地上部生物量和产量。选取部分秸秆及籽粒样品于 105℃ 杀青 30 min,然后 75℃ 烘干至恒重,粉碎过 0.25 mm 筛后,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 联合消煮,凯氏定氮法测定植株全氮含量^[12]。

1.4 数据分析

有关氮肥利用效率指标的计算方法为^[15,16]:氮肥农学利用率=(施氮处理产量-不施氮处理产量)/施氮量;偏生产力=施氮区产量/施氮量;氮肥利用率=(施氮处理氮积累量-不施氮处理氮积累量)/施氮量×100%。数据处理采用 Excel 2010,平均值的差异显著性检验使用统计软件 SPSS 17.0,按照 Duncan 多重比较法检测。

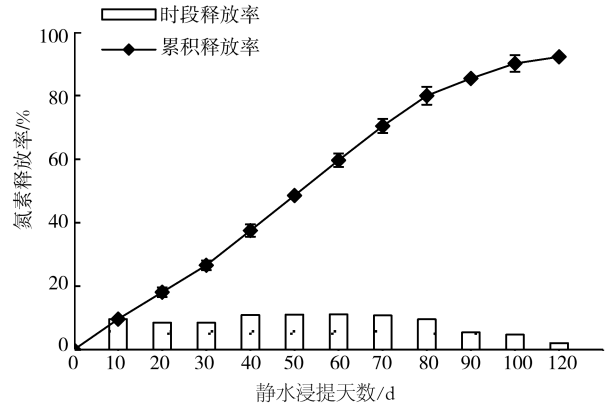


图 1 包膜尿素在 25℃ 静水中氮素释放特征

2 结果与分析

2.1 冬小麦产量及产量构成因素

施氮显著提高了冬小麦产量和产量构成,但各施氮处理株高无显著差异(表 1). U2 和 CRU 处理较 U1 处理小麦产量分别显著增加 5.56% 和 9.94%,70%CRU 较 70%U1 处理显著增产 5.87%,但 U2 与 CRU 处理产量无显著差异. 另外,与等氮量的尿素一次基施处理(U1 和 70%U1)相比,包膜尿素(CRU 和 70%CRU)处理显著增加了千粒重和穗粒数,但对有效穗数没有显著性影响. 70%CRU 处理的有效穗数、千粒重和籽粒产量与 U1 处理差异不显著,但较 70%U1 处理增产 5.88%,表明施用包膜尿素能增加冬小麦的籽粒产量、千粒重和穗粒数,普通尿素与包膜尿素掺混后一次基施就能够达到普通尿素分次追施的效果.

表 1 不同处理小麦产量和产量构成因素

处理	株高/cm	有效穗数/10 ⁴ /hm ²	穗粒数	千粒重/g	产量/kg/hm ²
CK	81.82±0.61 b	429.33±10.17 b	32.67±0.32 d	40.93±0.15 d	5742.95±185.9 d
U1	84.15±0.30 a	452.67±10.17 ab	36.20±0.49 b	43.13±0.12 c	7070.81±245.59 bc
70%U1	84.25±1.18 a	440.22±6.07 ab	35.35±0.41 c	43.04±0.19 c	6695.98±56.53 c
U2	84.36±0.40 a	455.78±8.66 ab	37.27±0.08 a	44.09±0.31 ab	7487.32±128.74 ab
CRU	84.78±0.73 a	471.33±9.43 a	37.58±0.25 a	44.33±0.23 a	7851.88±133.19 a
70%CRU	83.59±0.52 a	451.89±6.07 ab	36.16±0.16 b	43.53±0.12 bc	7114.13±123.59 bc

注:表中同列数据后标有相同小写字母表示不同处理间差异不显著($P>0.05$),下同.

2.2 经济效益

氮肥种类和用量对小麦经济效益影响显著(表 2). 与 U1 处理相比,CRU 和 U2 处理净收益分别增加 15.44% 和 6.71%,但 CRU 与 U2 处理净收益无显著差异. 此外,70%CRU 比 70%U1 处理净收益显著增加 9.21%,说明尽管包膜尿素处理的肥料投入高于普通尿素处理,但净收益高于等氮量的普通尿素一次基施处理,收入得到显著提高.

