

控释氮肥全量基施对宁夏引黄灌区水稻氮素 利用效率和淋失的影响

刘汝亮¹, 王芳¹, 张爱平², 李友宏¹, 洪瑜¹, 杨世琦², 杨正礼²

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002;

2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业清洁流域创新团队, 北京 100081)

摘要: 利用田间小区试验研究了控释氮肥全量基施对宁夏水稻产量、氮素利用效率和淋洗损失的影响, 为控释氮肥全量基施技术在宁夏引黄灌区应用提供技术依据。以“宁粳 50 号”水稻品种为研究对象, 以不施氮肥(CK)为对照, 参考农民常规施肥(FP)施氮量, 设置了 4 个控释氮肥减量施用处理: 控释氮肥 135 kg/hm²(C-135)、控释氮肥 180 kg/hm²(C-180)、控释氮肥 225 kg/hm²(C-225)和控释氮肥 270 kg/hm²(C-270)。对水稻产量、氮素吸收和利用效率、水稻生育期不同深度淋溶水浓度和淋失量进行测定和分析。结果表明: C-180 处理和 C-225 处理在氮肥用量分别降低了 25% 和 40% 的条件下, 水稻籽粒产量没有降低, 原因在于提高了水稻的有效穗数和穗粒数。与 FP 比较, 控释氮肥施氮量控制在 270 kg/hm² 以下时, 控释氮肥全量施用各处理氮肥利用率显著提高, C-135、C-180、C-225 处理氮肥利用率分别比 FP 处理提高了 10.22、11.10、12.75 个百分点。控释氮肥各处理水稻生育期内田面水和不同土体深度淋溶水中的 TN 浓度均低于 FP 处理, 且延迟了田面水中 TN 浓度峰值出现的时间, 减少了因稻田排水和径流导致的氮素损失。FP 处理全生育期氮素淋洗损失总量为 24.57 kg/hm², 控释氮肥各处理氮素淋洗损失总量在 11.54~17.35 kg/hm², 其中 C-180、C-225 处理总氮淋失量分别比常规施肥降低了 46.17% 和 49.40%。综合考虑水稻产量和氮素损失因素, 宁夏水稻控释氮肥全量基施适宜施氮量在 180~225 kg/hm²。

关键词: 水稻; 控释氮肥; 引黄灌区; 产量; 氮素损失

中图分类号: S143.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0251-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.05.037

Effects of Application of Controlled-release Nitrogen Fertilizer on Nitrogen Use Efficiency and Leaching of Rice in Ningxia Yellow River Irrigation Area

LIU Ruliang¹, WANG Fang¹, ZHANG Aiping², LI Youhong¹,

HONG Yu¹, YANG Shiqi², YANG Zhengli²

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agro-forestry Science,

Yinchuan 750002; 2. China Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, China

Academy of Agricultural Science, Agricultural Clean Watershed Innovation Team, Beijing 100081)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of controlled-release nitrogen fertilizer (CRNF) application on rice yield, nitrogen use efficiency and leaching loss in Ningxia, to provide technical basis for the application of CRNF in the Yellow River irrigation area. Using Ningjing No.50 rice variety as the research object, with no nitrogen fertilizer (CK) as control, according to the local farmers conventional nitrogen application rate (FP), four controlled release nitrogen fertilizer reduction treatments were set up: CRNF 135 kg/hm²(C-135), CRNF 180 kg/hm²(C-180), CRNF 225 kg/hm²(C-225) and CRNF 270 kg/hm²(C-270). The rice yield, nitrogen uptake and use efficiency, and the concentration of leachate at different soil depth and different rice growth stages were measured. Results showed that the rice grain yields under C-180 and C-225 treatments were not reduced under the reduced nitrogen fertilizer application by 25% and 40%, respectively. That was because the effective panicle number and kernel number of rice were increased. Compared with FP treatment, the nitrogen use efficiencies of CRNF were significantly increased when the nitrogen application rates were below 270 kg/hm², which were 10.22%, 11.10%, and 12.75% higher than FP

收稿日期: 2019-04-10

资助项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200204-5, 2017YFD0200107); 国家自然科学基金项目(31660597, 41401134); 宁夏科技厅农业重点研发专项(2019BBF02026, 2019 BBF02007); 宁夏农林科学院全产业链和对外合作项目(DW-X-2018008)

第一作者: 刘汝亮(1982—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事新型肥料和面源污染防控研究。E-mail: ruliang_liu@126.com

