

# 包膜尿素在华北平原夏玉米上的应用

易镇邪<sup>1,2</sup>, 王 璞<sup>2,\*</sup>, 陈平平<sup>3</sup>, 屠乃美<sup>1</sup>, 兰林旺<sup>2</sup>

(1. 湖南农业大学作物生理学与分子生物学省部共建实验室, 长沙 410128; 2. 农业部作物栽培学与耕作学重点开放实验室, 北京 100094;  
3. 湖南农业大学教务处, 长沙 410128)

**摘要:**通过连续 2a 的大田试验, 比较研究了尿素与包膜尿素对夏播玉米郑单 958 和农大 108 产量、水分利用效率 (WUE)、氮肥利用率 (NUE) 与土壤无机氮动态的影响, 结果表明: 产量与 WUE 随施氮量增大而增大, 两种氮肥间差异不显著; 包膜尿素 NUE 较尿素高, 2004 年郑单 958 N 90 kg/hm<sup>2</sup> 与农大 108 N 180 kg/hm<sup>2</sup> 条件下提高显著; 施氮对土壤无机氮动态的影响具有年际间差异: 2004 年不施氮条件下一般呈“V”型变化趋势, 施氮使其向“N”型或倒“V”型转变, 而 2005 年施氮与不施氮条件下均呈“N”型变化趋势; 施氮使土壤无机氮含量明显提高, 包膜尿素较尿素效果更明显; 土壤无机氮含量, 包膜尿素处理以表土层最高, 而尿素处理, 特别是尿素 N 180 kg/hm<sup>2</sup> 处理 9 叶展至吐丝期以下层土壤较高, 2004 年表现尤为明显。可见在降水量较多的年份, 包膜尿素缓释效应明显, 能有效控制无机氮的下移。华北平原夏玉米季以包膜尿素替代尿素、以一次性基施替代基肥 + 追肥是完全可行的, 能达到省工、增效、环保目的。

**关键词:**华北平原; 夏玉米; 包膜尿素; 土壤无机氮含量; 施肥技术

文章编号: 1000-0933(2008)10-4919-10 中图分类号: Q142, S314, S513 文献标识码: A

## Application of coated urea in summer maize in North China Plain

YI Zhen-Xie<sup>1,2</sup>, WANG Pu<sup>2,\*</sup>, CHEN Ping-Ping<sup>3</sup>, TU Nai-Mei<sup>1</sup>, LAN Lin-Wang<sup>2</sup>

1 Key Laboratory of Ministry of Education for Crop Physiology and Molecular Biology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

2 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China

3 Department of teaching management, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4919 ~ 4928.

**Abstract:** A two-year field experiment was conducted to study the effects of two types of nitrogen fertilizers (urea; coated urea, CU) on maize yield, water use efficiency (WUE), nitrogen use efficiency (NUE) and dynamics of soil N<sub>min</sub> content (DSNC) in 2004 and 2005. Two summer maize cultivars, Zhengdan958 and ND108, were applied. The results showed that yield and WUE were increased by the increase of N input, but no significant difference was observed between urea and CU treatments. NUE of maize under CU treatment was higher than that under urea treatment, especially the difference was significant under treatments of 90 kg N/hm<sup>2</sup> (Zhengdan958) and 180 kg N/hm<sup>2</sup> (ND108) in 2004. Effects of N application on DSNC showed annual difference. In 2004, DSNC showed “V” shape under zero N application condition, whereas transformed to “N” or inverse “V” shape after N application. In 2005, DSNC showed “N” shape under both N application and zero N application conditions. Soil N<sub>min</sub> content was increased by N application, especially with CU application. N<sub>min</sub> content was the highest in top soil layer with CU application, while higher N<sub>min</sub> content occurred in deeper soil layer with

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30471015, 30571089); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD17B05, 2006BAD02A13-2)

收稿日期: 2007-03-06; 修订日期: 2007-11-07

作者简介: 易镇邪 (1975 ~), 男, 湖南冷水江市人, 博士, 副教授, 主要从事作物高产生理生态与资源高效利用研究. E-mail: yizhenxie@sina.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangpu@cau.edu.cn

**Foundation item:** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30471015, 30571089) and National Key Technology R&D Program of China (No. 2006BAD17B05, 2006BAD02A13-2)

**Received date:** 2007-03-06; **Accepted date:** 2007-11-07

**Biography:** YI Zhen-Xie, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in physiology and ecology of crop high-yielding production and efficient utilization of resources. E-mail: yizhenxie@sina.com

urea application, especially when applied 180 kg N/hm<sup>2</sup> of urea at 9-leaf to silking stage in 2004. Coated urea showed clear slow-release effect, and simultaneously controlled the downward moving of mineral N under heavy rainfall season. Therefore, it can be speculated that coated urea can be used as a substitution of urea in maize production system in North China Plain, that help to change twice fertilization (basal and dressing) to one fertilization (basal), and thus benefit to labour-saving, profit-increasing and environment-protecting.

**Key Words:** North China Plain; summer maize; coated urea; soil N<sub>min</sub> content; fertilization technique

长效氮肥,顾名思义其特点即肥效期较普通氮肥长。从氮源来看,长效氮肥主要有长效碳铵<sup>[1~4]</sup>、长效尿素<sup>[5,6]</sup>、长效复合肥<sup>[7]</sup>及长效复混肥等几种。从长效机制来划分,长效氮肥主要有3种类型:大颗粒型、包膜型和添加增效剂型。大量研究表明,与相应的常规氮肥相比,长效氮肥可明显提高玉米产量和氮肥利用率(NUE),如:长效碳铵底深施使京郊夏玉米增产20%以上,NUE提高近10%<sup>[3]</sup>;包膜尿素使玉米增产14.7%~20%,NUE提高8%<sup>[5]</sup>;长效氮肥使玉米生物量增加7.5%~16.7%,NUE提高2.3%~8.7%<sup>[6]</sup>;包膜复合肥使小麦和玉米增产10%以上,氮、磷、钾利用率均明显提高<sup>[7]</sup>。

