

# 包膜控释尿素(追施)对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量的影响

薛高峰<sup>1</sup>, 张贵龙<sup>2</sup>, 孙焱鑫<sup>1\*</sup>, 陈延华<sup>1</sup>, 廖上强<sup>1</sup>

(1.北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 2.农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

**摘要:**通过田间试验,研究了苗期和返青期追施释放期为 30 d 和 60 d 的包膜控释尿素对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量的影响。结果表明,分别在冬小麦苗期和返青期追施释放期为 60 d 包膜控释尿素(N60N60),能显著促进植株生长发育,增强植株对 N、P、K 养分吸收,增加籽粒产量。与不追肥(CK)处理相比,N60N60 处理植株地上部和地下部干物重分别提高 33.21%和 67.84%;叶片叶绿素含量增加 12.77%~25.20%;植株茎叶 N、P、K 含量分别增加 63.55%、37.08%和 6.91%,籽粒 N、P、K 含量分别增加 8.56%、31.18%和 24.49%;小麦穗长、穗粒重、千粒重和籽粒产量分别增加 14.14%、27.00%、39.32%和 48.01%。在返青期追施 1 次包膜控释尿素,N0N30 优于 N0N60 处理,叶绿素含量增加 1.50%~3.04%;植株茎叶 N、P、K 含量分别增加 12.37%、12.25%和 1.26%,籽粒 N、P、K 含量分别增加 0.50%、5.69%和 9.74%;小麦穗长、穗粒重、千粒重和籽粒产量分别增加 2.84%、11.81%、11.65%和 6.61%。同时,包膜控释尿素施用能明显减少硝态氮向土壤深层渗漏数量,减轻对地下水污染风险。

**关键词:**包膜控释尿素;追施;冬小麦;生长发育;土壤硝态氮含量

中图分类号:S145.6 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2012)02-0377-08

## Influences of Topdressing Controlled-Release Coated Urea on Plant Growth and Soil NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N Content of Winter Wheat

XUE Gao-feng<sup>1</sup>, ZHANG Gui-long<sup>2</sup>, SUN Yan-xin<sup>1\*</sup>, CHEN Yan-hua<sup>1</sup>, LIAO Shang-qiang<sup>1</sup>

(1.Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2.Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** A field experiment was performed to study the effects of controlled-release coated urea with duration of 30 d and 60 d topdressed at seedling stage or regreening stage on plant growth and soil NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content of winter wheat. The results showed that controlled-release coated urea (with duration of 60 d) could significantly promote plant growth, enhance N, P and K absorption, increase grain yield when it was topdressed at seedling stage and regreening stage. Compared with CK (only basal fertilizer was applied) treatment, the dry weight of shoot and root was increased by 33.21% and 67.84% respectively, the chlorophyll content in wheat leaves was increased by 12.77%~25.20%, the N, P and K content in shoot and grain were increased by 63.55%, 37.08%, 6.91% and 8.56%, 31.18%, 24.49% respectively. The spike length, grain weight, 1000-grain weight and grain yield were higher of 14.14%, 27.00%, 39.32% and 48.01% than the control treatment(CK). Controlled-release coated urea topdressed once at the regreening stage, N0N30 treatment was better than N0N60 treatment. The chlorophyll content was increased by 1.50%~3.04%, the N, P and K content in shoot and grain were increased by 12.37%, 12.25%, 1.26% and 0.50%, 5.69%, 9.74% respectively. The spike length, grain weight, 1000-grain weight and grain yield were increased by 2.84%, 11.81%, 11.65% and 6.61%. At the same time, controlled-release coated urea application could evidently decrease the quantity of soil NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N leached to deep soil and lessen the risk to ground water pollution.

**Keywords:** controlled-release coated urea; topdressing; winter wheat; plant growth; soil NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content

收稿日期:2011-06-22

基金项目:国家科技支撑计划(2008BADA7B05):京津唐城市群郊区环境保育型农业系统优化技术集成与示范;农村科技协调员支撑服务工程(z09090501040904-3)

作者简介:薛高峰(1980—),男,河南周口人,博士,主要从事养分资源管理方面的研究。E-mail:gaofeng8015@163.com

\* 通讯作者:孙焱鑫 E-mail:Sunyanxin@sohu.com

小麦是我国主要粮食作物之一,生产中存在着不科学施肥带来的肥料利用率低、水体污染等问题,已经严重威胁着粮食生产和环境的安全。合理施用氮肥对小麦产量的提高具有显著促进作用<sup>[1]</sup>,而氮肥的合理施用除了要精准氮肥用量之外,还应注重肥料的施用时期和形态。目前我国的氮肥利用率约为30%~35%,低于世界40%~60%的平均水平<sup>[2]</sup>,而小麦田的氮肥损失达30%以上。导致小麦氮肥利用率低的重要原因之一就是普通尿素养分释放快、肥效持续时间短、易淋溶流失、生产上施用方式不当、施肥量过高,造成土壤养分供应与作物养分需求不同步或过剩。为了避免这种现象,采取按作物生育阶段多次追施的办法,一定程度上能提高肥料的利用率,但又往往造成劳动力投入成本增加,导致该措施在实践中应用存在较大困难,因此急需寻求解决上述问题的新途径。