通信作者: 张爱平(1980—), 女, 博士, 副研究员, 主要从事流域清洁生产研究。E-mail: apzhang0601@126.com

under C-135, C-180 and C-225 treatments, respectively. The concentrations of total nitrogen (TN) in the surface water and the leachate at different soil depth during the growth period of rice under CRNF were lower than those of FP, and delayed the peak time of TN concentration in the surface water, which reduced the nitrogen loss caused by rice field drainage and runoff. The total nitrogen leaching loss during the whole growth period of FP was 24.57 kg/hm², and the corresponding values were between 11.54 kg/hm² to 17.35 kg/hm² under CRNF treatments. The total nitrogen leaching loss was reduced by 46.17% and 49.40% under C-180 and C-225 treatments compared with FP. Considering rice yield and nitrogen loss, the reasonable CRNF application rate in Ningxia is between 180 kg/hm² to 225 kg/hm².

Keywords: rice; controlled release nitrogen fertilizer; Yellow River irrigation area; yield; nitrogen loss

宁夏引黄灌区地处我国西北内陆干旱地区,自古以来依靠黄河自流灌溉,属于河套灌区的前套,已有 2 000 多年的灌溉历史,素有“塞上江南”的美誉^[1]。水稻作物是引黄灌区种植的主要粮食作物,因为黄河上游雪山融水中矿物质含量高,水稻营养物质含量丰富,农业部正式批准对“宁夏大米”实施农产品地理标志登记保护。近年来,由于水稻种植户盲目追求提高产量,化肥尤其是氮肥过量施用现象严重^[2],引黄灌区的土壤类型为人为耕作形成的灌淤土,土壤保肥保水能力较差^[3],因此由引黄灌溉导致的稻田氮素淋失严重^[4],引黄灌区独特的灌排体系,导致农田退水对浅层地下水和黄河水体造成威胁^[5]。控释氮肥作为一种新型肥料,合理施用可以提高作物养分利用效率^[6],降低氮素在稻田条件下通过径流、淋洗和气态途径的损失^[7],减少对农业环境造成的污染^[8]。近年来,国内外关于缓/控释肥料在水稻上的增产增效研究和不同类型控释肥料的释放特征方面已有大量研究^[9-11],Fujisawa 等^[12]利用¹⁵N 标记方法研究表明,控释氮肥释放速率与水稻养分吸收规律较一致,提出精准施肥措施有利于提高水稻产量和氮肥利用率。课题组前期研究^[13]结果也表明,采用速效氮肥和控释氮肥配比以及缓释肥料侧条施用技术均可以有效降低肥料用量,同时显著提高肥料利用率^[14]。目前,国内关于稻田氮素管理措施的研究多以常规尿素为氮源,研究不同施肥时期和施肥量对水稻氮素吸收和累积规律的影响,对养分转化和运移主要集中在水稻吸收量和利用效率方面^[15-16]。有关水稻养分吸收规律和养分释放速率,氮素养分在土体中的转化和淋溶水间的运移研究较少。本研究利用施肥机械将控释氮肥作为基肥在水稻插秧时一次施入,通过分析控释氮肥在田间的释放速率,氮素释放对稻田田面水、不同深度淋溶水体氮素浓度的影响,并与常规施肥模式比较,研究控释氮肥在土壤中的释放特征与水稻氮素吸收的关系,为引黄灌区水稻氮肥合理施用和减施增效提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间小区试验于 2017 年 4—10 月在位于宁夏引黄

灌区核心区的永宁县望洪镇增岗村裕稻丰生态农业科技有限公司种植基地进行,该区是典型的大陆性干旱气候,但因有灌溉反而成为有利水稻生产的有利因素。年日照时间 2 868~3 060 h,年平均气温 8.5~9.2℃,≥10℃积温在 2 900~3 400℃。无霜期稻区为 143~160 d,年降水量平均在 200 mm,降水少且分配不均,7,8,9 月 3 个月降水量占全年的 60%~70%以上,整个水稻生长季节降水在 180 mm 左右,年蒸发量稻区在 1 600~2 000 mm。供试土壤耕层(0—20 cm) pH 为 8.21,容重为 1.43 g/cm³,有机质含量为 13.26 g/kg,全氮含量为 1.17 g/kg,速效氮含量为 82.30 mg/kg,速效磷含量为 26.31 mg/kg,速效钾含量为 167.44 mg/kg,供试水稻品种为“宁粳 50 号”,生育期 148 d。

