

# 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

王弘菲<sup>1</sup> 高志岭<sup>1</sup> 陈新平<sup>2</sup> 刘树庆<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院 河北 保定 071000; 2. 中国农业大学 资源与环境学院 北京 100083)

**摘要:**通过田间试验,研究了农民习惯施肥、优化施肥以及普通尿素和控释尿素在不同配比条件下对冬小麦茎蘖动态、冬小麦产量、土壤硝态氮动态和氮素平衡等影响。试验共设7个处理,分别是对照(CK)、农民习惯施肥(Ncon)、优化施肥(Nopt)、控释尿素(100%)(CRU1)、普通尿素(33.3%) + 控释尿素(66.7%)(CRU2)、普通尿素(66.7%) + 控释尿素(33.3%)(CRU3)和普通尿素(100%)(CRU4)。试验结果表明:2个生长季内,各施肥处理之间冬小麦群体动态没有显著差异,施用控释肥也并没有显著降低土壤硝态氮含量。尽管施氮处理之间冬小麦产量没有显著差异,但CRU2处理的产量、氮肥利用效率(RE)、农学效率(AE)和偏生产力(PP)略优于其他处理。因此,控释尿素和普通尿素配合施用(比例为2:1)仍然是一种较佳的施肥方法。

**关键词:**控释尿素;普通尿素;冬小麦;产量;氮素平衡

中图分类号:S143.1 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2012)02-0196-06

## Effects of the Combined Application of Control-Released Urea and Urea on Tillers, Yield, Soil $\text{NO}_3^-$ -N and Nitrogen Balance of Winter Wheat

WANG Hong-fei<sup>1</sup>, GAO Zhi-ling<sup>1</sup>, CHEN Xin-ping<sup>2</sup>, LIU Shu-qing<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2. College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This conducted field experiment was to examine the effects of N managements of conventional, optimized and the combination of urea and control released urea on winter wheat stem tillers, yield, soil  $\text{NO}_3^-$ -N dynamic and nitrogen balance. Seven treatments including control (CK), conventional N (Ncon), optimized N (Nopt), control released urea (100%) (CRU1), urea (33.3%) + control released urea (66.7%) (CRU2), urea (66.7%) + control released urea (33.3%) (CRU3) and urea (100%) (CRU4) were conducted. It shows that during the two winter wheat seasons, although no significant difference on the amount of tillers among different N treatments were identified and no significant impact on the reduction of soil nitrate accumulation by applying control released urea in combination with urea was found, through this study, slightly higher yields, nitrogen recovery (RE), agronomic efficiency (AE) and partial productivity (PP) in the treatment of CRU2 (ratio of urea to control released urea 2:1) were obtained, indicating it a relative better nitrogen management practice.

**Key words:** Control released urea; Urea; Winter wheat; Yield; Nitrogen balance

化肥在农业生产中发挥着重要的作用,据联合国粮农组织(FAO)的统计表明,在发展中国家施肥可以提高粮食作物单产55%~57%,总产30%~31%。但是,由于我国化肥施用和研究起步均较晚,加上经济和技术的原因,化肥的利用率不高,氮肥的

当季利用率为30%~50%,磷肥为10%~20%,钾肥为35%~50%,低于发达国家15~20个百分点<sup>[1]</sup>。尤其进入20世纪90年代,我国在氮肥用量和化肥生产总量方面已居世纪首位<sup>[2]</sup>,而且氮肥的过量应用所引发的大气、水体、土壤等一系列环境问题越来越

收稿日期:2012-01-05

基金项目:国家自然科学基金(41075105)

作者简介:王弘菲(1985-),女,河北唐山人,在读硕士,主要从事土壤环境质量研究。

通讯作者:高志岭(1974-),男,河北肥乡人,副教授,博士,主要从事畜牧系统物质循环研究。

越受到大众的普遍关注。

调查研究表明,作为冬小麦主产区的华北平原,小麦生产中水肥的投入已远远超过当前作物产量的水肥需求量<sup>[3]</sup>。氮肥的不合理施用不仅造成了氮肥损失严重、利用率低、污染环境,而且也使农产品安全问题日益突出<sup>[4-5]</sup>。例如,我国农业生态系统中 $\text{NH}_3$ 的释放量为107 t/年,其中10%以上来自于农田氮肥施用后的氮挥发<sup>[6-7]</sup>。因此,迫切需要在华北地区冬小麦生产上全面开展减少氮素损失和提高氮肥利用率的研究工作。