表 2 不同处理的小麦经济效益(元/hm²)

处理	总收益	支出			净收益	增收/%
		肥料	追肥用工	其他		
CK	12864.20±447.82 d	1645.78	0	4978.50	6239.92±416.40 c	-27.920
U1	15840.86±591.65 bc	2207.80	0	4978.50	8654.56±550.14 ab	/
70%U1	14998.99±590.08 c	2118.15	0	4978.50	7902.34±126.63 b	-8.69
U2	16771.18±136.18 ab	2207.80	350	4978.50	9234.88±298.35 ab	6.71
CRU	17588.20±320.86 a	2588.88	0	4978.50	9991.22±548.68 a	15.44
70%CRU	15935.66±297.73 bc	2284.63	0	4978.50	8630.32±276.84 ab	-0.28

注:小麦价格按照 2018 年最低收购价 2240 元/t,肥料价格为 2018 年 9 月冬小麦播种前市场价格,其中尿素 1724 元/t,包膜尿素 2470 元/t,重过磷酸钙 1550 元/t,氯化钾 2837 元/t 计算,人工追肥按照 350 元/hm² 计算,其他费用 4978.5 元/hm²,包括灌溉、农药、种子及机械施肥、播种、收割等.

2.3 干物质积累与氮素利用

由表 3 可知,包膜尿素处理(CRU、70%CRU)的地上部干物质和氮素积累量显著高于等氮量的 U1 和 70%U1 处理,且 70%CRU 处理与 U1 处理差异不显著. CRU 相对于 U1 处理地上部干物质和氮素积累量分别增加 12.98% 和 10.76%,但氮素积累量与 U2 处理差异不显著. CRU、70%CRU 较等氮量的 U1 和 70%U1 处理冬小麦氮肥利用率、农学利用率和偏生产力分别增加 17.43%-26.32%、30.51%-37.03% 和 5.88%-9.93%.

表 3 不同处理的小麦氮肥利用率

处理	地上部干物质质量/ kg · hm ⁻²	氮素累积量/ kg · hm ⁻²	氮肥利用率/ %	农学利用率/ kg · kg ⁻¹	偏生产力/ kg · kg ⁻¹
CK	13309.00 ± 107.29 d	158.7 ± 7.69 d	/	/	/
U1	15466.73 ± 182.36 bc	212.22 ± 1.72 b	29.73 ± 0.95 d	7.38 ± 1.36 b	39.29 ± 1.36 c
70%U1	15338.60 ± 325.27 c	204.52 ± 1.38 c	36.37 ± 2.12 c	7.56 ± 1.36 b	53.14 ± 1.36 a
U2	15799.47 ± 598.61 b	231.37 ± 3.82 a	40.37 ± 1.10 b	9.69 ± 0.45 ab	41.6 ± 0.45 bc
CRU	17774.67 ± 919.87 a	237.80 ± 6.66 a	43.94 ± 0.74 ab	11.72 ± 0.74 a	43.62 ± 0.74 b
70%CRU	15924.13 ± 381.43 b	214.21 ± 2.01 b	44.05 ± 1.59 a	10.88 ± 0.98 ab	56.46 ± 0.98 a

2.4 冬小麦各生育期土壤无机氮含量动态变化

在小麦整个生育期,各施氮处理土壤硝态氮如图 2(a)含量均显著高于 CK、CRU、70%CRU 和 U2 处理。小麦苗期至灌浆期土壤硝态氮含量呈现先降低后升高的趋势,而 U1 和 70%U1 处理则呈现逐渐降低的趋势。在灌浆期(施肥后 212 d),等氮条件下包膜尿素(CRU、70%CRU)处理的硝态氮含量比尿素处理(U1、70%U1)显著增加 22.11%-40.12%;70%CRU 处理与 U1 处理硝态氮含量差异不显著。由于 U2 处理拔节期时追肥,施用普通尿素处理灌浆期土壤硝态氮含量明显增加,但与 CRU 处理差异不显著,这可能与小麦拔节期前浇水提高了土壤水分含量,加速了包膜尿素养分释放速率有关^[17]。

