

文章编号: 1005-0906(2009)02-0124-06

包膜尿素对夏玉米产量及碳氮代谢的影响

王利纳, 陶洪斌, 戴明宏, 王彩彩, 冯 烁, 王 璞

(中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘 要: 以玉米杂交种郑单 958 为材料, 研究基施包膜尿素(120 kg/hm² 和 90 kg/hm² 纯 N, 下同)和分施普通尿素(1:1 和 1:2:1 的比例, 总量均为 120 kg/hm²)对夏玉米产量、产量构成、干物质生产及碳氮代谢的影响。结果表明, 基施包膜尿素 120 kg/hm² 和分施(1:2:1)普通尿素效果基本一致, 在子粒产量、穗粒数、生物产量及氮素累积量等方面均显著优于基施包膜尿素 90 kg/hm² 和分施(1:1)普通尿素。前二者的子粒干物质和氮素累积主要来源于灌浆期叶片的光合生产和根系的吸收, 表明基施包膜尿素 120 kg/hm² 和分施(1:2:1)普通尿素, 均有利于增大并延长叶片的光合生产能力和根系的吸收能力。另外, 乳熟至灌浆中期, 包膜尿素处理的植株营养器官总糖含量处于较合理的水平。

关键词: 夏玉米; 包膜尿素; 产量; 碳氮代谢

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effect of Coated Urea on Grain Yield and Carbon-nitrogen Metabolism of Summer Maize

WANG Li-na, TAO Hong-bin, DAI Ming-hong, WANG Pu, et al.

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The objective of this experiment was to study and evaluate the effects of basal application coated urea and split application (1 : 1 and 1 : 2 : 1) common urea under three application rates(0, 90 and 120 kg/ha) on yield and its components, dry matter production and carbon-nitrogen metabolism of summer maize cultivars, Zhengdan958, and to provide some beneficial references for ameliorating the fertilization techniques and increasing crop yield in this area. The main results showed that effect of grain yield, kernel number, dry matter and nitrogen accumulation on summer maize of basal application coated urea and split application (1 : 2 : 1) common urea treatments were close and they were bigger than other treatments, especially during the late growth stage. The main source of dry grain weight and N accumulation amount of the two advantage treatments were photosynthesis and root absorbed in milk stage, respectively. So we could conclude that the capacity of leaves photosynthesis and root absorbed was improved by these two treatments. Meanwhile the results also suggested that total content of soluble sugar and starch in leaf, stem and sheath had reached a suitable and lower value from dough to medium milk stage.

Key words: Summer maize; Coated urea; Yield; Carbon and nitrogen metabolism

目前, 缓控释氮肥在玉米生产上的研究和应用逐渐受到广泛关注。但多数研究只集中在其对玉米的产量形成和氮肥利用的影响方面, 包膜尿素等缓

控释肥料对玉米的碳氮累积动态及碳氮代谢协调性的研究相对较少。碳氮代谢的协调程度不仅影响玉米的生长发育进程, 而且关系到产量的高低和品质的优劣。本研究在不同施氮水平下, 比较基施包膜尿素与分次施用普通尿素对夏玉米产量、干物质生产、碳氮比、碳氮累积及转运的影响, 为夏玉米施肥技术改进及作物高产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

收稿日期: 2008-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(30571089)

作者简介: 王利纳(1981-), 女, 河北高邑人, 硕士研究生。

E-mail: lina_wang108@yahoo.com.cn

王 璞为本文通讯作者。Tel: 010-62733611

E-mail: wangpu@cau.edu.cn

试验于 2007 年在中国农业大学东北旺实验站进行。试验地位于北纬 39.56°,东经 116.2°,海拔高度 60 m,属温带大陆性季风气候,年均降雨量 554 mm,年均温度 11.5℃。试验地为壤土,属石灰性潮土类型,0~20 cm 土层全氮为 0.11%、有效磷 41.79 mg/kg、速效钾 168.30 mg/kg、有机质 2.23%;21~40 cm 土层全氮为 0.10%、有效磷 37.30 mg/kg、速效钾 146.25 mg/kg、有机质 1.99%。