控释尿素能够增加土壤铵态氮含量,抑制铵态氮向硝态氮转化,从而使肥效期增长<sup>[8]</sup>。据报道,长效碳铵的肥效期可达90~110 d,是普通碳铵的2~3倍<sup>[3]</sup>;包膜复合肥在20℃水中浸泡72h氮释放量为80.1%,而普通复合肥和尿素浸泡4h就达到了88%以上<sup>[7]</sup>。梁巍等的研究结果表明,与普通尿素相比,长效碳酸氢铵与长效尿素能显著减少黑土玉米地N<sub>2</sub>O的排放,且能促进黑土玉米地对CH<sub>4</sub>的吸收<sup>[9]</sup>。因此,在作物生产上提高氮肥利用率的有效措施之一是高肥效品种+长效稳态氮肥+化肥深施<sup>[2]</sup>。

长效氮肥作为一种新型肥料,我国各地都有研究和生产。但各地的产品包膜材料各异,生产工艺和缓释期也存在着较大差异,目前尚没有统一的质量标准与生产工艺。目前有关长效氮肥在玉米上的应用研究主要集中在玉米生长发育、产量形成以及氮肥利用等方面,而关于长效氮肥在土壤中的转化与运移研究较少,而此方面的研究是探究长效氮肥高产高效机制的一条重要途径,也是评估长效氮肥降低施氮对环境(特别是地下水)的潜在影响的重要依据之一。同时,有关长效氮肥对作物水分利用效率的影响也鲜见报道。本研究以华北平原夏玉米-冬小麦轮作体系为研究对象,在冬小麦实行节水栽培的条件下,以郑单958与农大108为材料,连续两年比较研究了尿素与包膜尿素对夏玉米产量、水分利用效率、氮肥利用率与土壤无机氮动态的影响,旨在为华北平原夏玉米施肥技术改进提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地条件

试验于2004~2005年在中国农业大学吴桥实验站(37°41'02"N、116°37'23"E)进行。实验站年均气温12.6℃、全年≥0℃积温4862.9℃、年均降水量562 mm,但年际间变化较大、年内季节性分布不均(60%~70%分布在7~8月份)。试验地的基础肥力:0~20 cm土层,全N 0.76 mg/g,有效磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 14.05 mg/kg,速效钾(K<sub>2</sub>O) 79.11 mg/kg,有机质 8.5 mg/g;20~40 cm土层,全N 0.44 mg/g,有效磷 5.22 mg/kg,速效钾 75.26 mg/kg,有机质 4.7 mg/g。2004年全年降水661.3 mm,其中6月份190.7 mm,7月份259.8 mm,8月份70.1 mm,9月份35.2 mm,分别占全年的28.8%、39.3%、10.6%和5.3%;2005年全年降水312.4 mm,其中6月份50.5 mm,7月份61.1 mm,8月份94.0 mm,9月份45.9 mm,分别占全年的16.2%、19.6%、30.1%和14.7%。降水与有效积温(≥10℃)在夏玉米各生育阶段的分布见表1。

### 1.2 试验设计

本试验包括3个因素(2个品种、2种类型氮肥、2个施肥水平),并以两个品种的不施氮处理为对照,共计10个处理,随机区组设计,3次重复。品种为郑单958与农大108。包膜尿素含N 42%,由中国农业大学资源环境学院提供(自制);尿素含N 46%,由市场购得。处理及代号分别为:Z0(郑单958+不施氮)、ZU90(郑单

958 + 尿素 90 kg N/hm<sup>2</sup>)、ZU180(郑单 958 + 尿素 180 kg N/hm<sup>2</sup>)、ZCU90(郑单 958 + 包膜尿素 90 kg N/hm<sup>2</sup>)、ZCU180(郑单 958 + 包膜尿素 180 kg N/hm<sup>2</sup>)、N0(农大 108 + 不施氮)、NU90(农大 108 + 尿素 90 kg N/hm<sup>2</sup>)、NU180(农大 108 + 尿素 180 kg N/hm<sup>2</sup>)、NCU90(农大 108 + 包膜尿素 90 kg N/hm<sup>2</sup>)、NCU180(农大 108 + 包膜尿素 180 kg N/hm<sup>2</sup>)。尿素 1/3 基施,2/3 于 10 叶期追施,包膜尿素一次性基施,均配施普通过磷酸钙 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/hm<sup>2</sup>、硫酸钾 90 kg K<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>。郑单 958 密度为 7.5 万株/hm<sup>2</sup>,农大 108 为 6 万株/hm<sup>2</sup>,等行距(80 cm)免耕播种,均为 6 行区,小区面积 33.6 m<sup>2</sup>(4.8 m × 7 m)。

表 1 2004 与 2005 年两品种各生育阶段的降水与积温情况

Table 1 Precipitation and accumulated temperature (AT) at different growth stages of two cultivars in 2004 and 2005

品种 Cultivar	降水或积温 Precipitation or AT	播种 ~ 9 叶展 Sowing — 9-leaf	9 叶展 ~ 12 叶展 9-leaf — 12-leaf	12 叶展 ~ 吐丝 12-leaf — silking	吐丝 ~ 乳熟 Silking — dough	乳熟 ~ 成熟 Dough — maturity	合计 Sum
2004 年 Year 2004							
郑单 958	降水 Precipitation (mm)	266.7	133.3	66.5	21.0	23.4	510.9
Zhengdan958	(%)	52.2	26.1	13.0	4.1	4.6	100.0
	积温 AT ( $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ )	881.0	198.3	364.5	504.4	657.7	2605.9
	(%)	33.8	7.6	14.0	19.4	25.2	100.0
农大 108	降水 Precipitation (mm)	266.7	133.3	84.5	3.0	35.2	522.7
ND 108	(%)	51.0	25.5	16.2	0.6	6.7	100.0
	积温 AT ( $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ )	908.4	217.5	399.5	498.0	638.7	2662.1
	(%)	34.1	8.2	15.0	18.7	23.6	100.0
2005 年 Year 2005							
郑单 958	降水 Precipitation (mm)	90.8	3.2	36.2	68.6	45.9	244.7
Zhengdan958	(%)	37.1	1.3	14.8	28.0	18.8	100.0
	积温 AT ( $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ )	1012.1	222.6	318.5	534.1	675.3	2762.6
	(%)	36.6	8.1	11.5	19.3	24.4	100.0
农大 108	降水 Precipitation (mm)	90.8	14.0	25.4	68.6	45.9	244.7
ND108	(%)	37.1	5.7	10.4	28.0	18.8	100.0
	积温 AT ( $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ )	1070.9	244.9	329.9	511.4	656.6	2813.7
	(%)	38.1	8.7	11.7	18.2	23.3	100.0

