

网络出版时间:2017-12-27 09:55 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.03.005
网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20171227.0954.010.html>

包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦产量与 氮素积累及利用的影响

何 杰¹, 张敬昇¹, 王昌全¹, 附文军¹, 李新悦¹, 古 琦¹,
梁靖越¹, 李 冰¹, 尹 斌²

(1 四川农业大学 资源学院,四川 成都 611130; 2 中国科学院 南京土壤研究所,江苏 南京 210008)

[摘要] 【目的】研究包膜控释氮肥与尿素配施对冬小麦氮素积累、分配、利用率和产量的影响,为筛选控释氮肥配施尿素的适宜比例提供参考。【方法】在成都平原,2014 和 2015 年采用冬小麦大田试验,设置不施氮处理(CK)及普通尿素与控释氮肥不同配比(0(T1),10%(T2),20%(T3),40%(T4),80%(T5),100%(T6))处理,肥料均一次性基施,研究控释氮肥不同配施比例对冬小麦产量及其构成因素、经济效益和氮素利用率的影响。【结果】两年田间试验结果表明,小麦产量均以 T4 处理最优,较单施尿素 T1 处理增产 697.06 kg/hm²(2014 年)和 521.02 kg/hm²(2015 年),较单施控释氮肥 T6 处理增产 383.86 kg/hm²(2014 年)和 400.43 kg/hm²(2015 年)。配施 20%~40% 控释氮肥处理(T3、T4)的纯收益较其余处理明显增加,较 T1 处理提高 16.73%~23.24%(2014 年)和 4.05%~14.31%(2015 年)。各施氮处理均能改善产量构成因子,其中以 T4 处理较优,且该处理成熟期旗叶、倒二叶和顶二叶面积均最大。T4 处理地上部氮累积量最大(拔节期到成熟期),籽粒氮素累积量明显高于其余处理(成熟期)。随控释氮肥施用比例的增加,氮肥偏生产力、农学利用率、氮素吸收效率、表观利用率均先升高后降低,以 T4 处理最高,氮依存率的变化趋势与之相反,且施氮处理氮收获指数差异较小。小麦成熟期土壤不同形态氮含量均随控释氮肥施用比例的增大而上升。配施 40%~100% 控释氮肥的处理较 T1 处理的土壤硝态氮、微生物量氮、碱解氮和全氮含量显著增加。**【结论】**控释氮肥和尿素配施能有效改善小麦关键生育时期顶二叶的发育,协调籽粒的氮素积累与分配,提高氮素利用率,有利于保障作物高产。综合各因素,推荐采用尿素配施 20%~40% 控释氮肥作为成都平原冬小麦生产的适宜配比。

[关键词] 包膜控释氮肥;小麦;氮素利用率;经济效益

[中图分类号] S512.1⁺¹

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2018)03-0034-09

Effects of coated controlled-release nitrogen fertilizer combined with urea on yield, nitrogen accumulation and utilization of wheat

HE Jie¹, ZHANG Jingsheng¹, WANG Changquan¹, FU Wenjun¹, LI Xinyue¹,
GU Jun¹, LIANG Jingyue¹, LI Bing¹, YIN Bin²

(1 College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: 【Objective】Effects of combined application of coated controlled-release nitrogen fertilizer (CRNF) and urea (UR) on yield and nitrogen accumulation, distribution and use efficiency of wheat were studied to screen suitable combination of CRNF and UR in wheat production. 【Method】Field experiments with CK and treatments with different CRNF ratios (T1, T2, T3, T4, T5, and T6 with 0, 10%, 20%, 40%,

[收稿日期] 2017-01-13

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2013BAD07B13);四川省科技支撑计划项目(2012JZ0003)

[作者简介] 何杰(1993—),男,重庆涪陵人,在读硕士,主要从事土壤环境可持续研究。E-mail:hejie930824@163.com

[通信作者] 王昌全(1962—),男,四川新都人,教授,博士,博士生导师,主要从事土壤质量与环境可持续研究。

E-mail:w.changquan@163.com

80%, and 100%) were conducted for two years in Chengdu Plain in 2014 and 2015. All treatments used fertilizers one time as base fertilizer and the effects on wheat yield and component factors, economic benefit as well as nitrogen use efficiency were analyzed. 【Result】 The highest yield was obtained in T4 for both years. The yields were increased by 697.06 kg/hm² (2014), 521.02 kg/hm² (2015) compared with T1, and increased by 383.86 kg/hm² (2014) and 400.43 kg/hm² (2015) compared with T6. Addition of 20% to 40% CRNF increased the net income compared with other treatments, and the increases were 16.73%—23.24% (2014) and 4.05%—14.31% (2015) compared with T1. Nitrogen application improved the yield components and T4 treatment was the best with the largest areas of flag leaf, the second leaf and top two leaves at mature stage. T4 treatment also had the highest nitrogen accumulation (from jointing stage to mature stage), and the nitrogen content of grain was significantly higher than that of other treatments at mature stage. With the increase of CRNF ratio, NPP, NAE, NUPE, and NAUE increased at beginning and decreased afterwards with the peak in T4, while CRSN was in contrary. There was less difference in NHI among treatments. After harvest, with the increase of CRNF ratio, the soil nitrogen at different forms increased. The nitrate nitrogen, microbial biomass nitrogen, alkaline hydrolyzed nitrogen and total nitrogen were increased significantly by adding more than 40% CRNF, compared with T1. 【Conclusion】 Coated controlled release urea combined with conventional urea could increase the top two leaves area, enhance nitrogen accumulation and distribution of panicle in wheat, and improve the nitrogen use efficiency and yield. The optimum CRNF ratio was 20%—40% in Chengdu Plain.