试验设 5 个处理: N₀ (不施氮)、N_{1:1} (尿素 120 kg/hm²,按 1:1 的比例于播前基施和大喇叭口期追施)、N_{1:2:1} (尿素 120 kg/hm²,按 1:2:1 的比例于播前基施、大喇叭口期和吐丝期追施)、NC₁₂₀ (包膜尿素 120 kg/hm²,基施)、NC₉₀ (包膜尿素 90 kg/hm²,基施)。另外,磷(过磷酸钙)、钾(硫酸钾)和锌肥均作底肥施用,用量分别为 P₂O₅100 kg/hm²、K₂O 100 kg/hm² 和 ZnSO₄ 30 kg/hm²。试验采用随机区组设计,4 次重复。包膜尿素由中国农业大学资源与环境学院提供(自制),含 N 42%,释放周期 60 d。小区面积 63 m²,等行距(70 cm)种植,密度为 75 000 株/hm²。供试品种为玉米杂交种郑单 958。6 月 7 日播种,9 月 27 日收获,无前茬作物。

1.2 测定项目及方法

干物重:分别于玉米拔节期(7 月 8 日)、大喇叭口期(7 月 23 日)、吐丝期(8 月 5 日)、乳熟期(8 月 23 日)、灌浆中期(9 月 6 日)及生理成熟期(9 月 27 日),在各小区选有代表性的植株 4 棵,取地上部分于烘箱中 105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒重,测定干物重。拔节期整株测定,大喇叭口期分为叶片和茎鞘,吐丝期分为叶片、茎鞘和果穗,乳熟、灌浆中期和成熟期分为叶片、茎鞘、苞叶、穗轴和子粒 5 部分进行测定。

产量与产量构成因素:每小区收获玉米 4 行,每行 3 m(8.4 m²),调查样方内果穗数量并称其总鲜重,从所收果穗中随机选取 10 穗,用来考察穗部性

状与产量构成;实际产量由各小区所取的 8.4 m² 果穗总鲜重和 10 个样本果穗烘干后所测定的出籽率并折算 14%的含水量计算得出。

植株全氮含量:用半微量凯氏定氮法测定。

植株总糖(包括可溶性糖与淀粉含量):均采用蒽酮比色法测定。

收获指数 = 经济产量 / 生物产量;

阶段性光合生产物质量 = (后一阶段 - 前一阶段)干物质总量;

阶段性光合生产物质量对子粒贡献率 = (阶段性光合生产物质量 / 阶段子粒产量) × 100%;

器官干物质(氮)转运量 = 吐丝期器官干物质(氮)累积量 - 成熟期器官干物质(氮)累积量;

器官干物质(氮)转移效率 = 器官干物质(氮)转运量 / 吐丝期器官干物质(氮)累积量 × 100%;

器官转移干物质(氮)对子粒(氮)的贡献率 = 器官干物质(氮)转运量 / 子粒干物质(氮)累积量 × 100%;

器官碳氮比(C/N)= 器官总糖含量 / 器官氮素累积量。

本试验数据利用 SAS9.0 软件 Student-Newman-Keuls(SNK)检验进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 产量与产量构成

施氮表现出显著的增产效应,各施氮处理的子粒产量均显著高于不施氮处理。其中,NC₁₂₀ 和 N_{1:2:1} 处理的子粒产量、穗粒数和生物产量均显著高于 N_{1:1} 和 NC₉₀ 处理(表 1)。另外,相同施氮水平下 N_{1:2:1} 的穗粒数和生物产量显著高于 N_{1:1}, 前者的最终子粒产量也略高于后者。说明吐丝期追肥有助于增大夏玉米后期的穗粒数和生物量,进一步提高产量。千粒重和收获指数的总体表现比较稳定,处理之间差异不显著。

表 1 不同氮肥处理下夏玉米子粒产量、生物产量、产量构成及收获指数

Table 1 Grain yield, yield components, biomass and harvest index of summer maize under different nitrogen treatments					
处 理	子粒产量(kg/hm ²)	生物产量 (kg/hm ²)	穗粒数(粒)	千粒重(g)	收获指数
Treatment	Grain yield	Biomass yield	Kernel number	1 000-grain weight	Harvest index
N ₀	10 300 c	18 900 d	483 c	296 a	0.56 a
N _{1:1}	11 600 b	21 200 b	526 b	303 a	0.57 a
N _{1:2:1}	12 400 ab	22 600 a	557 a	304 a	0.55 a
NC ₁₂₀	12 700 a	23 500 a	574 a	307 a	0.54 a
NC ₉₀	11 500 b	20 100 c	515 b	300 a	0.57 a

注:子粒含水量为 14%,不同小写字母表示 0.05 差异显著水平。下表同。
Note: Grain moisture content is 14%. Different small letters mean significant difference at 5% level, the same as below.