1.2 试验设计

试验共设计 6 个处理,分别为:(1)CK(不施用氮肥);(2)FP(农民常规施肥处理);(3)C-135(控释氮肥 N 用量 135 kg/hm² 全量基施);(4)C-180(控释氮肥 N 量 180 kg/hm² 全量基施);(5)C-225(控释氮肥 N 用量 225 kg/hm² 全量基施);(6)C-270(控释氮肥 N 用量 270 kg/hm² 全量基施)(表 1)。控释氮肥由山东烟台农资金太阳肥业公司提供,全氮含量为 44%。全部磷钾肥料在整田时做基肥施入,其中磷肥用重过磷酸钙(P₂O₅ 含量为 46%),钾肥用氯化钾(K₂O 含量为 60%),控释氮肥在水稻插秧时用插秧机上自带的施肥装置作为基肥一次施入。农民常规处理 60%的氮素肥料在整地时基施,生育氮肥分别在水稻分蘖期和孕穗期平均分成 2 份做追肥施入。

水稻插秧株行距为 12 cm×30 cm,小区面积为 7.2 m×15 m=108 m²,各处理重复 3 次,随机区组排列。各小区之间田埂在试验开始前用塑料棚膜隔离,塑料棚膜埋深 60 cm,防止各小区之间串水串肥,各小区均设置有单独的灌水口和排水口,水稻生育期间单排单灌。各处理生育期间田间除草和农事管理均按照常规处理进行。

1.3 样品采集和数据分析

在各小区分别埋植课题组自行设计的稻田淋溶水取样装置^[17],采集 20,60,100 cm 深度的淋溶水,同时用注射器随机采集中上层 3 个点位的田面水混

合。田面水和淋溶水的采样时间为水稻移栽和施肥后的第 2 天和第 8 天,其余采样时间按照水稻关键生育期进行。水稻收获时每小区采集 1 m²的水稻植株

样品,在 70 ℃杀青 20 min 以后,105 ℃烘干至恒重,用于测定植株和籽粒中全氮含量,计算水稻的秸秆生物量、籽粒产量和氮素养分利用率。

表 1 田间试验设计

处理	N/ (kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)	K ₂ O/ (kg·hm ⁻²)	肥料施用方法	
				氮肥	磷钾肥
CK	0	90	90	60%基施,20%分蘖肥,20%孕穗肥	基施
FP	300	90	90		基施
C-135	135	90	90		基施
C-180	180	90	90		基施
C-225	225	90	90		基施
C-270	270	90	90	全量基施	基施

植株全氮用凯氏定氮法^[18]测定,水样中总氮用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法^[19]测定。

氮素渗漏量计算公式^[6]为:

$$P=\sum_{i=1}^nC_i\times V_i$$

式中:P 为氮素淋失量(kg/hm²);C_i 为第 i 次淋溶水中氮的浓度(mg/L);V_i 为第 i 次淋溶水的体积(m³/hm²)。

氮素利用率=(施肥处理吸氮量-对照吸氮量)/施氮量^[6]。

数据处理采用 Excel 和 SAS 8.0 软件,方差分析用 Duncan 新复极差法检验。

2 结果与分析

2.1 控释氮肥全量基施对水稻产量及构成因素的影响

施肥尤其是氮肥是作物获得高产的基础^[4],从表 2 可以看出,与 CK 处理比较氮肥的施用显著提高了

水稻的产量,各施肥处理水稻产量增产率在 60.84%~84.20%,施肥处理间水稻产量最高的是 C-225 处理,其次是 FP 处理,但各处理间差异不显著。与 FP 处理比较,C-180 处理和 C-225 处理在氮肥用量分别降低了 25%和 40%的条件下,水稻子粒产量并没有降低,C-270 处理由于水稻后期营养生长过旺,在水稻收获前出现了倒伏,因此导致水稻产量降低。可见,在宁夏引黄灌区采用控释氮肥全量基施技术,施氮量在 185~225 kg/hm²,水稻产量可以保持稳定,当控释氮肥过低(135 kg/hm²以下)或者过高(270 kg/hm²以上)时,都会造成水稻减产。

对水稻产量构成因素进行分析,C-180 处理和 C-225 处理保障了水稻的有效穗数与 FP 处理比较没有降低,而控释氮肥后期缓慢释放显著提高了穗粒数,所以在氮肥投入降低的条件下水稻子粒产量没有降低。