控释肥料具有养分释放平缓、肥料利用率高、减少 $\text{NO}_3^-$ 渗漏及氮素挥发<sup>[3-7]</sup>的特点,是解决常规化肥负作用的有效措施之一,已得到全世界认可。但已有研究表明,包膜控释尿素(释放期60 d)自冬小麦播种到返青期氮素在土壤中累积溶出率已达60%以上<sup>[8]</sup>,若采用包衣率高、释放期更长的包膜控释尿素,则会大大增加成本,农民不易接受,难以在生产上大面积推广应用。鉴于冬小麦生育期较长,氮素养分需求多在返青期以后,为减少返青-拔节期养分损失,提高养分利用率,开展包膜控释尿素追施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量方面的研究显得尤为必要。本研究以冬小麦品种农大195为研究对象,利用自行研制的不同释放期包膜控释尿素为材料,根据其释放规律于冬小麦不同生育期施用,通过田间试验比较包膜控释尿素与普通尿素对冬小麦生长发育和产量的促控效应,分析其对土壤硝态氮淋溶的影响,以期能为包膜控释尿素在冬小麦生产上推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试小麦品种为农大195,肥料为普通尿素(N 46.0%),普通复合肥(15-15-15),释放期(25℃,静水)为60 d(实验室编号N60,包衣率8.3%,N 42.2%)和30 d(编号N30,包衣率5.6%,N 43.0%)包膜控释尿素,由北京市农林科学院植物营养与资源研究所自行研制。

### 1.2 试验设计

田间小区试验于2008—2009年在海淀区上庄镇进行。该区气候属温带湿润季风气候区,春秋干旱,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨。年均气温12.5℃,1月份平均气温-4.4℃,7月份为25.8℃。年日照数2662 h,无霜期211 d。年平均降水量628.9 mm,集中于夏季的6—8月,降水量为465.1 mm,占全年降水的70%;冬季的12—2月降水量最少,仅占1%。土壤质地为中壤,试验地耕层(0~20 cm)土壤有机质10.52 g·kg<sup>-1</sup>,全氮0.46 g·kg<sup>-1</sup>,速效磷(P)35.15 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾(K)130.46 mg·kg<sup>-1</sup>。

鉴于冬小麦生育期长及尿素、30 d控释尿素释放速度快的特点,试验采用完全随机区组设计,设6个处理:(1)追肥总氮量的50%于苗期(11月20日,灌冬水前一天)追施60 d控释尿素,50%于返青期(次年3月18日)追施60 d控释尿素(N60N60),由N60包埋试验测定得知,从11月20日至12月30日,N60养分释放20.45%,从12月30日至次年3月18日,养分释放8.31%;(2)50%于苗期追施60 d控释尿素,50%于返青期追施30 d控释尿素(N60N30);(3)苗期不追肥,100%于返青期追施60 d控释尿素(N0N60);(4)苗期不追肥,100%于返青期追施30 d控释尿素(N0N30);(5)苗期不追肥,100%于返青期追施普通尿素(N0U);(6)仅基肥(CK)。

每个处理3次重复,共18个小区,每小区面积为12 m<sup>2</sup> (4 m×3 m)。各处理均一次性基施普通复合肥(15-15-15)750 kg·hm<sup>-2</sup>,鸡粪3 750 kg·hm<sup>-2</sup>。播种前深耕细耙,2008年10月18日足墒播种,播量为120 kg·hm<sup>-2</sup>。苗期(11月21日)和返青期(3月20日)按设置处理浇水,追肥总氮量统一为105 kg·hm<sup>-2</sup>(N)。

### 1.3 样品采集

生育期间,于返青期(3月18日)选取有代表性的植株15株,用于测定不同处理(此时仅相当于N60N60和CK两个处理)植株总茎数、株高、主茎可见叶数、叶长和叶宽(整株所有叶片平均值),地上部分和地下部分干重。分层取0~60 cm土层(20 cm为一层)土样,用于测定土壤含水量和硝态氮含量;分别于孕穗期(4月28日)和灌浆期(5月21日),测叶绿素含量。6月17日分区收获测产,进行室内项目的分析和测定,同时分层取0~100 cm土层,测定土壤硝态氮含量。

### 1.4 测定方法

叶绿素测定:为避免叶龄、叶片位置不同造成的

影响,选朝向长势基本一致的旗叶中上部位置用 SPAD-502 叶绿素计测定。植株养分测定:植物样品用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮,半微量凯氏定氮法测定全氮,钼钼黄比色法测定全磷,火焰光度计法测定全钾。土壤硝态氮测定采用双波长紫外分光光度法<sup>[9]</sup>,土壤含水量测定采用烘干法。