Key words: coated controlled release nitrogen fertilizer; wheat; nitrogen use efficiency; economic benefit

冬小麦是我国主要的粮食作物之一,施氮是提高小麦产量和改善小麦品质的有效措施^[1]。目前,农民常采用多次追施尿素或过量施氮来实现小麦增产的目的^[2-4],这不仅会增大劳动投入,还会造成大量氮素流失,引起环境恶化^[5-6]。控释氮肥具有延长氮素释放周期,匹配作物需氮规律的特点,能有效提高作物产量^[7-8],但控释肥料价格较高,不利于其推广^[9]。同时有研究表明,单施控释氮肥可能会引起作物前期供氮不足,后期贪青晚熟,抑制作物高产^[10-11]。故将控释氮肥掺混尿素进行一次性基施,尿素有利于前期供氮,促进作物的生长,控释氮肥有利于后期氮素补充,保证小麦的攻穗结实,从而实现提高氮肥利用率和经济效益的目的。目前有关控释氮肥增产和提高氮素利用率的研究较多^[4,12-13],且针对恰当配施比例的研究逐渐成为热点。因此,本试验以单施尿素为对照,采用尿素配施不同比例控释氮肥,在成都平原进行2个年度冬小麦大田试验,探讨不同配比施肥对冬小麦氮素积累、分配、利用率和产量、经济效益的影响并分析其原因,以期为成都平原冬小麦生产寻找适宜的控释氮肥配施比例。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验分别于2014年11月至2015年5月和

2015年11月至2016年5月在四川农业大学崇州市桤泉镇试验基地进行。该区域年均气温15.9℃,年均日照时数1161.5 h,年均降雨量1012.4 mm,年均无霜期285 d。供试土壤类型为水稻土,土壤含有机质29.57 g/kg、全氮1.44 g/kg、碱解氮60.76 mg/kg、速效磷13.82 mg/kg、速效钾110.60 mg/kg,pH值6.43。

1.2 供试材料

聚合物包膜控释氮肥(N 41.4%),氮素释放周期为90 d,中国科学院南京土壤研究所研制;尿素(N 46.4%),四川美丰化工有限公司生产;过磷酸钙(P₂O₅ 12%),湖北祥云化工股份有限公司生产;氯化钾(K₂O 60%),湖北宜昌涌金工贸有限公司生产。供试小麦品种为内麦836,由四川省内江市农业科学院选育。

1.3 试验设计

试验共设7个处理:CK(不施氮肥);T1(100%普通尿素);T2(控释氮肥10%+普通尿素90%);T3(控释氮肥20%+普通尿素80%);T4(控释氮肥40%+普通尿素60%);T5(控释氮肥80%+普通尿素20%);T6(控释氮肥100%)。除CK不施氮处理外,各处理氮、磷、钾用量一致,施氮量150 kg/hm²,施磷量90 kg/hm²,施钾量90 kg/hm²;氮、磷、钾肥均作为基肥一次性基施。2个年度试验均

在同一地块进行,后茬作物为水稻(F优498)。试验小区面积30 m²(5 m×6 m)。每个处理设3次重复,随机排列。小区田埂设农膜,四周设保护行,避免水肥相互渗透,田间管理以当地习惯方式进行。

1.4 样品采集及测定

施肥前采集试验地0~20 cm土层土样,分析其理化性质^[14]。分别于冬小麦分蘖期、拔节期、抽穗期、成熟期,在每个小区用多点混合采样法采集0~20 cm土层土样,同时各取代表性植株样品30株,其中抽穗期用直尺量取旗叶及倒二叶长和宽,计算叶面积。地上部由分蘖期至抽穗期均为秸秆,成熟期分为秸秆与籽粒两部分。各植株采集后先在105 °C杀青30 min,然后在70 °C烘干至恒质量。产量按小区单打单收,统计各产量构成因子。土壤铵态氮、硝态氮、碱解氮、全氮分别采用靛酚蓝比色法、紫外双波段法、扩散法、凯氏定氮法测定^[14],微生物量氮含量采用熏蒸法测定^[15]。植株全氮含量采用浓H₂SO₄-H₂O₂-凯氏定氮法测定。

1.5 计算方法

纯收益=产值-投入;纯收益新增率=(处理区纯收益-对照区纯收益)/对照区纯收益×100%^[16];边际成本效率=(处理区产值-对照区产值)/(处理区成本-对照区成本)^[16];旗叶面积=旗叶长×旗叶宽×0.83^[17-18];倒二叶面积=倒二叶长×倒二叶宽×0.83^[17-18];顶二叶面积=旗叶面积+倒二叶面积;氮积累量(kg/hm²)=干物质量×氮含量/100;氮肥偏生产力(NPP,kg/kg)=施氮区

产量/施氮量;氮肥农学利用率(NAE,kg/kg)=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量;氮素吸收效率(NUPE,kg/kg)=植株地上部氮素累积量/施氮量;氮肥表观利用率(NAUE,%)=(施氮区植株吸氮量-不施氮区植株吸氮量)/施氮量×100%;氮收获指数(NHI,%)=籽粒中氮含量/植株氮素累积量×100%;土壤氮依存率(CRSN,%)=不施氮区植株吸氮量/施氮区植株吸氮量×100%。

1.6 数据处理

采用Excel 2010和SPSS 19.0软件对试验数据进行处理分析,并进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 控释氮肥对冬小麦产量与经济效益的影响

2.1.1 产量构成 由表1可以看出,施氮可显著提高小麦穗长和穗粒数。穗长以T4处理最大,与T1处理差异显著,2014和2015年分别较T1处理增加1.28和1.33 cm。穗粒数和千粒质量在各施氮处理间无显著差异。

小麦旗叶面积以T4处理最大,与T1处理差异显著;除T2处理外,倒二叶面积随控释氮肥施用比例的增大呈先增大后减小的趋势,在T4处理达到峰值;添加20%及以上控释氮肥的处理小麦顶二叶面积较T1处理显著提高,两年分别提高1.38~2.19 cm²(2014年)和4~9.24 cm²(2015年),且均以T4处理最大。

