

脲醛缓释肥不同配比对小麦生长及土壤氮素养分的影响

周华敏^{1,2}, 陈宝成^{1,2}, 王晓琪^{1,2}, 朱家辉^{1,2},

于南卓^{1,2}, 李峰³, 马宁³, 李成亮^{1,2}

(1. 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 3. 五洲丰农业科技有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 在黄淮海地区冬小麦中高产田采用小区试验, 以普通尿素基肥、普通尿素基肥加追肥作对比, 研究脲醛氮占总氮 30%, 40%, 50%, 60%, 70% 的不同脲醛缓释掺混肥在田间的氮素养分释放特征, 以及对土壤氮素养分、小麦产量、氮素利用率及经济效益的影响, 探明合理施用脲醛缓释肥最优氮素配比, 以达到增加产量、节约资源、增加经济效益的目的。结果表明: 脲醛掺混肥氮素释放量在小麦生育进程中呈现高低再高低的变化过程, 脲醛氮占总氮 40% 或 50% 最有利于土壤氮素供应, 脲醛氮所占比例过大或过小, 都不利于小麦整个生长期氮素供应。脲醛氮占总氮 40% 和 50% 的处理小麦穗数和穗粒数表现较好, 每公顷比普通施肥增产 11.36%~13.67%, 而脲醛氮占总氮 30%, 60% 和 70% 的处理增产效果不显著。与普通尿素基肥、基肥加追肥处理相比, 脲醛氮占总氮 40%, 50% 的处理氮素利用效率提高 24.80%~103.87%, 而脲醛氮占总氮 30%, 70% 的氮素利用率没有显著变化, 甚至会降低氮素利用率。脲醛氮占总氮 40%, 50% 的处理比普通施肥处理增收 1 350~1 591 元/hm²。综合考虑资源节约、增产效果及增收等因素, 建议在黄淮海地区冬小麦中高产田施肥管理中以脲醛氮占总氮 40%~50% 进行配比施用。

关键词: 脲醛缓释肥; 氮素配比; 氮素释放特性; 小麦; 氮素利用率; 增产率; 经济效益

中图分类号: S146⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)01-0179-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.01.030

Effect of Different Proportions of Urea Formaldehyde Slow-release Nitrogen Fertilizer on Wheat Growth and Soil Nitrogen Nutrients

ZHOU Huamin^{1,2}, CHEN Baocheng^{1,2}, WANG Xiaoqi^{1,2}, ZHU Jiahui^{1,2},

YU Nanzhuo^{1,2}, LI Feng³, MA Ning³, LI Chengliang^{1,2}

(1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an, Shandong 271018;

2. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018;

3. Worldful Agricultural Science and Technology Company, Ltd., Yantai, Shandong, 264000)

Abstract: To ascertain the optimal urea-formaldehyde slow-release nitrogen (UFN) fertilization ratio, a wheat field experiment was conducted to study the effect of UFN on soil nutrients, grain production, nitrogen-use efficiency, and economic income in Huanghuaihai Plain. UFN treatments were set as five ratios with 30%, 40%, 50%, 60%, and 70% of total nitrogen fertilizer, abbreviated as UFN₃₀, UFN₄₀, UFN₅₀, UFN₆₀, and UFN₇₀. The results were as follows, the trends for nitrogen release during the crop growth season showed as “raise-decline-raise-decline” under all UFN treatments. Relative to traditional urea fertilization treatment, both UFN₄₀ and UFN₅₀ treatments had the most favorable capacity that nitrogen was supplied to plants, which helped to maintain high nitrate, ammonium nitrogen, and alkaline nitrogen content in soils. This was beneficial to provide higher nitrogen nutrition for wheat growth. The grain yield in UFN₄₀ and UFN₅₀ was 11.36%—13.67% higher than that of conventional nitrogen fertilization treatment, respectively, while UFN₃₀, UFN₆₀, and UFN₇₀ did not significantly change plant yield-related components. UFN₄₀ and UFN₅₀ increased nitrogen-use efficiency and economic income by 24.80%—103.87% and 1 350 yuan—1 591 yuan per hectare, respectively. In a conclusion, urea-formaldehyde slow-release fertilizer taking as 40%—

收稿日期: 2016-09-29

资助项目: 国家“948”重点项目(2011-G30); 企业基金项目“脲醛缓释肥在作物上的施用效果研究”

第一作者: 周华敏(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤资源高效利用研究。E-mail: 958680620@qq.com

通信作者: 陈宝成(1969—), 男, 副教授, 主要从事土壤肥料及植物营养研究。E-mail: bcch108205@163.com

50% of total nitrogen should be recommended in wheat field.