近年的研究表明,依据土壤肥力、作物类型和目标产量,采用针对性较强的施肥量和施肥时间能够有效地降低氮肥用量并提高氮肥利用率<sup>[8-13]</sup>。但是,这种措施通常需要较多的劳动力资源,这在一定程度上限制了其推广和应用范围,而控释氮肥的施用可能为解决该问题开辟了一条新的可行途径。控释肥是指通过各种机制措施,预先设定肥料在作物生长季节的释放模式,使其养分释放规律与作物养分吸收特征同步,从而达到提高肥效的一类肥料<sup>[14]</sup>。控释氮肥具有养分释放慢、作物吸收多、养分利用率高的特点,使用控释肥可以显著地降低氮

素的挥发与淋失,减少对环境的污染<sup>[15]</sup>。控释肥的研究、开发和生产被称为21世纪肥料工业发展的第三次革命<sup>[16,17]</sup>。因此,控释氮肥不仅是当今国际肥料研究的热点,也是肥料产业的发展方向与竞争热点<sup>[18]</sup>。20世纪60年代末,中科院南京土壤研究所开始缓释氮肥(俗称长效氮肥)研究,开创了我国缓/控释肥料研究先河<sup>[19]</sup>。

目前,我国对控释氮肥与普通尿素配施对冬小麦的农学效益和经济效益影响的报道比较少,因此,本研究通过控释氮肥与普通尿素的配施试验探讨了其对冬小麦茎蘖动态、产量、土壤硝态氮以及土壤氮素平衡等影响,为充分发挥控释氮肥减少氮肥损失、提高氮肥利用率、降低冬小麦的生产成本等特性提供理论和技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验位点

试验于2009年10月至2011年6月在河北省保定市南市区四平庄进行,小麦品种为河农6049,供试土壤为中壤质潮褐土,中等肥力,土壤基本理化性质如表1所示。

表1 供试土壤基本理化性质

Tab.1 Physical and chemical properties of experimental soils

年份 Year	pH	有机质 /(g/kg) OM	硝态氮 /(kg/hm <sup>2</sup> ) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	全氮 /(g/kg) Total N	全磷 /(g/kg) Total P	速效磷 /(mg/kg) Avail. P	速效钾 /(mg/kg) Avail. K
2009-2010	7.8	24.1	63.4	1.00	0.93	25.0	78.0
2010-2011	8.4	16.5	53.8	0.92	1.49	8.9	53.2

### 1.2 试验方案

试验为田间小区试验,共设7个处理(表2),每个处理4次重复,随机排列,小区面积为40 m<sup>2</sup>(4 m × 10 m)。氮肥的1/2、磷肥和钾肥作基肥,播前撒施,然后翻耕;磷、钾肥用量分别为75 kg/hm<sup>2</sup>

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、60 kg/hm<sup>2</sup> K<sub>2</sub>O; 1/2的氮肥在拔节期间施用。播种时间分别为2009年10月6日和2010年10月6日,收获时间分别为2010年6月22日和2011年6月20日,行距15 cm,小麦在生长期按农民常规管理分别进行浇水、打药、除草等。

表2 小麦施肥方案

Tab.2 Experimentation design during the experimental periods

试验处理 Experimental treatment	施肥方案(kg/hm <sup>2</sup> ) Fertilization scheme			说明 Explain
	基肥 Basal	追肥 Additional	合计 Total	
CK	0	0	0	对照 不施氮肥
Ncon	150	150	300	农民传统处理: 尿素
Nopt	60	120	180	优化氮素处理: 尿素
CRU1	180	0	180	100% CRU
CRU2	180	0	180	67% CRU + 33% 尿素
CRU3	180	0	180	33% CRU + 67% 尿素
CRU4	180	0	180	100% 尿素

