

## 施氮模式对夏玉米产量和籽粒灌浆的影响\*

王云奇<sup>1</sup> 陶洪斌<sup>1</sup> 王 璞<sup>1\*\*</sup> 郭步庆<sup>1</sup> 鲁来清<sup>2</sup> 张 丽<sup>1</sup> 尤桂芸<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院 北京 100193; 2. 中国农业大学吴桥试验站 吴桥 061800)

**摘 要** 为进一步明确夏玉米在基肥和拔节期施肥的基础上增施吐丝肥的增产机理, 于 2011 年在中国农业大学吴桥试验站布置了田间试验。共设置 4 种施氮模式: 即模式 I, 施氮量  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (播前  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); 模式 II, 施氮量  $190 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (播前  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  + 拔节  $40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); 模式 III, 施氮量  $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (播前  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  + 拔节  $160 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); 模式 IV, 施氮量  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (播前  $50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  + 拔节  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  + 吐丝  $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。本研究对比分析了不同施氮模式对夏玉米产量和籽粒灌浆的影响。结果表明, 在施基肥和拔节肥的基础上, 再追施吐丝肥, 与不施吐丝肥的模式相比, 其吐丝后 11~20 d、21~30 d、31~40 d 内, 每天增加的枯叶数分别减少 0.01~0.02 片、0.01~0.05 片、0.02~0.04 片; 吐丝后穗位叶 SPAD 值的峰值有所提高, 灌浆中后期 SPAD 值下降延缓; 模式 IV 与模式 III 相比灌浆速率峰值提高 8.5%, 籽粒体积得到显著提高。夏玉米吐丝后籽粒的吸氮量显著提高 (模式 IV 籽粒吸氮峰值分别是模式 I、II、III 的 1.65 倍、1.45 倍、1.31 倍), 氮收获指数增加 2.5~13.3 个百分点, 穗粒数增加。与穗粒数相比, 吐丝期增施氮肥 (模式 IV) 对千粒重的促进更显著, 可改善夏玉米产量因子和部分穗部性状, 与模式 I、II、III 相比, 分别增产  $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。夏玉米增施吐丝肥可以延缓吐丝后光合面积下降, 从而为籽粒灌浆提供较多的源, 最终提高粒重和产量。

**关键词** 夏玉米 氮肥 吐丝肥 SPAD 值 氮收获指数 灌浆速率 粒重 产量

中图分类号: S274.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)12-1594-05

## Effect of nitrogen application patterns on yield and grain-filling of summer maize

WANG Yun-Qi<sup>1</sup>, TAO Hong-Bin<sup>1</sup>, WANG Pu<sup>1</sup>, GUO Bu-Qing<sup>1</sup>, LU Lai-Qing<sup>2</sup>, ZHANG Li<sup>1</sup>, YOU Gui-Yun<sup>2</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Wujiao Experiment Station, China Agricultural University, Wujiao 061800, China)

**Abstract** A field experiment was conducted in Wujiao Experimental Station of China Agricultural University in 2011. Four nitrogen (N) application patterns were compared: N application rate of  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  before sowing (NAT I); N application rate of  $190 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  with  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  before sowing and  $40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  at jointing (NAT II); N application rate of  $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  with  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  before sowing and  $160 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  at jointing (NAT III); and N application rate of  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  with  $50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  before sowing,  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  at jointing and  $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  at silking (NAT IV). The objective of the study was to throw in-depth light on how the mechanisms of N application at silking stage in addition to basal and jointing N fertilization increase summer maize yield. Yield and grain-filling rates of summer maize were also analyzed. The results showed that N application at silking stage in addition to basal and jointing N fertilization (NAT IV) reduced the number of dead leaves. Leaf senescence rates were  $0.01 \sim 0.02 \text{ leaf} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $0.01 \sim 0.05 \text{ leaf} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $0.02 \sim 0.04 \text{ leaf} \cdot \text{d}^{-1}$ , respectively, less than those of N treatments without silking N fertilization at 11~20 d, 21~30 d, 31~40 d after silking. Ear leaf SPAD peak value was somewhat higher in NAT IV than that of other treatments, and the reduction of SPAD at middle and later filling stage was delayed. Furthermore, peak of NAT IV filling rate improved by 8.5% over that of NAT III and with simultaneous increase in grain volume. Maize grain N uptake after silking significantly improved in NAT IV (grain nitrogen absorption peak in NAT IV was 1.65, 1.45 and 1.31 times than those of NAT I, NAT II and NAT III, respectively). N harvest index was 2.5%~13.3% greater in NAT IV than in the other treatments. Compared to kernel per ear, grain weight was more affected by N appli-

\* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB118602)和中德合作项目(DGF gk1070)资助

\*\* 通讯作者: 王璞(1957—), 博士, 教授, 主要从事作物高产和资源高效利用研究。E-mail: wangpu@cau.edu.cn

王云奇(1985—), 硕士研究生, 主要从事作物高产和资源高效利用研究。E-mail: wyqay163@163.com

收稿日期: 2012-04-03 接受日期: 2012-08-12

cation at silking stage. Both ear traits and yield formation were improved under NAT IV, and yield increased by 200 kg·hm<sup>-2</sup>, 300 kg·hm<sup>-2</sup> and 400 kg·hm<sup>-2</sup>, respectively compared with NAT I, II, III. It was concluded that silking fertilization in summer maize delayed decreasing of photosynthetic area after silking. This provided more grain filling source that in turn improved grain weight and yield.