表1 包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦产量构成及叶面积的影响

Table 1 Effects of coated controlled-release nitrogen fertilizer combined with urea on wheat yield components and leaf area

年份 Year	处理 Treatments	穗长/cm Spike length	穗粒数 Grain No. per panicle	千粒质量/g 1 000-grain weight	旗叶面积/cm ² Flag leaf area	倒二叶面积/cm ² The 2nd leaf from top area	顶二叶面积/cm ² The top-two leaf area
2014	CK	5.44±0.14 e	11.67±1.16 b	35.82±2.45 a	19.60±0.71 d	23.14±0.97 c	42.74±1.67 c
	T1	6.67±0.29 d	38.00±2.00 a	40.30±1.33 a	21.73±0.53 bc	25.89±0.21 ab	47.63±0.66 b
	T2	6.48±0.03 d	38.33±5.69 a	40.20±2.44 a	21.26±0.60 c	25.59±0.77 b	46.85±0.69 b
	T3	7.13±0.37 c	37.67±3.51 a	39.82±3.03 a	22.54±0.18 ab	26.93±0.16 a	49.47±0.33 a
	T4	7.95±0.20 a	34.00±3.00 a	41.07±1.79 a	22.85±0.02 a	26.96±0.17 a	49.82±0.16 a
	T5	7.67±0.25 ab	39.00±7.00 a	40.00±2.08 a	22.71±0.20 ab	26.73±0.05 ab	49.44±0.17 a
	T6	7.37±0.23 bc	41.00±8.00 a	39.72±0.60 a	22.36±0.25 ab	26.66±0.37 ab	49.01±0.62 a
2015	CK	5.44±0.19 d	14.67±1.53 b	37.72±1.21 b	22.01±0.79 d	24.50±0.36 d	46.52±1.15 d
	T1	6.64±0.34 c	39.33±1.15 a	40.4±1.29 ab	24.41±0.60 c	27.13±0.41 c	50.90±0.96 c
	T2	6.48±0.03 c	41.67±1.53 a	41.23±1.48 a	23.88±0.67 c	27.01±0.35 c	51.53±0.99 c
	T3	7.92±0.09 a	41.67±2.08 a	41.07±2.28 a	26.78±0.21 b	29.10±0.48 b	55.89±0.44 b
	T4	7.97±0.07 a	40.67±3.51 a	42.50±0.46 a	28.66±0.03 a	31.48±0.29 a	60.14±0.29 a
	T5	7.47±0.11 b	42.33±3.51 a	40.82±0.82 a	28.23±0.78 a	31.00±0.23 a	59.23±0.99 a
	T6	7.38±0.10 b	41.00±2.00 a	39.50±0.25 ab	26.04±0.29 b	28.86±0.17 b	54.90±0.44 b

2.1.2 产量与经济效益 由表2可以看出,施氮处理均可显著提高小麦产量。除T2处理外,随控释

氮肥施用比例的提高,小麦产量先增高后降低,且两年产量均以T4处理最大,较单施尿素的T1处理增

产 $697.06 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (2014年) 和 $521.02 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (2015年), 较单施控释氮肥的T6处理增产 $383.86 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (2014年) 和 $400.43 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (2015年)。经济效益方面,投入随控释氮肥施用比例的升高而增大。小麦两年的纯收益新增率均以T4处理最大, T3处理次之,较其余处理均具有明显经济效益优

势。两年的边际成本效率显示,T3、T4处理经济效
益显著,分级结果高于其余处理。由纯收益水平结
合纯收益新增率与边际成本效率可知,T3与T4处
理的纯收益水平优势明显,较单施尿素的T1处理
提高了 $16.73\% \sim 23.24\%$ (2014年) 和 $4.05\% \sim$
 14.31% (2015年)。

表2 包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦产量与经济效益的影响

Table 2 Effects of coated controlled-release nitrogen fertilizer combined with urea on wheat yield and economic efficiency

年份 Year	处理 Treatments	产量/ (kg · hm ⁻²) Yield	产值/ (元 · hm ⁻²) Output value	投入/ (元 · hm ⁻²) Input value	纯收益/ (元 · hm ⁻²) Net income	纯收益新增率 Net income rate		边际成本效率 Marginal cost efficiency	
						数值/% Rate	分级 Levels	数值 Values	分级 Levels
2014	CK	2339.33 ± 59.13 d	4 444.73	3 812.50	632.23	—	—	—	—
	T1	4898.67 ± 88.31 c	9 307.47	4 539.87	4 767.60	—	—	—	—
	T2	4670.80 ± 260.00 c	8 874.52	4 593.95	4 280.57	-10.22	V	-8.01	⑤
	T3	5375.47 ± 102.88 ab	10 213.39	4 648.02	5 565.37	16.73	Ⅲ	8.38	①
	T4	5595.73 ± 184.84 a	10 631.89	4 756.17	5 875.72	23.24	Ⅲ	6.12	①
	T5	5325.73 ± 122.38 ab	10 118.89	4 972.47	5 146.42	7.95	Ⅳ	1.88	②
	T6	5211.87 ± 121.60 b	9 902.55	5 080.62	4 821.93	1.14	Ⅳ	1.10	④
2015	CK	2643.45 ± 66.82 d	5 022.56	3 812.50	1 210.06	—	—	—	—
	T1	5235.49 ± 99.78 bc	9 947.43	4 539.87	5 407.56	—	—	—	—
	T2	4986.12 ± 291.31 c	9 473.63	4 593.95	4 879.68	-9.76	V	-8.76	⑤
	T3	5407.61 ± 78.71 ab	10 274.46	4 648.02	5 626.44	4.05	Ⅳ	3.02	①
	T4	5756.51 ± 279.13 a	10 937.37	4 756.17	6 181.20	14.31	Ⅲ	4.58	①
	T5	5484.75 ± 96.41 ab	10 421.03	4 972.47	5 448.56	0.76	Ⅳ	1.09	④
	T6	5356.08 ± 58.06 b	10 176.55	5 080.62	5 095.93	-5.76	V	0.42	⑤