2004 年,两个品种均于 6 月 14 日播种(条播),播后浇水(30 mm),5 叶展定苗,郑单 958 于 8 月 9 日吐丝,9 月 28 日收获,生育期 106 d;农大 108 于 8 月 12 日吐丝,10 月 3 日收获,生育期 111 d。两年夏玉米前茬均为冬小麦,全田管理统一采用节水栽培模式<sup>[10]</sup>。2005 年试验在 2004 年的相应小区上进行,6 月 16 日免耕播种(点播),播后浇水(30 mm),5 叶展定苗,郑单 958 于 8 月 10 日吐丝,10 月 2 日收获,生育期 109 d;农大 108 于 8 月 13 日吐丝,10 月 5 日收获,生育期 112 d。2005 年降水较少,因此在 8 月 1 日浇水 75 mm。

### 1.3 测定项目与方法

(1)产量及产量构成 每小区收获玉米 2 行(每行 5 m),调查果穗数量并称所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从 2 行所收果穗中随机选取 10 穗,用以考察产量构成;以 2 行实际株距折算密度;实际产量由各小区所取的 10 穗籽粒产量折算得到(含水率以 14% 计)。

(2)植株全氮含量与氮肥利用率(NUE) 全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定<sup>[11]</sup>。氮肥利用率(%) = (施氮处理作物吸氮量 - 不施氮处理作物吸氮量)/施氮量 × 100。

(3)土壤含水率与无机氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)含量 以郑单 958 为例考察两种氮肥对土壤无机氮动态的影响。于玉米播种、9 叶展、12 叶展、吐丝、乳熟和成熟期进行田间取土,每小区取 2 个样点,每点取土深度 1.2 m,20 cm 一层,2 个样点同层土壤混合,装于塑料自封袋中带回室内,立即冷冻。解冻后混匀取土用直接烘

干法测定土壤含水率,同时,称取 20 g 土于 200 ml 可密封塑料瓶中,加入 1 mol/L 的 KCL 溶液 100 ml 振荡浸提(1h),浸提液过滤于可密封胶卷盒中,立即冷冻;浸提液解冻后,用德国产 TRAACS2000 型连续流动分析仪(Continuous Flow Analysis)测定无机氮含量。

(4) 植株耗水量与水分利用效率(WUE) 耗水量( $\text{m}^3$ ) = 播种期 1.2 m 土体贮水量 - 成熟期 1.2 m 土体贮水量 + 全生育期降水量; WUE( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) = 产量/耗水量。

数据处理与统计分析采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SAS 9.0 进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量与水分利用效率

由表 2 可见,2004 年两个品种因施氮而显著增产,且郑单 958 施 N 180  $\text{kg}/\text{hm}^2$  (N 180) 较施 N 90  $\text{kg}/\text{hm}^2$  (N 90) 处理增产显著;两个品种耗水量、水分利用效率(WUE)均因施氮而显著增大,且 N 180 处理耗水量、WUE 较 N 90 处理大,但仅郑单 958 尿素 N 180 与 N 90 处理间差异达显著水平。与尿素处理相比,在包膜尿素 N 90 条件下,郑单 958 产量提高、耗水量显著增大、WUE 略有降低,农大 108 产量、耗水量与 WUE 均略有降低;在包膜尿素 N 180 条件下,郑单 958 耗水量增大、产量与 WUE 降低,农大 108 耗水量略降,产量与 WUE 略有增大。

表 2 2004 与 2005 年夏玉米产量及其构成因素、水分利用效率与氮肥利用率

Table 2 Yield and its components, water use efficiency (WUE) and nitrogen use efficiency (NUE) of summer maize in 2004 and 2005

处理 Treatment	有效穗数 Effective ears (ear/ $\text{hm}^2$ )	穗粒数 Kernel number per ear	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Actual yield ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	耗水量 Water consumption ( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )	水分利用效率 WUE ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	氮素累积量 N accumulation amount ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	氮肥利用率 NUE (%)
2004 年								
Z0	73754	443 b	304 b	9509 c	4407 b	2.16 c	166 c	—
ZU90	72087	464 a	300 b	9875 bc	4443 b	2.22 b	192 b	29 b
ZU180	78754	456 ab	308 ab	10621 a	4576 a	2.32 a	210 a	24 b
ZCU90	76254	438 b	310 a	10103 b	4590 a	2.20 b	204 ab	42 a
ZCU180	72920	473 a	315 a	10573 a	4675 a	2.26 ab	214 a	27 b
N0	62503	446 c	294 b	7914 c	4280 b	1.85 b	152 c	—
NU90	63753	477 b	306 a	9086 ab	4583 a	1.98 a	195 b	47 a
NU180	63337	498 a	304 a	9310 a	4647 a	2.00 a	201 b	27 c
NCU90	64170	470 b	304 a	8978 ab	4578 a	1.96 a	196 b	49 a
NCU180	62503	505 a	304 a	9327 a	4635 a	2.01 a	219 a	37 b
2005 年								
Z0	70035	329 c	300 ab	6792 d	2529 a	2.69 c	119 c	—
ZU90	69618	441 a	291 c	8813 c	2341 b	3.77 b	161 b	47 a
ZU180	72536	448 a	293 bc	9417 ab	2336 b	4.03 a	185 a	37 b
ZCU90	72953	430 ab	295 bc	9099 bc	2413 b	3.77 b	161 b	47 a
ZCU180	72536	451 a	303 a	9770 a	2395 b	4.08 a	190 a	39 b
N0	57946	331 c	286 c	5359 c	2537 a	2.11 c	116 d	—
NU90	59196	444 a	316 a	8105 b	2508 a	3.23 a	162 b	50 a
NU180	60030	441 a	310 ab	7991 b	2380 b	3.36 a	177 a	34 b
NCU90	63365	401 b	304 b	7513 b	2671 a	2.81 b	151 c	39 b
NCU180	61698	465 a	315 a	8813 a	2598 a	3.39 a	183 a	37 b