在小麦苗期、返青期和灌浆期,各施氮处理土壤铵态氮含量均显著高于 CK 处理,但收获期各处理铵态氮含量差异不显著,如图 2(b)。苗期时铵态氮含量以 U1 处理最高,且 CRU 处理显著高于 70%CRU 处理,但 70%U1 处理与 70%CRU 处理无显著差异。因此,包膜尿素与普通尿素掺混后一次基施可避免越冬前土壤无机氮含量过高导致冬小麦旺长,同时减少经氨挥发、地表径流等途径导致的氮素损失。

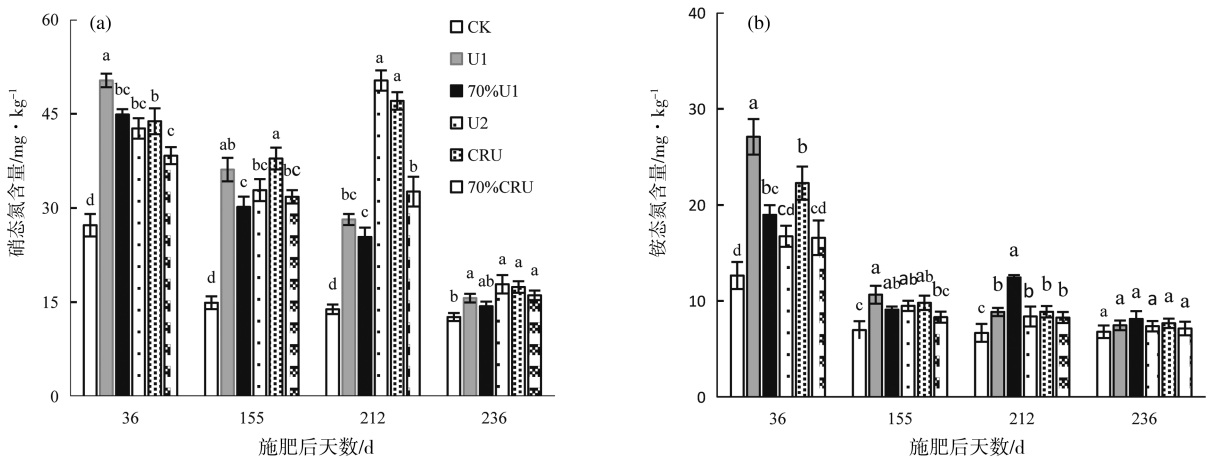


图 2 不同时期各处理土壤硝态氮(a)和铵态氮(b)含量

3 讨论

包膜尿素在田间条件下的氮素缓慢释放能够增加冬小麦中后期土壤无机氮含量,一次基施就能够起到高产麦田“氮肥后移”的作用^[18],但是包膜尿素对产量构成要素的影响报道不尽一致。满建国等^[19]研究表明,包膜尿素显著增加了冬小麦的千粒重和穗粒数,但是对小麦的亩穗数没有显著性影响。李泽雨等^[20]则认为有效穗数的增加是包膜尿素促进冬小麦增产的主要原因。本研究表明,施用包膜尿素主要是通过增加千粒重和穗粒数实现了小麦增产(表 1),这与包膜尿素提高了小麦旺盛生长阶段土壤氮素供应能力有关。冬小麦生育后期合理的氮素供应有利于提高淀粉积累速率,提高千粒重^[21]。同时,等氮量的包膜尿素处理较普通尿素处理小麦穗数无显著差异(表 1),表明包膜尿素处理能够满足小麦分蘖期氮素需求,但其机制尚待进一步探讨。此外,小麦籽粒产量和收获期土壤硝态氮含量、地上部干物质总量和氮素累积量呈显著的正相关关系(表 4),表明包膜尿素处理小麦产量的提高是有效穗数、穗粒数、粒重等产量构成要素和干物质质量、氮素累积

