



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

包膜尿素和普通尿素混施对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮残留的影响

曹兵, 倪小会, 陈延华, 邹国元, 王甲辰, 杨友庆, 陈立娟, 刘杰, 王学霞

引用本文:

曹兵, 倪小会, 陈延华, 等. 包膜尿素和普通尿素混施对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮残留的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 695–701.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0428>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

控释尿素对春玉米产量、氮效率及氮素平衡的影响

姬景红, 李玉影, 刘双全, 佟玉欣, 任桂林, 李杰, 刘颖, 张明怡

农业资源与环境学报. 2017, 34(2): 153–160 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0231>

控释氮肥和控释钾肥对棉花产量、品质及土壤肥力的影响

于小晶, 田晓飞, 张民, 李成亮, 孙玲丽, 刘之广, 陈剑秋

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 313–321 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0171>

生物炭基尿素对芹菜产量、品质及土壤硝态氮含量的影响

廖上强, 陈延华, 李艳梅, 张琳, 孙焱鑫

农业资源与环境学报. 2015, 32(5): 443–448 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0060>

控释尿素对水稻生理特性、氮肥利用率及土壤硝态氮含量的影响

杜君, 孙克刚, 张运红, 和爱玲, 孙克振

农业资源与环境学报. 2016, 33(2): 134–141 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0233>

华北平原不同施氮量与施肥模式对作物产量与氮肥利用率的影响

蔡媛媛, 王瑞琪, 王丽丽, 刘惠芬, 杨殿林, 谭炳昌

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 503–510 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0254>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

曹兵, 倪小会, 陈延华, 等. 包膜尿素和普通尿素混施对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮残留的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 695–701.

CAO Bing, NI Xiao-hui, CHEN Yan-hua, et al. Impact of coated urea combined with conventional urea on the yield, nitrogen use efficiency, and soil residual nitrate of summer maize[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(5): 695–701.



开放科学 OSID

包膜尿素和普通尿素混施对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮残留的影响

曹兵^{1,2}, 倪小会^{1,2}, 陈延华^{1,2}, 邹国元^{1,2}, 王甲辰^{1,2}, 杨友庆³, 陈立娟³, 刘杰³, 王学霞^{1,2*}

(1.北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 2.北京市缓控释肥料工程技术研究中心, 北京 100097; 3.山东省禹城市农业农村局, 山东 禹城 251200)

摘要:为探索一次性施肥(包膜尿素和普通尿素混施)对夏玉米产量、氮肥利用率、施肥经济效益和土壤硝态氮残留的影响,以夏玉米品种‘富友9’为材料进行了大田试验,试验设不施氮、常规施氮、减氮10%(30%包膜尿素)、减氮10%(50%包膜尿素)、减氮20%(30%包膜尿素)和减氮20%(50%包膜尿素)共6个处理,分析调查了夏玉米产量、氮素吸收和土壤无机氮动态变化。结果表明,包膜尿素在田间的释放曲线为抛物线形,释放期为81 d(氮素累积释放80%)。与常规分次施氮相比,采用包膜尿素和普通尿素混施处理的夏玉米产量增加2.85%~20.87%,氮肥利用率提高19.1~25.3个百分点。包膜尿素和普通尿素混施的情况下,夏玉米每公顷净收益(扣除肥料投入)比常规施氮增加1 000~4 484元。夏玉米收获后,在100~200 cm土体内残留硝态氮较常规施氮降低35.1%~56.6%,减少了硝态氮淋失风险。研究表明,减氮10%~20%的一次性基肥混施在夏玉米上实现了增产增收,减少了硝态氮在深层土壤的残留量,降低了环境污染风险,综合夏玉米产量、氮肥利用率、施肥经济效益和土壤硝态氮残留等因素来看,减氮10%(30%包膜尿素)施氮配方的效果最好。研究结果可为夏玉米轻简化生产和氮肥减施增效提供技术支撑。

关键词:夏玉米;包膜尿素;产量;氮肥利用率;土壤硝态氮

中图分类号:S143.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)05-0695-07

doi: 10.13254/j.jare.2019.0428

Impact of coated urea combined with conventional urea on the yield, nitrogen use efficiency, and soil residual nitrate of summer maize

CAO Bing^{1,2}, NI Xiao-hui^{1,2}, CHEN Yan-hua^{1,2}, ZOU Guo-yuan^{1,2}, WANG Jia-chen^{1,2}, YANG You-qing³, CHEN Li-juan³, LIU Jie³, WANG Xue-xia^{1,2*}