注:效益分析时,肥料及小麦价格为尿素 $2.25 \text{ 元}/\text{kg}$,控释氮肥 $3.5 \text{ 元}/\text{kg}$,磷肥 $1.0 \text{ 元}/\text{kg}$,钾肥 $3.5 \text{ 元}/\text{kg}$,小麦 $1.9 \text{ 元}/\text{kg}$ 。净利润分级采用纯收益新增率和边际成本效率来表征,分级方法参考袁从等^[16]的方法,纯收益新增率1~5级分别记为I、II、III、IV、V,边际成本效率1~5级分别记为①、②、③、④、⑤。同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Efficiency analysis, the price of fertilizer and wheat are Urea 2.25 Yuan/kg, controlled nitrogen fertilizer 3.5 Yuan/kg, phosphate fertilizer 1.0 Yuan/kg, potassium fertilizer 3.75 Yuan/kg, and Wheat 1.9 Yuan/kg. The net income could be showed quantitatively by the newly-increased net income rate and rate of remuneration of marginal cost. The classification is based on Yuan et al.^[16]. The newly-increased net income rate has five degrees, marked as I, II, III, IV, and V; and the rate of remuneration of marginal cost has five degrees, marked as ①, ②, ③, ④, and ⑤. Values followed by different letters are significantly different among treatments at 5% level.

2.2 控释氮肥对冬小麦氮素积累与利用率的影响

2.2.1 地上部氮素的累积与分配

由图1可以看出,小麦地上部氮素累积量在抽穗期前缓慢上升,抽穗期到成熟期积累迅速。除2015年小麦分蘖期的T6处理外,施氮处理均可显著增加小麦各生育期地上部氮素累积量。分蘖期,单施尿素的T1处理对小麦氮素积累效果影响最优,与其余施氮处理差异显著。随生育期的推移,配施控释氮肥处理的小麦地上部氮素累积量随控释肥施用比例的升高呈现先升高后降低的趋势,且均以T4处理最优。成熟期,T4处理小麦地上部氮素累积量较单施尿素的T1处理显著增加 16.79% (2014年) 和 24.44% (2015年),较单施控释氮肥的T6处理显著增加 5.14% (2014年) 和 15.56% (2015年)。

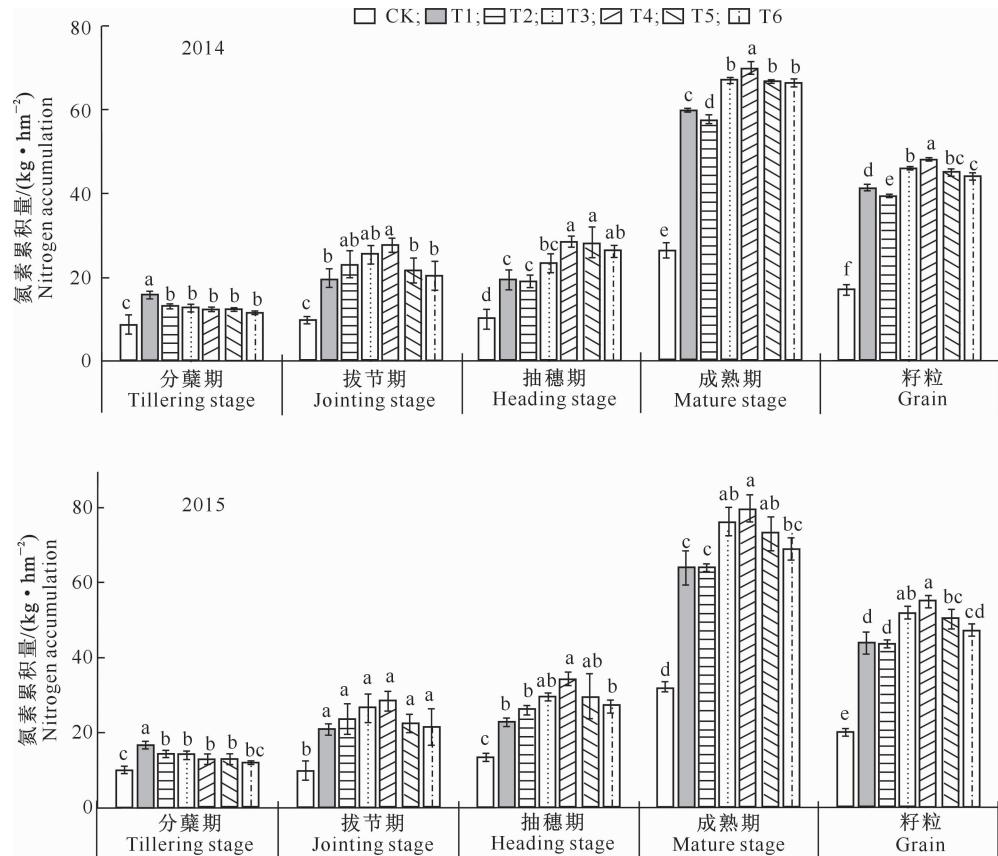
小麦成熟期籽粒氮素累积量明显高于秸秆,籽粒占 $60\% \sim 70\%$,且各施氮处理均可明显提高籽粒

氮素累积量与分配比例,其中T4处理的籽粒氮素累积量最多,比其余施氮处理增加了 $4.09\% \sim 21.78\%$ (2014年) 和 $5.97\% \sim 25.56\%$ (2015年)。