2.2 生育后期干物质生产与转运

表 2 结果表明,所有处理的作物光合生产对子粒产量的贡献率均在 84%以上。而且,不同处理下玉米在生育后期的光合生产能力差异明显,NC₁₂₀ 的光合生产量略高于 N_{1:2:1},二者均显著高于 N_{1:1} 和 NC₉₀ 的光合生产量,N_{1:1} 和 NC₉₀ 之间差异不显著,N₀ 的最低。

总体上看,乳熟期至成熟期各营养器官的干物

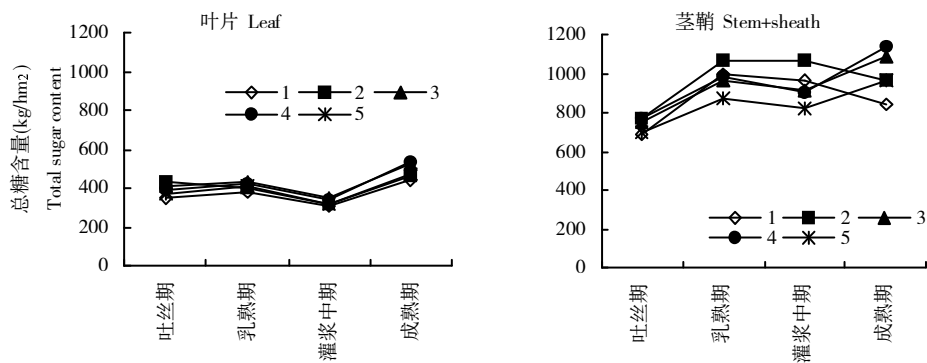
质转运及对子粒的贡献率都处于较低的水平,但不同处理间也有较大差异。不施氮处理的叶片干物质转运量及对子粒的贡献率均显著高于各施氮处理,施氮处理之间则差异不明显。N_{1:1} 和 NC₉₀ 的茎鞘物质转运量及对子粒的贡献率最高,N₀ 处理居中,NC₁₂₀ 和 N_{1:2:1} 的最低,其差异达显著水平。N_{1:1} 和 NC₉₀ 穗轴及苞叶的物质转运量同样显著高于 NC₁₂₀、N_{1:2:1} 和 N₀,而后三者之间差异不显著。

表 2 乳熟期至成熟期夏玉米各器官干物质转运及对子粒的贡献率

Table 2 Dry matter translocation and contribution to grain from organs during dough to maturity stage of summer maize

处 理 Treatment	叶 片 Leaf		茎 鞘 Stem sheath		苞叶 + 穗轴 Husk + Axis		光合作用 Photosynthesis		子粒 产量 (kg/hm ²) Grain yield
	转运量	对子粒贡	转运量	对子粒贡	转运量	对子粒贡	生产量	对子粒贡	
	(kg/hm ²)	献率 (%)	(kg/hm ²)	献率 (%)	(kg/hm ²)	献率 (%)	(kg/hm ²)	献率 (%)	
	TA	PCTA	TA	PCTA	TA	PCTA	Production	PCTA	
N ₀	293 a	3.61 a	437 b	5.39 b	445 c	5.49 b	6 986 c	86.1 b	8 111 d
N _{1:1}	267 b	2.79 b	610 a	6.37 a	669 a	6.99 a	8 051 b	84.1 b	9 574 bc
N _{1:2:1}	256 b	2.58 b	206 c	2.07 c	507 b	5.11 b	8 909 a	89.7 a	9 928 ab
NC ₁₂₀	255 b	2.53 b	185 c	1.84 c	525 b	5.22 b	9 098 a	90.4 a	10 063 a
NC ₉₀	265 b	2.84 b	549 a	5.89 a	657 a	7.04 a	7 856 b	84.2 b	9 327 c

2.3 植株总糖累积动态



注:1 为 N₀;2 为 N_{1:1};3 为 N_{1:2:1};4 为 NC₁₂₀;5 为 NC₉₀。下同。
Note: 1 as N₀, 2 as N_{1:1}, 3 as N_{1:2:1}, 4 as NC₁₂₀, 5 as NC₉₀. The same as the following figures.