Keywords: urea-formaldehyde slow-release fertilizer; nitrogen ratio; nitrogen release traits; wheat; nitrogen use efficiency; growth rate; economic benefits

小麦是我国重要的粮食作物之一,提高小麦产量有利于保证国家粮食安全^[1]。施氮是增加小麦产量的重要方式之一,刘新宇等^[2]认为适当增加氮肥能够显著提高小麦产量。我国氮肥当季利用率仅为 30%~35%,远低于发达国家平均水平的 50%~70%^[3]。缓释肥料可以缓慢的供给植物所需的氮素,提高氮素利用率。脲醛肥料是目前世界范围内施用量最大的缓释肥料,是由尿素与甲醛在特定条件下反应生成的微溶性、化学型缓释氮肥,难溶于水,不挥发,不吸湿,能够长久缓慢的释放氮素^[4],降低 N₂O 的释放,减少环境污染^[5]。脲醛缓释肥价格较高,大部分只用于蔬菜、花卉、草坪等,小麦等大田作物应用较少。脲醛缓释肥在田间养分释放的准确测定也是阻碍其广泛应用的原因之一^[6],目前脲醛肥养分释放测定方法有水浸法^[7]、网袋土培法^[8]、红外光谱方法^[9-10]等,3 种方法的测定结果差异较大,也与田间条件差异较大,其准确性值得怀疑^[11]。曲均峰等^[12]在菠萝上施用脲醛缓释肥能够显著提高菠萝产量,改善菠萝品质;黄丽娜等^[13]认为,在叶菜上施用脲醛缓释肥,能够明显降低生产成本,提高氮素利用率;解永军等^[14]研究结果显示,在水稻上施用脲醛缓释肥料增产增收效果明显,增产幅度达 4.73%~10.22%,增加纯收益 322.8~1 299.3 元/hm²。

合理的配比是节约成本、减小环境污染、发挥肥料最大利用效率的重要途径之一。张务帅等^[15]在小麦上施用不同配比的控释氮肥和控释钾肥,研究发现 70%控释氮肥加 100%控释钾肥配施增产增收效果明显,增产幅度为 7.79%~16.49%,增收 691.46~2 427.84 元/hm²,同时促进小麦对磷的吸收;王晓琪等^[16]等研究认为,在水稻上配施 40% 2 个月控释尿素与 60% 3 个月控释尿素能增加水稻株高,显著提高氮素利用率和水稻产量。目前国内集中在普通氮磷钾肥不同配比以及包膜控释肥不同配比对作物产量及土壤肥力的影响研究,脲醛肥与普通尿素配比施用研究较少。针对脲醛缓释肥价格偏高,大田作物施用较少、土壤中氮素释放原有测定方法不科学、脲醛肥与普通尿素配比施用研究较少等问题,有必要研究脲醛缓释肥在小麦等大田作物上氮素释放新的测定方法以及氮素不同配比在提高氮素利用率、增产增收等方面的施用效果。

本试验利用脲醛缓释肥在土壤中氮素释放新的测定方法,研究脲醛缓释肥在大田土壤中氮素释放特征,并通过冬小麦大田试验,研究脲醛氮占总氮不同

比例对土壤氮素供应、增产效果、氮素利用率、经济效益等方面的影响,以期得出其氮肥供应规律和最佳氮素配比,为脲醛缓释掺混肥的生产及大田施用提供实用性的科学依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于山东省泰安市泰山区徐家楼宅子村(117°15' E, 36°15' N)。该地区多年降雨量 688 mm,平均气温 13.42 ℃。供试土壤为筒育湿润淋溶土(普通棕壤),pH 为 7.3,有机质 16.11 g/kg,全氮 0.89 g/kg,硝态氮 35.48 mg/kg,铵态氮 43.62 mg/kg,有效磷 38.77 mg/kg,速效钾 54.37 mg/kg。

供试小麦品种为“山农 11 号”,生育期为 218 d 左右,玉米收获后于 2014 年 10 月 8 日种植小麦。供试肥料为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 18%)、硫酸钾(K₂O 50%)、脲醛缓释肥(总氮含量为 38%,冷水不溶氮含量为 27.5%,热水不溶氮含量为 15.7%,缓释有效养分为 11.8%,活性系数 42.9%)。测定脲醛氮素释放的肥料土管(空心 PVC 管,长 12 cm,内径 5.5 cm)。

1.2 试验处理

采用田间小区试验,共设 8 个处理,其中脲醛缓释氮肥处理是根据脲醛和普通尿素掺混比例设置 5 个处理,另外设置普通尿素基肥一次施入和普通尿素基肥加追肥 2 个处理做对比,以不施氮肥做空白对照。试验处理为:(1)脲醛掺混肥 1(CRF1):脲醛氮占总氮 30%,尿素氮占总氮 70%;(2)脲醛掺混肥 2(CRF2):脲醛氮占总氮 40%,尿素氮占总氮 60%;(3)脲醛掺混肥 3(CRF3):脲醛氮占总氮 50%,尿素氮占总氮 50%;(4)脲醛掺混肥 4(CRF4):脲醛氮占总氮 60%,尿素氮占总氮 40%;(5)脲醛掺混肥 5(CRF5):脲醛氮占总氮 70%,尿素氮占总氮 30%;(6)常规氮肥 1(CCF1):氮肥全部为普通尿素,基肥一次施入,不追肥;(7)常规氮肥 2(CCF2):氮肥全部为普通尿素,其中底肥占 40%,返青肥占 50%,抽穗肥占 10%;(8)无氮施肥对照(CK)。除处理 CCF2 的氮肥为基肥加追肥,其他处理氮肥及所有处理的磷钾肥的施肥方式均为基肥一次施入,施肥深度均为沟施 15 cm,处理 CCF2 的追施氮素肥都是表面撒施然后浇水。具体施肥量见表 1。

