

# 缓释氮肥减少菜田土壤硝酸盐淋溶研究

张文新<sup>1,2</sup>, 张成军<sup>2</sup>, 赵同科<sup>2</sup>, 吴琼<sup>3</sup>

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 北京市农林科学院 植物营养与资源研究所, 北京 100097;

3. 北京市延庆县农业技术推广站, 北京 101500)

**摘要:** 为了提高化学氮肥利用效率、减少氮素淋溶造成的环境污染风险。采用大田试验的方法, 研究在菜田土壤条件下, 施用树脂包衣尿素、硫包衣尿素、添加 DCD 氮肥 3 种措施对土壤硝态氮累积和圆白菜硝酸盐含量的影响。研究表明: 树脂包衣尿素能明显提高圆白菜的经济产量, 较常规增产 15.0%, 硫包衣增产 7.3%, 添加 DCD 氮肥与常规持平; 施用添加 DCD 氮肥圆白菜硝酸盐含量比常规 N 降低 20.3%, 而树脂包衣与硫包衣分别增加了 11.3%、20.3%; 3 种缓释氮素在一定时期能够将土壤硝酸盐保持在圆白菜的主要根系层, 树脂包衣在圆白菜莲座期、结球期和收获期效果比较稳定, 硫包衣和添加 DCD 氮肥前期效果好, 后期淋溶加强。

**关键词:** 蔬菜; 土壤; 硝酸盐; 控释肥

中图分类号: S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2010)05-0166-05

## Research on Controlled Release Nitrogen Fertilizer Reducing Nitrate Leaching in Vegetable Fields

ZHANG Wen-xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Cheng-jun<sup>2</sup>, ZHAO Tong-ke<sup>2</sup>, WU Qiong<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

2. Beijing Academy of Agriculture and Forestry sciences, Research Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing 100097, China; 3. Agricultural Technology Extension Station, Yanqing County, Beijing 101500, China)

**Abstract:** To improve the chemical nitrogen fertilizer use efficiency, reduce environmental pollution risk caused by nitrogen leaching, research and application of controlled release fertilizer are given special attention in recent years. This paper researches on the effects of application of three kinds of controlled release fertilizers which are resin coated urea, sulfur coated urea and DCD added nitrogen on nitrate accumulation in cabbage and soil nitrate leaching by the method of field experiment, under highly fertility soil conditions. The results showed: resin coated urea could improved the cabbage's economic output and biomass significantly by 15.0% comparing the normal, sulfur coated urea improved by 7.3%, the effect of DCD added nitrogen was not significant comparing the normal; nitrate content in cabbage applied DCD added nitrogen was lower than the conventional N by 20.3%, but resin coated urea and sulfur coated urea improved by 11.3%, 20.3% respectively; The three kinds of controlled release fertilizer could be keep nitrate in the main root in the cabbage in a certain period, the effects of resin coating was relatively stable at rosette stage, heading stage and harvesting time, sulfur coated and DCD added nitrogen were effective in the early period, leaching was strengthened in the latter period.

**Key words:** Vegetable; Soil; Nitrate; Controlled release fertilizer

目前,在我国农业生产中,化肥的使用越来越广,施肥不当所带来的非点源污染问题也越来越明显。我国化肥的利用效率较低,一般作物的氮肥仅有 30%~35% 被有效利用,其余氮肥一部分以挥发

或反硝化方式气态损失,另一部分滞留在土壤中,或是在降雨和灌溉作用下,随着地表径流流失,或者随着淋溶进入地下水,从而对水环境造成巨大的影响<sup>[1]</sup>。氮肥施用量同土壤中硝酸盐的积累与淋失

收稿日期: 2010-08-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B01); 中国-加拿大 IPNI 国际合作项目

作者简介: 张文新(1984-),男,甘肃兰州人,硕士研究生,主要从事农业非点源污染方面的研究。

通讯作者: 赵同科(1959-),男,河北柏乡人,研究员,主要从事施肥与环境方面的研究。

量密切相关。在不同质地土壤上分别进行的试验结果证明,土壤中硝酸盐累积量随着施氮量的增加而增加;同时大量的氮肥施用也导致蔬菜中硝酸盐过量累积,施氮越多,植物体内硝酸盐含量越高<sup>[2]</sup>。