不同字母表示达到 0.05 显著水平,  $n=5$  Data followed by different letters indicate significant difference at the 0.05 probability level

2005 年两品种产量表现与 2004 年较一致(农大 108 尿素处理除外);郑单 958 耗水量随施氮量增大而降低,农大 108 则表现包膜尿素 > 不施氮 > 尿素、N 180 < N 90 趋势。2005 年耗水量表现与 2004 年不同,是受

到了2005年夏玉米播种期土壤贮水量的影响。经过2004年夏玉米季与2004~2005年冬小麦季后,2005年夏玉米播种期各土层含水率表现随施氮量增大而降低的趋势<sup>[12]</sup>。可见2005年夏玉米耗水量随土壤贮水量增大而增大;两品种WUE随施氮量增大而显著增大。与尿素处理相比,郑单958包膜尿素处理产量、耗水量与WUE均提高;农大108在包膜尿素N90条件下产量下降、耗水量略增、WUE显著降低,在包膜尿素N180条件下产量与耗水量显著增加,WUE略有增大。

可见,夏玉米产量与WUE均随施氮量增大而增大;包膜尿素与尿素处理在产量与WUE上的差异不显著,且与品种和施氮量有关。

## 2.2 氮肥利用率

由表2可见,供试两个品种的植株氮素累积量随施氮量增大而增大,年际间表现一致。氮肥利用率(NUE)随施氮量增大而显著下降,N90条件下NUE一般为40%~50%,N180条件下在30%左右。两种氮肥间NUE有差异,2005年N90条件下尿素NUE显著高于包膜尿素,但一般情况下均表现包膜尿素高于尿素,其中,2004年郑单958在N90条件下与农大108在N180条件下达显著水平。

## 2.3 土壤无机氮动态

### 2.3.1 不施氮处理

由图1可见,2004年播种期各土层无机氮含量均低于5 mg/kg(干土),至成熟期又有所下降,两时期均表现上、下土层高,中间土层低的趋势。土壤无机氮动态变化:60~80 cm土层播种至9叶展上升,9叶展至乳熟下降,之后回升,呈现“N”型变化趋势;其他土层播种至乳熟下降,乳熟后回升,呈现“V”型变化趋势。如以乳熟期为界,各土层无机氮含量均表现先降后升(“V”型)变化趋势。

2005年,播种期0~20 cm土层无机氮含量最高,但也低于5 mg/kg(干土)。各土层无机氮含量在播种至9叶展均升高;20~80 cm土层9叶展至乳熟下降,乳熟后回升,而0~20 cm与80 cm以下土层9叶展之后继续上升,至吐丝达最高点,吐丝至乳熟下降,乳熟后回升。从整个生育季来看,各土层无机氮含量均呈现“N”型变化趋势,前期上升达到峰值的时期在土层间有差异,而后一个低点均为乳熟期。土壤无机氮含量下降幅度,9叶展至12叶展以40~60 cm最大,12叶展至吐丝期以60~80 cm最大,吐丝至乳熟期以80~100 cm最大,表明植株根系“吸氮中心”随生育进程推进而下移。

可见,不施氮条件下土壤无机氮含量一般低于5 mg/kg(干土),而其在玉米整个生育季的动态变化趋势具有年际间差异,2004年大致呈“V”型,而2005年则呈“N”型变化趋势。

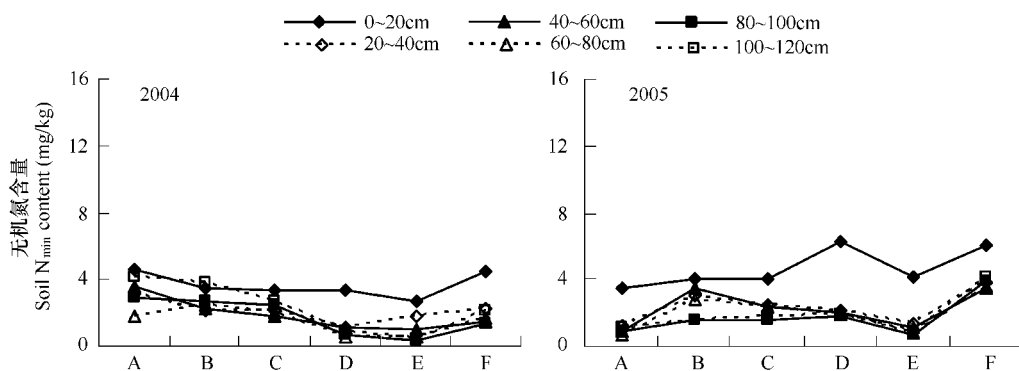


图1 郑单958不施氮处理土壤无机氮动态

Fig. 1 Dynamics of soil  $N_{min}$  content in zero N treatments of Zhengdan958 in 2004 and 2005

A~F分别表示播种、9叶展、12叶展、吐丝、乳熟与成熟期;下同 A~F represented sowing, 9-leaf, 12-leaf, silking, dough and maturity respectively; the same below