图 1 夏玉米生育后期叶片和茎鞘的总糖含量

Fig.1 The total sugar content in leaf and stem-sheath during late growing season of summer maize

可溶性糖与淀粉总量(称为总糖含量,下同)的变化可以用来反映植株碳代谢情况。图 1 所示分别为生育后期叶片和茎鞘的总糖累积动态。从吐丝期至成熟期,叶片和茎鞘的总糖含量总体上均表现出一定的增加趋势,但二者的累积过程及不同处理间均有一定差别。吐丝至乳熟期各处理叶片总糖含量较稳定,但 N_{1:2:1} 和 NC₁₂₀ 表现出一定的上升趋势,且含量较其他处理高;乳熟至灌浆中期,由于子粒

灌浆的加速,为充实子粒库容,各处理叶片总糖均呈明显的下降趋势;灌浆中期至成熟期,随着子粒灌浆速度变缓,叶片总糖又快速上升。成熟期植株总糖含量高低顺序为 NC₁₂₀=N_{1:2:1}>N_{1:1}=NC₉₀>N₀,与子粒产量的表现一致。茎鞘中总糖的含量显著高于叶片的总糖含量(约为叶片总糖含量的 2 倍),在不同处理间的表现也与叶片有较大差异。从吐丝期至灌浆中期,N_{1:2:1} 和 NC₁₂₀ 茎鞘的总糖含量较低,介

于 $N_{1:1}$ 和 NC_{90} 之间,之后有所上升。如前所述, $N_{1:2:1}$ 和 NC_{120} 促进了玉米生育后期光合生产,确保了充足的物质“源”; $N_{1:2:1}$ 和 NC_{120} 又具有明显的穗粒数优势(表 1),表明其“库”也较大;同时,茎鞘作为光合产物的暂时储藏和运输器官,其适宜的总糖含量是光合产物高效向外运输的标志,即“流”的畅通。茎鞘中总糖含量过高或过低都不利于光合产物的运输,适中的总糖含量也是 $N_{1:2:1}$ 和 NC_{120} 处理条件下“源库”平衡的很好体现。

2.4 植株氮素累积动态和转运

随着生育期的推进,植株地上部群体的氮素总累积呈逐渐增加的趋势。施氮处理的植株氮素累积量显著高于不施氮处理,并且其差距随生育期的推进而逐渐加大(表 3)。 NC_{120} 的氮素累积量最高,其次

是 $N_{1:2:1}$,二者全生育期相差不大。但是在同等施氮水平下,二者显著高于 $N_{1:1}$ 处理。 NC_{90} 的氮素累积量虽显著低于 NC_{120} ,但在全生育期和 $N_{1:1}$ 相差不大。从氮素生育期内的积累动态看,施氮处理之间的差异在生育后期才表现出来。与 $N_{1:1}$ 相比, $N_{1:2:1}$ 、 NC_{120} 从乳熟期开始在氮素吸收速率上表现出明显的优势并一直保持到成熟期。 NC_{90} 在吐丝期的氮素积累量显著低于 $N_{1:1}$,但吐丝期之后二者的差距逐渐缩小。

包膜尿素的氮素在土壤中的缓慢释放与玉米对氮素的吸收具有较好的协同性,主要表现在玉米的关键生育期(吐丝至乳熟期),包膜尿素的缓慢释放促进了该阶段植株对氮素的吸收。

表 3 不同氮肥处理下不同生育时期的夏玉米地上部氮素累积动态

Table 3 Dynamic of nitrogen accumulation in above-ground of summer maize under different N managements kg/hm²

处 理 Treatment	拔节期 Shooting	大喇叭口期 Big bell mouth	吐丝期 Silking	乳熟期 Dough	灌浆中期 Mid-milk	成熟期 Maturity
N_0	25 a	70 b	104 c	138 c	164 c	175 c
$N_{1:1}$	32 a	87 a	133 a	171 b	201 b	208 b
$N_{1:2:1}$	29 a	86 a	127 a	189 a	227 a	225 a
NC_{120}	30 a	83 a	131 a	193 a	233 a	225 a
NC_{90}	30 a	82 a	115 b	167 b	198 b	192 b