每个处理各重复 3 次,共 24 个小区,完全随机排列。小区面积为 45 m²(10.5 m×4.3 m),小区之间设有 0.5 m 宽的隔离带,区内划分成“测产区和取样区”。同时在各脲醛掺混肥处理的小区各自埋设相应

的测定脲醛氮素释放的新方法的肥料土管^[17]。每管装土 250 g、相应的脲醛掺混肥肥料 1 g,土壤和脲醛掺混肥混匀装管,每个脲醛掺混肥处理设置 15 根肥料土管,共 75 根土管。把全部肥料土管水平平铺在深度为 15 cm 处的土沟中,覆土至与地面平齐。

表 1 小区试验方案

处理代号	处理说明	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ (kg·hm ⁻²)	施肥方式
CRF1	脲醛掺混氮肥 1	225-150-150	基肥 1 次施入
CRF2	脲醛掺混氮肥 2	225-150-150	基肥 1 次施入
CRF3	脲醛掺混氮肥 3	225-150-150	基肥 1 次施入
CRF4	脲醛掺混氮肥 4	225-150-150	基肥 1 次施入
CRF5	脲醛掺混氮肥 5	225-150-150	基肥 1 次施入
CCF1	常规氮肥 1	225-150-150	基肥 1 次施入
CCF2	常规氮肥 2	225-150-150	基肥加 2 次追肥
CK	无氮肥对照	0-150-150	基肥 1 次施入

1.3 样品采集与测定

分别在小麦苗期(2014 年 11 月 25 日)、返青期(2015 年 3 月 13 日)、拔节期(2015 年 3 月 31 日)、灌浆期(2015 年 5 月 6 日)、成熟期(2015 年 6 月 10 日)进行植株样品、土壤样品及肥料土管样品的采集与测定。土样采集方法:在取样区小麦行正中间采集 0—20 cm 的耕层土壤,每小区每次均匀选取 3 个点采样,混匀。植株样品采样方法为:在取样区均匀选取 3 点取样,每点采样 30 cm 单行小麦,齐根收取植株地上部。小麦收获期进行考种,对测产区小麦进行实打实收,测定小麦穗数、穗粒数、千粒重及产量。肥料土管样品采集方法:在埋管区每个脲醛处理每次取 3 支土管,用于测定脲醛养分释放特点。

土壤与植株样品性质测定:土壤硝态氮、铵态氮采用氯化钙浸提,流动注射分析仪(AA3,德国)测定;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;植株样品全氮、全磷、全钾均采用硫酸—双氧水消煮法测定;小麦产量采用实打实收称重法测定。脲醛缓释肥养分田间释放:肥料土管土壤碱解氮测定采用碱解扩散法^[17]。

1.4 数据处理

氮素利用率=(施氮区小麦植株吸氮量-氮空白小区小麦植株吸氮量)/施氮量×100%^[15]。

每公顷纯收入=小麦经济产量收入-小麦栽培支出(肥料、农药、种子、浇水、农机方面的支出)。

采用 Excel 2003 软件进行数据处理,利用 SAS 8.0 进行统计分析,在 0.05 水平上对处理间进行 Duncan's 检验。

2 结果与分析

2.1 脲醛缓释肥不同配比田间氮素释放特性

测定不同脲醛掺混肥不同时期内氮素日平均施肥量和累积释放量。结果显示(图 1a),随着时间推移,5 种脲醛掺混肥的每日氮素释放量的变化趋势相同,呈现高低再高低的变化过程,都是在小麦苗期达最高值,

返青期开始下降,拔节期上升,灌浆期和成熟期又下降,原因是前期供氮原料多,而后期供氮原料逐渐减少;返青期氮素日平均释放量较少的原因是,越冬期土壤温度低,脲醛降解慢,低温时间长,平均到每天的氮素释放量就较低。同一时期不同配比的脲醛缓释肥比较,各测定时期都是随着脲醛氮素所占比例的增大其氮素日平均释放量减少,各处理顺序为 CRF1>CRF2>CRF3>CRF4>CRF5,说明脲醛氮素释放是缓慢进行的,尿素释放氮素是快速进行的。