2.2.2 氮素的利用率

从表3可以看出,配施控释氮肥的处理均能有效提高小麦氮素利用率;除T2处理外,随着控释氮肥施用比例的上升,小麦氮肥偏生产力、氮肥农学利用率、氮素吸收效率、氮肥表观利用率均先升高后降低,在T4处理出现峰值;相较单施尿素的T1处理,配施控释氮肥的处理以上指标在2014年增长了 $-4.65\% \sim 14.21\%$, $-8.91\% \sim 27.26\%$, $-5.00\% \sim 17.50\%$ 和 $-6.88\% \sim 29.89\%$,在2015年增长了 $-4.76\% \sim 9.97\%$, $-8.91\% \sim 20.08\%$, $0 \sim 23.26\%$ 和 $0.09\% \sim 48.77\%$ 。两年试验数据表明,小麦氮收获指数差异较小,2014年以T1处理较高,2015年则是T4处理最大。施用控释氮肥处理间,土壤氮依

存率随控释氮肥施用比例的上升呈现先降低后升高
的规律,在T4处理出现最小值,较其余施氮处理降
低4.72%~17.69%(2014年)和4.68%~19.64%
(2015年)。



图柱上标不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

Different small letters above column indicate significant difference among treatments ($P<0.05$)

图1 包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦氮素累积量的影响

Fig. 1 Effects of coated controlled-release nitrogen fertilizer combined with urea on nitrogen accumulation in wheat

表3 包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦氮素利用率的影响

Table 3 Effects of coated controlled-release nitrogen fertilizer combined with urea on nitrogen use efficiency of wheat

年份 Year	处理 Treatments	氮肥偏生产力/ (kg·kg⁻¹) NPP	氮肥农学利用率/ (kg·kg⁻¹) NAE	氮素吸收效率/ (kg·kg⁻¹) NUPE	氮肥表现 利用率/% NAUE	氮收获 指数/% NHI	土壤氮 依存率/% CRSN
2014	CK	—	—	—	—	—	—
	T1	32.66	17.06	0.40	22.38	68.93	43.81
	T2	31.14	15.54	0.38	20.84	68.34	45.57
	T3	35.84	20.24	0.45	27.12	68.69	39.15
	T4	37.30	21.71	0.47	29.07	68.51	37.51
	T5	35.50	19.91	0.44	26.87	67.79	39.37
2015	T6	34.75	19.15	0.44	26.79	66.18	39.44
	CK	—	—	—	—	—	—
	T1	34.90	17.28	0.43	21.47	68.65	49.91
	T2	33.24	15.62	0.43	21.49	68.33	49.88
	T3	36.05	18.43	0.51	29.44	68.28	42.08
	T4	38.38	20.75	0.53	31.94	68.97	40.11
	T5	36.57	18.94	0.49	27.52	68.63	43.73
	T6	35.71	18.08	0.46	24.76	68.32	46.34

2.3 控释氮肥对土壤氮素养分变化的影响

由表4可知,施氮能有效提高小麦收获后土壤氮素养分。配施20%及以上控释氮肥的处理土壤铵态氮含量较CK处理显著增加,以单施控释氮肥的T6处理较优,但其与T3、T4、T5处理间无显著差异。土壤硝态氮含量随控释氮肥施用比例的升高而增大,单施控释氮肥的T6处理较T1处理提高33.33 mg/kg(2014年)和22.47 mg/kg(2015年)。小麦收获后土壤微生物量氮、碱解氮和全氮随控释

氮肥施用比例的增加而总体升高,且以施用40%及以上控释氮肥的处理影响效果较优,与单施尿素的T1处理差异显著,其中微生物量氮两年分别提高50.65%~62.85%(2014年)和54.23%~61.58%(2015年),碱解氮提高16.84%~23.01%(2014年)和18.28%~22.55%(2015年)、全氮提高5.10%~5.73%(2014年)和3.85%~4.49%(2015年)。

表4 包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦土壤氮素养分变化的影响

Table 4 Effects of coated controlled-release nitrogen fertilizer combined with urea on content of soil nitrogen after wheat harvest

年份 Year	处理 Treatments	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹) Ammonium nitrogen	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹) Nitrate nitrogen	微生物量氮/ (mg·kg ⁻¹) Microbial biomass nitrogen	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Available nitrogen	全氮/(g·kg ⁻¹) Total nitrogen
2014	CK	1.05±0.21 b	16.13±2.77 d	10.90±2.03 c	50.52±1.85 d	1.37±0.02 c
	T1	1.55±0.43 ab	22.33±2.31 cd	20.00±0.20 b	105.33±3.61 c	1.57±0.03 b
	T2	1.66±0.49 ab	24.64±3.98 c	21.43±3.91 b	109.00±2.01 c	1.59±0.03 b
	T3	2.55±0.70 a	26.58±5.95 c	28.13±1.62 a	118.69±2.71 b	1.63±0.02 a
	T4	2.49±0.09 a	33.66±2.62 b	30.13±1.17 a	123.07±4.77 ab	1.65±0.02 a
	T5	2.47±0.09 a	49.98±0.99 a	31.57±1.46 a	127.50±3.75 a	1.66±0.02 a
	T6	2.80±1.08 a	55.66±4.91 a	32.57±1.42 a	129.57±6.40 a	1.66±0.02 a
2015	CK	1.42±0.10 c	25.59±2.58 e	9.87±0.44 d	55.58±2.02 e	1.34±0.02 c
	T1	2.39±0.16 b	35.43±1.25 d	22.20±0.68 c	109.29±2.07 d	1.56±0.03 b
	T2	2.34±0.17 b	39.64±1.41 c	22.51±0.51 c	116.41±1.99 c	1.55±0.04 b
	T3	3.15±0.11 a	42.16±0.81 c	30.39±1.45 b	126.23±3.22 b	1.61±0.02 a
	T4	3.39±0.38 a	48.30±3.87 b	34.24±1.68 a	129.27±3.79 ab	1.62±0.02 a
	T5	3.42±0.27 a	50.46±1.38 b	35.87±1.16 a	132.47±3.02 a	1.63±0.02 a
	T6	3.42±0.28 a	57.90±0.96 a	35.35±0.49 a	133.94±1.82 a	1.63±0.01 a