表 2 控释氮肥全量基施对水稻产量及构成因素的影响

处理	子粒产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/ %	株高/ cm	穗数/ (个·m ⁻²)	穗粒数/ 个	千粒重/ g
CK	5637a		86.97a	20.30a	149.50a	26.04a
FP	10197c	80.89	94.50b	23.33b	186.93b	24.12a
C-135	9333b	65.57	92.27b	19.27a	155.70a	26.96a
C-180	9990c	77.22	95.03b	26.30b	194.10b	26.40a
C-225	10383c	84.20	92.17b	24.13b	199.47b	26.48a
C-270	9067b	60.84	99.93c	19.17a	153.30a	24.56a

注:同列小写不同字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。下同。

2.2 控释氮肥全量基施对水稻氮素吸收和氮肥利用效率的影响

控释氮肥由于释放速率缓慢,满足了水稻生育后期对氮素养分的吸收收用,有利于养分在植株和籽粒内累积^[7],从而增加植株对氮素的吸收量,提高氮肥利用率,因此施用控释氮肥可以作为一种防控农业面源污染的有效途径^[4]。虽然施氮量与常规施肥比较有不同程度的降低,但水稻吸氮量只有 C-135 处理显著低于 FP 处理,C-225处理总吸氮量最高,比 FP 处理提高了 10.38%。用差减法^[4]计算了不同处理对

水稻氮肥利用效率的影响,与 FP 处理比较,控释氮肥施氮量控制在 270 kg/hm²以下时,均显著提高了氮肥利用率。C-135、C-180、C-225 处理氮肥利用率在38.65%~41.18%,分别比 FP 处理提高了 10.22,11.10,12.75 个百分点,氮肥利用率高表现为 C-225>C-180>C-135>C-270 处理(表 3)。

2.3 控释氮肥全量基施对不同土层深度淋溶水总氮浓度的影响

由图 1 可知,FP 处理由于氮源为尿素,且 60%作为基肥施入,在水稻移栽后第 2 天田面水中的 TN 浓度即达到最大值 6.63 mg/L,显著高于其他处理,

控释氮肥各处理总体表现为田面水中的 TN 浓度随着施氮量的增加而升高,但 TN 浓度显著低于 FP 处理,变化幅度在 1.64~3.66 mg/L,CK 处理的田面水 TN 浓度最低,仅为 0.35 mg/L。FP 处理在分蘖期(6 月 10 日)追肥 1 次,在水稻生育前期(7 月 4 日前)田面水中的 TN 浓度一直高于其他处理,直到 7 月初水稻拔节连续 1 周的晒田增加了土壤中氮素的矿化,C-225 处理和 C-270 处理田面水中的 TN 浓度才超过 FP 处理。8 月进入水稻灌浆期以后,各施肥处理间田面水中 N 浓度差异不显著。控释氮肥全量基

施有效降低了水稻生育前期田面水中 TN 浓度,减少了因为稻田排水和径流导致的氮素损失。

表 3 控释氮肥全量基施对水稻氮素吸收和利用率的影响				
处理	秸秆吸氮量/ (kg·hm ⁻²)	籽粒吸氮量/ (kg·hm ⁻²)	总吸氮量/ (kg·hm ⁻²)	氮肥 利用率/%
CK	21.63	54.84	76.47a	
FP	37.33	115.89	153.23c	28.43a
C-135	32.66	95.99	128.64b	38.65b
C-180	41.92	105.71	147.63bc	39.53b
C-225	59.82	109.31	169.13c	41.18b
C-270	52.48	104.66	157.14c	29.87a