从主要营养器官叶片和茎鞘的氮素累积动态上看(图 2),大喇叭口期至吐丝期,施氮处理之间差异不明显,但 $N_{1:2:1}$ 、 NC_{120} 处理在吐丝期之后表现出较强的后劲,使得玉米叶片和茎鞘在生育后期始终保持较高的氮素积累量,在子粒氮累积总量上也表现出来相同的结果(表 4)。总体上叶片在整个生育期

内的氮素累积量明显高于茎鞘。叶片的氮素累积量于乳熟期达峰值,乳熟期之后呈明显的下降趋势;而茎鞘于吐丝期达峰值,之后也呈下降的趋势,但其下降的幅度明显低于叶片。表明在玉米生育后期,营养器官中氮素向子粒的转运主要来自于叶片。

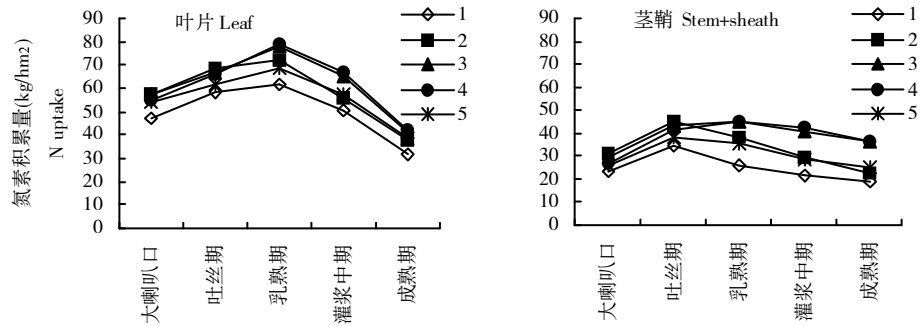


图 2 夏玉米生育后期叶片和茎鞘氮素积累量

Fig.2 The nitrogen accumulation content in leaf and stem-sheath during late growing season of summer maize

由表 4 可见, $N_{1:2:1}$ 和 NC_{120} 具有较高的子粒氮素累积量,但二者主要营养器官的氮素转运并无优势,这点在茎鞘的氮素转运情况上体现的尤为明

显,氮素转运量、转移效率及对子粒的贡献率均显著低于其他处理。 $N_{1:2:1}$ 和 NC_{120} 的子粒氮积累主要来源于根系吸收,二者根系吸氮量对子粒的贡献率

分别比 $N_{1:1}$ 高 15.1 个百分点和 16.8 个百分点;相同指标 NC_{90} 比 $N_{1:1}$ 高 9.7 个百分点。表明在相同施氮量(120 kg/hm^2)下,基施包膜尿素和 1:2:1 分施普通

尿素与 1:1 分施普通尿素相比,前二者更能促进生育后期根系对氮素的吸收,即使在较低的施氮量(90 kg/hm^2)下,包膜尿素仍具有一定的优势。

表 4 夏玉米吐丝期至成熟期营养器官氮素转运及对子粒的贡献率

Table 4 Nitrogen translocation and contribution to grain from nutritive organs during late growing season (silking to maturity) of summer maize

处 理 Treatment	子粒氮量 (kg/hm^2) Grain N	叶 片 Leaf			茎 鞘 Stem sheath			苞叶 + 穗轴氮转 运对子粒贡献(%) PCTA of N content in husk and axis	根系吸收氮素对 子粒贡献率(%) PCTA of absorbed N by root
		转运量	转移效率	对子粒贡	转运量	转移效率	对子粒贡		
		(kg/hm^2) TA	(%) TE	献率(%) PCTA	(kg/hm^2) TA	(%) TE	献率(%) PCTA		
N_0	118 c	27.1 a	46.7 a	23.6 a	15.9 a	45.9 a	13.4 a	6.0 a	57.0 d
$N_{1:1}$	139 b	27.1 a	41.4 b	19.1 b	15.4 a	37.9 b	11.0 b	5.8 a	64.1 b
$N_{1:2:1}$	151 a	26.4 a	39.1 c	17.3 c	6.8 c	15.6 d	4.5 c	6.6 a	71.6 a
NC_{120}	152 a	26.2 a	38.5 c	17.2 c	11.3 b	23.8 c	7.4 c	6.3 a	69.1 a
NC_{90}	126 b	24.7 b	39.1 c	19.6 b	15.2 a	39.8 b	12.1 b	8.0 a	60.3 c