(1. Institute of Plant Nutrition and Resource, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Science, Beijing 100097, China; 2. Beijing Engineering Technology Research Center for Slow/Controlled-Release Fertilizer, Beijing 100097, China; 3. Yucheng Agricultural and Rural Bureau, Shandong Province, Yucheng 251200, China)

Abstract: The present study was conducted to assess the effects of single basal application of blended fertilizer (coated urea blended with conventional urea) on summer maize yield, nitrogen use efficiency (NUE), economic returns, and residual soil nitrate, which could provide technical support for simplified cultivation and N application reduction as well as efficiency improvement for summer maize. A field experiment was designed to investigate the yield and N uptake of summer maize and soil inorganic N dynamics, and the summer maize cultivar Fuyou 9 was used as the material. The experiment included six treatments, namely no N fertilizer (CK), conventional N application (CON), 10% N rate reduction with a 30% ratio of coated urea (90N-30C), 10% N rate reduction with a 50% ratio of coated urea (90N-

收稿日期: 2019-08-26 录用日期: 2019-10-24

作者简介: 曹兵(1970—),男,湖北宜昌人,博士,副研究员,主要从事新型肥料研究。E-mail: caobing@baafs.net.cn

*通信作者: 王学霞 E-mail: wx0427@163.com

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0200705);北京市科技计划项目(D161100005516003);北京市农林科学院创新能力建设专项(KJCX20190302)

Project supported: National Key R&D Program (2017YFD0200705); Beijing Science and Technology Plan Project (D161100005516003); Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences Innovation Capacity Building Special (KJCX20190302)

50C), 20% N rate reduction with a 30% ratio of coated urea (80N-30C), and 20% N rate reduction with a 50% ratio of coated urea (80N-50C). Showed the release pattern of coated urea showed a parabolic curve, and the release duration was 81 d (80% cumulative N release) under field conditions. In comparison with CON, the summer maize yield and NUE of blended fertilizer with basal application were increased by 2.85%~20.87% and 19.1~25.3 percent point, respectively. Compared with CON, the economic return of summer maize with blended fertilizer was increased by 1 000~4 484 yuan·hm⁻². In comparison with conventional urea, the soil residual nitrate at 100~200 cm soil depth with blended fertilizer was reduced by 35.1%~56.6%, therefore, the risk of nitrate leaching was significantly decreased. Compared with conventional fertilization, single basal application of blended fertilizer with a 10%~20% N rate reduction increased the summer maize yield, NUE, and economic returns, and decreased the nitrate residue in the deeper soil layer, which mitigated the risk of environmental pollution. In summary, 90N-30C was superior considering the summer maize yield, NUE, economic returns, and residual soil nitrate.

Keywords: summer maize; coated urea; yield; nitrogen use efficiency; soil nitrate

化肥的大量使用对作物增产发挥了重要作用,是我国粮食安全的重要保障^[1],但是过量施用化肥及不合理的施用方法导致我国肥料利用率远低于国际水平^[2],化肥中又以氮肥的问题更为突出,大量氮素通过氨挥发、硝化/反硝化和径流/淋洗等途径进入大气和水体,导致酸雨、地表水富营养化、地下水硝酸盐含量超标及温室效应等一系列环境问题^[3-4]。氮肥深施、分次施氮和测土施肥等农艺措施在提高氮肥利用率和减轻氮素损失方面有较好效果,但受限于农业机械缺乏、农村劳动力短缺及农民对技术的认知和掌握有一定难度,上述农艺措施在实际生产中的推广效果并不理想^[4-5]。

缓控释肥通过调节肥料的释放模式和释放期,较好地解决了速效性化肥养分供应与作物吸收规律不一致导致的肥料利用率低、损失严重等问题,采用一次性施肥更能减少追肥所需的劳动力投入,达到增产增效、省工节肥、减少环境污染等目的^[6-12],在化肥减量中的效果非常突出^[8,10-11,13-14]。近年来,通过筛选和研发性能优异的新型缓控释材料、开发自动连续化工艺和装备,缓控释肥产能规模大幅提高,成本逐步走低,同时在应用层面,采用速效、缓效合理混配等方式进一步降低了缓控释肥的使用成本,使其用于低附加值作物的价格障碍被消除^[15],在农业生产中的应用领域和范围日益扩大^[16-18],尤其是在粮食作物上的应用已非常普遍^[17,19-20]。