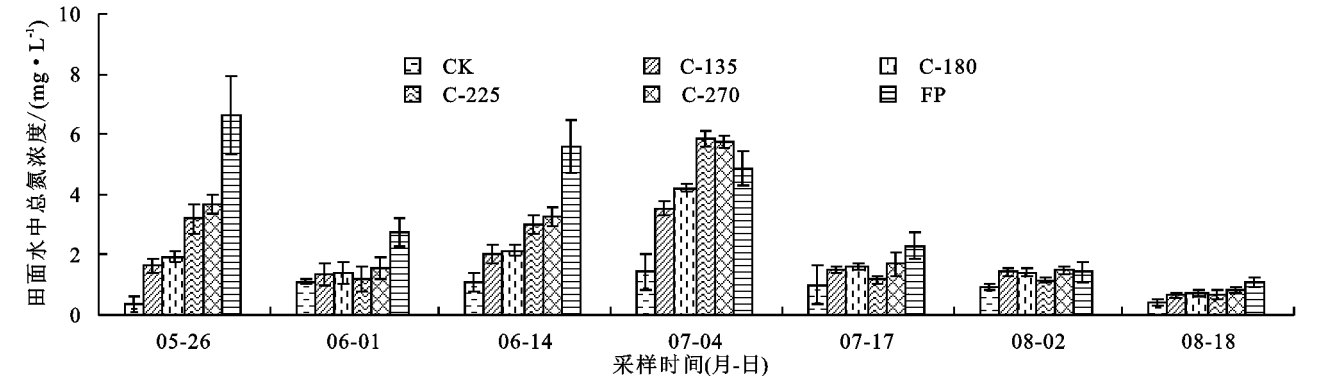


图 1 控释氮肥全量基施对田面水总氮浓度的影响

浅层淋溶水采集的为 0~20 cm 深度的淋溶水样,采样深度跟施肥深度高度吻合,因此浅层淋溶水中的 TN 浓度跟氮肥施用量有着显著的正相关关系,尤其是在水稻生育前期。FP 处理水稻移栽后第 2 天达到最高,为 25.56 mg/L,由于前期分蘖期和拔节期连续 2 次追肥,浅层淋溶水中的 TN 浓度在 7 月之前

一直维持在较高水平,之后随着生育期的延长逐渐降低(图 2)。各控释氮肥处理在水稻移栽 1 周后浅层淋溶水中 TN 浓度达到最大值,在 7.38~16.63 mg/L,之后逐渐减低,且全生育期均低于 FP 处理。CK 处理浅层淋溶水中 TN 浓度一直维持在最低水平,全生育前浓度在 4.47 mg/L 以下。

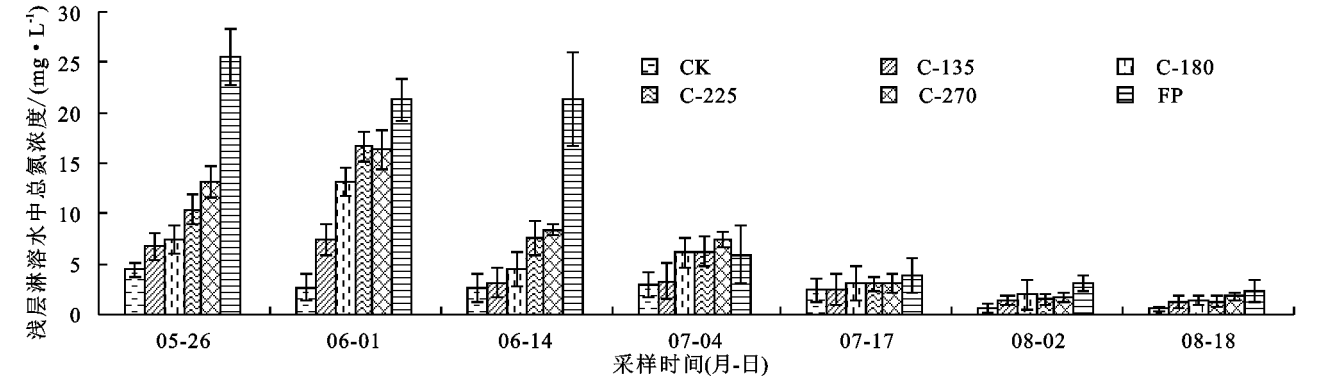


图 2 控释氮肥全量基施对浅层(20 cm)淋溶水总氮浓度的影响

与浅层淋溶水中的 TN 浓度变化特征比较,深层土体中(60 cm)TN 浓度变化较为平缓,各施肥处理表现为随着水稻生育期的延长,深层淋溶水中的 TN 浓度呈现出先缓慢升高然后逐渐降低的过程。FP 处理由于生育期内有 2 次追肥,因此深层淋溶水中 TN 浓度峰值出现在水稻移栽 40 天后,最大值达到 16.32 mg/L,远高于同期 C-270 处理 6.47 mg/L 的水平。控释氮肥各处理由于前期氮素释放较慢,因此深层淋溶水中 TN 浓度峰值出现时间较晚,出现在水稻移栽后约 50 天,变化范围在 4.39~8.82 mg/L,远低于 FP

处理,显著降低了氮素向深层水体的淋洗(图 3)。

2.4 控释氮肥全量基施对氮素淋洗损失的影响
利用 100 cm 层次淋溶水中的 TN 浓度计算了稻田全生育期的氮素淋洗损失量。CK 处理因为全生育期没有氮肥施入,氮源主要途径为灌溉和干湿沉降带入^[5],因此全生育期氮素淋洗损失仅有 7.85 kg/hm²,FP 处理由于过量施用氮肥,且氮源为速效氮肥,水稻生育前期极易造成氮素的淋洗损失,全生育期氮素淋洗损失总量为 24.57 kg/hm²,显著高于其他处理(图 4)。控释氮肥各处理的氮素淋洗损失