### 1.5 数据分析

试验数据用 SPSS 13.0 for Windows 统计软件进行方差分析,差异显著性比较采用 Duncan 法,绘图使用 Sigmaplot 11.0 软件。

## 2 结果与分析

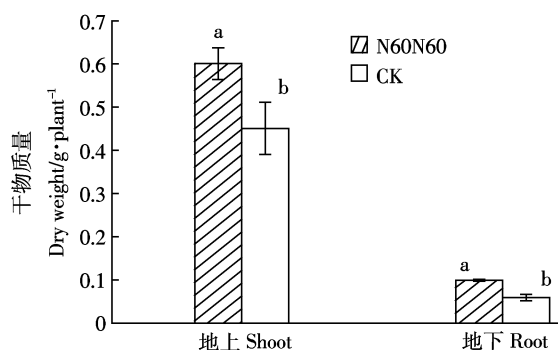
### 2.1 苗期追施 60 d 包膜控释尿素对返青期土壤剖面硝态氮含量的影响

仅施基肥(CK),0~60 cm 土层内,土壤硝态氮含量均显著低于苗期追施 60 d 包膜控释尿素处理(N60N60)。与 CK 相比,N60N60 处理 0~20 cm 和 20~40 cm 土层硝态氮含量分别增加  $3.42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $2.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 1)。可见苗期追施 60 d 包膜控释尿素能使返青期土壤剖面硝态氮含量维持在较高水平,这为冬小麦苗期养分供应提供了保证,有利于冬小麦良好生长发育。

### 2.2 苗期追施 60 d 包膜控释尿素对冬小麦干物质累积的影响

苗期追施 60 d 包膜控释尿素能显著促进冬小麦植株干物质累积。苗期追施 60 d 包膜控释尿素处理(N60N60),植株地上部和地下部干物质重均显著高

于不追肥(CK)处理。地上部干物质重 N60N60 处理比对照高 33.21%,地下部干物质重 N60N60 处理比对照高 67.84%(图 2)。可见苗期追施 60 d 包膜控释尿素能促使小麦地上部和地下部良好发育,显著促进小麦苗期生长。



图中不同字母表示差异达 0.05 显著水平,下同  
Different letters indicated a significant difference at 0.05 level, the same as below.

图 2 不同处理对小麦植株地上部和地下部干物质累积量的影响  
Figure 2 Dry weights of wheat plants amended with coated controlled-release urea or not

### 2.3 苗期追施 60 d 包膜控释尿素对冬小麦生长发育的影响

由表 1 可知,苗期追施 60 d 包膜控释尿素能显著促进冬小麦生长发育。N60N60 处理冬小麦植株总茎数、株高、叶宽均显著高于不追肥(CK)处理,分别增加 16.02%、14.75%和 19.94%;N60N60 处理对冬小麦主茎可见叶数和叶长没有显著影响。此结果说明,苗期追施 60 d 包膜控释尿素能够显著增加麦田单位面积穗数、增加叶面积、提高光合能力,为小麦丰收打好了基础。

### 2.4 包膜控释尿素追施方式对冬小麦叶片叶绿素含量的影响

60 d 包膜控释尿素于苗期、返青期两次追施和 30 d 包膜控释尿素于返青期一次追施,能显著提高冬小麦叶片叶绿素含量(图 3)。与 N0U 和 CK 处理相比,在孕穗期和灌浆期,N60N60 处理分别增加 25.20%~28.89%和 12.77%~20.41%;N0N30 处理分别增加 13.20%~16.53%和 5.31%~12.45%,而 N0N30、N60N30 和 N0N60 3 处理间叶绿素含量均没有显著差异。研究结果表明,N0N60、N0U 处理土壤氮素供应能力相对较弱,对叶绿素含量增加作用不明显,而 N60N60 处理土壤氮素供应能力较强,叶绿素含量相对最高。

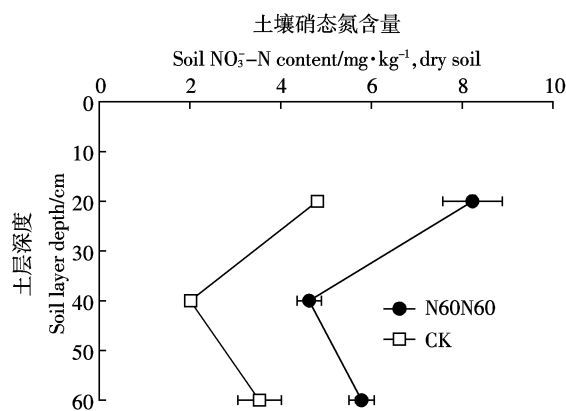


图 1 不同处理对返青期冬小麦 0~60 cm 土层土壤  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量的影响

Figure 1 Soil  $\text{NO}_3\text{-N}$  content in 0~60 cm soil layers at regreening stage amended with coated controlled-release urea or not