3 讨论

控释氮肥与尿素的合理配施能促进作物增产,提高经济效益^[19]。大量研究表明,施用控释氮肥或采用控释氮肥配施尿素能有效提高作物产量及其构成因子^[20~21],这与本研究结果类似。采用40%控释氮肥与60%尿素配施可有效提高小麦产量,较单施尿素的T1和单施控释氮肥的T6处理两年平均增产609.04和392.15 kg/hm²,且施氮处理不同程度改善了作物产量构成因子,以T4处理综合效果较佳,其原因可能是恰当的配比施肥优化了小麦生育期内土壤氮素供应特征^[22],匹配小麦需氮规律,进而保证了小麦的良好生长发育,促进小麦增产。研究表明,增大旗叶面积能有效提高小麦产量^[23],倒二叶与顶二叶叶面积与小麦籽粒产量呈显著正相关^[24]。本试验中,T4处理小麦旗叶、倒二叶及顶二叶面积均最大,表明该处理的小麦生长较优,具有较强的能量转运潜力。控释氮肥成本较高^[25],降低了净利润,限制了配施80%~100%控释氮肥处理的

推广应用。新增纯收益率和边际成本效益作为经济上有力的定量指标能有效指示作物经济效益^[16]。本研究中,这两项指标均在配施20%~40%控释氮肥处理上表现出优势,净利润较单施尿素的T1处理提高797.77~1 108.12元/hm²(2014年)和218.88~773.64元/hm²(2015年)。

小麦对氮素的吸收、累积、分配与小麦产量和氮素利用率有密切关系^[26]。氮素累积是作物生长的前提保证^[27],冬小麦前期生长缓慢,地上部氮素累积量较少,且受低温的影响,控释氮肥氮素释放缓慢^[28]。本研究中,分蘖期小麦地上部氮素累积量随控释氮肥施用比例的升高而逐渐下降;拔节期后小麦生长迅速,氮素累积量增大,T4处理小麦地上部氮素累积量优于其余处理;成熟期T4处理氮素累积较T1处理和T6处理显著提高。其可能原因是T4处理通过前期的尿素供氮保证了小麦的健康生长,中后期控释氮肥持续供氮,使小麦整个生育期氮素供应充足且持续^[29],从而保证小麦生长状况良好,促进了中后期植株氮素累积。小麦成熟期氮素

累积量表现为籽粒明显高于秸秆,且施氮可有效提高小麦氮素利用率,这与前人的研究结果一致^[30]。本试验中,T4 处理籽粒氮素累积量最多,较其余施氮处理增加 4.09%~25.56%,有利于小麦的攻穗结实,促进小麦增产。多项研究表明,施加控释氮肥对氮素利用率有积极影响^[2,12,31],将尿素与控释氮肥合理配施,能有效调节作物生育期内的供氮状况,匹配作物的需氮规律,进一步提高氮素利用率^[23,32]。本试验中,施加 20% 及以上控释氮肥的处理较单施尿素的 T1 处理能有效提高氮肥偏生产力、氮肥农学利用率、氮素吸收效率、氮肥表现利用率为降低土壤氮依存率,其中以 T4 处理影响最优,T3 处理次之。这可能是由于配施控释氮肥比例低于 20% 的处理中,尿素所占比例较高,前期大量的氮素供应不仅可能造成小麦无效分蘖增多,还可能导致后期供氮不足,作物生长不良;而配施控释氮肥比例高于 40% 处理中,控释氮肥施用量过高,前期供氮量低,后期可能出现贪青晚熟现象^[11],导致作物产量降低。同时,也有少量学者针对小麦控释氮肥与尿素配施的最佳比例进行了研究,李伟等^[32]提出配施 50% 控释氮肥为小麦最佳配比,王弘菲等^[22]研究认为控释氮肥与尿素按质量比 2:1 配施效果较佳。各研究结果的差异可能与控释氮肥类别、施氮量、土壤状况、水热条件等因素有关,故实际生产中应紧密结合当地具体情况进行合理配施。

前人对多种作物的相关研究表明,施加控释氮肥较常规处理能有效提高作物生育中后期土壤的氮素含量,且随着控释氮肥配施比例的增加作用效果更明显^[33-35],这与本研究结果基本一致。本试验中,配施 20% 以上控释氮肥的处理较单施尿素处理能有效增加小麦收获后的氮素养分,其中硝态氮、微生物量氮、碱解氮和全氮含量在两季小麦收获后均增长显著,平均提高 12.10~27.90 mg/kg、11.09~12.86 mg/kg、18.86~24.45 mg/kg 和 0.07~0.08 g/kg,可为下季作物提供潜在氮素补充。然而配施 80% 及以上控释氮肥处理的小麦产量及氮素利用率明显低于 T4 处理,这表明控释氮肥配施比例为 80%~100% 的处理氮素供应特征与小麦全生育期需氮规律不匹配,致使氮素向小麦穗部的积累转运量较少,氮素利用率相对较低,且收获期残留氮素相对较高,氮肥的整体利用率低下,可能增加养分淋失风险。