注:根系吸收氮素对子粒贡献率=[1-叶片氮转运对子粒贡献率-茎鞘氮转运对子粒贡献率-(苞叶+穗轴)氮转运对子粒贡献率] $\times 100\%$
Note: “TE” means the translocation efficiency; PCTA of absorbed N by root =[1- PCTA of leaf N-PCTA of (stem+sheath) N - PCTA of (husk + axis) N] $\times 100\%$

2.5 叶片与茎鞘 C/N

各处理叶片碳氮比变化趋势基本一致(图 3)。吐丝期至灌浆中期平稳略降,灌浆中期至成熟期由于叶片总糖表现出积累,而氮素则不断向子粒转运,因此该阶段 C/N 呈明显的上升趋势。各施氮处理的 C/N 值均比不施氮处理低,表明施氮促进了叶片的氮代谢和根系对氮素的吸收,进而降低了夏玉米生育后期叶片的 C/N 比。各处理之间的 C/N 差别在茎

鞘上的表现更为明显且乳熟期之后差距拉大。由于生育后期 NC_{120} 和 $N_{1:2:1}$ 具有旺盛的氮代谢,进而促进叶片的光合生产和茎鞘的物质运输,表现出明显较低的 C/N 比;而 N_0 处理因缺氮影响了叶片光合功能的发挥,造成“源”不足,无法满足子粒“库”的需求,进而诱导了叶片自身储藏的碳水化合物向子粒库的转运(表 2),碳代谢比较旺盛,因而表现出很高的 C/N 比。

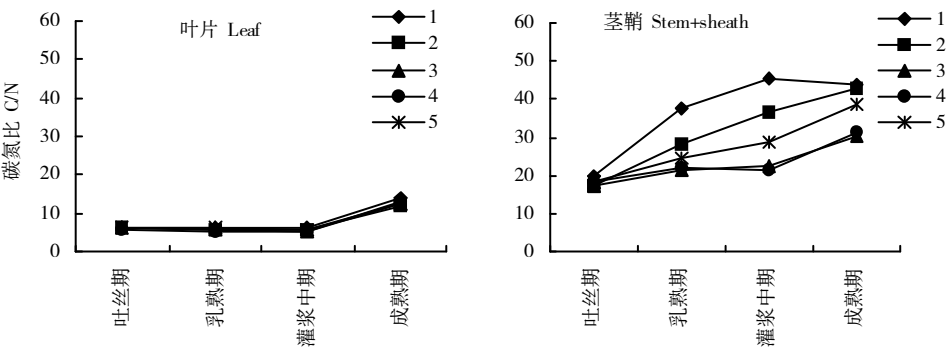


图 3 夏玉米生育后期叶片和茎鞘的碳氮比

Fig.3 C/N in leaf and stem-sheath during late growing season of summer maize

3 结论与讨论

在相同施氮量条件下,分次施氮已多次被证明更能促进作物生长发育和提高产量。本研究中施用包膜尿素使夏玉米显著增产,且增幅表现为适宜施氮 120 kg/hm^2 > 低施氮 90 kg/hm^2 。同一施氮水平

(120 kg/hm^2)下,包膜尿素和 1:2:1 分施普通尿素效果相同,但显著优于 1:1 分施普通尿素。前二者处理的穗粒数和生物产量也显著高于其他处理的相关指标。施氮使夏玉米的光合生产干物质能力大大增强,基施包膜尿素处理在生育后期的表现尤为明显。本试验中,基施包膜尿素 120 kg/hm^2 的植株光合生产

能力和普通尿素 1:2:1 分施相当并显著高于其他处理, 分别比不施氮和普通尿素 1:1 分施提高了 30% 和 13%。可见, 包膜尿素能够凭借其缓慢地释放氮素营养特性, 持久长效地供给植株, 从而更能够达到作物高产和肥料高效。