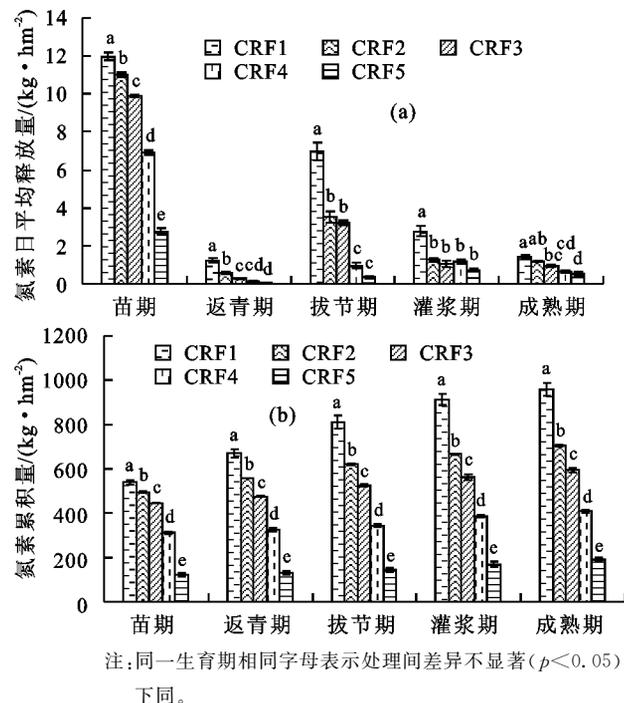


图 1 脲醛缓释肥不同配比肥料管氮素日平均释放量与氮素累积释放量

测定不同时期各处理碱解氮的累积释放量,结果显示(图 1b),各处理不同时期的碱解氮累积释放量由高到低的顺序是 CRF1>CRF2>CRF3>CRF4>CRF5,而相应各处理的脲醛含量由高到低的顺序则为 CRF5>CRF4>CRF3>CRF2>CRF1,碱解氮累积释放量与脲醛含量的变化恰好相反。由氮素日均释放量和累积释放量可以得出,脲醛掺混肥中,脲醛所占比例越大,其氮素供应能力越缓慢平稳,在各时间段的累积释放率也较低,反之,若脲醛所占比例越小,其氮素释放越快,累积释放率较高。在小麦苗期,处理 CRF1(脲醛氮素占 30%、尿素氮占 70%)氮素日平均释放量为 11.97 kg/hm²,氮素释放过快,不利于小麦生长后期对氮素的需求;返青期,处理 CRF5 脲醛氮素占 70%、尿素占 30%的氮素日平均释放量为 0.07 kg/hm²,氮素几乎不释放,不能满足小麦对氮素的需求;拔节期、灌浆期和成熟期,处理 CRF1 氮素日平均释放量均高于其他处理,容易造成小麦的贪青晚熟,茎叶徒长。在农业生产中,氮素释放过快或过慢都是不利的,氮素释放过快会造成短期速效氮素过多,引起氮素淋洗或挥发

损失较多,若氮素释放过慢,则会造成作物氮素供应不足,两者都会影响最后的产量,处理 CRF2(脲醛氮占 40%、尿素氮占 60%)和 CRF3(脲醛氮占 50%、尿素氮占 50%)氮素供应不过快也不过慢,氮素供应较为适宜,不易引起氮素损失,对小麦生长较为有利,这从最后的增产效果得到较好的反应。

2.2 脲醛缓释肥不同配比对小麦土壤碱解氮、硝态氮、铵态氮含量的影响

土壤中碱解氮的含量既能反映出土壤中氮的供应强度,也能看出氮的供应容量和释放速率^[18]。试验分别在小麦苗期、返青期、拔节期、灌浆期、成熟期对土壤中碱解氮含量进行测定。结果显示(图 2),随着土壤氮素转化迁移及小麦对氮素的吸收,各处理土壤中碱解氮含量随着生育进程的推进而下降;在小麦苗期和返青期,由于处理 CRF1 中普通尿素所占比例较高,其土壤中碱解氮含量较多,随着时间推移,到小麦中后期,处理 CRF2、CRF3、CRF4、CRF5 的土壤碱解氮含量处于较高水平;处理 CCF2 由于地表浇水 2 次,氮肥损失较大,其土壤碱解氮含量始终处于较低水平;在小麦生长的拔节期和灌浆期 2 个关键时期,处理 CRF2、CRF3 土壤碱解氮含量较高,其氮素供应更有利于小麦植株的生长,也为小麦开花和籽粒生长提供较好的营养条件。在小麦整个生育期中,脲醛氮占总氮 40%和 50%的处理既能满足小麦苗期对养分的需求,也可为小麦生长后期提供充足的氮素营养。