### 2.3.2 尿素处理

由图2可见,2004年尿素N90条件下,土壤无机氮含量与不施氮处理相当,时期间变化趋势亦与不施氮

处理基本一致,即 60~80 cm 土层呈“N”型,0~20 cm 与 80~100 cm 土层亦趋于“N”型(播种至 9 叶展上升,但增幅很小),其他土层呈“V”型。尿素 N 180 条件下,各土层无机氮含量均明显高于 N 90 与不施氮处理,40~100 cm 土层 9 叶展达 8~10 mg/kg(干土),100~120 cm 土层 12 叶展达 9.6 mg/kg(干土)。0~20 cm 与 20~40 cm 土层呈“N”型变化,12 叶展或 9 叶展以前上升,之后下降,乳熟后有较大幅度上升;100~120 cm 土层亦趋于“N”型变化(乳熟后小幅上升);其他土层呈倒“V”型变化,峰值在 9 叶展或 12 叶展。与播种期相比,成熟期土壤无机氮含量,0~40 cm 土层明显升高,其他土层略有降低。

2005 年尿素 N 90 条件下,播种期土壤无机氮含量较不施氮处理略高。各土层无机氮动态均呈“N”型:0~60 cm 土层播种至 9 叶展上升,之后下降,吐丝之后回升;60~100 cm 土层在 12 叶展以前上升,之后下降,乳熟之后回升;100~120 cm 土层在吐丝前上升,灌浆前期下降,中后期回升。尿素 N 180 条件下,土壤无机氮含量与变化幅度均较 N 90 处理大。0~40 cm 土层播种至 9 叶展上升,之后下降,吐丝之后回升,呈“N”型变化;40~60 cm 土层呈“W”型变化,其在播种至 9 叶展下降,9 叶展至 12 叶展上升,12 叶展至吐丝下降,吐丝之后回升;60~120 cm 土层呈“N”型变化,其在 12 叶展前上升,之后下降,乳熟后回升。土壤无机氮含量在前期达到峰值的时期与在后期回升的起始时期均随土层加深而推迟,也表明根系“吸氮中心”随生育进程推进而下移。

综合分析两年试验结果,发现施用尿素后土壤无机氮含量明显提高,而施氮对夏玉米土壤无机氮含量动态变化趋势的改变具有年际间差异,2004 年施氮使土壤无机氮含量变化从“V”型向“N”型或倒“V”型转变,而 2005 年施氮与不施氮条件下均呈“N”型变化趋势。

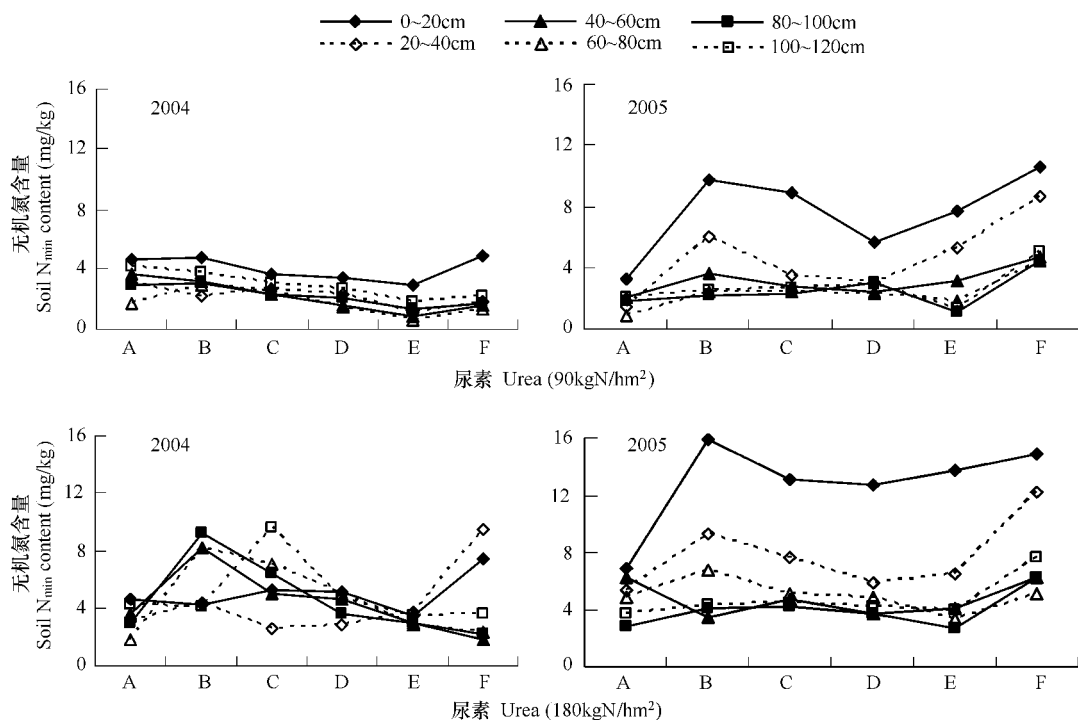


图2 郑单 958 尿素处理土壤无机氮动态

Fig. 2 Dynamics of soil  $N_{min}$  content in urea treatments of Zhengdan958 in 2004 and 2005

### 2.3.3 包膜尿素处理

由图 3 可见,2004 年包膜尿素 N 90 条件下,各土层无机氮含量较不施氮处理提高,表现最明显的是表土层。40~60 cm 土层播种至 9 叶展略有下降,之后上升,12 叶展之后下降,乳熟后回升,呈“W”型变化;其他各土层呈“N”型变化:播种至 9 叶展或 12 叶展上升,之后至乳熟期下降,乳熟后回升,回升幅度以 0~20 cm 土层最大。包膜尿素 N 180 条件下,各土层无机氮含量较 N 90 处理明显提高,均在播种之后上升,9 叶展或