表 1 包膜控释尿素对冬小麦生长发育的影响  
Table 1 Effects of coated controlled-release urea applied on wheat plant growth

| 处理<br>Treatments | 总茎数<br>Total shoot number | 株高/cm<br>Main shoot length | 主茎可见叶数<br>Main shoot leaf number | 叶长/cm<br>Leaf length | 叶宽/cm<br>Leaf width |
|------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| N60N60           | 7.97±0.55a                | 18.23±1.23a                | 3.39±0.36a                       | 8.57±0.55a           | 0.73±0.01a          |
| CK               | 6.87±0.12b                | 15.88±0.65b                | 3.43±0.21a                       | 8.10±0.79a           | 0.61±0.07b          |

注:每个处理的数值是 3 个重复的平均值±标准差。不同字母表示两个处理在  $P<0.05$  水平上差异显著。下表同。  
Note:The values are means of three replications ± SD. Different letters in same line indicated significance at  $P<0.05$  between(N60N60) and(CK) treatments according to Student's t-test. The same as below tables.

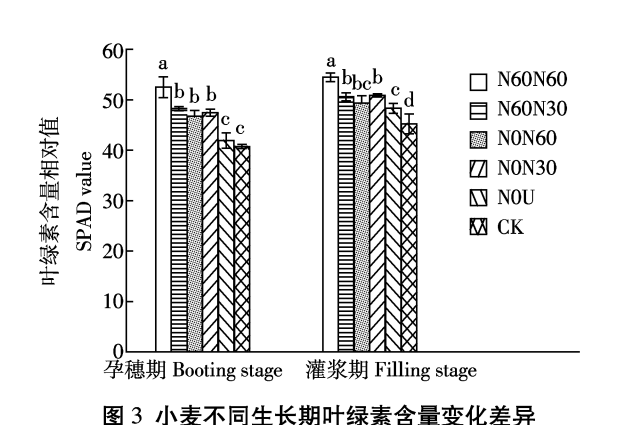


图 3 小麦不同生长期叶绿素含量变化差异  
Figure 3 Differences of chlorophyll content in wheat leaves at different stages

2.5 包膜控释尿素追施方式对成熟期冬小麦养分含量的影响

苗期和返青期追施包膜控释尿素(N60N60)能促进冬小麦对 N、P、K 养分的吸收(表 2),其中 N60N60 处理促进作用显著大于 N60N30 和 N0N60 处理。与 N60N30 和 N0N60 处理相比,N60N60 处理籽粒中 N 含量分别增加 2.78% 和 4.59%,P 含量分别增加 11.02%和 18.69%,K 含量分别增加 4.08%和15.68%;茎叶中 N 含量分别增加 21.03%和 38.58%,P 含量分别增加 0.94%和 18.79%,K 含量分别增加 3.15%和 5.57%。赵俊晔等<sup>[10]</sup>研究表明,随施氮量增加,籽粒氮

素含量呈先增加后降低的趋势,茎叶中氮素含量呈增加趋势,籽粒和叶片中磷及钾素养分含量均呈明显增加的趋势,说明 N60N60 处理养分供应与冬小麦营养生长和生殖生长期养分需求规律协调较好,易于实现土壤-作物体系养分供应与需求平衡。本试验结果表明,N60N60 和 N60N30 处理的土壤氮素持续供应能力较强,茎叶和籽粒中氮、磷及钾素养分含量较高,而 N0N60 和 N0U 处理养分含量较低。

2.6 包膜控释尿素追施方式对冬小麦产量构成因素及产量的影响

追施包膜控释尿素可以显著提高冬小麦产量(表 3)。不同处理间,苗期和返青期追施释放期为 60 d 的包膜控释尿素 N60N60 处理,小麦株高、穗长、穗粒数、穗粒重、千粒重和产量表现最高,而该处理的秆谷比则最低。与 N0U 处理相比,N60N60 处理冬小麦株高、穗长、穗粒重、千粒重与产量分别增加 7.45%、4.49%、24.16%、19.37%和 25.80%;与 N0N30 处理相比,各因子分别增加 4.07%、0.64%、6.92%、3.26%和 2.75%。返青期一次性追施释放期为 30 d 的包膜控释尿素,比一次性追施释放期为 60 d 的增产 6.61%,株高、穗长、穗粒重和千粒重分别增加 2.25%、2.84%、11.81%和 11.65%。缓释肥各处理之间,穗粒数无显著差异;穗粒重、千粒重和产量均表现为 N60N60>N0N30>N60N30>N0N60,且 N60N30 和 N0N60 处理