玉米是缓控释肥推广应用的主要农作物之一,对于玉米增产增收、节肥省工、提高氮肥利用率等方面的效果明显^[11,19,21],Zheng等^[22]通过定位试验研究发现,一次性施用缓控释肥,玉米产量和氮肥利用率分别提高4.9%~11.1%和36.2%~45.4%,即使减氮30%也不会导致玉米减产。玉米生产中采用缓控释肥与

速效氮肥混配的方式,既能有效降低肥料投入成本,又能较好地满足玉米稳产高产的氮素需求^[19,20,23],李伟等^[21]研究表明,包膜尿素与普通尿素掺混施用较仅施用普通尿素的夏玉米产量增加2.9%~5.68%,每公顷经济效益增加397~1 294元,氮肥利用率提高2.12~14.92个百分点。目前有关玉米施用缓控释肥的研究主要集中在缓控释肥和速效氮肥适宜掺混比例的筛选上^[19,21,23],但同时考虑缓控释肥混配比例及适宜施氮量方面的研究较少。为此,本研究拟通过田间小区试验研究包膜尿素和普通尿素不同混配比例及不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率、施肥经济效益和土壤硝态氮残留的影响,以期肥料企业产品设计和促进控释肥推广应用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

田间试验在北京市房山区石楼镇二站村进行,夏玉米品种为‘富友9’(青贮),2017年6月28日播种,10月5日收获。供试土壤为褐土,0~20 cm土层理化性状为:铵态氮 2.18 mg·kg⁻¹,硝态氮 18.4 mg·kg⁻¹,速效磷 53.6 mg·kg⁻¹,速效钾 140.0 mg·kg⁻¹,有机质 1.18%,pH 8.5,全氮 0.99 g·kg⁻¹。

试验共设6个处理,分别为不施氮对照(CK)、常规施氮(CON)、减氮10%(30%包膜尿素)(90N-30C)、减氮10%(50%包膜尿素)(90N-50C)、减氮20%(30%包膜尿素)(80N-30C)和减氮20%(50%包膜尿素)(80N-50C)。小区面积40 m²,3次重复,随机区组排列。各处理磷肥和钾肥用量相同,磷肥为普钙,钾肥为氯化钾,试验所用包膜尿素由北京市农林科学院植物营养与资源研究所自制,25℃水浸泡条件下氮素累积释放80%所需时间为60 d。常规施氮

(普通尿素)处理氮肥40%作基肥、60%在大喇叭口期追施,其他处理N、P、K均在播种前一次性基施,各处理施肥量详见表1。

表1 不同处理施肥量

Table 1 The fertilization rate of different treatments

处理 Treatment	N/(kg·hm ⁻²)		P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)	K ₂ O/ (kg·hm ⁻²)
	尿素 Urea	包膜尿素 Coated urea		
CK	0	0	0	0
CON	240	0	75	75
90N-50C	108	108	75	75
90N-30C	151	65	75	75
80N-50C	96	96	75	75
80N-30C	134	58	75	75

1.2 取样与测定方法

1.2.1 土壤速效氮

夏玉米收获后采集0~200 cm土壤样品(每20 cm一层),并在夏玉米主要生育期(苗期、大喇叭口期、抽雄期)取耕层(0~20 cm)土壤,每小区取3个点,同层混合土样。新鲜土样带回实验室后立即过5 mm筛,充分混匀后取20 g放入铝盒中,105℃下烘干测定土壤水分,另取12 g鲜土,加入100 mL 0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂浸提液振荡60 min,过滤后采用流动分析仪(Bran Luebbe AA3,德国)测定土壤无机氮(硝态氮和铵态氮)含量。夏玉米收获后土壤剖面100~200 cm残留硝态氮采用如下公式:

$$C = \sum L \times B \times T$$

式中: C 为土壤残留硝态氮,kg·hm⁻²; L 为每层土壤硝态氮浓度,mg·kg⁻¹; B 为土壤容重,g·cm⁻³; T 为土层厚度,cm。

1.2.2 田间条件下包膜尿素的溶出过程

包膜尿素在土壤中的释放采用田间埋设肥料网袋的方法进行。准确称量供试包膜肥5.00 g,装入长20 cm、宽5 cm的尼龙网袋内,埋前在网袋内装入100 g表层土与肥料混匀,然后埋入深15 cm土中,共埋18袋,分别在第1、8、23、40、50 d和89 d取样,每次取3袋,用自来水将泥土冲洗干净,自然晾干,用常规方法测定膜内的氮含量^[24]。