### 1.3 样品采集与测定

1.3.1 冬小麦产量测定 成熟期每个小区取 9 m<sup>2</sup> 样品脱粒测产,产量以风干质量表示。

1.3.2 植株全氮的测定 每试验地块随机取 3 组植物样,每组 1 m,对植株样品鲜质量称完后,置于烘箱中用 105℃ 杀青 30 min,60℃ 恒温烘干,烘干称质量后将其磨碎过筛,植株全氮含量用浓硫酸-双氧水联合消煮,对待测液用凯氏定氮法测定植株全氮量。

1.3.3 植株茎蘖分析 植株茎蘖动态(冬前,拔节,抽穗 3 次调查)及生物量累积及氮素吸收动态(拔节,抽穗,成熟三次取样)均采用鲍士坦的方法<sup>[20]</sup>。

1.3.4 土壤硝态氮的测定 每试验地按“S”形路线采样,利用土钻以 30 cm 为间隔,采集 0~90 cm 土壤样品,样品采集后用冰盒保存立即运回,后在 4℃ 下保存。将新鲜土样过 5 mm 筛,称取 12 g,加入 100 mL 的 0.01 mol/L 的 CaCl<sub>2</sub>,振荡浸提 1 h 过滤,用 TRACCS2000 型连续流动分析仪测定。

### 1.4 数据处理与计算方法

所有试验数据采用 SPSS 和 Microsoft Excel 进行计算和分析。评价氮肥效率的指标主要采用氮肥利用率、农学效率和偏生产力,其具体计算方法如下:

$$\text{氮肥利用率( RE)} = (\text{施氮区吸氮量} - \text{空白区}$$

吸氮量) / 施氮量 × 100%;

$$\text{氮肥农学效率( AE)} = (\text{施氮区产量} - \text{空白区产量}) / \text{施氮量} \times 100\%;$$

$$\text{氮肥偏生产力( PFP)} = \text{施肥区籽粒产量} / \text{施氮量}。$$

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥处理对冬小麦茎蘖动态的影响

由表 3 可知,在 2009 - 2010 年冬小麦生长季中,农民习惯施肥的基本苗显著高于 CRU1 和 CRU4,冬前分蘖期,CRU3 显著高于 CK 和 Ncon 处理,但该现象在 2010 - 2011 年生长季中并没有得到证实,因此,该差异可能是由于其他未知的因素影响所致;在拔节期 2 季中不同氮肥处理之间植株群体没有显著差异 ( $P > 0.05$ );而在抽穗期,2 季的对照处理的公顷穗数显著低于其他施氮处理 ( $P < 0.05$ )。由此可见,在 2 个生长季内,施肥与否对出苗到拔节期间小麦群体的数量并没有规律性的影响,这可能是由于试验土壤的肥力较高,土壤供氮能力基本可满足从出苗到拔节期的基本需要。而在大量吸收氮素的抽穗期,对照处理由于供氮能力较低,不能满足植株生长的需要,这在一定程度上降低了冬小麦的生长,因而该时期小麦群体数量受到了显著影响。同时还发现,在不同氮肥用量之间,抽穗期的群体数量并没有显著差异,这表明所有处理的氮肥用量已经能够满足小麦生长的需要。

表 3 施用控释氮肥对冬小麦茎蘖动态的影响

Tab. 3 The effects of different N management on the stems and tillers of winter wheat × 10<sup>6</sup> /hm<sup>2</sup>

处理 Treatments	2009 - 2010 年 生育期 Growth period				2010 - 2011 年 生育期 Growth period			
	基本苗	冬前期	拔节期	抽穗期	基本苗	冬前期	拔节期	抽穗期
	Basic seeding	Pre winter	Jointing	Heading	Basic seeding	Pre winter	Jointing	Heading
CK	3.48ab	5.61b	8.84a	7.28a	4.69a	7.26a	9.62a	5.50a
Ncon	3.57a	5.77b	8.94a	9.04b	4.89a	7.61a	11.83a	6.36b
Nopt	3.31ab	5.76ab	9.31a	9.65b	4.66a	7.44a	9.67a	5.63b
CRU1	3.13b	5.82ab	10.17a	9.44b	5.12a	7.93a	11.68a	5.78b
CRU2	3.29ab	6.01ab	8.64a	8.94b	4.61a	7.92a	13.03a	6.25b
CRU3	3.18b	6.03a	9.76a	10.43b	4.74a	7.73a	12.05a	6.33b
CRU4	3.20b	5.87ab	9.05a	9.24b	4.65a	8.06a	12.23a	6.08b