表 2 不同处理对成熟期冬小麦 N、P、K 养分的影响(%)  
Table 2 Effects of different treatments on N,P and K concentration in winter wheat at mature stage(%)

| 处理 Treatments | N          |             | P        |             | K           |             |
|---------------|------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|
|               | 茎叶 Shoot   | 籽粒 Grain    | 茎叶 Shoot | 籽粒 Grain    | 茎叶 Shoot    | 籽粒 Grain    |
| N60N60        | 0.66±0.01a | 2.65±0.04a  | 0.20±0a  | 0.54±0.02a  | 1.80±0a     | 0.39±0.02a  |
| N60N30        | 0.55±0.01b | 2.58±0b     | 0.20±0a  | 0.48±0b     | 1.75±0.03b  | 0.37±0.01b  |
| N0N60         | 0.48±0c    | 2.53±0.01c  | 0.17±0c  | 0.45±0cd    | 1.71±0.01cd | 0.34±0c     |
| N0N30         | 0.54±0.02b | 2.54±0.02bc | 0.19±0b  | 0.48±0.01bc | 1.73±0.02bc | 0.37±0.01b  |
| N0U           | 0.47±0c    | 2.49±0.02d  | 0.16±0c  | 0.45±0.03d  | 1.69±0.02d  | 0.32±0.01cd |
| CK            | 0.40±0d    | 2.44±0.04e  | 0.14±0d  | 0.41±0.01e  | 1.69±0.01d  | 0.31±0.01d  |

表 3 不同处理对冬小麦产量构成因素及产量的影响

Table 3 Effects of different treatments on yield component factors and yield for winter wheat

| 处理<br>Treatments | 株高<br>Plant height/cm | 穗长 Spike<br>length/cm | 穗粒数 Grains<br>per spike(No.) | 穗粒重 Grain<br>weight per spike/g | 秆谷比<br>Straw-grain ratio | 千粒重<br>1000-grain weight/g | 产量 Yield/<br>kg·hm <sup>-2</sup> |
|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| N60N60           | 80.23±0.32a           | 7.84±0.04a            | 33.43±0.32a                  | 1.57±0.02a                      | 0.82±0.03d               | 47.78±0.25a                | 4 713.13±17.61a                  |
| N60N30           | 77.25±0.34b           | 7.62±0.08b            | 32.39±0.29a                  | 1.33±0.02c                      | 0.85±0.03d               | 42.22±0.94c                | 4 399.50±101.33b                 |
| N0N60            | 75.40±1.29c           | 7.58±0.05b            | 31.70±0.93a                  | 1.31±0.08c                      | 0.91±0.04c               | 41.45±0.09c                | 4 302.83±101.96b                 |
| N0N30            | 77.10±0.55b           | 7.79±0.17a            | 33.23±1.51a                  | 1.47±0.02b                      | 0.86±0.03cd              | 46.28±0.71b                | 4 587.20±44.30a                  |
| N0U              | 74.67±1.15c           | 7.50±0.04b            | 31.47±1.85a                  | 1.27±0.01cd                     | 1.24±0.04b               | 40.03±0.31d                | 3 746.40±92.32c                  |
| CK               | 52.40±0.63d           | 6.87±0.08c            | 23.35±0.21b                  | 1.24±0.02d                      | 1.46±0.01a               | 34.30±1.16e                | 3 184.43±78.43d                  |

间无显著差异；穗长表现为 N60N60> N0N30> N60N30>N0N60；株高表现为 N60N60>N60N30> N0N30>N0N60，而秆谷比高低顺序则相反。这些结果说明，苗期和返青期两次追施包膜控释尿素时，株高、穗长、穗粒重、千粒重和产量均是 N60N60 处理显著高于 N60N30；而仅在返青期一次追施包膜控释尿素时，则是 N0N30 处理显著优于 N0N60 处理，这可能与后期小麦养分需求量大，30 d 包膜控释尿素较 60 d 释放快，从而能及时满足作物对养分需求有关。

上述结果表明，在苗期和返青期两次追施释放期为 60 d 的包膜控释尿素能够较好地满足小麦整个生育期对养分的需求，而返青期一次追施释放期为 30 d 的包膜控释尿素更易于保障小麦后期的养分供应。这可能与冬小麦的生长吸肥规律有关，冬小麦越冬前对养分的需求不多，以氮素为主，约占总养分吸收量的 14.4%；越冬后吸收养分的数量猛增，从拔节期到开花期是吸收养分的高峰期，占全生育期氮总吸收量的 55.0%<sup>[1]</sup>。翟丙年等<sup>[12]</sup>研究表明，越冬期不施尿素处理的冬小麦总茎数和地上部、地下部生物量明显减少，冬小麦产量显著降低，而后期缺氮对产量影响不大。周忠新等<sup>[13]</sup>研究也表明，在同一施磷钾水平下，尿素基施量在 0~240 kg·hm<sup>-2</sup> 范围内，各时期冬小麦干物质积累量均随施氮量的增加而提高。

2.7 包膜控释尿素追施方式对成熟期土壤剖面硝态氮含量的影响

单施基肥的 CK 处理，0~100 cm 土壤剖面硝态氮含量无明显变化(图 4)。返青期一次性追施常规尿素(N0U)处理，土壤硝态氮含量变化幅度大，40 cm 以下土壤硝态氮含量显著高于其他处理，下移趋势明显，主要在 60 cm 土层累积；包膜控释尿素分一次或两次追施，土壤硝态氮的含量较单施基肥高，主要集中在 0~40 cm 土层内，40~100 cm 土层无明显差异，在 60

cm 土层处显著低于常规尿素处理。其中，包膜控释尿素于苗期、返青期两次追施的 N60N60 处理，40 cm 土层以下土壤硝态氮含量与仅施基肥的 CK 处理基本无差异。这可能是由于 60 d 包膜控释尿素于苗期、返青期两次追施，养分利用率提高，氮肥向土壤深层移动的数量大大减少所致。这些结果说明，包膜控释尿素追施，养分易于被作物吸收利用，一定程度减缓肥料的渗漏损失。