近年来,人们通过确定合理施氮量减少硝酸盐累积的同时,试图通过改变氮肥品种来降低蔬菜和土体硝酸盐的累积。有些氮肥品种既可使硝酸盐含量降低,又减少土壤中硝酸盐淋失<sup>[3-5]</sup>。缓控释肥通过各种调控机制使其养分最初缓慢释放,延长作物对其有效养分吸收利用时期,使其养分按照设定的释放率和释放期缓慢或控制释放。这种肥料具有提高化肥利用率、减少使用量与施肥次数、降低生产成本、减少环境污染、提高农作物产品品质等优点<sup>[6]</sup>。在大田作物、蔬菜、果树上都有显著的增产效果,同时还可以改善蔬菜的品质。本研究采用田间试验方法,通过施用树脂包衣尿素、硫包衣尿素和添加 DCD 氮肥 3 种缓释氮肥,探讨缓控释肥控制土壤硝酸盐累积、降低蔬菜硝酸盐含量的作用,实现蔬菜产量、品质与土壤环境保护相互协调。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤

试验地点位于北京市延庆县康庄镇北京延庆八

达岭蔬菜生产基地,土壤为潮土。播种前采集 0~20 cm 基础土样,基本理化性状见(表 1)。挖 0~100 cm 土壤剖面,用环刀分别取 0~20,20~40,40~60,60~80,80~100 cm 的原状土体,测得土壤容重值(用于计算土壤硝酸盐累积量)分别为 1.32,1.62,1.62,1.62 和 1.60 g/cm<sup>3</sup>。同时用土钻分 5 层采集小区土壤样品,测定硝态氮含量(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)(图 1)。

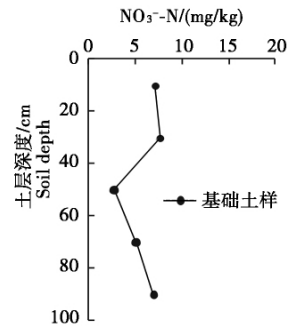


图 1 播种前 0~100 cm 土体内土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量

Fig.1 Soil nitrate concentration in 0~100 cm soil profile before seeding

### 1.2 供试作物

圆白菜(Cabbage),品种为中甘 22,生长期 90 d 左右。

表 1 供试土壤基本理化性状

Tab.1 Basic physical and chemical properties of soil tested

有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total N	速效磷/(mg/kg) Olsen-P	速效钾/(mg/kg) Available K	pH
17.62	0.66	30.76	69.90	7.8

### 1.3 试验处理

试验处理设 5 个(表 2),3 次重复,小区面积 4 m×8 m=32 m<sup>2</sup>。圆白菜行距 40 cm,株距 30 cm,每行 27 株;氮、磷、钾肥种类分别为尿素、硫包衣、树脂包衣、二铵和硫酸钾。2009 年 4 月 14 日将常规处理 1/3 氮肥、缓释肥各处理全部氮肥、磷肥和钾肥作为基肥一次施入土壤并翻耕,施肥后每个小

区灌水 50 mm,4 月 18 日播种圆白菜,常规处理尿素在 5 月 8 日和 6 月 2 日作为追肥 2 次施入土壤。6 月 17 日收获圆白菜。在蔬菜生长期,共灌水 3 次,5 月 9 日灌水 1 次,每小区灌水量均为 40 mm;6 月 3 日灌水 1 次,每小区灌水量均为 50 mm;6 月 13 日灌水 1 次,每小区灌水量均为 30 mm。

表 2 缓释氮肥减少菜田土壤硝酸盐淋溶试验设计

Tab.2 Controlled release nitrogen fertilizer reducing nitrate leaching in vegetable fields of soil tested

处理代号 Number	处理 Treatment	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	不施氮肥(空白)	0	150	150
2	100% 普通尿素(习惯)	450 常规 N	150	150
3	30% 树脂包衣 + 70% 普通尿素	220.5 常规 N + 94.5 树脂包衣 N	150	150
4	30% 硫包衣 + 70% 普通尿素	220.5 常规 N + 94.5 硫包衣 N	150	150
5	1% DCD + 99% 普通尿素	315 常规 N + 1% DCD	150	150

### 1.4 样品采集及分析方法

整个试验期内取土壤样品 4 次(定植前、莲座期、结球期、收获后),用土钻分 0~20,20~40,40~

60,60~80,80~100 cm 土层采集小区土壤样品,每小区用 S 形取样法随机选取多点混匀后测定硝态氮含量。用 1 mol/L NaCl 浸提,过滤,用紫外分光光度

法测定硝态氮含量。如追肥与取土在同一天进行,土样均在追肥前采集。

6月17日对不同施氮处理分区收获,按照种植面积计产。每小区取代表性的圆白菜鲜样3株,将可食用部分切碎混匀后一部分用于测定硝酸盐含量,另一部分用去离子水洗净、烘干、磨细供测定全氮含量。