总量在 11.54~17.35 kg/hm²,淋失量与施氮量呈正相关关系(图 5),随着施氮量的提高逐渐增加。如果以各施肥处理的 TN 淋失量与 CK 处理的 TN 淋失量差值作为氮肥净淋失量,则 FP 处理净淋失量为 16.72 kg/hm²,占氮肥施用量的 5.57%;C-135、C-

180、C-225、C-270 处理的 TN 净淋失量分别为 3.69,6.90,8.46,9.50 kg/hm²,分别占控释氮肥施用量的 2.73%,3.83%,3.76%,3.52%,可见,采用控释氮肥作为氮源减少了 TN 淋洗损失的总量,降低了氮肥淋失比例的降低。

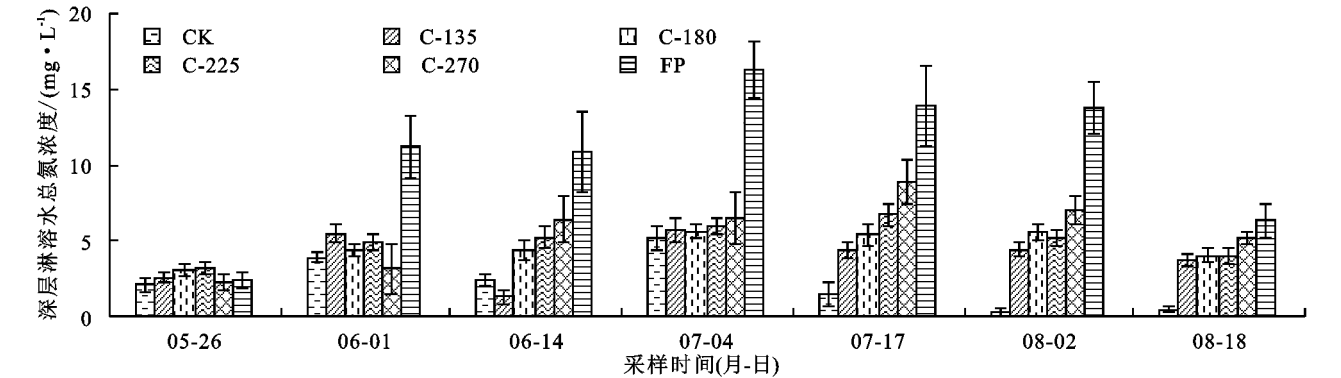


图 3 控释氮肥全量基施对深层(60 cm)淋溶水总氮浓度的影响

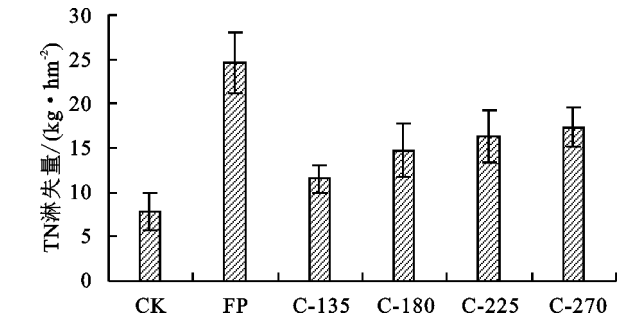


图 4 控释氮肥全量基施用对稻田总氮淋失量的影响

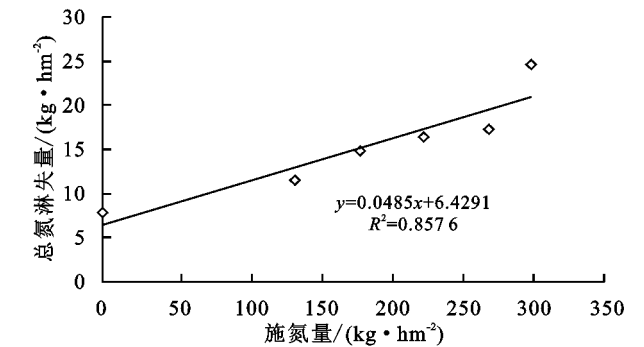


图 5 稻田施氮量与总氮淋失量的相关性

3 讨论

3.1 控释氮肥全量基施对水稻产量和氮肥利用效率的影响

水稻种植严重依赖化肥尤其是氮肥的施用,氮肥在水稻作物生产和获得高产方面发挥着重要的作用,合理施用氮肥可以显著促进水稻的生长、干物质积累和籽粒产量的提高^[13]。本研究表明,与常规施肥处理比较控释氮肥全量基施在氮肥用量降低了 25% 的条件下(225 kg/hm²),水稻籽粒产量并没有降低,当控释氮肥用量达到 270 kg/hm²时,水稻后期营养生长过旺,在水稻收获前出现了倒伏,因此导致水稻产量降低。课题组前期研究^[20]结果也表明,采用氮肥后移技术在氮肥用量减低 20% 的条件下,水稻籽粒产量没有降低。控释氮肥通过

延迟氮素的释放周期,在水稻生育后期持续的供应氮素养分,从而显著提高水稻籽粒产量。张爱平等^[4]研究表明,采用缓释肥料侧条施用技术,水稻氮素投入比农民常规施肥处理降低约 40%,水稻产量没有降低,穗粒数和千粒重比农民常规施肥处理增加 17.0% 和 16.6%。与尿素作为氮源相比,控释氮肥可不同程度地增加后期土壤氮素有效性,更好地协调全生育期氮素供应,有利于增加作物养分吸收,提高氮肥利用效率^[21]。本研究条件下由于控释氮肥全量基施,肥料可以在水稻根系附近形成一个高浓度贮肥库逐渐释放养分供作物吸收,保障了水稻生育后期养分的持续供应,降低氮肥投入并没有显著降低水稻对氮素的吸收量,各控释氮肥处理氮肥利用率在 38.65%~41.18%,分别比 FP 处理提高了 10.22~12.75 个百分点。也有研究^[22]表明,缓/控释肥料持续供应养分可以引发作物提高光合酶活性,有效协调植株各器官氮素动态过程,加速氮素在各器官中的转运,进而提高籽粒产量,促进了氮素吸收,从而提高了肥料利用率。