### 2.2 施氮处理对冬小麦产量的影响

由表 4 可知,与对照相比,在 2009 - 2010 年和 2010 - 2011 年 2 个生长季内,各施氮处理均显著提高了小麦产量 ( $P < 0.05$ );农民习惯施肥 Ncon 和优化氮肥 Nopt 处理之间在 2 个生长季内小麦产量均没有显著差异,因此,优化处理 Nopt 的氮肥用量已经能够满足小麦的氮素需求;而在控释氮肥和普通尿素配施各处理间,冬小麦作物产量并没有显著差

异,但在所有氮肥处理内,在 2 个生长季内均以 CRU2 的产量最高,分别为 8 434 kg/hm<sup>2</sup> 和 8 397 kg/hm<sup>2</sup>,比 CK 分别增产了 24.9% 和 52.6%。该结果在一定程度上表明,与完全施用普通尿素处理 (Nopt 和 CRU4) 和完全控释氮肥处理 (CRU1) 相比,控释氮肥和普通尿素配合施用 (比例为 2:1) 是一种较佳的施肥方法。

表 4 施用控释氮肥对冬小麦产量的影响

Tab. 4 The effects of different N management on the yield winter wheat

处理 Treatments	2009 - 2010 年		2010 - 2011 年	
	产量 / (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	比 CK 增产 / % Yield increase than CK	产量 / (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	比 CK 增产 / % Yield increase than CK
CK	6 572 ± 74.31 a	-	5 502 ± 49.81 a	-
Ncon	7 991 ± 40.19 b	18.4	7 707 ± 44.44 b	40.1
Nopt	7 930 ± 37.82 b	17.4	7 786 ± 70.80 b	41.5
CRU1	8 346 ± 33.59 b	23.6	8 041 ± 62.37 b	46.1
CRU2	8 434 ± 39.35 b	24.9	8 397 ± 108.50 b	52.6
CRU3	8 308 ± 26.66 b	23.0	7 863 ± 32.83 b	42.9
CRU4	7 900 ± 32.52 b	17.0	7 796 ± 94.11 b	41.7

### 2.3 施氮处理对冬小麦氮素平衡和效率的影响

由表 5 可知,冬小麦植株吸收的氮素均低于氮素的投入量,因此,在试验地条件下,整个生育期氮素投入量 180 kg/hm<sup>2</sup> 已经完全能够满足作物的需求,同时土壤中氮素仍有不同程度盈余。为了分析不同施氮处理的氮素利用效率,本研究还分别采用氮肥利用率、农学效率和偏生产力等指标来评价其进行进一步的分析<sup>[21]</sup>。

与对照相比,在施用普通尿素条件下,2009 - 2010 年生长季中,优化氮肥处理的氮肥利用率、农学效率和偏生产力分别比常规施氮处理提高了

85%、59%、65%; 2010 - 2011 年生长季中分别提高了 83%、73%、68%。这表明,氮肥优化处理在没有影响产量的基础上,大幅度提高了氮肥生产效率。而在施肥量完全相同的各控释肥与普通尿素配施处理之间,在 2009 - 2010 年生长季内,尽管 CRU1 - CRU4 之间氮肥利用效率没有显著差异,但 CRU2 和 CRU4 仍略高于其他 2 个处理;而在 2010 - 2011 年生长季内,氮肥利用率以 CRU2 为最高。在 2 个生长季中,普通尿素和控释氮肥配施处理之间,其中以 CRU2 处理的农学效率和偏生产力为最高。

表 5 施用控释氮肥对冬小麦生态效益的影响

Tab. 5 The effects of different N management on the ecological benefit of winter wheat