12 叶展达峰值,之后 60 ~ 100 cm 土层持续下降(呈倒“V”型变化),而其他土层在乳熟期之后回升(呈“N”型变化)。

2005 年,包膜尿素 N 90 处理各土层无机氮含量较不施氮处理高,各土层无机氮含量均呈“N”型变化趋势,其在 12 叶展(0 ~ 40 cm 土层)或 9 叶展(40 ~ 100 cm 土层)之前上升,之后下降,乳熟后回升;N 180 处理土壤无机氮含量较 N 90 处理进一步提高,时期间动态变化趋势基本不变。

综合分析 2a 试验结果,发现土壤无机氮含量随包膜尿素用量增大而提高,且提高幅度明显高于尿素处理,但对土壤无机氮动态的改变与尿素处理基本一致。

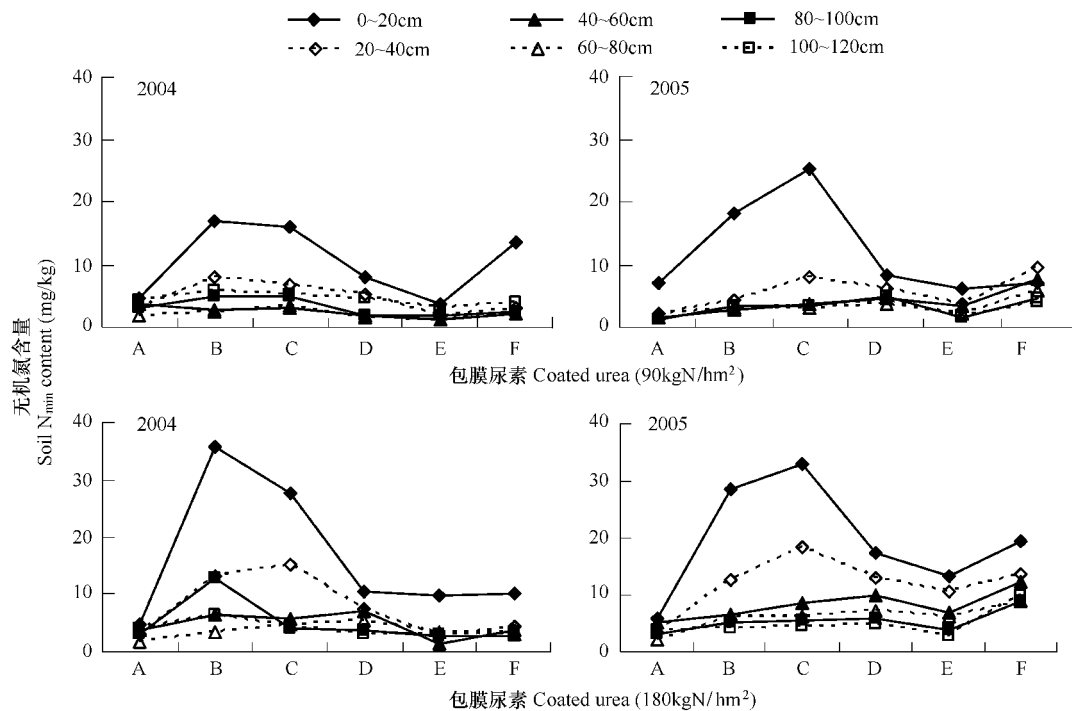


图3 郑单 958 包膜尿素处理土壤无机氮动态

Fig. 3 Dynamics of soil  $N_{min}$  content in coated urea treatments of Zhengdan958 in 2004 and 2005

### 3 讨论

#### 3.1 包膜尿素的产量效应与释放周期

前人研究表明长效氮肥增产显著<sup>[5~7]</sup>。本研究中供试的包膜尿素由中国农业大学资源与环境学院研制。本试验条件下,同等施氮量下包膜尿素并不比尿素显著增产,甚至 2004 年郑单 958 在 N 180 与农大 108 在 N 90 条件下,包膜尿素处理产量低于尿素处理,这应该与两种氮肥的施用方法以及自然条件,尤其是降水等有关。包膜尿素一次性基施,而尿素 2/3 用作 10 叶期追肥,以 2004 年为例,其 1/2 的降水量集中在夏玉米播种至 9 叶展,此阶段仅施用了 1/3 的尿素,而包膜尿素已全部施入大田,过多的雨水削弱了包膜尿素的缓释优势,以致包膜尿素的增产效应未能体现;2005 年夏玉米季降水量不及 2004 年的 1/2,而该年包膜尿素的增产效应较 2004 年明显。可见夏玉米生育前期降水过多不利于包膜尿素增产增效效应的发挥。对吴桥试区及降水分布与之类似的地区来说,包膜肥料的应用以及该地区夏玉米季氮肥基追比例运筹等问题,还需深入研究。

大多研究将普通型氮肥与长效氮肥作为对立物进行研究,其目的是以长效氮肥取代传统的氮肥品种。可以在普通型氮肥与长效型氮肥的结合应用上做些研究。可在适宜施氮量范围内,以长效型氮肥(包膜尿素)作基肥,而在 9 叶展至 12 叶展(大喇叭口期)以普通型氮肥(尿素)作追肥,来应对该地区降水集中在夏玉米生育前期的不利影响,同时又满足夏玉米大喇叭口至吐丝期的氮素需求?