1.2.3 产量和氮肥利用率

收获时每小区采40株夏玉米测定质量,并根据每亩(667 m²)玉米株数换算成每公顷产量(生物量)。同时另取5株玉米,测定鲜质量后全株切碎混匀,取分样烘干测定干质量,然后将烘干样粉碎并混

匀后取少量混合样,用凯氏定氮法测定样品的全氮含量^[24],氮肥利用率(NUE)用差减法计算。

$$NUE = (\text{施氮区作物吸氮量} - \text{无氮区作物吸氮量}) / \text{施氮量} \times 100\%$$

1.3 数据处理

采用SAS 6.12软件中ANOVA程序对数据进行单因素方差分析,5%显著水平。

2 结果与分析

2.1 包膜尿素田间氮素释放

图1是包膜尿素在夏玉米生长期间的氮素释放曲线。从图中可以看出,包膜尿素第一天释放率为5.28%,玉米生长期氮素释放过程近于抛物线,即在前期释放速率较快,40 d内累积释放率接近60%,随后释放速率逐渐变缓。田间条件下累积释放80%所需时间为81 d,与夏玉米99 d生长期仅相差18 d,说明包膜尿素的氮素供应与夏玉米的氮素吸收吻合较好,一次性施肥能满足玉米全生育期的氮素需求。

2.2 产量与氮肥利用率

从表2可见,施氮显著增加了夏玉米产量($P < 0.05$),5个施氮处理较不施氮对照的夏玉米增产18.51%~43.24%,4个包膜尿素和普通尿素混施处理较常规施氮的夏玉米产量更高,增产2.85%~20.87%。其中减氮10%的两个处理增产显著,90N-30C处理的夏玉米产量最高。说明混施氮肥在保证夏玉米增产的条件下具有较好的节肥效果。

与产量类似,施氮显著增加了夏玉米植株氮素含量和氮素吸收($P < 0.05$),其中混施氮肥处理的夏玉米植株氮素含量和吸氮量又显著高于常规施氮处理,4个混施氮肥处理的氮肥利用率均超过了40%,较常规

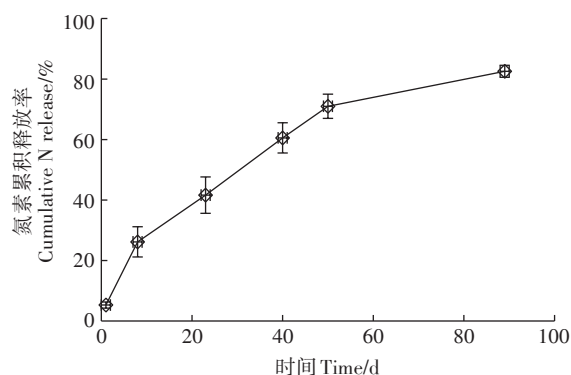


图1 包膜尿素田间释放曲线

Figure 1 Nutrient release pattern of coated urea under field conditions

表2 产量和氮肥利用率

Table 2 Yield and nitrogen use efficiency

处理 Treatment	产量 Yield/(t·hm ⁻²)	含氮量 N content/%	氮素吸收 N uptake/(kg·hm ⁻²)	氮肥利用率 NUE/%
CK	74.0c	0.85c	253c	
CON	87.7b	1.01b	305b	21.4
80N-30C	91.0b	1.19a	343a	46.7
80N-50C	90.2b	1.23a	341a	45.6
90N-30C	106.0a	1.14a	341a	40.5
90N-50C	98.3a	1.18a	352a	45.7

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Notes: Lowercase letters indicate the significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

施氮提高19.1~25.3个百分点(表2),说明混施氮肥的供氮模式更吻合夏玉米生长期的氮素需求。

2.3 施肥经济效益

2017年青贮夏玉米市场价格0.24元·kg⁻¹,尿素2 000元·t⁻¹,包膜尿素3 500元·t⁻¹,追肥人工费200元·hm⁻²,按上述价格计算后,在氮肥用量降低10%~20%的情况下,包膜尿素和普通尿素混施均能增产增收,每公顷净收益增加1 000~4 484元,其中减氮10%的增收效果优于减氮20%,30%的包膜尿素混配比例增收效果优于减氮50%(表3)。虽然包膜尿素价格高于普通尿素,但合理的速效缓效配比降低了不合理的氮肥用量,能较好地控制肥料成本的增幅(如成本最高的90N-50C处理每公顷氮肥投入仅比常规施肥增加225元)。而在产量增加以及减少追肥所需劳动力投入等综合因素的作用下,施用混配氮肥能促进农民增收。另外,在目前我国农村劳动力日渐短缺的情况下,采用一次性施肥方式必然减少农业生产对劳动力的大量需要,降低了劳动力成本,对稳定我国的农业生产、保障国家的粮食安全和农产品有效供给具有重要的现实意义。