3 讨论

肥料的合理施用是现代化农业体系中实现粮食安全生产的重要措施之一。冬小麦生育期长、需肥量大，华北地区冬小麦全生育期一般需追两次氮肥，分别在越冬前和返青后至拔节期各追施一次。越冬前氮素追肥主要起到提高单位面积总茎数、促进冬小麦营养体生长发育的作用；返青后追肥，主要作用是增加有效分蘖，提高穗粒数和千粒重，为丰产打好基础。然

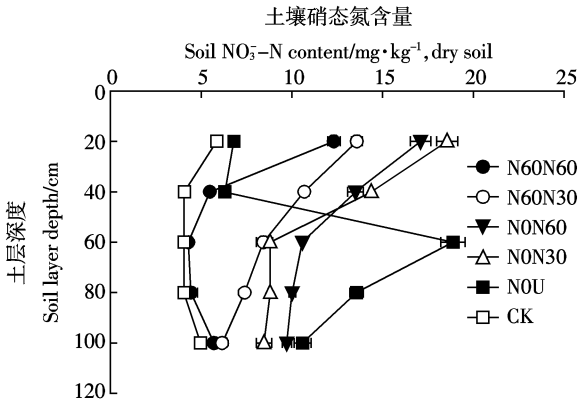


图 4 不同处理对收获期冬小麦田 0~100 cm 土层土壤 NO<sub>3</sub>-N 含量的影响

Figure 4 Effect of different treatments on soil NO<sub>3</sub>-N content in 0~100 cm soil layers at harvest stage

而生产上习惯于在返青期一次追施常规氮肥的配置方式,极易形成前、后期营养不协调的局面,不利于小麦高产及肥料利用率的提高,同时还会因肥料的挥发、渗漏等损失引起环境污染。而包膜控释尿素可以对养分释放速度进行调整,根据作物需求释放养分,达到元素供肥强度与作物生理需求的动态平衡。因此,通过追施包膜控释尿素来克服常规肥料的不足是本研究的出发点。

王小明等研究表明,与对照处理相比,无论是施用复合肥还是控释肥,均能增加土壤硝态氮的累积,尤其对耕层(0~30 cm)影响最大<sup>[14]</sup>。本文研究也有相似结论:苗期追施 60 d 包膜控释尿素,返青期 0~60 cm 土壤剖面不同土层硝态氮含量均有增加的趋势。王茹芳等<sup>[15]</sup>认为,施用胶结型缓释肥能使小麦中后期干物重增加 7.53%~45.64%,植株内氮素含量增加 4.43%~14.42%,有利于冬小麦各生育时期叶绿素合成。本试验条件下,追施 60 d 包膜控释尿素能提高冬小麦对 N、P、K 养分吸收,增加植株地上部和地下部干物质积累,促进叶绿素合成。胡仲平等<sup>[16]</sup>在 ClayF 缓释复合肥研究中也得到类似结果。

本试验结果表明,60 d 包膜控释尿素于苗期、返青期两次追施,冬小麦产量构成因子(株高、穗长、穗粒重与千粒重)显著增加,冬小麦产量显著提高。前人研究表明,施用缓释肥料可以增加小麦的千粒重<sup>[17]</sup>和产量<sup>[15,18-19]</sup>。施用适量的 ClayF 缓释复合肥可有效提高小麦的株高、穗长、穗粒数和千粒重,增加籽粒产量<sup>[6]</sup>。施用掺混型缓释肥冬小麦增产幅度可达 23.77%,穗粒数、穗粒重及千粒重增加幅度分别可达 8.70%、19.02%和 3.93%<sup>[20]</sup>。

施用缓释肥料有助于实现养分供给和环境友好之间的关系,实现经济效益和生态效益的双赢。本研究分层次考察了冬小麦田 0~100 cm 土壤剖面硝态氮含量的动态变化,对包膜控释尿素减少地下水潜在污染的效果进行了初步分析,发现施用包膜控释尿素能保证小麦全生育期根层硝态氮含量维持在较高水平,且在根层以下不会发生显著累积。可见即使在同等灌溉条件下,包膜控释尿素不仅具有明显的缓释效应,而且能有效控制硝态氮向土层深处迁移,从而降低对地下水的污染风险。已有研究表明,在稻田土壤上施用控释氮肥能减少氮的淋失量,提高氮素利用率<sup>[21-22]</sup>。与普通尿素单施相比,控释尿素与普通尿素配施能提高氮肥利用率,同时降低土壤中硝态氮的积累量<sup>[23]</sup>。相比常规施肥,施用缓释复混肥料可降低土壤剖面尤