目前,缓释肥料的释放周期问题是有关研究的热点之一。释放周期太短不好,同样也并非越长越好,应该

视各生态类型区各种作物的养分吸收特性而定。因此,最好是能够开发出各作物的专用缓释肥料。研究表明,华北平原夏玉米产量与植株氮累积总量呈极显著正相关,但产量与各生育阶段的氮素累积量相关性不同:产量与吐丝后氮累积量关系不大,而与播种至9叶展及12叶展至吐丝期氮累积量关系密切,其中2004年达到显著水平<sup>[12]</sup>。对华北平原夏玉米而言,9叶展至12叶展约1周,可见,吐丝前的氮肥供应至关重要。研究认为,玉米对氮的吸收曲线与干物质累积曲线基本一致<sup>[13]</sup>,呈S形曲线变化<sup>[14]</sup>;玉米氮素吸收速度呈单峰曲线变化<sup>[12,14]</sup>,最大吸收速度表现在大喇叭口期<sup>[14]</sup>或12叶展至吐丝阶段<sup>[12]</sup>。可见保证12叶展至吐丝期的氮素供应至关重要。对华北平原夏玉米而言,播种至吐丝约55~60 d,因此,适于华北平原夏玉米季应用的长效氮肥释放周期以60 d左右为宜。

### 3.2 包膜尿素的环境效应与应用前景

我国是世界上最大的化肥生产与消费国,2004年化肥用量为4 636.6万t,其中化学氮肥用量为2 221.9万t,分别是1980年的3.65倍和2.38倍<sup>[15]</sup>。氮肥施用是作物增产的重要保证,然而,氮肥超量施用问题日益突显,玉米生产上氮肥超量施用现象亦十分普遍。北京地区夏玉米田平均施氮量高达256 kg N/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>。氮肥超量施用使氮肥利用率显著下降。近年来的调查发现,夏玉米氮肥利用率在北京郊区为15%~20%<sup>[17]</sup>,在河北吴桥试区仅为3.5%~11.6%<sup>[18]</sup>。同时,大量施氮导致土壤矿物态氮含量升高,除少部分被作物吸收之外,大部分通过氨挥发、硝化反硝化及淋洗等途径发生了损失,对大气及地下水造成污染。对降水主要集中在6~9月份的华北平原而言,夏玉米季的氮素损失尤为严重,地下水受农田NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N淋洗的污染,已成为一个不容忽视的问题。李保国等<sup>[19]</sup>对黄淮海平原浅层地下水NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量进行了调查,发现10%的区域超过了20 mg/L,另有15%的区域在10~20 mg/L之间。

必须采取积极措施减少施氮对环境的污染。本研究分层次考察了夏玉米田1.2 m土体无机氮含量的动态变化趋势,对包膜尿素减少施氮对地下水的潜在污染的效果进行了初步评估,发现:同等施氮量下,包膜尿素一次性基施处理9叶展至12叶展土壤无机氮含量较尿素基施+追施处理高得多,尤其上层土壤表现明显;同时,包膜尿素处理各时期一般均以0~20 cm土层无机氮含量最高,20~40 cm次之,2a表现一致,而尿素处理,特别是尿素N 180处理9叶展至吐丝一般表现下层高于中上层,在降水量1/2集中在播种至9叶展的2004年表现更为明显,且两品种表现一致<sup>[12]</sup>。可见即使在雨水较多的情况下,包膜尿素仍具有明显的缓释效应,能有效控制无机氮的下移,从而减少对地下水的污染。

实现作物栽培“高产、优质、轻简、高效、环保”,是时代给作物栽培学提出的新的要求。肥料一次性施用是作物轻简化栽培的方向之一。但肥料一次性施用与作物高产之间往往存在矛盾,原因就在于一次性施入的肥料无法对作物实施全程供肥,或无法满足作物需肥高峰期的肥料需求。探讨通过包膜以延长肥料释放周期来解决肥料一次性施用与作物高产之间的矛盾的可能性,是本研究的出发点之一。通过2004与2005两年的大田试验,发现包膜尿素一次性基施与尿素基施+追施情况下,土壤无机氮动态趋势基本一致,说明包膜尿素一次性基施没有改变土壤的供氮规律,能够基本满足夏玉米对养分的需求;同时,对施用两种氮肥条件下夏玉米的产量、氮肥利用率与氮素损失等情况比较发现,与尿素分次施用相比,包膜尿素一次性基施亦能达到较高产量,高者可达10 500 kg/hm<sup>2</sup>,同时其利用率较高,而其氨挥发损失量与淋洗损失量均低于尿素<sup>[12]</sup>。即使在2004年,夏玉米播种至9叶展的降水量多达266 mm(全生育期降水的50%以上),包膜尿素处理亦未表现出明显负效应,部分处理产量仍有一定幅度增长。可见,包膜尿素能同时达到高产、轻简、高效、环保目的,在华北平原夏玉米生产上,以包膜尿素替代尿素,改基肥+追肥的施肥模式为一次性基施,是完全可行的。

## 4 结论

(1) 夏玉米产量与WUE均随施氮量增大而增大,两种氮肥表现一致;包膜尿素与尿素在产量、WUE上的高低与品种、施氮量有关,但无明显差异;一般包膜尿素NUE较尿素高,且在2004年郑单958 N 90与农大108 N 180条件下提高显著;

(2) 土壤无机氮含量随施氮量增大而明显提高,包膜尿素对土壤无机氮含量的提高幅度较尿素大;土壤



无机氮变化趋势:2004 年不施氮条件下各土层一般呈“V”型,施氮使其向“N”型或倒“V”型转变,2005 年施氮与不施氮条件下一般均呈“N”型;

(3) 在雨水较多的情况下,包膜尿素具有较好的缓释效应,能有效控制无机氮的下移;华北平原夏玉米季以包膜尿素替代尿素并改基肥 + 追肥的施肥模式为一次性基施是完全可行的,能达到省工、增效与环保目的。