**Key words** Summer maize, Nitrogen, Silking fertilization, SPAD, Nitrogen harvest index, Grain-filling rate, Grain weight, Yield (Received Apr. 3, 2012; accepted Aug. 12, 2012)

玉米是我国第一大粮食作物<sup>[1]</sup>, 因此玉米高产是一个永恒的话题。Jahnson 等<sup>[2]</sup>和 Engledow 等<sup>[3]</sup>把产量分解为几个构成因素: 产量=穗数×穗粒数×粒重。在农业生产中, 这 3 个产量构成因素中的穗数和穗粒数是最容易调整的<sup>[4]</sup>, 穗数是由种植密度控制的, 前人已做了大量有关种植密度对产量影响的研究, 结果表明当种植密度增加到一定程度, 产量就会下降<sup>[5-6]</sup>, 所以粒重就成为进一步增产的限制因子。在黄淮海夏玉米区, 玉米生长季节短, 后期的阴雨寡照天气多, 农民有早收的习惯, 因此, 灌浆速率是影响玉米产量的一个重要因素<sup>[7]</sup>。戴纳德等<sup>[8]</sup>研究表明, 玉米实际灌浆期和有效灌浆长短与籽粒产量呈显著正相关。李绍长等<sup>[9]</sup>研究表明, 同一品种籽粒重的差异是由灌浆速度决定的, 而不同品种粒重差异则是由灌浆持续期的长短所造成。氮肥是玉米生长发育过程中需求量最大的营养元素<sup>[10-11]</sup>, 对提高玉米产量有重要作用。但是, 实际生产中普遍存在“一炮轰”和过量施肥现象, 不仅肥料利用率低, 而且容易造成吐丝后脱肥, 使籽粒大量败育, 严重影响籽粒灌浆, 最终限制粒重的增加。本文选用不同的施氮量和施氮时期, 系统研究了夏玉米吐丝后穗位叶 SPAD 值、枯叶数的动态变化过程和籽粒灌浆过程, 以期说明吐丝期增施氮肥对玉米植株生长发育和产量的影响, 为节肥高产提供理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

供试夏玉米品种为“郑单 958”, 试验于 2011 年 6—10 月在中国农业大学吴桥试验站(37°41'02"N,

116°37'23"E)进行。6 月 21 日播种, 10 月 7 日收获。该试验站位于黑龙港流域中部, 供试土壤为中壤土, 0~20 cm 土层内养分含量分别为: 有机质 55.6 mg·kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.98 g·kg<sup>-1</sup>, 速效氮 23.2 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 5.8 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 132.6 mg·kg<sup>-1</sup>。

氮肥为普通尿素(含 N 46%), 磷肥为过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%)105 kg·hm<sup>-2</sup>(以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计), 钾肥为硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 50%)120 kg·hm<sup>-2</sup>(以 K<sub>2</sub>O 计)。磷肥、钾肥作为基肥一次性施入。试验处理如表 1 所示, 每处理设 4 次重复, 小区面积 6 m×10 m, 株距 20.2 cm, 行距 60 cm, 种植密度为 82 500 株·hm<sup>-2</sup>。

### 1.2 测定项目及方法

叶绿素相对含量(SPAD 值)测定: 在吐丝期每个小区选定代表性的 5 株, 在吐丝期、吐丝后 10 d、20 d、30 d、40 d、50 d, 采用日本美能达公司生产的 SPAD 值-502 型叶绿素仪测量穗位叶 SPAD 值, 每片叶测 10 点(左右各 5 点)。

枯叶调查: 在吐丝期每个小区选定 5 株代表性植株, 分别在吐丝期及吐丝后 10 d、20 d、30 d、40 d、50 d 调查枯叶数, 黄色叶面积占整个叶片的 50% 及 50% 以上视为枯叶。

灌浆速率测定: 在抽丝前选取生长健壮、整齐一致、有代表性的植株 30~40 株挂牌标记, 待雌穗从叶鞘中露出时将标记植株雌穗套袋。抽丝后人工统一授粉, 分别在授粉后 10 d、20 d、30 d、40 d、50 d 选取有代表性的果穗 3 穗, 分别取穗下部籽粒(从基部起向上数 10 粒)、中部籽粒(从基部起 10~20 粒)、上部籽粒(除去下部、中部的剩余籽粒), 各部位籽粒分别混合后随机取样, 以 100 粒为单位称量