3.2 控释氮肥全量基施对稻田氮素淋失的影响

宁夏引黄灌区地处黄河上游,90% 以上的黄河引水用于农田灌溉,由于引黄灌区的土壤类型为人为长期耕作形成的灌淤土,土体结构疏松,保水保肥性较差^[2]。农户为了追求水稻高产过量施肥尤其是氮肥施用量过高,充足灌水的“源”加上过量施肥的“库”,导致稻田养分通过侧渗和径流进入排水沟,再排入黄河水体,对黄河上游水质安全造成较大的威胁^[3]。前期研究^[13]表明,宁夏引黄灌区稻田氮素损失率在 20%~65%,其中淋洗损失为主要的损失途径,且氮素的淋失主要发生在水稻生育前期,形态以 NO₃⁻-N 为主,占全氮流失量的 65% 左右。易军等^[16]研究表明,用尿素做氮源施入农田后迅速溶解,施肥 1~3 天内田面水中总氮浓度达到最高值,然后迅速降低,施肥后 10 天内

是氮素径流损失的关键时期。控释氮肥由于肥料自身释放缓慢的特性,可以显著降低田面水中总氮浓度,进而减少氮素随降雨或者农田排水径流损失的风险^[23]。本研究条件下,常规施肥处理在水稻移栽后第 2 天田面水中 TN 浓度迅速达到峰值,控释氮肥各处理田面水中 TN 浓度仅有常规施肥处理的 24.74%~55.20%,浅层淋溶水和深层淋溶水 TN 浓度也低于常规施肥处理,有效降低了氮素向深层淋失,并减少了氮素的淋失量,C-180、C-225 处理总氮淋失量分别比常规施肥降低了 46.17%和 49.40%。综合考虑水稻产量和氮素淋失因素,宁夏引黄灌区水稻种植控释氮肥减量施用 25%~40%是较合理的氮肥运筹模式。由于稻田氮素转化和损失受到多种条件的影响,且本试验仅为当年的研究结果,缺少连续长期减氮施肥的研究结果,关于控释氮肥全量施用对水稻生理特性和氮素在植株转运的研究还待深入。

4 结论

与 FP 处理比较,控释氮肥全量基施在氮素投入降低 25%和 40%的条件下,水稻籽粒产量并没有降低,控释氮肥处理显著提高了穗粒数,控释氮肥用量超过 225 kg/hm²时,后期营养生长过剩会造成水稻倒伏影响产量。控释氮肥均显著提高了氮肥利用率,C-135、C-180、C-225 处理氮肥利用率分别比 FP 处理提高了 10.22,11.10,12.75 个百分点。