表3 不同施肥处理的经济效益

Table 3 Economic benefits of different treatments

处理 Treatment	产值 Output value/ (10 ⁴ 元·hm ⁻²)	氮肥成本 Cost of N/ (元·hm ⁻²)	追肥劳力投入 Labor input/ (元·hm ⁻²)	净收入 Net income/ (10 ⁴ 元·hm ⁻²)
CK	1.78	—	—	1.78
CON	2.11	939	200	1.99
80N-30C	2.18	921	—	2.09
80N-50C	2.16	1 034	—	2.06
90N-30C	2.54	1 036	—	2.44
90N-50C	2.36	1 164	—	2.24

2.4 表层土壤无机氮动态变化

夏玉米生育期间各处理表层土壤铵态氮含量均低于8 mg·kg⁻¹,除了苗期90N-30C处理显著偏高及抽雄期80N-30C处理显著高于90N-30C和90N-50C处理外,其他处理间差异均不显著(图2)。夏玉米生长期间,土壤硝态氮含量则明显高于铵态氮含量,前者约为后者的3倍(图2和图3),这是典型旱地土壤的无机氮形态特征,因为旱地土壤氧化条件有利于硝态氮的形成。4个混施氮肥处理在抽雄前的硝态氮含量始终处于较高水平,总体优于常规分次施氮,主要原因是混施氮肥中包膜尿素在前期释放强度较高(图1)。在4个混施氮肥处理中,从趋势上看,包膜尿素占比及施氮量越高,硝态氮含量也越高,但处理间差异并不显著。

2.5 土壤剖面硝态氮残留

由图4可知,各处理不同土层硝态氮含量大多超过10 mg·kg⁻¹,2 m土层处的硝态氮含量除80N-50C处

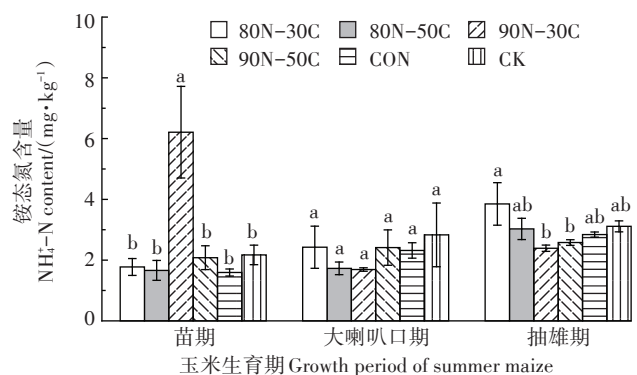


图2 表层土壤(0~20 cm)铵态氮动态变化

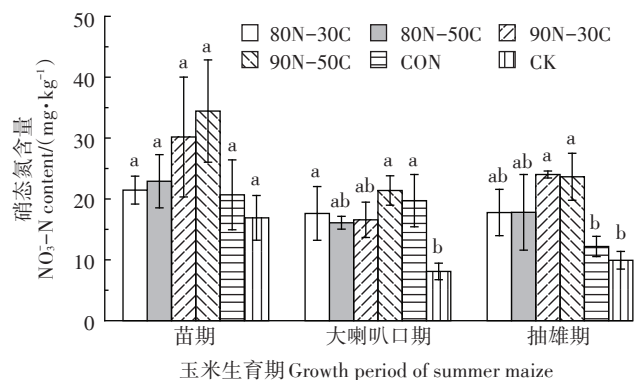
Figure 2 The dynamic changes of NH₄⁺-N in surface layer soil(0~20 cm)

图3 表层土壤(0~20 cm)硝态氮动态变化

Figure 3 The dynamic changes of NO₃⁻-N in surface layer soil(0~20 cm)

理外,其他处理均超过 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中常规施氮最高,达 $43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与不施氮对照相比,常规施氮在夏玉米生长期发生了较为明显的硝态氮淋洗,包膜尿素和普通尿素混施则有利于抑制硝态氮向下层土壤迁移,4个混施肥处理总体并未增加100 cm以下的硝态氮浓度,且减氮越多,残留越低。由于夏玉米在100 cm土体以下的根系分布较少,对深层土壤的养分吸收能力较弱,因此100~200 cm土层的残留硝态氮具有较大淋失风险,4个混施氮肥处理100~200 cm土层的土壤残留硝态氮较常规施氮处理显著降低 $193 \sim 315 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图5),降幅 $35.1\% \sim 56.6\%$,说明混施氮肥抑制硝态氮向土壤深层移动及减轻淋洗损失的效果非常明显。