4 结 论

2014 和 2015 年的田间试验结果表明,控释氮

肥与尿素合理配施能有效提高小麦产量、经济效益和氮素利用率。本试验条件下,尿素配施 20%~40% 控释氮肥处理能通过合理调节氮素释放速率,促进小麦关键生育时期旗叶发育与氮素积累,提高氮素向籽粒部分的转运分配,小麦产量和氮素利用率综合效果较佳,同时能有效提高经济效益,故在成都平原冬小麦生产上推荐控释氮肥配施比例为 20%~40%。

[参考文献]

- [1] 赵俊峰,于振文.不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响 [J].生态学报,2006,26(3):815-822.
- [2] Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen rate on nitrogen fertilizer use of winter wheat and content of soil nitrate-N under different fertility condition [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 815-822.
- [3] 翟彩霞,吴欢欢,王丽英,等.变性淀粉包裹型缓释尿素对冬小麦生长发育及氮素农学效率的影响 [J].华北农学报,2011,26(2):175-179.
- [4] Qu C X, Wu H H, Wang L Y, et al. Effects of modified starch coated and slow released urea on growth and nitrogen agronomic efficiency winter wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2011, 26(2): 175-179.
- [5] 周苏政,张珂珂,张 媚,等.减氮适墒提高冬小麦旗叶光合潜力和籽粒产量 [J].作物学报,2016,42(11):1677-1688.
- [6] Zhou S M, Zhang K K, Zhang M, et al. Nitrogen-reducing and suitable soil moisture enhance photosynthetic potential of flag leaf and grain yield in winter wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2016, 42(11): 1677-1688.
- [7] 王文岩,董文旭,陈素英,等.连续施用控释肥对小麦/玉米农田氮素平衡与利用率的影响 [J].农业工程学报,2016,32(S2):135-141.
- [8] Wang W Y, Dong W X, Chen S Y, et al. Effect of continuously applying controlled-release fertilizers on nitrogen balance and utilization in winter wheat-summer maize cropping system [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(S2): 135-141.
- [9] Dhadli H S, Brar B S, Black T A. N₂O emissions in a long-term soil fertility experiment under maize-wheat cropping system in Northern India [J]. Geoderma Regional, 2016, 7(2): 102-109.
- [10] Zaman M, Blennerhassett J D. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 136(3/4): 236-246.
- [11] 樊小林,刘 芳,廖照源,等.我国控释肥料研究的现状和展望 [J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):463-473.
- [12] Fan X L, Liu F, Liao Z Y, et al. The status and outlook for the study of controlled-release fertilizers in China [J]. Plant Nutri-

- tion and Fertilizer Science, 2009, 15(2): 463-473.
- [8] 张夫道, 王玉军. 我国缓/控释肥料的现状和发展方向 [J]. 中国土壤与肥料, 2008(4): 1-4.
Zhang F D, Wang Y J. Current situation and development trend of slow/controlled-release fertilizer in China [J]. Soil and Fertilizers Science in China, 2008(4): 1-4.
- [9] Ni X Y, Wu Y J, Wu Z Y, et al. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism [J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(3): 274-282.
- [10] 李敏, 郭熙盛, 叶舒娅, 等. 硫膜和树脂膜控释尿素对水稻产量、光合特性及氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 808-815.
Li M, Guo X S, Ye S Y, et al. Effects of sulfur-and polymer-coated controlled release urea on yield, photosynthetic characteristics and nitrogen fertilizer efficiency of rice [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(4): 808-815.
- [11] 张敬昇, 李冰, 王昌全, 等. 控释配施氮肥对稻麦作物生长和产量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28(8): 1287-1296.
Zhang J S, Li B, Wang C Q, et al. Effects of controlled release blend bulk urea on growth characteristics and yield of wheat-rice [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(8): 1287-1296.
- [12] 马富亮, 宋付朋, 高杨, 等. 硫膜和树脂膜控释尿素对小麦产量、品质及氮素利用率的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 67-72.
Ma F L, Song F P, Gao Y, et al. Effects of sulfur-and polymer-coated controlled release urea fertilizers on wheat yield and quality and fertilizer nitrogen use efficiency [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(1): 67-72.
- [13] 许仙菊, 马洪波, 宁运旺, 等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 307-316.
Xu X J, Ma H B, Nong Y W, et al. Effects of slow-released nitrogen fertilizers with different application patterns on crop yields and nitrogen fertilizer use efficiency in rice-wheat rotation system [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2016, 22(2): 307-316.
- [14] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [15] 黄懿梅, 安韶山, 曲东, 等. 两种测定土壤微生物量氮方法的比较初探 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 830-835.
Huang Y M, An S S, Qu D, et al. Comparison between two methods of determinationsoil microbial biomass nitrogen [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(6): 830-835.
- [16] 袁从, 赵强基, 郑建初, 等. 农业技术的综合评价指标初探 [J]. 农村生态环境, 1995, 11(1): 44-47, 55.
Yuan C, Zhao Q J, Zheng J C, et al. An approach to the comprehensive evaluation criteria of agricultural technology [J]. Rural Eco-Environment, 1995, 11(1): 44-47, 55.
- [17] 李学军, 李立群, 张瑞轩, 等. 高产优质小麦新品种西农 979 叶面积、叶绿素含量及干物质积累的特点 [J]. 麦类作物学报, 2008, 28(6): 1054-1057.
Li X J, Li L Q, Zhang R X, et al. Leaf area, chlorophyll and dry matter accumulation of wheat Xinong 979 [J]. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(6): 1054-1057.
- [18] 龚月桦, 高俊凤, 杜伟莉. K型杂交小麦 901 及其亲本源叶灌浆期的生理特性 [J]. 作物学报, 2003, 29(1): 138-144.
Gong Y H, Gao J F, Du W L. Physiological characteristic of source leaf in filling stage of k-type hybrid wheat 901 and its parents [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(1): 138-144.
- [19] 王寅, 冯国忠, 张天山, 等. 基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 [J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1153-1165.
Wang Y, Feng G Z, Zhang T S, et al. Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit [J]. Actapedologica Sinica, 2015, 52(5): 1153-1165.
- [20] 郑沛, 宋付朋, 马富亮. 硫膜与树脂膜控释尿素对小麦不同生育时期土壤氮素的调控及其产量效应 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 122-127.
Zheng P, Song F P, Ma F L. Influence of controlled release urea coated by sulfur and polymer on soil nitrogen in different growth stages of wheat [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(4): 122-127.
- [21] 李敏, 郭熙盛, 叶舒娅, 等. 树脂膜控释尿素及普通尿素配施对强筋小麦产量、品质和氮肥利用率的影响 [J]. 麦类作物学报, 2013, 33(2): 339-342.
Li M, Guo X S, Ye S Y, et al. Effects of combined application of polymer-coated controlled release urea and common urea on yield, quality and fertilizer nitrogen use efficiency of strong gluten wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2013, 33(2): 339-342.
- [22] 王弘菲, 高志岭, 陈新平, 等. 不同控释尿素与普通尿素配比对冬小麦茎蘖、产量、土壤硝态氮和氮素平衡的影响 [J]. 华北农学报, 2012, 27(2): 196-201.
Wang H F, Gao Z L, Chen X P, et al. Effects of the combined application of control-released urea and urea on tillers, yield, soil NO₃-N and nitrogen balance of winter wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012, 27(2): 196-201.
- [23] 傅兆麟, 马宝珍, 王光杰, 等. 小麦旗叶与穗粒重关系的研究 [J]. 麦类作物学报, 2001, 21(1): 92-94.
Fu Z L, Ma B Z, Wang G J, et al. Relationship between the flag leaf and the grain weight per spike in wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2001, 21(1): 92-94.
- [24] 王志伟, 乔祥梅, 程加省, 等. 不同小麦品种叶面积、叶绿素相对质量分数、根系性状及产量的研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016(8): 10-15.
Wang Z W, Qiao X M, Cheng J S, et al. Study on leaf area, relative chlorophyll contents, root traits and yields among the different tapes of wheat varieties [J]. Journal of Southwest University(Natural Science Edition), 2016(8): 10-15.