量等性能指标相互协调发展的结果。

表4 冬小麦产量与其他指标的相关性

	产量	干物质量	氮素积累量	氮素利用率	硝态氮含量
产量	1				
干物质量	0.87**	1			
氮素积累量	0.95**	0.85**	1		
氮素利用率	0.56*	0.61*	0.55*	1	
硝态氮含量	0.69*	0.55*	0.75**	0.85**	1

注: * 表示达到 $P < 0.05$ 显著水平, ** 表示达到 $P < 0.01$ 显著水平。

冬小麦生育期长,从出苗至拔节期、拔节至抽穗期、抽穗至成熟期吸氮量分别占植株总氮量的 20%、60% 和 20%^[22]。本研究结果表明,氮素分期施用可增加小麦生育中后期的氮素供应水平(图 2),提高植株对氮素的吸收量,提高氮肥利用率(表 3)。同时,研究团队前期结果证明树脂包膜尿素在土壤中养分释放主要受温度和水分的影响^[23],在温度较低和水分供应不充足时氮素释放缓慢,在温度升高时养分释放增快。对于冬小麦而言,越冬期前植株矮小,对氮的需求量相对较少;越冬期土壤温度下降,冬小麦地上部生长处于停滞期;返青期后,小麦植株干物质积累和氮素积累量均快速增加^[24,25]。包膜尿素具有前期释放少,后期持续释放的特点^[26],一次施用能够满足冬小麦各生育期尤其是氮素需求旺盛阶段对氮素的需求,既简化了施肥又为小麦增产打下良好的基础。

4 结论

本试验条件下,包膜尿素在土壤中的释放增加了冬小麦中后期土壤中硝态氮含量,满足了冬小麦生育后期对氮素的需求。包膜尿素与普通尿素掺混后一次基施与普通尿素分次追施小麦产量无显著差异,但比普通尿素一次基施显著增产 9.94%,氮素利用率显著增加 17.43%,经济效益显著增加 16.8%。包膜尿素与普通尿素掺混后在减量 30% 的条件下,与常量普通尿素相比,作物产量无显著差异。因此,包膜尿素一次基施能够满足作物对养分的需求,提高作物产量,同时减少了氮肥用量,提高氮肥利用率。

参 考 文 献

- [1] 王靖荃,满孝印,李海云,等. 充足磷钾供应下大白菜产量和品质对氮素形态的影响[J]. 聊城大学学报(自然科学版),2016,29(3):48-51.
- [2] Chen X P, Cui Z L, Fan M S, et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. Nature, 2014, 514(7523):486-489.
- [3] 张毅,张佳蕾,郭峰,等. 玉米//花生体系氮素营养研究进展[J]. 聊城大学学报(自然科学版),2019,32(4):53-60.
- [4] 张振,于振文,张永丽,等. 氮肥基追比例对测墒补灌小麦冠层不同层次光能利用及干物质转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(1):97-105.
- [5] 自由路. 高效施肥技术研究的现状与展望[J]. 中国农业科学,2018,51(11):2116-2125.
- [6] 张民,史衍玺,杨守祥,等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业,2001(5):27-30+63-61.
- [7] Zheng W K, Sui C L, Liu Z G, et al. Long-term effects of controlled-release urea on crop yields and soil fertility under wheat-corn double cropping systems [J]. Agronomy Journal, 2016, 108(4):1703-1715.
- [8] Tian X F, Li C L, Zhang M, et al. Controlled release urea improved crop yields and mitigated nitrate leaching under cotton-garlic intercropping system in a 4-year field trial [J]. Soil & Tillage Research, 2018, 175:158-167.
- [9] 纪洋,刘刚,马静,等. 控释肥施用对小麦生长期 N_2O 排放的影响[J]. 土壤学报,2012,49(3):526-534.
- [10] 侯红乾,冀建华,刘益仁,等. 缓/控释肥对双季稻产量、氮素吸收和平衡的影响[J]. 土壤,2018,50(1):43-50.
- [11] 洪瑜,赵营,王芳,等. 控释肥在宁夏灌淤土中的氮素释放特征研究[J]. 中国土壤与肥料,2018(5):64-69.
- [12] 杜昌文,周健民. 控释肥料的研制及其进展[J]. 土壤,2002(3):127-133.
- [13] Geng J B, Chen J Q, Sun Y B, et al. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency and yield of wheat and corn [J]. Agronomy Journal, 2016, 108(4):1665-1673.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [15] 李鹏飞,李小坤,侯文峰,等. 应用¹⁵N 示踪技术研究控释尿素在稻田中的去向及利用率[J]. 中国农业科学,2018,51(20):3961-3971.