3 讨论

包膜尿素相比普通尿素的氮素释放缓慢,氮素供应更吻合作物吸氮规律,但单独施用价格仍然偏高^[16],农民接受意愿不强,尤其是在粮食作物上。为此本研究采用包膜尿素与普通尿素混施的方法,探索

出满足夏玉米高产、氮素高效利用、有利于降低硝酸盐残留和淋洗,以及具有较好经济效益的合理混配比例和施氮量。研究表明,试验所用包膜尿素在田间的实际释放期为81 d(图1),基本与夏玉米生长期氮素需求吻合。相关研究表明,60 d释放期的包膜尿素氮素释放基本与夏玉米生长期吻合,利于夏玉米高产和提高氮肥利用率^[19,21]。包膜尿素与普通尿素混配后一次性施用,相比常规施氮,在减氮情况下夏玉米表现出不同程度增产,其中减氮10%情况下显著增产,氮肥利用率提高 $19.1 \sim 25.3$ 个百分点,这与前人的研究结果^[22,25-26]一致。笔者先前研究表明,包膜尿素在减氮情况下能大幅增产和提高氮肥利用率的主要原因是其氮素释放特征与作物吸氮规律高度吻合^[14]。包膜尿素和普通尿素混施能为玉米生殖器官形态建成的关键时期——孕穗期提供充足的氮素,又能保持生殖生长后期不脱肥,从而保证了玉米高产,提高了氮肥利用率^[21]。

与常规施氮相比,采用包膜尿素与普通尿素混施,在100~200 cm土层累积残留硝态氮减少 $193 \sim 315 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,降幅 $35.1\% \sim 56.6\%$,且包膜尿素占比越高,残留越少,上述结果除了与减少氮肥用量及提高氮肥利用效率有关外(表2),包膜尿素持续平稳供氮的特征亦能有效降低硝态氮向深层土壤的迁移和累积^[20,27]。由于玉米根系在100 cm土层以下的深层土壤分布较少^[28],对硝态氮吸收能力较弱,因此100~200 cm土层的残留硝态氮发生淋失的风险很高,而缓控释肥在降低硝态氮淋失风险方面的效果往往优于速效性氮肥^[8,13]。

有关施用缓控释肥的经济效益优于常规施肥的报道较多^[19,29-31]。丁武汉等^[7]在水稻-油菜轮作系统的研究表明,与优化施肥相比,一次性基施控释肥的水稻和油菜每公顷分别增收3 048元和2 220元。本研究采用包膜尿素与普通尿素合理配比、降低氮肥用量和一次性施肥的措施有效控制了氮肥投入成本,在基本不增加氮肥投入的情况下,每公顷净收益增加 $1\,000 \sim 4\,484$ 元,结果与上述研究类似,其中减氮10%(30%包膜尿素)处理在增收方面的效果最优,包膜尿素30%的混配比例既能满足夏玉米高产的氮素需求,同时还能较好地控制肥料投入成本,从而实现作物增产和农民增收^[32]。总之,缓控释肥在化肥减量和促进农民增收方面的综合效益显著,是控制化肥用量较好的替代技术。