处理 Treatments	2009 - 2010 年					2010 - 2011 年				
	总氮素吸收量 /(kg/hm <sup>2</sup> ) N uptake	氮素平衡 /(kg/hm <sup>2</sup> ) N balance	氮肥利用率 /% RE	农学效益 /(kg/kg) AE	偏生产力 /(kg/kg) PPF	总氮素吸收量 /(kg/hm <sup>2</sup> ) N uptake	氮素平衡 /(kg/hm <sup>2</sup> ) N balance	氮肥利用率 /% RE	农学效益 /(kg/kg) AE	偏生产力 /(kg/kg) PPF
CK	103.82	-103.82	-	-	-	66.81	-66.81	-	-	-
Ncon	162.46	137.54	17.62	4.13	26.64	131.83	168.17	21.68	7.35	25.69
Nopt	156.68	23.32	32.58	6.55	44.06	138.14	41.86	39.63	12.69	43.26
CRU1	155.11	24.89	28.49	8.86	46.37	150.35	29.65	46.41	14.11	44.67
CRU2	158.23	21.77	30.23	9.34	46.86	160.38	19.62	51.99	16.09	46.65
CRU3	159.33	20.67	30.84	8.65	46.16	133.22	46.78	36.90	13.12	43.69
CRU4	152.17	27.83	26.86	6.38	43.89	112.01	67.99	25.11	12.75	43.31

通过对比 2 个生长季的氮肥生产效率,发现存在较大的差异。例如,在 2 个地块的基础地力存在一定的差异,其中第一个地块的基础地力明显高于第二个地块,如对照区的氮素吸收量比第二个地块高大约 55%,这可能是由于 2 个试验地块的供氮能力和土壤磷素含量差异所致(表 1)。在施肥后不同处理产量变异较小的情况下,由于基础地力的差异导致了大幅度的氮素生产效率的变化。

试验结果表明,在同等氮肥用量的前提下,施入控释氮肥的处理在氮素利用效率方面明显高于施入普通尿素的处理,这可能是由于控释氮肥的释放速率与小麦氮素的吸收规律较吻合,与普通尿素相比

能够更好地满足冬小麦整个生长时期对氮素的需求,具有良好的供肥特性。同时也表明,控释氮肥的一次施用基本满足了冬小麦整个生长期对氮素的需求,减少了在拔节期对其进行追肥的环节,也节省了劳动力。

### 2.4 控释氮肥对冬小麦土壤硝态氮的影响

为了明确各施氮处理对土壤硝态氮含量的影响,分别于拔节期、灌浆期和收获期测定了 0 ~ 30, 30 ~ 60, 60 ~ 90 cm 土层的土壤硝态氮含量。由图 1 可知,与对照相比,2009 和 2010 年各施氮处理的土壤硝态氮含量在不同深度均有不同程度的增加,且以表层 0 ~ 30 cm 土壤硝态氮含量增加比较明显,而

在 30~60 cm 和 60~90 cm 土层增加量较低。在拔节期 2 年的观测结果表明,各处理的硝态氮含量增加趋势不一致,其中 2009 年各处理之间的分散度明显大于 2010 年,这可能是由于年际间降雨和温度的差异导致控释肥的释放速率变异所致。而在灌浆期和收获期 2 个生长季内 0~30、30~60、60~90 cm 土层土壤层次的硝态氮含量均以 Ncon 处理为最高,这主要是由于该处理的氮肥用量比其他处理高大约

33.3%。除此之外,在收获期,控释肥处理的土壤硝态氮含量仍然维持在相对较高的水平,这可能是由于此时包膜肥料内仍有可能存在一定的氮素并连续释放出来从而导致该现象。由此可见,在冬小麦生长季内的 3 个采样时期,施用控释肥处理与优化氮肥处理 Nopt 相比,对土壤硝态氮含量的影响并没有明显的优势。