其是深层土壤硝态氮的淋洗累积效应,使土壤剖面硝态氮累积量降低 20%~70%<sup>[24]</sup>,从而减小对地下水产生污染的风险<sup>[25]</sup>。在小麦、玉米轮作制中施用控释肥,在保证耕层养分供应的情况下可以明显减少氮肥向土壤深层移动的数量<sup>[26]</sup>。

从本试验结果来看,60 d 包膜控释尿素于苗期和返青期两次追施、30 d 包膜控释尿素于返青期一次追施,对冬小麦生长发育、产量和养分吸收均有显著的促进作用,但相比之下,仍是 60 d 包膜控释尿素两次追施促进效应更为显著,同时能明显减少氮肥向土壤深层移动。这一结果具有重要的现实意义,因为这有利于保护生态环境,调节作物高产和环境污染之间的矛盾,是解决冬小麦高效施肥的有效途径。但是,包膜控释尿素施用对冬小麦籽粒品质方面的影响,以及包膜控释尿素与普通尿素配施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量等方面的影响作用如何,就目前的研究结果仍是不得而知,有必要作进一步深入研究。

## 4 结论

(1)苗期追施 60 d 包膜控释尿素,能使返青期土壤剖面硝态氮含量维持在较高水平,为冬小麦养分供应提供保证;明显促进了冬小麦生长,促使小麦地上部和地下部良好发育,显著增加地上部和地下部干物质累积量。

(2)苗期追施 60 d 包膜控释尿素,叶长明显增加,冬小麦植株总茎数、主茎株高、叶宽均显著增加,较 CK 处理分别增加 16.02%、14.75%和 19.94%。

(3)60 d 包膜控释尿素于苗期、返青期两次追施和 30 d 包膜控释尿素于返青期一次追施,显著提高冬小麦叶片叶绿素含量;增加成熟期冬小麦茎叶和籽粒中 N、P、K 养分含量,促进冬小麦植株对养分的吸收。

(4)60 d 包膜控释尿素于苗期、返青期两次追施,可以显著减少氮肥向土壤深层移动的数量。冬小麦产量构成因子(穗长、穗粒重与千粒重)显著增加,冬小麦产量显著提高。

## 参考文献:

- [1] 王月福,姜 东,于振文,等. 高低土壤肥力下小麦基施和追施氮肥的利用效率和增产效应[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 491-495.  
WANG Yue-fu, JIANG Dong, YU Zhen-wen, et al. Nitrogen use efficiency and yield of wheat with basal and topdressed nitrogen fertilizers in soils with different fertility[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(4): 491-495.
- [2] DU Chang-wen, ZHOU Jian-min, WANG Huo-yan, et al. A preliminary