- [25] Alva A K, Paramasivam S, Obreza T A, et al. Nitrogen best management practice for citrus trees: I. fruit yield, quality, and leaf nutritional status [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 107:233-244.
- [26] 王春阳,周建斌,郑险峰,等.不同栽培模式及施氮量对半旱地冬小麦氮素累积及分配的影响 [J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(1):101-108.
Wang C Y, Zhou J B, Zheng X F, et al. Effects of different cultivation methods and nitrogen fertilizer application on nitrogen accumulation and distribution in winter wheat on semi-dryland farming [J]. *Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition)*, 2008, 36(1):101-108.
- [27] 郑剑超,闫曼曼,张巨松,等.遮荫条件下氮肥运筹对棉花生长和氮素积累的影响 [J].植物营养与肥料学报,2016,22(1):94-103.
Zheng J C, Yan M M, Zhang J S, et al. Effects of nitrogen application on growth and nitrogen accumulation of cotton under shading condition [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(1):94-103.
- [28] Geng J B, Sun Y B, Zhang M, et al. Long-term effects of controlled release urea application on crop yields and soil fertility under rice-oilseed rape rotation system [J]. *Field Crops Research*, 2015, 184:65-73.
- [29] 张敬昇,李冰,王昌全,等.不同控氮比配施肥对土壤无机氮与脲酶及冬小麦产量的影响 [J].干旱地区农业研究,2016,34(4):159-164.
Zhang J S, Li B, Wang C Q, et al. Effects of bulk blend fertilizers with different controlled nitrogen ratios on the soil inorganic nitrogen, urease and winter wheat yield [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(4):159-164.
- [30] 王美,赵广才,石书兵,等.施氮及花后土壤相对含水量对黑粒小麦灌浆期氮素吸收转运及分配的影响 [J].中国生态农业学报,2016,24(7):864-873.
Wang M, Zhao G C, Shi S B, et al. Effect of nitrogen fertilization and soil relative water content after anthesis on nitrogen absorption and translocation of black wheat [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(7):864-873.
- [31] 袁亮,赵秉强,林治安,等.增值尿素对小麦产量、氮肥利用率及肥料氮在土壤剖面中分布的影响 [J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):620-628.
Yuan L, Zhao B Q, Lin Z A, et al. Effects of value-added urea on wheat yield and N use efficiency and the distribution of residual N in soil profiles [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(3):620-628.
- [32] 李伟,李絮花,董静,等.冬小麦控释尿素与普通尿素的最佳配比研究 [J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):629-635.
Li W, Li X H, Dong J, et al. The appropriate mixing ratio of control-released urea and common urea in winter wheat production [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(3):629-635.
- [33] 冯爱青,张民,李成亮,等.控释氮肥对土壤酶活性与土壤养分利用的影响 [J].水土保持学报,2014,28(3):177-184.
Feng A Q, Zhang M, Li C L, et al. Effects of controlled release nitrogen fertilizer on soil enzyme activities and soil nutrient utilization [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(3):177-184.
- [34] 唐拴虎,郑惠典,张发宝,等.控释肥料养分释放规律及对水稻生长发育效应的研究 [J].华南农业大学学报,2003,24(4):9-12.
Tang S H, Zheng H D, Zhang F B, et al. Nutrient release of controlled-release fertilizer and its effects on rice growth and development [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2003, 24(4):9-12.
- [35] 卫丽,马超,黄晓书,等.控释肥对土壤全氮含量及夏玉米产量品质的影响 [J].水土保持学报,2009,23(4):176-179.
Wei L, Ma C, Huang X S, et al. Effects of controlled-release nitrogen fertilizer on total N of soil and yield and quality of summer maize [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(4):176-179.