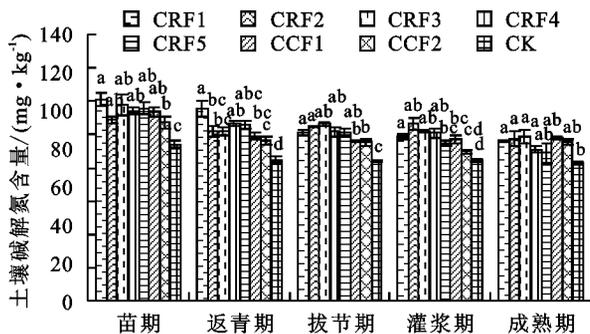


图 2 脲醛缓释肥不同配比小麦各生育期土壤碱解氮含量

测定不同处理土壤硝态氮含量。结果表明(图 3),整体上随着时间推移,小麦各生长期土壤硝态氮含量呈现先下降后上升再下降的趋势。在小麦苗期,处理 CRF1 和处理 CRF2 硝态氮含量显著高于其他几个处理,原因是处理 CRF1 和处理 CRF2 中普通氮素分别占总氮素 70%和 60%,所占比例较高,释放氮素较快,且尿素与脲醛结合施用,随水淋失和挥发损失的氮素较少,其他处理之间土壤硝态氮含量差异不显著,含量都较低,原因是 CRF3、CRF4、CRF5 尿素所占比例较少,转化成硝态氮的速度慢,处理 CCF1、CCF2 由于氮肥都是尿素,随浇水淋失和挥发,土壤中的硝态氮含量也较低;返青期处理 CRF3、CRF4、CRF5 土壤硝态氮含量处于较高水平,为小麦后期生

长提供较好的氮素供应;拔节期、灌浆期,各处理土壤硝态氮处于较平稳状态,处理间变化幅度不大;成熟期,随着小麦对氮素的吸收及氮素的损失,土壤中硝态氮含量处于较低水平,各处理间差异不显著。另外,在小麦整个生育期中,处理 CRF5 的土壤硝态氮含量均处于较低水平,这表明脲醛氮占总氮比例过高不利于氮素供应和小麦生长。

测定不同处理土壤铵态氮含量。硝态氮与铵态氮在土壤当中是一个不断转化的过程。不同处理在小麦各个生长时期土壤中的铵态氮含量有差异(图 4)。苗期,各处理土壤中铵态氮含量顺序是 CRF1>CRF2>CCF2>CRF3>CCF1>CRF4>CK>CRF5,和同一时期各处理土壤中硝态氮含量由高到低排列相同,处理 CRF1、CRF2 与处理 CRF4、CRF5 土壤中铵态氮含量差异显著;返青期,处理 CRF4 土壤中铵态氮含量最高,显著高于处理 CRF1,与其他处理间差异不显著;拔节期,处理 CRF5 土壤铵态氮含量最高,处理 CRF4 土壤铵态氮含量最低,各处理间无显著性差异;抽穗期,处理 CRF1 土壤铵态氮含量最高,达到整个小麦生育期土壤铵态氮含量最大值,与处理 CRF2 和处理 CRF5 无显著差异;成熟期,处理 CRF1 土壤铵态氮含量最高,处理 CRF5 铵态氮含量最低,两者之间差异显著。整体上看,处理 CRF3 即脲醛氮占总氮 50%脲醛掺混肥土壤中铵态氮含量始终维持在较高水平,能够长期保持土壤中铵态氮离子的数量和活性,与小麦生长需肥相吻合,能够及时为小麦生长提供充足的氮素,另外,脲醛氮占总氮比例过高(如 70%)或过低(如 30%)都不利于小麦整个生长期氮素的供应。

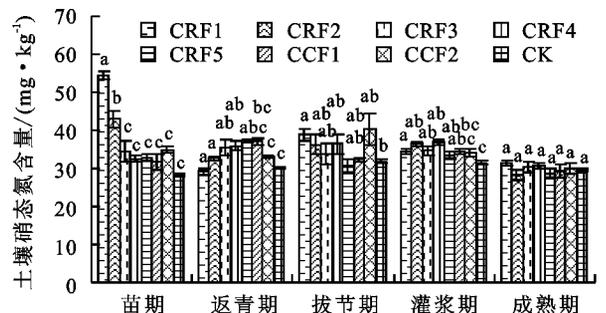


图 3 脲醛缓释肥不同配比小麦各生育期土壤硝态氮含量

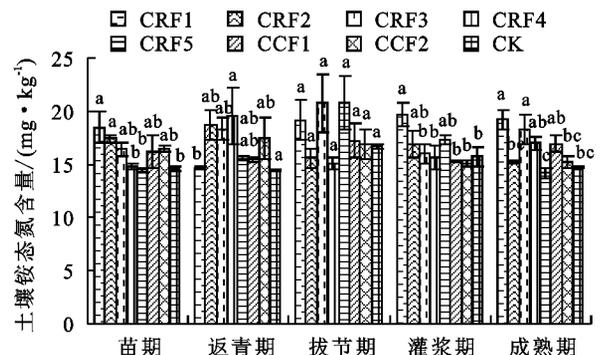


图 4 脲醛缓释肥不同配比小麦各生育期土壤铵态氮含量

2.3 脲醛缓释肥不同配比对小麦植株氮磷钾养分吸收的影响

测定小麦生长不同时期小麦植株中全氮、全磷和全钾含量。结果(表 2)表明,植株中全氮含量情况为,返青期,处理 CCF2 小麦全氮含量最高,除 CK 外,处理 CRF4 与其他几个处理差异不显著;拔节期,处理 CRF3 小麦全氮含量显著高于处理 CRF4 和 CK,与其他处理差异不显著,与返青期相比,处理 CCF2 小麦全氮含量下降最快;灌浆期,处理 CRF3 与处理 CRF4 小麦全氮含量显著高于处理 CRF2 和 CCF1;成熟期,各处理间差异不显著,可能原因是植株成熟根系吸收能力降低。