- study on natural matrix materials for controlled release nitrogen fertilizers[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(1):45-52.
- [3] 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.
- FAN Xiao-lin, LIAO Zong-wen. Increasing fertilizer use efficiency by means of controlled release fertilizer(CRF) production according to theory and techniques of balanced fertilizer[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(3):219-223.
- [4] 陈光, 李立中, 张平, 等. 包膜尿素对玉米吸氮及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1996, 18(4):61-65.
- CHEN Guang, LI Li-zhong, ZHANG Ping, et al. Effects of urea on yield and nitrogen absorption of corn[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1996, 18(4):61-65.
- [5] 符建荣. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2):145-152.
- FU Jian-rong. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and N recovery[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(2):145-152.
- [6] Shoji S, Gandeza A T, Kimum K. Simulation of response to polyolefin-coated urea; II Nitrogen uptake by corn[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55:1468-1473.
- [7] Salman O A. Polymer coating on urea prills to reduce dissolution rate[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1988, 36(3):616-621.
- [8] 衣文平, 孙哲, 武良, 等. 包膜控释尿素与普通尿素配施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3):687-693.
- YI Wen-ping, SUN Zhe, WU Liang, et al. Effects of coated controlled release urea combined with conventional urea on winter wheat growth and soil  $\text{NO}_3\text{-N}$ [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(3):687-693.
- [9] 赵允格, 邵明安. 模拟降雨条件下成垄压实对硝态氮迁移的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1):45-49.
- ZHAO Yun-ge, SHAO Ming-an. Study on nitrogen movement under localized compaction and ridge tillage by use of artificial rainfall[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(1):45-49.
- [10] 赵俊晔, 于振文, 李延奇, 等. 施氮量对小麦氮磷钾养分吸收利用和产量的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1):98-103.
- ZHAO Jun-ye, YU Zhen-wen, LI Yan-qi, et al. Effects of different nitrogen rates of fertilization on nitrogen, phosphorous and potassium uptakes and utilizations as well as kernel yield of wheat under high-yield circumstances[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(1):98-103.
- [11] 陆景陵, 陈伦寿. 植物营养失调症彩色图谱: 诊断与施肥[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009:478-479.
- LU Jing-ling, CHEN Lun-shou. Colored photographs on losing balance disease of plant nutrition: Diagnosis and fertilization[M]. Beijing: China Forestry Press, 2009:478-479.
- [12] 翟丙年, 李生秀. 氮素对冬小麦生长发育及产量的亏缺和补偿效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3):308-313.
- ZHAI Bing-nian, LI Sheng-xiu. Response to nitrogen deficiency and compensation on growth and yield of winter wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3):308-313.
- [13] 周忠新, 于振文, 许卫霞, 等. 氮磷钾用量及配比对小麦产量、蛋白质含量和肥料利用率的影响[J]. 山东农业科学, 2006(3):42-44.
- ZHOU Zhong-xin, YU Zhen-wen, XU Wei-xia, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium rates on winter wheat yield, protein content and fertilizer utilization rate[J]. *Journal of Shandong Agricultural Sciences*, 2006(3):42-44.
- [14] 王小明, 谢迎新, 张亚楠, 等. 新型肥料施用对玉米季土壤硝态氮累积的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 13(5):232-236.
- WANG Xiao-ming, XIE Ying-xin, ZHANG Ya-nan, et al. Effect of new type fertilizers application on accumulation of soil nitrate nitrogen in the maize season[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 13(5):232-236.
- [15] 王茹芳, 张夫道, 刘秀梅, 等. 胶结型缓释肥在小麦上应用效果的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3):340-344.
- WANG Ru-fang, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Responses of wheat to gelled slow-release fertilizer[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3):340-344.
- [16] 胡仲平, 荣湘民, 李元沅. ClayF 缓释复肥对小麦生长发育的影响[J]. 作物研究, 2005, 19(2):91-93.
- HU Zhong-ping, RONG Xiang-min, LI Yuan-yuan. Effects of Clay coated slow released compound fertilizer on growth and development of wheat[J]. *Crop Research*, 2005, 19(2):91-93.
- [17] 张淑香, 赵林萍, 八木一行, 等. 包膜尿素对玉米和小麦的生物学与环境效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6):1086-1091.
- ZHANG Shu-xiang, ZHAO Lin-ping, Yagi K, et al. Biological and environmental effect of coated urea on maize and wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(6):1086-1091.
- [18] 汪强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓/控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(4):693-696.
- WANG Qiang, LI Shuang-ling, HAN Yan-lai, et al. Effect of slow/controlled release fertilizers on yield and fertilizer-nitrogen use efficiency[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(4):693-696.
- [19] 李守芳, 郑兴来. 控释肥料在小麦上的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(10):2952, 3105.
- LI Shou-fang, ZHENG Xing-lai. Application research of controlled-release fertilizer on wheat[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(10):2952, 3105.
- [20] 王茹芳, 刘俊滨, 张夫道, 等. 掺混型缓释肥对小麦产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(2):35-37, 42.
- WANG Ru-fang, LIU Jun-bin, ZHANG Fu-dao, et al. Effects of bulk-blend controlled-release fertilizer on the yield and quality of wheat[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2007(2):35-37, 42.
- [21] 郑圣先, 聂军, 熊金英, 等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1):11-16.
- ZHENG Sheng-xian, NIE Jun, XIONG Jin-ying, et al. Study on role of controlled release fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(1):11-16.
- [22] 纪雄辉, 郑圣先, 聂军, 等. 稻田土壤上控释氮肥的氮素利用率与硝态氮的淋溶损失[J]. 土壤通报, 2007, 38(3):467-471.

- JI Xiong-hui, ZHENG Sheng-xian, NIE Jun, et al. Nitrogen recovery and nitrate leaching from a controlled release nitrogen fertilizer in an irrigated paddy soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(3): 467-471.
- [23] 杨雯玉, 贺明荣, 王远军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 627-633.
- YANG Wen-yu, HE Ming-rong, WANG Yuan-jun, et al. Effect of controlled-release urea combined application with urea on nitrogen utilization efficiency of winter wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(5): 627-633.
- [24] 李燕婷, 李秀英, 赵秉强, 等. 缓释复混肥料对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(5): 45-48.
- LI Yan-ting, LI Xiu-ying, ZHAO Bing-qiang, et al. Effect of controlled-release compounded fertilizers on maize yields and leaching loss of nitrate in soil profile[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2008(5): 45-48.
- [25] 董元杰, 万勇善, 张民, 等. 控释掺混肥对花生生育期间剖面土壤铵态氮和硝态氮含量变化的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(6): 203-207.
- DONG Yuan-jie, WAN Yong-shan, ZHANG Min, et al. Effect of controlled release blend bulk fertilizers on the soil ammonium and nitrate nitrogen content during the growing season of peanut[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(6): 203-207.
- [26] 于淑芳, 杨力, 张民, 等. 控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 128-133.
- YU Shu-fang, YANG Li, ZHANG Min, et al. Effect of controlled release fertilizers on the biological properties of wheat and corn and soil nitrate accumulation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1): 128-133.