控释氮肥各处理田面水中的 TN 浓度随着施氮量的增加而升高,但显著低于 FP 处理,浅层淋溶水和深层淋溶水 TN 浓度也低于常规施肥处理,有效降低了氮素向深层淋失,C-180、C-225 处理总氮淋失量比常规施肥降低了 46.17%和 49.40%。综合考虑水稻产量和氮素损失等因素,宁夏引黄灌区水稻种植中控释氮肥全量基施适宜的施氮量在 180~225 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 刘汝亮,张爱平,李友宏,等.长期配施有机肥对宁夏引黄灌区水稻产量、氮素利用率和氮素淋失的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(5):947-954.
- [2] 张爱平,刘汝亮,高霁,等.生物炭对灌淤土氮素流失及水稻产量的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(12):2395-2403.
- [3] 洪瑜,王芳,刘汝亮,等.长期配施有机肥对灌淤土春玉米产量及氮素利用的影响[J].水土保持学报,2017,31(2):248-253.
- [4] 张爱平,刘汝亮,杨世琦,等.基于缓释肥的侧条施肥技术对水稻产量和氮素流失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):555-562.
- [5] 刘汝亮,张爱平,李友宏,等.生物炭对引黄灌区水稻产量和氮素淋失的影响[J].水土保持学报,2016,30(2):209-213.
- [6] 刘汝亮,王芳,王开军,等.控释氮肥侧条施用对东北地

- 区水稻产量和氮肥损失的影响[J].水土保持学报,2018,32(2):252-256.
- [7] 蒋曦龙,陈宝成,张民,等.控释肥氮素释放与水稻氮素吸收相关性研究[J].水土保持学报,2014,28(1):215-220.
- [8] 廖佳元,宋海星,赵东生,等.油菜不同生长期稻田土壤无机氮形态及氮肥利用率对控释氮肥施用的响应[J].水土保持学报,2019,33(1):158-164.
- [9] Trinh T H, Kushaari K, Shuib A S, et al. Modelling the release of nitrogen from controlled release fertiliser: Constant and decay release [J]. Biosystems Engineering, 2015, 130:34-42.
- [10] Zhang S G, Shen T L, Yang Y C, et al. Controlled-release urea reduced nitrogen leaching and improved nitrogen use efficiency and yield of direct-seeded rice [J]. Journal of Environmental Management, 2018, 220:191-197.
- [11] Chen Y T, Peng J, Wang J, et al. Crop management based on multi-split topdressing enhances grain yield and nitrogen use efficiency in irrigated rice in China [J]. Field Crop Research, 2015, 184:50-57.
- [12] Fujisawa E, Kobayashi A, Hanyu T. A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods, 5: Effect of soil moisture level on release rates from resin-coated mixed fertilizer [J]. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1998, 69:582-89.
- [13] 张晴雯,张惠,易军,等.青铜峡灌区水稻田化肥氮去向研究[J].环境科学学报,2010,30(8):1707-1714.
- [14] 刘汝亮,李友宏,张爱平,等.育秧箱全量施肥对水稻产量和氮素流失的影响[J].应用生态学报,2012,23(7):1853-1860.
- [15] 张惠,杨正礼,罗良国,等.黄河上游灌区稻田 N₂O 排放特征[J].生态学报,2011,31(21):6606-6615.
- [16] 易军,张晴雯,王明.宁夏黄灌区灌淤土硝态氮运移规律研究[J].农业环境科学学报,2011,30(10):2046-2053.
- [17] 刘汝亮,赵天成,李友宏,等.土壤渗滤溶液提取装置:中国,ZL 2009 2 0222111.1[P].2010-08-18.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4 版.北京:中国环境科学出版社,2009.
- [20] 刘汝亮,李友宏,张爱平,等.氮肥后移对引黄灌区水稻产量和氮素淋溶损失的影响[J].水土保持学报,2012,30(2):16-20.
- [21] 刘德林,聂军.¹⁵N 标记水稻控释氮肥对提高氮素利用效率的研究[J].激光生物学报,2002,11(2):87-92.
- [22] Ke J, Xing X M, Li G H, et al. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammoniavolatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice [J]. Field Crop Research, 2017, 205:147-156.
- [23] 纪雄辉,郑圣先,鲁艳红,等.施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律[J].中国农业科学,2006,39(12):2521-2530.