分析方法:有机质用重铬酸钾氧化还原滴定法测定,全氮用凯氏法测定,速效磷用 Olsen 法测定,速效钾用中性醋酸铵浸提,火焰光度计测定,pH 值用酸度计法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对圆白菜体内硝酸盐的影响

蔬菜是易于富集硝酸盐的作物,而其中的叶菜类尤为突出。蔬菜中的硝酸盐含量受诸多因素影响,其中施肥是一个相当重要的影响因素,而氮肥是影响蔬菜硝酸盐含量作用最大的因素之一<sup>[7,8]</sup>。根据世界卫生组织和联合国粮农组织提出的蔬菜可食用部分中硝酸盐含量的卫生标准( $\leq 432$  mg/kg),本试验结果表明(图2),各处理圆白菜体内硝酸盐含量低于限量标准,食用是安全的<sup>[9]</sup>。不同氮肥处理对圆白菜硝酸盐含量影响不同:树脂包衣与常规 N 处理相比,圆白菜体内硝酸盐含量升高了 11.3%,但差异不显著。硫包衣处理显著高于常规和抑制剂 2 个处理,分别提高了 20.3%,36.5%;抑制剂处理蔬菜硝酸盐含量接近空白处理,与常规 N 相比差异显著,降低了 20.3%。由此可见,在缓控

施肥处理中,使用硝化抑制剂能降低蔬菜体内硝酸盐含量。

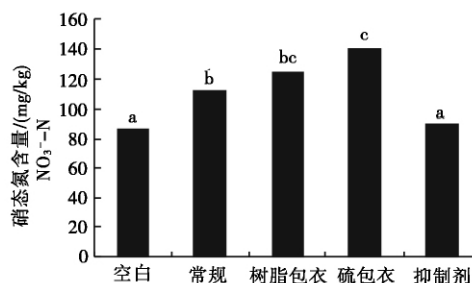


图2 不同施肥处理对圆白菜体内硝酸盐含量影响

Fig. 2 Effect of different fertilizer levels on nitrate contents in cabbage

### 2.2 不同处理对圆白菜产量及吸氮量影响

表3可以看出,在树脂包衣尿素、硫包衣尿素、加 DCD 尿素 3 种缓释肥处理中,以施用树脂包衣尿素的甘蓝产量提高最为显著,树脂包衣比习惯、硫包衣和 DCD 处理分别增产 15.0%,8.6% 和 16.5%;硫包衣处理次之,比常规处理仅高出 7.3%,差异不显著;抑制剂处理比常规处理低 1.9%;圆白菜生物学产量结果得出,缓释肥各处理与常规 N 相比增产不显著,树脂包衣处理增加了 6.5%,硫包衣和 DCD 分别降低了 1.3%,2.9%;从吸氮量看,树脂包衣处理比常规 N 增加了 5.3%,差异不显著,硫包衣和抑制剂处理分别降低了 0.4%,8.3%,DCD 与常规 N 差异显著。以上结果表明,缓释肥与常规化肥相结合,在减少 30% 总氮投入的同时提高圆白菜产量;经济产量、生物学产量和吸氮量三项数据分析中,树脂包衣效果最佳。

表3 不同施肥处理下圆白菜生物量和吸氮量

Tab. 3 Biomass and N uptake of cabbage among difference fertilizer treatment

处理 Treatment	经济产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Economic yield	生物学产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Biomass yield	吸氮量/(kg/hm <sup>2</sup> ) N uptake
1	32 454.75 a	47 035.87 a	67.61 a
2	40 436.92 b	53 726.37 bc	84.83 b
3	47 549.25 c	57 260.84 c	89.31 b
4	43 416.23 bc	53 051.37 bc	85.15 b
5	39 666.05 b	52 153.69 b	77.82 a

注:表中小写字母代表 LSD  $P=0.05$ 。

Note: Small letters on behalf of LSD  $P=0.05$ .