#### References:

- [ 1 ] Cao Z H. Study on slow-release  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ . *Acta Pedologica Sinica*, 1980,17(2): 131—134.
- [ 2 ] Zhao J R, Guo J L, Guo Q, *et al.* Study on fertilization technology for high yield and efficiency in summer maize in outskirts of Beijing. *Beijing Agricultural Sciences*, 1997,15(3): 27—31.
- [ 3 ] Guo Q, Zhao J R, Chen G P, *et al.* Study of controlled fertilizer on heightening nitrogen use efficiency. *Beijing Agricultural Sciences*, 1998,16(3): 35—37.
- [ 4 ] Deng S L, Yu Q, Wang J S. Study on effect of application long-term  $\text{NH}_4\text{CO}_3$  in maize. *Rain Fed Crops*, 2003,23(4): 242—243.
- [ 5 ] Chen G, Li L Z, Zhang P, *et al.* Effect of coated urea on corn absorbing nitrogen and yield. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1996,18(4): 61—65.
- [ 6 ] Huang Y Y, Tan H W. Behavior characteristics of slow-release nitrogenous fertilizers in several types of soil. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2003,16(1): 94—97.
- [ 7 ] Xie P C, Ma D M, Zhang X D, *et al.* The nutrient release rate and increase production of film-coated and release fertilizer. *Soils and Fertilizers*, 2005,(1): 24—28.
- [ 8 ] Jiao X G, Liang W J. Effect of controlled-urea on urea-N transformation and yield. *System Sciences and Comprehensive Study in Agriculture*, 2003,19(4): 297—299.
- [ 9 ] Liang W, Zhang Y, Yue J, *et al.* Effect of slow releasing nitrogen fertilizers on  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emission in maize and rice fields in black earth soil. *Chinese Journal of Ecology*, 2004,23(3): 44—48.
- [ 10 ] Li J M, Wang P, Zhou D X, *et al.* Studies on the cultivating techniques of water-saving and high-yielding and their physiological bases in winter wheat plants. In: Li J M, Zhou D X, Wang P, *et al.* eds. *Principle of cultivating techniques of water and fertilizer high efficiency use in winter wheat*. Beijing: China Agricultural University Press, 2000. 1—16.
- [ 11 ] Hunan Agricultural College ed. *Experiment guideline of crop cultivation*. Beijing: Agricultural Press, 1988. 243—246.
- [ 12 ] Yi Z X. Effects of Nitrogen fertilizer types on yield, water and nitrogen efficient utilization and losses of nitrogen in summer maize. Ph. D Dissertation, China Agricultural University, 2006.
- [ 13 ] Chen G P. Mineral nutrition and fertilization techniques in maize. *Journal of Maize Sciences*, 1992,1(4): 59—66.
- [ 14 ] Liu J H, Liu K L. A study on the regularity of nitrogen requirement in spring maize. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry*, 1994,15(3): 12—18.
- [ 15 ] National Bureau of Statistics of China ed. *China Statistical Yearbook 2005*. Beijing: China Statistical Press, 2006.
- [ 16 ] Zhao J R, Guo Q, Guo J L, *et al.* Investigation and analysis of input of chemical fertilizer and yield actuality in outskirts of Beijing. *Beijing Agricultural Sciences*, 1997,15(2): 36—38.
- [ 17 ] Li X H. Study on Loss Mechanism of Soil Nitrogen and Techniques to Heightening Nitrogen Use Efficiency in Food Field in Outskirt of Beijing. *Brief News of Beijing Society of Soil*, 1999,2(5): 5—8.
- [ 18 ] Zhou S L. Genotype difference of nitrogen nutrition properties of winter wheat and summer maize under high-yielding condition and nitrogen fertilizer recommendation. Beijing: Ph. D Dissertation, China Agricultural University, 2000.
- [ 19 ] Li B G, Bai Y L, Hu K L, *et al.* Spatial variability and distribution of nitrate content of shallow groundwater in Huang-Huai-Hai Plain. *Engineering Science*, 2001,3(4): 42—45,55.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 曹志洪. 长效碳酸氢铵的研究. *土壤学报*, 1980,17(2): 131—134.
- [ 2 ] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 等. 北京郊区夏玉米高产、高效施肥配套技术研究. *北京农业科学*, 1997,15(3): 27—31.
- [ 3 ] 郭强, 赵久然, 陈国平, 等. 长效肥料对提高夏玉米氮肥利用率的研究. *北京农业科学*, 1998,16(3): 35—37.
- [ 4 ] 邓森林, 于庆, 王家生. 玉米施长效碳酸氢铵效果的研究. *杂粮作物*, 2003,23(4): 242—243.
- [ 5 ] 陈光, 李立中, 张平, 等. 包膜尿素对玉米吸氮及产量的影响. *吉林农业大学学报*, 1996,18(4): 61—65.

- [6] 黄玉溢, 谭宏伟. 长效氮肥在几种土壤上的行为特征. 西南农业学报, 2003, 16(1): 94~97.
- [7] 谢培才, 马冬梅, 张兴德, 等. 包膜缓释肥的养分释放及其增产效应. 土壤肥料, 2005, (1): 24~28.
- [8] 焦晓光, 梁文举. 施用控释尿素后土壤尿素氮的转化及其对产量的影响. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(4): 297~299.
- [9] 梁巍, 张颖, 岳进, 等. 长效氮肥施用对黑土水旱田  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响. 生态学杂志, 2004, 23(3): 44~48.
- [10] 李建民, 王璞, 周殿玺, 等. 冬小麦节水高产栽培技术及其生理基础的研究. 见: 李建民, 周殿玺, 王璞, 等主编. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 1~16.
- [11] 湖南农学院. 作物栽培学实验指导. 北京: 农业出版社, 1988. 243~246.
- [12] 易镇邪. 氮肥类型对夏玉米产量与水、氮高效利用及氮素损失的影响. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2006.
- [13] 陈国平. 玉米的矿质营养与施肥技术. 玉米科学, 1992, 1(4): 59~66.
- [14] 刘景辉, 刘克礼. 春玉米需氮规律的研究. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15(3): 12~18.
- [15] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2005. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [16] 赵久然, 郭强, 郭景伦, 等. 北京郊区粮田化肥投入和产量现状的调查分析. 北京农业科学, 1997, 15(2): 36~38.
- [17] 李新慧. 京郊粮田土壤氮肥损失机制与提高氮肥利用率技术研究. 北京土壤学会简讯, 1999, 2(5): 5~8.
- [18] 周顺利. 高产条件下冬小麦、夏玉米氮营养特性的基因型差异及氮肥推荐. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2000.
- [19] 李保国, 白由路, 胡克林, 等. 黄淮海平原浅层地下水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的空间变异与分布特征. 中国工程科学, 2001, 3(4): 42~45, 55.