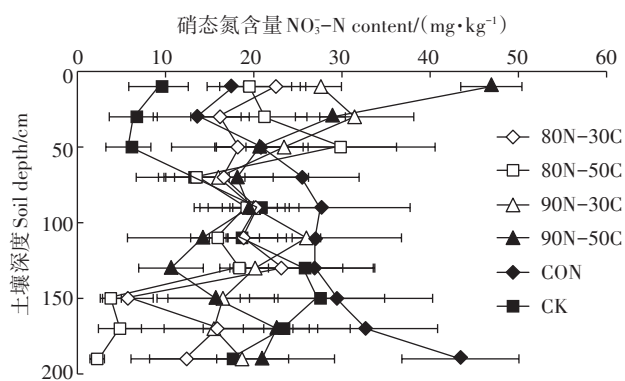


图4 土壤剖面硝态氮含量

Figure 4 $\text{NO}_3\text{-N}$ content of soil profile

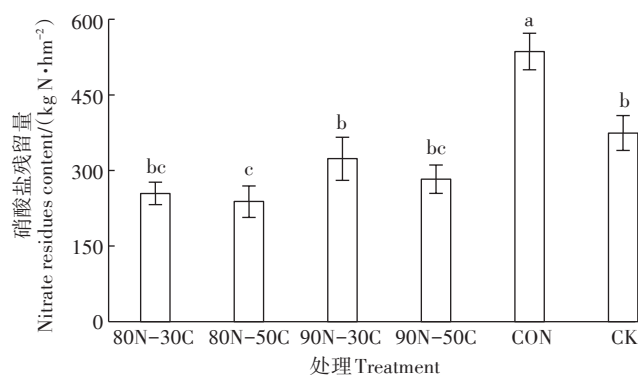


图5 100~200 cm土层硝酸盐残留

Figure 5 Cumulative nitrate content in 100~200 cm soil layer

4 结论

(1)与常规分次施氮相比,包膜尿素和普通尿素混配的肥料一次性施用,不仅节省了追肥所需劳动力投入,而且在提高氮肥利用率的同时,实现了夏玉米增产增收,减少了硝态氮在深层土壤的残留量,降低了环境污染风险。

(2)综合来看,包膜尿素占比30%且减氮10%的施氮方案效果最佳。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 合理使用化肥充分利用有机肥,发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2):89-93.
ZHU Zhao-liang. Fertilizer management strategies for the harmonization of agriculture development with environment protection[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2003, 18(2):89-93.
- [2] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):915-924.
ZHANG Fu-suo, WANG Ji-qing, ZHANG Wei-feng, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5):915-924.
- [3] Zhang D, Wang H Y, Pan J T, et al. Nitrogen application rates need to be reduced for half of the rice paddy fields in China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, 265:8-14.
- [4] Liu T Q, Fan D J, Zhang X X, et al. Deep placement of nitrogen fertilizers reduces ammonia volatilization and increases nitrogen utilization efficiency in no-tillage paddy fields in central China[J]. *Field Crops Research*, 2015, 184:80-90.
- [5] 张福锁. 我国肥料产业与科学施肥战略研究报告[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
ZHANG Fu-suo. Strategy of Chinese fertilizer industry and scientific application[M]. Beijing: Chinese Agricultural University Press, 2008.
- [6] 石宁, 李彦, 张英鹏, 等. 控释肥对小麦/玉米农田土壤硝态氮累积和迁移的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20):3920-3927.
SHI Ning, LI Yan, ZHANG Ying-peng, et al. Effects of the controlled release fertilizer on nitrate accumulation and migration in the soil of wheat-maize rotation system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20):3920-3927.
- [7] 丁武汉, 谢海宽, 徐驰, 等. 一次性施肥技术对水稻-油菜轮作系统氮素淋失特征及经济效益的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4):1097-1109.
DING Wu-han, XIE Hai-kuan, XU Chi, et al. Impacts of one-off fertilization on nitrogen leaching and economic benefits for rice-rape rotation system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(4):1097-1109.
- [8] 刘兆辉, 吴小宾, 谭德水, 等. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20):3827-3839.
LIU Zhao-hui, WU Xiao-bin, TAN De-shui, et al. Application and environmental effects of one-off fertilization technique in major cereal crops in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20):3827-3839.
- [9] Yang J G, Liao S Q, Li Y M, et al. Reducing nitrogen pollution while improving tomato production by controlled-release urea application[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2018:1-12.
- [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] Shivay Y S, Prasad R, Pal M. Effect of nitrogen levels and coated urea on growth, yields and nitrogen use efficiency in aromatic rice[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2016, 39(6):875-882.
- [12] 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.
LI Peng-fei, LI Xiao-kun, HOU Wen-feng, et al. Studying the fate and recovery efficiency of controlled release urea in paddy soil using ¹⁵N tracer technique[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20):3961-3971.
- [13] Rui Y C, Matthew D R, Todd W A, et al. Assessing the benefit of polymer-coated urea for corn production on irrigated sandy soils[J]. *Agronomy Journal*, 2019, 111:473-481.
- [14] 曹兵, 徐秋明, 任军, 等. 延迟释放型包衣尿素对水稻生长和氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3):352-356.
CAO Bing, XU Qiu-ming, REN Jun, et al. Effects of delayed release coated urea on rice growth and nitrogen absorption[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3):352-356.
- [15] 赵秉强, 许秀成. 加快建设有中国特色缓释肥料技术体系, 推动缓释肥料产业健康发展[C]. 济南: 第二届全国新型肥料科学研讨会, 2010.
ZHAO Bing-qiang, XU Xiu-cheng. Set up a slow-release fertilizer technology system with Chinese characteristics in promoting its industrialization in China with healthy and sound development[C]. Jinan: The second symposium on China's new fertilizer, 2010.
- [16] Trenkle M E. Slow- and controlled release and stabilized fertilizers [M]. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010.
- [17] Shoji S. Meister controlled release fertilizer: Properties and utilization [M]. Sendai: Konno Printing Co. Ltd., 1999.
- [18] Fu J J, Wang C Y, Chen X X, et al. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used: A review[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2018:1-12.
- [19] 衣文平, 屈浩宇, 许俊香, 等. 不同释放天数包膜控释尿素在春玉米上的应用研究[J]. 核农学报, 2012, 6(4):699-704.
YI Wen-ping, QU Hao-yu, XU Jun-xiang, et al. Application of different release duration controlled-release coated urea on spring maize [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2012, 6(4):699-704.
- [20] Li Y, Zhang J J, Zhang Z D, et al. Effect of different fertilization managements on nitrate accumulation in a mollisol of northeast China [J]. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2016, 3:16-23.
- [21] 李伟, 李絮花, 李海燕, 等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(4):699-706.