### 2.3 不同处理对圆白菜土壤硝酸盐含量的影响

图1为植前期整块试验地 0~100 cm 土壤硝酸盐含量,各土层硝酸盐含量都低于 10 mg/kg,其中 20~40 cm 最高为 7.65 mg/kg,40~60 cm 最低为 2.68 mg/kg。

图3表述了圆白菜第1次追肥前(莲座期、5月8日)不同施肥处理 0~100 cm 土壤硝酸盐含量变化。各处理土体硝酸盐峰值在 0~20 cm 土层,含量

分布于 45~100 mg/kg 范围内,硫包衣处理与树脂包衣处理较常规 N 分别减少 30.2%,12.7%,差异显著,DCD 与常规 N 持平;20~40 cm 各处理硝酸盐含量比上层有下降趋势,硫包衣与空白集中于 43 mg/kg 左右,其余处理集中于 68 mg/kg 附近;40~60 cm 土层中,常规 N 处理土壤硝酸盐含量为 55.32 mg/kg,远偏离其他处理 22~28 mg/kg 范围。60~80 cm 土层中各处理土壤硝酸盐含量与上层比较,

缓释肥 3 处理淋溶加强,各增长了 12 mg/kg,但低于常规;80~100 cm 土层中,硫包衣硝酸盐含量较常规 N 下降 66.4%,与空白持平,树脂包衣与 DCD 处理比常规 N 分别下降 13.2%,28.0%。此时期 0~100 cm 土体中,各处理与常规 N 比较硫包衣土壤硝酸盐含量下降 43.4%,效果最佳,树脂包衣与抑制剂处理只下降了 19%。

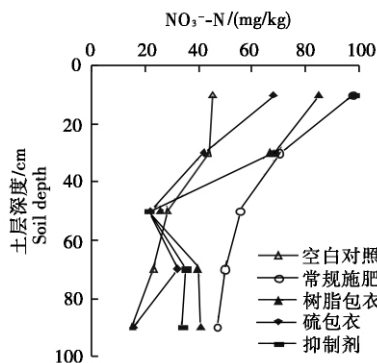


图 3 第 1 次追肥不同施肥处理对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的影响

Fig. 3 Effect of different fertilizer treatment on soil nitrate content in the first fertilization

图 4 为圆白菜第 2 次追肥前(结球期、5 月 26 日)不同施肥处理 0~100 cm 土壤硝酸盐含量变化情况。0~20 cm 中硫包衣处理硝酸盐含量与上一时期相比不减少,其余各处理均有减少。20~40 cm 土层硝酸盐含量与第 1 次追肥时 20~40 cm 土层硝酸盐含量相比,变化趋势同上层。40~60,60~80 和 80~100 cm 各层土壤硝酸盐含量比上时期和上一土层都有减少,除 DCD 处理,其他各处理逐渐随着土层的加深集中于 15 mg/kg 左右。这一时期 0~100 cm 土体中,各处理与常规 N 比较 DCD 处理土壤硝酸盐含量升高 14.4%,树脂包衣与硫包衣处理分别下降了 24.9%,7.4%。

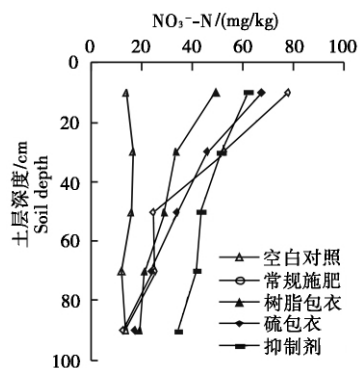


图 4 第 2 次追肥不同施肥处理对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的影响

Fig. 4 Effect of different fertilizer treatment on soil nitrate content in the second fertilization

图 5 为圆白菜收获后不同施肥处理 0~100 cm

土壤硝酸盐含量变化情况。图中 0~20 cm 各处理土壤硝酸盐含量主要集中于 18 mg/kg 附近,比上两个时期减少幅度大。20~40 cm 土层硝酸盐含量,与上两个时期相比常规 N 和 DCD 处理下降趋势明显,树脂包衣与硫包衣下降不明显;40~100 cm 各层土壤硝酸盐含量比上时期和上一土层都有减少,并逐渐随着土层的加深集中于 34~43 mg/kg 范围内。收获时 0~100 cm 土体中,各处理与常规 N 比较:树脂包衣与 DCD 处理土壤硝酸盐含量分别下降了 15.1%,14.5%。硫包衣与常规 N 持平。

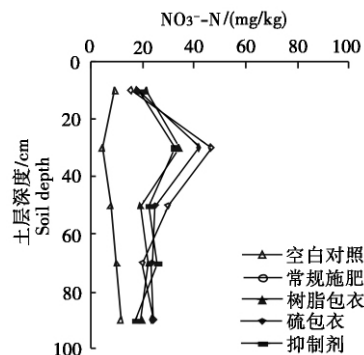


图 5 收获后不同施肥处理对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的影响

Fig. 5 Effect of different fertilizer treatment on soil nitrate content after harvesting