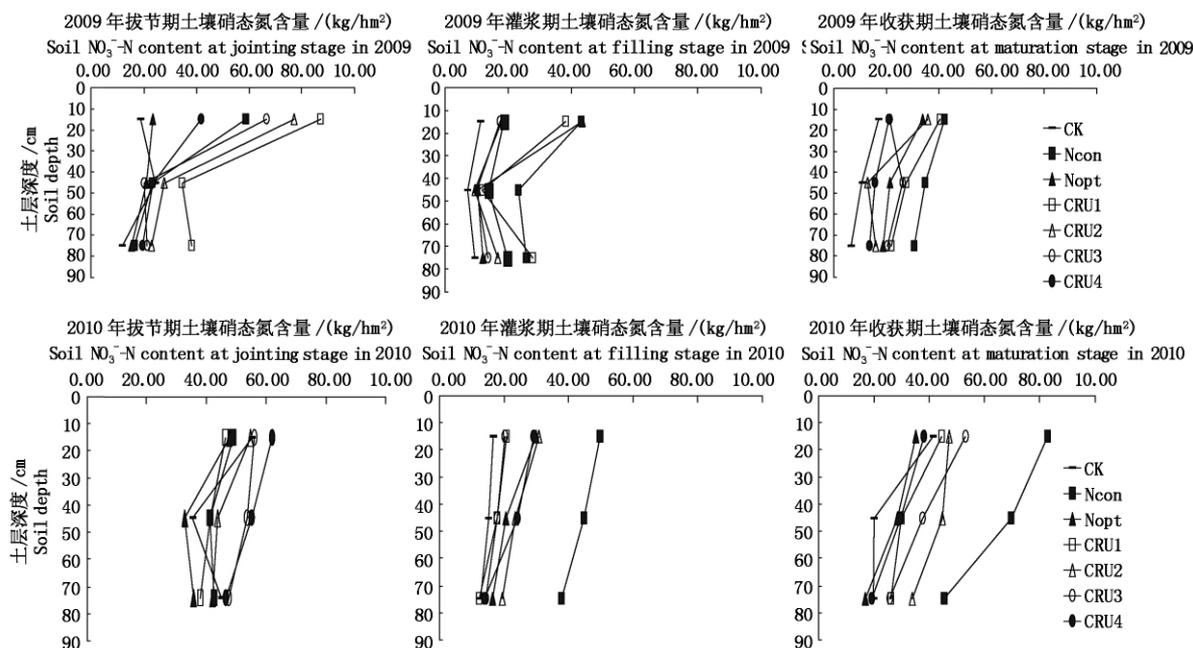


图 1 2009 年和 2010 年施用控释氮肥对冬小麦 0~90 cm 土壤硝态氮的影响

Fig.1 The effects of N managements on NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in 0-90 cm soil of winter wheat in 2009 and 2010

### 3 结论

两年的研究表明,在满足氮素需求的基础上,各施氮处理对冬小麦群体数量没有显著的影响;尽管不同处理间小麦产量并没有显著性差异,但在 2 个生长季内均以 CRU2 的产量最高,分别为 8 434 kg/hm<sup>2</sup>和 8 397 kg/hm<sup>2</sup>;在氮素利用效率方面,也以 CRU2 处理的氮肥利用效率( RE)、农学效率( AE)和偏生产力( PFP)为最高;但是控释肥处理与优化处理相比,在降低土壤硝态氮含量之间的优势并不明显。综上所述,与完全施用普通尿素处理( Nopt 和 CRU4)和完全控释氮肥处理( CRU1)相比,控释氮肥和普通尿素配合施用(比例为 2:1)仍然是一种较佳的施肥方法。

### 4 讨论

综合本试验的结果来看,按农民传统处理施肥,就要底施大量的氮肥,但是冬小麦在生长初期对氮素的需求是有限的,所以导致了大量的氮素淋失和挥发,造成了氮素的浪费,降低了氮肥的利用率,同时也

污染了环境,而控释肥料通过对肥料本身进行改性,有效地延缓或控制了肥料养分的释放,使肥料养分释放时间和强度与作物养分吸收规律相吻合<sup>[22]</sup>。

不同肥料种类和施氮水平的产量差异不显著<sup>[23-25]</sup>。施用控释氮肥能够在减少氮素用量的基础上达到增产的效果,并且控释氮肥能够一次性施入,不用再对其进行追肥,节省了大量的劳动力,尤其是当控释尿素较少(1/3 用量)与普通尿素配合施用时取得了较高的生态效益。

土壤剖面 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量具有随氮肥施用量的增加而增加的趋势<sup>[26-27]</sup>。本试验结果表明:在 0~30、30~60、60~90 cm 三个土层中,随着施用控释氮肥量的增加和尿素量的减少,土壤硝态氮含量呈现下降的趋势,随着施氮量的增加,氮吸收逐渐达到了饱和,因此多余的氮就残留在土壤当中。土壤中大量残留硝酸盐是发生 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 淋失必须满足的一个重要的条件<sup>[28]</sup>。土壤硝态氮含量越高,多余的硝态氮就会在降雨和灌溉时淋失到土壤深层,对地下水造成了一定的威胁,带来了诸多的环境问题。