植株中全磷含量情况为,在返青期,处理 CRF1 小麦植株全磷含量低于其他处理;拔节期,各处理间小麦植株含磷量差异不显著;灌浆期,处理 CRF3 小麦植株全磷含量最高,与处理 CRF4、CCF2 外的处理有显著性差异;成熟期,处理 CCF1 小麦植株中全磷含量显著低于其他处理。从全生育期看,各处理小麦植株中全磷含量最高值出现的生育期不同,处理 CRF2、处理 CRF5、处理 CCF1 处理 CCF2 小麦植株中全磷含量最高值出现在返青期,说明该 4 个处理从苗期进入返青期对磷的吸收增加;处理 CRF1 和处理 CK 小麦植株全磷量最高值出现在拔节期,处理 CRF3

小麦植株全磷量最高值出现在灌浆期,处理 CRF4 小麦植株全磷量最高值在拔节期和灌浆期均出现,说明这 4 个处理的小麦分别在拔节期和灌浆期对磷的吸收增加。在小麦整个生育期,处理 CRF3 和处理 CRF4 植株全磷含量均较高,与普通基肥加追肥处理 CCF2 均无显著性差异,说明脲醛氮占总氮 50% 和 60% 的处理在缓慢释放氮素的同时,也能促进小麦在全生育期对磷的吸收与积累。

植株中全钾含量情况为:返青期,处理 CCF2 小麦植株全钾含量低于其他处理;拔节期,与返青期相比,除处理 CRF5 和 CK 外,其余各处理小麦全钾含量均有一定程度的增加,其中以处理 CRF4 增幅最大,CRF2、CRF3、CRF4 3 个处理中小麦植株全钾含量显著高于处理 CRF5、CCF1 和 CCF2;灌浆期,处理 CRF3、处理 CRF4 小麦植株中全钾含量显著高于其他处理;成熟期,处理 CRF4 小麦植株全钾含量最高,除处理 CRF3 和处理 CK 与对照有显著差异外,其余各处理间均无显著差异。整体上看,小麦各生育期植株全钾含量均有变化,除处理 CRF5 外,其余脲醛掺混肥处理在小麦整个生育期植株全钾含量均高于普通施肥处理,拔节期脲醛氮占总氮 40%,50%,60% 的处理增加植株对钾的吸收量最为显著,说明这 3 种掺混肥处理能够促进植株在生长后期对钾的吸收和运输。

表 2 脲醛缓释肥不同配比较小麦各生育期植株氮磷钾含量

单位:g/kg

	生育期	CRF1	CRF2	CRF3	CRF4	CRF5	CCF1	CCF2	CK
N	返青期	30.04bc	32.59bc	29.34bc	36.75ab	29.56bc	27.79bc	44.33a	25.66c
	拔节期	23.97ab	23.61ab	26.57a	20.34b	24.45ab	24.14ab	24.23ab	14.76c
	抽穗期	17.60ab	12.41b	19.13a	19.52a	15.29ab	13.51b	15.36ab	13.57b
	成熟期	10.07a	10.49a	9.29a	10.11a	9.00a	10.07a	7.92a	7.21a
P	返青期	2.53a	3.36a	3.50a	3.52a	3.79a	3.73a	3.35a	3.33a
	拔节期	3.55a	3.15a	3.09a	3.61a	2.84a	3.34a	3.10a	3.41a
	抽穗期	2.96cd	2.98cd	3.63a	3.61a	3.26bc	2.00f	3.33ab	2.94d
	成熟期	2.45b	2.58ab	2.59ab	2.81ab	2.43b	1.29c	2.92a	2.54ab
K	返青期	11.31a	11.53a	11.91a	11.51a	11.24a	11.28a	9.40a	11.53a
	拔节期	13.42ab	14.00a	14.08a	14.37a	9.86c	11.53bc	10.67c	11.16bc
	抽穗期	10.63bc	10.90b	12.03a	12.49a	10.42bcd	10.54bcd	9.80cd	9.63d
	成熟期	7.81bc	7.66c	8.61ab	8.94a	7.45c	7.23c	7.32c	6.95c

2.4 脲醛缓释肥不同配比对小麦产量和产量构成要素的影响

小麦成熟收获后测定不同处理小麦产量指标。结果表明(表 3),不同脲醛掺混肥对小麦产量影响不同。脲醛掺混肥处理的小麦产量普遍比普通氮肥处理产量高,其中以脲醛氮占总氮 40%,50% 的处理 CRF2、CRF3 小麦产量较高,分别比 CCF2 增产 11.36%,12.01%,比 CCF1 增产 13.01%,13.67%,与普通氮肥相比,脲醛掺混肥主要提高了小麦的穗数和穗粒数;脲醛氮素所占比例较小的处理 CRF1(占 30%)或所占比例较大处理 CRF4(占 60%)、CRF5(70%),