- LI Wei, LI Xu-hua, LI Hai-yan, et al. Effects of different mixing rates of controlled-release urea and common urea on grain yield and nitrogen use efficiency of summer maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(4):699-706.
- [22] 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, 108:1703-1716.
- [23] 金容, 李兰, 郭萍, 等. 控释氮肥比例对土壤氮含量和玉米氮素吸收利用的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6):214-221.
- JIN Rong, LI Lan, GUO Ping, et al. Effects of mixed ratios of controlled-release nitrogen fertilizer[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(6):214-221.
- [24] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社, 1983.
- Agro-chemistry Specialty Committee of Soil Science Society of China. Soil agro-chemistry general analysis methods[M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [25] 卢艳丽, 白由路, 王磊, 等. 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1):209-215.
- LU Yan-li, BAI You-lu, WANG Lei, et al. Efficiency analysis of slow/controlled release fertilizer on wheat-maize in north China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1):209-215.
- [26] 孙晓, 景建元, 吕慎强, 等. 不同缓/控释尿素在黄土台塬区春玉米的减量施用效果[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6):848-855.
- SUN Xiao, JING Jian-yuan, LÜ Shen-qiang, et al. Effect of different rates of slow/controlled release urea on nitrogen content in spring maize in loess highlands[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(6):848-855.
- [27] 杨俊刚, 张冬雷, 徐凯, 等. 控释肥与普通肥料混施对设施番茄生长和土壤硝态氮残留的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(18):3782-3791.
- YANG Jun-gang, ZHANG Dong-lei, XU Kai, et al. Effects of mixed application of controlled-release fertilizer and common fertilizers on greenhouse tomato growth, yield, root distribution and soil nitrate residual[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(18):3782-3791.
- [28] 刘晶森, 安顺清, 廖荣伟, 等. 玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3):517-521.
- LIU Jing-miao, AN Shun-qing, LIAO Rong-wei, et al. Temporal variation and spatial distribution of the root system of corn in a soil profile[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(3):517-521.
- [29] Halvorson A D, Bartolo M E. Nitrogen source and rate effects on irrigated corn yields and nitrogen-use efficiency[J]. *Agronomy Journal*, 2013, 105:1-13.
- [30] 张伟纳, 刘宇娟, 董成, 等. 氮肥运筹对潮土冬小麦/夏玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(1):165-175.
- ZHANG Wei-na, LIU Yu-juan, DONG Cheng, et al. Effect of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of winter wheat and summer maize in fluvo-aquic soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(1):165-175.
- [31] 曹兵, 倪小会, 衣文平, 等. 控释肥对甘蓝产量、经济收益及土壤无机氮的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(31):56-61.
- CAO Bing, NI Xiao-hui, YI Wen-ping, et al. Impact of controlled release fertilizers on yield, economic returns and soil inorganic nitrogen of cabbage[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(31):56-61.
- [32] 衣文平, 朱国梁, 武良, 等. 不同量的包膜控释尿素与普通尿素配施在夏玉米上的应用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6):1497-1502.
- YI Wen-ping, ZHU Guo-liang, WU Liang, et al. Application of different release duration controlled-release coated urea combined with conventional urea on summer maize[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(6):1497-1502.