## 参考文献:

- [1] 杜昌文,周健民.控释肥料的研制及其进展[J].土壤,2002(3):127-133.
- [2] 孙克刚,胡颖,和爱玲,等.控释尿素对小麦品种郑麦366产量及氮肥利用率的影响[J].河南农业科学,2009(8):66-69.
- [3] Chen Xin-ping. Optimization of the fertilizer management of a winter wheat/summer maize rotation system in the northern China Plain [D]. Stuttgart ,Germany: University of Hohenheim 2003:14-30.
- [4] 杨新泉,冯锋,宋长青,等.主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):373-376.
- [5] 吴金水,郭胜利,党廷辉.半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J].生态学报,2003,23(10):2041-2049.
- [6] Roelcke M ,Li S X ,Tian X H *et al.* In situ comparisons of ammonia volatilization from N fertilizers in Chinese loess soils [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems ,2002 ,62: 73-88.
- [7] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J].生态环境,2004,13(4):656-660.
- [8] 赵荣芳,孟庆峰,陈新平,等.包裹型缓/控释肥对冬小麦产量、土壤无机氮和氮肥利用效率的影响[J].磷肥与复肥,2009,24(5):77-80.
- [9] 陈新平,张福锁.小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践[M].北京:中国农业大学出版社,2006:304-315.
- [10] Zhao R F ,Chen X P ,Zhang H L *et al.* Fertilization and nitrogen balance in a wheat/maize rotation system in north China [J]. Agronomy Journal ,2006 ,98: 938-945.
- [11] Cui Z L ,Chen X P ,Li J L *et al.* Effect of N fertilization on grain yield of winter wheat and apparent N losses [J]. Pedosphere ,2006 ,16(6):806-812.
- [12] Cui Z L ,Zhang F S ,Chen X P *et al.* On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil Nmin test [J]. Field Crops Research ,2008 ,105(1/2):48-55.
- [13] 樊小林,刘芳.钙镁磷肥复式包膜尿素对冬小麦产量和氮肥效率的影响[J].磷肥与复肥,2004,19(4):66-69.
- [14] 孙克刚,和爱玲,李丙奇.控释尿素与普通尿素掺混对小麦和玉米轮作产量及氮肥利用率的影响研究[J].化肥工业,2010,37(5):14-18.
- [15] 孙克刚,和爱玲,李丙奇.砂姜黑土区控释尿素与普通尿素掺混对小麦-玉米轮作定位产量及氮肥利用率的影响[J].磷肥与复肥,2010,25(2):63-64.
- [16] 陈强,崔斌,张逢星,等.缓释肥料的研究进展[J].宝鸡文理学院学报:自然科学版,2000,20(3):189-192.
- [17] 武志杰,周健民.我国缓释、控释肥发展现状、趋势及对策[J].中国农业科技导报,2001,3(1):73-76.
- [18] 孙克刚,胡颖,和爱玲,等.控释尿素对小麦增产效果与提高氮肥利用率的研究[J].磷肥与复肥,2009,24(5):84-85.
- [19] 龙继锐,马国辉,周静,等.中国缓/控释肥料的研究现状及展望[J].作物研究,2006(5):514-518.
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2005.
- [21] 李方敏,艾天成,周升波,等.缓释氮肥对水稻的增产效果及其氮素利用率[J].土壤通报,2004,35(3):311-315.
- [22] 何绪生,李素霞,李旭辉,等.控效肥料的研究进展[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):97-106.
- [23] 韩宝文,贾良良,刘小玲,等.河北省冬小麦主产区控释尿素应用效果研究[J].河北农业科学,2010,14(9):56-57,79.
- [24] 王芳,赵玉兰,孔丽红.氮素运筹对小麦产量及产量构成因素的影响[J].山西农业科学,2010,38(4):30-32,41.
- [25] 马志远,赵萍萍,王宏庭.冬小麦氮养分高效利用技术集成研究[J].山西农业科学,2011,39(9):959-962.
- [26] 赵俊晔,于振文.高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J].作物学报,2006,32(4):484-490.
- [27] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠.基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J].生态学报,2002,22(7):1122-1128.
- [28] 魏凤珍,李金才,王成雨,等.氮肥运筹模式对冬小麦氮素吸收利用的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):123-128.