小麦产量不理想,比普通氮肥处理 CCF1、CCF2 增产幅度为 1.76%~4.71%,差异不显著。总之,脲醛掺混肥中脲醛氮素所占比例过大或过小对小麦增产不显著,脲醛占总氮比例为 40% 或 50% 小麦增产幅度较高。

2.5 脲醛缓释肥不同配比对小麦氮素利用效率及经济效益的影响

养分利用率是评价肥料施用效果的重要指标。测定不同处理氮素利用率,结果显示(表 4),脲醛掺混肥处理 CRF1、CRF2、CRF3、CRF4、CRF5 氮素利用率普遍高于 CCF2 处理,氮素利用率增加了 13.65%~103.87%,

其中以处理 CRF2 增加最多,增加了 103.87%;处理 CRF1、CRF2、CRF3、CRF4 氮素利用率普遍高于 CCF1 处理,氮素利用率增加 18.40%~58.78%,其中处理 CRF2 增加最多,增加了 58.78%。从结果显示,由于脲醛氮素释放缓慢,供应氮素时间长,氮素损失少,较好的提高了氮素利用率,且总体上以脲醛氮素占总氮素 40%左右为好,脲醛所占比例过低(CRF1 处理的 30%)或过高(CRF5 处理的 70%)都不利于小麦对氮素的吸收利用,甚至 CRF5 处理比 CCF1 处理降低了氮素利用率。另外,试验结果显示,普通基肥加 2 次追肥处理 CCF2 的氮素利用率低于 1 次基肥处理 CCF1,表明表面撒施然后浇水的追肥方式不利于氮肥肥料的利用。

表 3 脲醛缓释肥不同配比小麦产量及增产情况

处理	穗数/ (万穗·hm ⁻²)	穗粒数/ 粒	千粒重/ g	产量/ (kg·hm ⁻²)	比 CCF2 增产/ %	比 CCF1 增产/ %
CRF1	596.55 ab	45 a	39.97 a	6795.8 ab	2.47	3.99
CRF2	641.15 a	43 a	40.18 a	7385.5 ab	11.36	13.01
CRF3	616.56 ab	44 a	41.07 a	7428.6 a	12.01	13.67
CRF4	579.46 ab	44 a	39.71 a	6748.9 ab	1.76	3.27
CRF5	605.72 ab	42 a	40.35 a	6842.7 ab	3.18	4.71
CCF1	596.55 ab	40 a	41.08 a	6535.0 ab	-1.46	—
CCF2	591.55 ab	43 a	39.11 a	6631.8 ab	—	1.48
CK	571.54 b	42 a	39.10 a	6256.8 b	—	—

注:在同列中平均值尾部标有相同小写字母表示不同处理之间差异不显著($p < 0.05$)。

表 4 脲醛缓释肥不同配比小麦氮素利用率及增收情况

处理	氮素 利用率/%	较 CCF1 增加/%	较 CCF2 增加/%	小麦收入/ (元·hm ⁻²)	成本支出/ (元·hm ⁻²)	较 CCF1 增收/ (元·hm ⁻²)	较 CCF2 增收/ (元·hm ⁻²)
CRF1	46.22	18.40	52.02	16310	6863	56	288
CRF2	61.99	58.78	103.87	17725	6975	1359	1591
CRF3	48.72	24.80	60.24	17829	7088	1350	1582
CRF4	47.86	22.59	57.41	16197	7200	-394	-162
CRF5	34.56	-11.49	13.65	16422	7313	-281	-49
CCF1	39.04	—	28.38	15916	6525	0	232
CCF2	30.41	-22.12	—	15684	6525	-232	0
CK	—	—	—	15016	3882	—	—

3 结论

(1)脲醛掺混肥氮素释放随着时间推移呈现高低再高低的变化过程,都是在小麦苗期达最高值,返青期开始下降,拔节期上升,灌浆期和成熟期又下降。脲醛所占比例越大(如脲醛氮占氮素 70%),其氮素供应越缓慢平稳,在各时间段的累积释放率也较低,脲醛所占比例越小(如脲醛氮占氮素 30%),小麦前期氮素供应越高,但中后期氮素供应较低,两者都不利于小麦整个生长期氮素供应。从小麦整个生长期分析,脲醛氮所占氮素 40%或 50%在小麦关键生长期氮素供应较为满足,土壤中碱解氮、硝态氮、铵态氮含量大多也较高,为小麦生长提供了较好的氮素营养条件。

计算各处理小麦收获后的收入情况,每公斤小麦价格按市场价 2.4 元计算小麦收入,按照肥料价格和种子、农药、浇水、农机等计算支出,收入减去支出得出纯收入。结果显示(表 4),脲醛掺混肥处理 CRF1、CRF2、CRF3 比 CCF1 每公顷分别增收 56,1 359,1 350 元,而 CRF4、CRF5 处理则减少 394,281 元;处理 CRF1、CRF2、CRF3 比 CCF2 每公顷分别增收 288,1 591,1 582 元,而 CRF4、CRF5 处理则减少 162,49 元。从纯收入显示,脲醛掺混肥处理 CRF2、CRF3 与普通氮肥处理相比有较好的增收效果。因此合适的脲醛氮素比例不但可以减少施肥次数和氮素损失,其肥料成本也比全部使用脲醛氮肥低,还增加了小麦栽培的纯收入。