从以上 4 个时期各处理 0~100 cm 土壤硝酸盐变化情况看,0~20 cm 土层为土壤硝酸盐含量活跃层,种植前为 7.14 mg/kg,随着气温的升高,土壤矿化与施肥作用,圆白菜莲座期土壤硝酸盐含量大幅提升到 45~100 mg/kg 范围内;进入圆白菜生长旺盛时期,根系对硝酸盐的吸收能力增强,结球期土壤硝酸盐降至 14~80 mg/kg 范围内,以至收获时期集中在 18 mg/kg 左右。20~40 cm 土层各时期土壤硝酸盐变化次于上层,变化幅度小。40~100 cm 土壤硝酸盐变化趋势同上层。从各时期淋溶强度看,在莲座期除常规 N 处理淋溶强烈,各处理随着土层的加深逐渐集中与一点。树脂包衣土壤硝酸盐淋溶比常规 N 低 15%~25%,比较稳定;硫包衣处理在莲座期较常规土壤硝酸盐淋溶减少显著,在以后各时期与常规 N 基本持平;抑制剂与常规 N 相比硝酸盐淋溶速度在莲座期和收获后下降明显,但在结球期反而有所增加。由此看来,树脂包衣处理在减少土壤硝酸盐效果比较好。

### 3 结论

在本试验菜田土壤条件下,不同的氮肥处理对圆白菜硝酸盐含量的影响不同是由多方面的原因造成的。添加氮素抑制剂处理降低圆白菜硝酸盐含量,该肥料组合中的 DCD 对土壤中亚硝化细菌的活性具有

明显的抑制作用,从而减缓了土壤中氮素向  $\text{NO}_3^-$  转化的速率,减少了蔬菜对氮的吸收速率和积累量<sup>[20]</sup>。树脂包衣和硫包衣处理没有降低圆白菜体内硝酸盐含量,原因可能与包衣肥料的释放机理相关,蔬菜根部  $\text{NO}_3^-$  含量充足,有利于吸收和积累,而李建设<sup>[10,11]</sup>的研究表明大颗粒尿素反而降低了大白菜收获期体内硝酸盐含量,这有待进一步的研究。

控释氮肥与常规氮肥相组合,在施肥总量比常规氮肥用量减少 30% 的情况下,并且各处理与常规 N 相比并没有显著减少圆白菜的经济产量和生物产量,树脂包衣处理的经济产量和生物量增产显著,说明这种肥料组合方式在稳产的同时提高氮肥利用率。使用缓控施肥能少用人工,确实能在一定程度上使蔬菜生产简化,但关于缓控施肥的精准配比以及其价格等问题还有待于进一步的研究。

从各时期土壤硝酸盐含量变化看出,几种释氮肥能在一定时期把土壤硝态氮保持在圆白菜的主要根层,树脂包衣处理在 3 个时期效果比较稳定,硫包衣和添加氮素抑制剂 2 个处理前期效果好,后期淋溶加强。这表明树脂包衣氮肥溶出机制稳定,能有效的控制氮素的释放速率;硫包衣次,硝化抑制氮肥作用受土壤和气候条件影响比较大,针对主要影响因素应作详细研究。

#### 参考文献:

- [1] 樊小林,廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(3): 219 - 223.
- [2] 林志刚,薛耀英. 叶菜类蔬菜上的硝酸盐积累规律及其控制方法研究[J]. 土壤通报,1993,24(6): 253 - 255.
- [3] 许学前,吴敬民. 小麦氮肥的有效利用和对水体环境污染的影响[J]. 土壤通报,1999,30(6): 268 - 270.
- [4] 任祖淦,邱孝煊,蔡元呈. 等. 氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究[J]. 生态学报,1998,18(5): 523 - 528.
- [5] 金翔,韩晓增,蔡贵信. 黑土-春小麦中三种化学氮肥的去向[J]. 土壤学报,1999,36(3): 448 - 453.
- [6] 肖强. 有机-无机复合材料胶结包膜型缓-控释肥料的研制及评价[D]. 北京: 中国农业科学院,2007: 3 - 10.
- [7] 胡勤海,傅柳松. 双氰胺对蔬菜硝酸盐积累抑翻作用的研究[J]. 环境污染与防治,1991,13(1): 6 - 8.
- [8] 李建设,高艳明,孙权. 氮肥形态与大白菜产量及硝酸盐累积的关系[J]. 长江蔬菜,2002(专刊): 39 - 40.
- [9] 李琴. 农田土壤氮素循环及其对土壤氮流失的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(11): 3310 - 3312.
- [10] 李宗来. 全素长效柱肥[P]. CN 200958084Y,2007,10,10.
- [11] 武志杰,陈立军. 缓控释肥料原理与应用[J]. 北京: 科学出版社,2003: 130 - 135.