本试验中, 乳熟期至灌浆中期, 施用包膜尿素的植株营养器官总糖含量处于较合理的水平, 这也反映了其体内光合产物的运输比较畅通; 而灌浆中期至成熟期, 由于包膜尿素处理的植株氮素积累程度加大, 氮代谢旺盛致使其碳代谢也随之加快, 总糖含量开始上升, 且包膜尿素 120 kg/hm²> 包膜尿素 90 kg/hm² 的处理。

施用适量的包膜尿素(120 kg/hm²)可以使夏玉米叶片和茎鞘均保持较低的 C/N 值, 从而促进叶片的碳氮代谢, 使叶片生产并积累较多的同化产物, 用来满足生殖生长的需求, 进而增加粒数。而茎鞘则是光合产物的暂时贮存和运输器官, 适度较低的 C/N 是光合产物向外高效运输的标志。但供氮过多, 使叶片 C/N 值过低, 就会使叶片的氮代谢过于旺盛, 光合产物的输出率降低, 造成光合产物对光合器官的反馈抑制。

本研究表明, 包膜尿素使植株对氮素的需求和土壤供氮达到较高的同步性, 在一次性基施的条件下达到与普通尿素 1:2:1 分施相同的效果, 不仅提高了产量和氮肥利用率, 更有利于简化作物栽培管理技术, 适宜于未来农业的发展趋势。

参考文献:

- [1] 申丽霞, 王 璞, 张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 314-319.
- [2] 王启现, 王 璞, 申丽霞, 等. 施氮时期对玉米土壤硝态氮含量变化及氮素盈亏的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1582-1588.
- [3] 易镇邪, 王 璞. 包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 242-247.
- [4] 易镇邪, 王 璞, 申丽霞, 等. 不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 772-778.
- [5] 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.
- [6] 黄玉溢, 谭宏伟. 长效氮肥在几种土壤上的行为特征[J]. 西南农业学报, 2003, 1(1): 94-97.
- [7] 周柳强, 黄玉溢, 谭宏伟, 等. 长效氮肥对玉米的效应[J]. 广西农业科学, 2003(增刊): 74-75.
- [8] 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[J]. 北京农业科学, 1998, 16(3): 35-37.
- [9] 孙文涛, 汪 仁, 安景文, 等. 平衡施肥技术对玉米产量影响的研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(3): 109-111.
- [10] Wiesler F, Hirst W J. Difference between among maize cultivars in the utilization of soil nitrate and the related losses of nitrate through leaching[J]. Plant and Soil, 1993, 151: 193-203.
- [11] 张智猛, 戴良香, 胡昌浩, 等. 氮素对不同类型玉米蛋白质及其组分和相关酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 320-326.
- [12] 高晓玲, 王 艳. 有机-矿物缓释材料对氮素吸收及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 125-127.
- [13] 黄绍文, 孙桂芳, 金继运, 等. 氮、磷、钾和钾营养对优质玉米子粒产量和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 225-230.
- [14] 湖南农学院. 作物栽培学实验指导[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [15] 何照范. 粮油子粒品质及其分析技术[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [16] 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[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2006.
- [17] 朱红英, 董树亭, 胡昌浩, 等. 不同控释肥用量对玉米生产效应的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 114-116.
- [18] 罗海波. 分次施肥对不同基因型玉米生长发育和产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2005(5): 39-45.
- [19] 常旭虹, 赵广才, 张 雯, 等. 保护性耕作及氮肥运筹对玉米生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 273-275.
- [20] 王启现, 王 璞, 王伟东, 等. 吐丝期施氮对夏玉米粒重和子粒粗蛋白的影响[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(1): 59-64.
- [21] 田志刚, 刘志增, 田俊芹, 等. 氮肥追施量和比例对夏玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 122-126.
- [22] 易镇邪, 王 璞, 张红芳, 等. 氮肥类型与施用量对华北平原夏玉米源库关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 294-300.
- [23] 马兴林, 王庆祥, 钱成明, 等. 不同施氮量玉米超高产群体特征研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 158-162.
- [24] 夏淑芳, 于新建, 张振清. 叶片光合产物输出的抑制与淀粉和蔗糖的积累[J]. 植物生理与分子生物学报, 1981, 7(2): 135-142.
- [25] Walker D A. Regulatory mechanism in photosynthetic carbon mechanism[A]. Current topic in cellular regulation[M]. New York: Academic Press, 1976.

(责任编辑: 张 英)