(2)试验条件下的脲醛掺混肥处理普遍比普通氮肥处理增加了小麦穗数和穗粒数,提高了小麦产量,其中以脲醛氮占总氮 40%,50%处理的小麦产量较高,分别比普通氮肥增产 11.36%~13.67%;脲醛氮素所占总氮比例较小的处理(占 30%)或所占比例较大处理(占 60%或 70%),小麦产量比普通氮肥增产 1.76%~4.71%,差异不显著。

(3)脲醛掺混肥比普通氮肥基肥加追肥处理提高氮素利用率 13.65%~103.87%,比普通氮肥一次性基肥处理提高了氮素利用率(-11.49%)~58.78%;脲醛氮所占氮素比例过大(如 70%)或过小(如 30%)氮素利用率提高不显著,甚至会降低氮素利用率,而脲醛氮所占

比例在 40% 或 50% 的施肥处理显著提高氮素利用率,比普通氮肥处理提高了 24.80%~103.87%。脲醛肥料价格比普通尿素高,不合理的脲醛比例不但不增加收入,还减少收入,合适的脲醛氮素比例能增加小麦栽培的纯收入,其中脲醛氮所占比例在 40% 或 50% 施肥处理比普通氮肥处理增收 1 350~1 591 元/hm²。综合考虑不同处理在氮素利用率、增产、增收等上的效果,在黄淮海地区中高产田小麦生产中,建议脲醛氮占总氮 40%~50% 进行配比施用,将取得较好的肥料效果。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [2] 刘新宇,巨晓棠,张丽娟,等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向及土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):296-303.
- [3] 吕云峰. 脲甲醛缓释肥料[J]. 磷肥与复肥,2009,24(6):8-10.
- [4] 段路路,范宾,王寅,等. 脲醛缓释肥料红外光谱分析及养分释放特性研究[J]. 化肥工业,2010,37(3):16-22.
- [5] Jiang J, Hu Z, Sun W, et al. Nitrous oxide emissions from Chinese cropland fertilized with a range of slow-release nitrogen compounds[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,2010,135(3):216-225.
- [6] Fan X H, Li Y C. Nitrogen release from slow release fertilizers as affected by soil type and temperature [J]. *Soil Science Society of America Journal*,2010,74(5):1635-1641.
- [7] Ni B,Liu M,Lü S. Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations[J]. *Chemical Engineering Journal*,2009,155(3):892-898.
- [8] 王春梅,赵贵哲,刘亚青,等. 含氮、磷包膜缓释肥的制备及其缓释性能研究[J]. 植物营养与肥料学,2010,16(4):1027-1031.
- [9] 谷佳林,徐凯,付铁梅,等. 不同密闭材料硫包衣尿素氮素释放特性及对夏玉米生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):630-637.
- [10] Ni B,Liu M,Lü S, et al. Novel slow-release multielement compound fertilizer with hygroscopicity and moisture preservation[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*,2010,49(10):4546-4552.
- [11] 段路路,张民,刘刚,等. 缓控释肥料在不同介质中的养分释放特性及其肥效[J]. 应用生态学报,2009,20(5):1118-1124.
- [12] 曲均峰,傅送保,操斌,等. 脲醛缓释肥在菠萝上的效应研究[J]. 化肥工业,2013,40(3):64-66.
- [13] 黄丽娜,樊小林. 脲甲醛肥料对小白菜产量和氮肥利用率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(11):42-46.
- [14] 解永军,邵明升,王红,等. 脲醛缓释肥料在水稻上的应用研究[J]. 磷肥与复肥,2015,30(4):51-52.
- [15] 张务帅,陈宝成,李成亮,等. 控释氮肥控释钾肥不同配比对小麦生长及土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(3):178-183.
- [16] 王晓琪,朱家辉,陈宝成,等. 控释尿素不同比例配施对水稻生长及土壤养分的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(4):178-182.
- [17] 陈宝成,李峰,丁济娜,等. 一种测定脲醛缓释肥田间养分释放规律的方法:中国,201510050354.1[P]. 2015-04-29.
- [18] 郭伟,陈红霞,张庆忠,等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J]. 生态环境学报,2011,20(3):425-428.
- [19] Zhang S X, Li Q, Lu Y, et al. Conservation tillage positively influences the microflora and microfauna in the black soil of Northeast China[J]. *Soil & Tillage Research*,2015,149(6):46-52.
- [20] Chivenge P P, Murwira H K, Giller K E, et al. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils[J]. *Soil & Tillage Research*,2007,94(2):328-337.
- [21] 明广辉,罗毅,孙林,等. 覆膜对农田降水入渗的影响研究[J]. 灌溉排水学报,2015,34(4):1-4.

(上接第 178 页)