- [16] 王火焰,周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略[J]. 土壤学报,2014,51(2):216-225.
- [17] Yang Y C,Zhang M,Li Y C, et al. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency,activities of leaf enzymes,and rice yield[J]. Soil Science Society of America Journal,2012,76(6):2307-2317.
- [18] 张华艳,牛灵安,郝晋珉,等. 秸秆还田配施缓控释肥对土壤养分和作物产量的影响[J]. 土壤通报,2018,49(1):140-149.
- [19] 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.
- [20] 李泽丽,刘之广,张民,等. 控释尿素配施黄腐酸对小麦产量及土壤养分供应的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(4):959-968.
- [21] 费良军,孟兆江. 水分养分协同对冬小麦干物质运转和氮吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(4):905-914.
- [22] Zheng W K,Zhang M,Liu Z G,et al. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system[J]. Field Crops Research,2016,197:52-62.
- [23] Yang Y C,Zhang M,Zheng L,et al. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency,yield,and quality of wheat [J]. Agronomy Journal,2011,103:79-485.
- [24] Aaya A,Prasad P V V,Gowda P H,et al. Modeling irrigation and nitrogen management of wheat in northern Ethiopia [J]. Agricultural Water Management,2019,216:264-272.
- [25] 吴小宾,谭德水,林海涛,等. 冬小麦一次性施肥氮肥产品筛选与产量效应[J]. 中国农业科学,2018,51(20):3863-3875.
- [26] 田晓飞,李成亮,张民,等. 控释氮肥对洋葱-棉花套作体系产量及土壤氮含量的影响[J]. 农业环境科学学报,2015,34(4):745-752.

Effects of Blending of Polymer Coated Urea and Uncoated Urea on Wheat Yield and Soil Nitrogen

FAN-Zhen TIAN Xiao-fei ZHAI-Sheng CHENG Jin-xiu
DING Xin-hui ZHANG Ming-hui DENG Sheng-nan

(School of Environment and Planning,Liaocheng University,Liaocheng 252059,China)

Abstract A field experiment was conducted to study the effect of one-off fertilization of polymer coated urea (PCU) on yield and nitrogen use (NUE) efficiency of wheat, providing scientific basis for appropriate application of CRU. There were six treatments including: no N control (CK), complete basal fertilization of full-dose urea (U1), reduced-dose of U1 (70% U1), 70% basal and 30% topdressing at jointing stage (U2), complete basal application of PCU (CRU) and reduced-dose of CRU (70% CRU). The results indicates that wheat yields, NUE and net income of CRUs were significantly increased by 7.91%, 7.90% and 20.53%, compared with regular urea treatments with the same N application rates, but there was no significant difference between 70% CRU and U1 treatment. The NO_3^- -N content of CRUs treatments (CRU and 70% CRU) were significantly higher than the U1 and 70% U1 treatments with the same N application rates while no significant difference observed between CRU and U2, indicating that the CRUs treatments showed steadily N supply with a pattern nearly synchronized with the N uptake of wheat. Therefore, basal application of CRU could meet the wheat requirement for N during the whole growth period, and significantly improves the supply intensity of soil inorganic N after jointing stage, therefore, maintain wheat yield, fertilizer use efficiency and net income with 30% reduced N rates.

Key words controlled release urea; winter wheat; yield; N use efficiency