表 1 试验处理  
Table 1 Experiment treatments

处理 Treatment	施氮模式 Nitrogen application pattern	施氮时期 Nitrogen application period			总量 Total nitrogen
		播前 Before sowing	拔节 Jointing stage	吐丝 Silking stage	
I	基肥 Basic fertilizer	90	0	0	90
II	基肥+拔节低氮 Basal fertilizer + low nitrogen at jointing stage	150	40	0	190
III	基肥+拔节高氮 Basic fertilizer + high nitrogen at jointing stage	90	160	0	250
IV	基肥+拔节肥+吐丝肥 Basal + jointing + silking fertilizer	50	150	100	300

籽粒的鲜重;用量筒排水法测量籽粒体积;在 105 ℃ 下杀青 15~20 min, 然后于 80 ℃ 烘至恒重, 称籽粒干重。

全氮测定: 将吐丝后 10 d、20 d、30 d、40 d、50 d 用于测量灌浆速率的籽粒、成熟期的植株样和籽粒进行粉碎, 采用半微量凯氏定氮法测定全氮。氮收获指数=成熟期籽粒含氮量/成熟期地上部总氮量。

测产: 每个小区收获中间 4 行果穗, 称总鲜重, 按平均鲜穗重选取 20 穗(20 穗重量=小区收获果穗总鲜重/总穗数×20), 测定含水率, 计算产量(按 14% 折算含水率)。

### 1.3 数据分析

采用 SAS version 8e 软件和 Microsoft Excel 2007 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施氮模式对夏玉米产量和产量构成的影响

由表 2 可知, 模式 与模式 相比穗行数增加 0.2 行, 施吐丝肥的模式(模式 )与不施模式相比秃尖长缩短 0.2~0.4 cm, 出籽率增加 0.3%~1.7%, 4 种施氮模式的行粒数和穗长差异不显著; 穗粗为模式 < 模式 =模式 模式 。可见, 吐丝期施氮可以改善夏玉米穗行数、秃尖长、出籽率等穗部性状。

由表 3 可知, 与模式 、 相比, 增施吐丝肥的模式 显著提高了夏玉米的穗粒数; 模式 的千粒重显著高于其余模式, 其中穗粒数比不施吐丝肥的模式 多 13.7 粒。模式 的千粒重分别比不施吐丝

肥的模式 、 、 高 9.2 g、8.3 g、5.8 g。模式 的产量显著高于其他模式。模式 、 、 、 的氮收获指数依次增大。可见, 在穗数一致的条件下, 吐丝期增施氮肥减少了籽粒发育过程败育籽粒数, 穗粒数增加, 但与穗粒数相比, 吐丝期增施氮肥对千粒重的提高更显著。在吐丝期增施氮肥改善了夏玉米产量因子和部分穗部性状(表 2), 与单施基肥的模式 相比增产 200 kg·hm<sup>-2</sup>, 与模式 、 相比分别增产 300 kg·hm<sup>-2</sup>、400 kg·hm<sup>-2</sup>。吐丝期增施氮肥与吐丝期不施氮肥相比氮收获指数增加 2.5~13.3 个百分点。

### 2.2 施氮模式对夏玉米灌浆速率和成熟期籽粒体积的影响

由图 1 可见, 模式 、 、 籽粒灌浆趋势大致呈先升高后降低趋势, 而模式 呈 M 型的变化趋势。前三者灌浆高峰出现在吐丝后 21~30 d, 后者出现在吐丝后 11~20 d, 而且在 41~50 d 出现了第 2 个灌浆峰值, 且小于前一个峰值。在玉米吐丝期增施氮肥后, 显著提高了籽粒的灌浆峰值, 吐丝后 31~40 d 的灌浆速率得到显著提高。结果表明, 吐丝期增施氮肥(模式 )与吐丝期不施氮肥的模式(模式 、 、 )相比能促进籽粒灌浆, 其中模式 与模式 相比灌浆速率峰值提高 8.5%, 从而显著提高籽粒千粒重(表 3)。

图 1 显示, 夏玉米吐丝期增施氮肥(模式 ), 使夏玉米的成熟期籽粒体积显著高于吐丝期不施氮肥的模式(模式 、 、 ), 另外模式 的籽粒体积显著高于模式 、 。模式 在吐丝期增施氮肥使成

表 2 不同施氮模式对夏玉米穗部性状的影响

Table 2 Effects of different nitrogen application patterns on ear formation of summer maize

处理 Treatment	穗行数 Row number per ear	行粒数 Kernels per row	穗粗 Ear diameter (cm)	穗长 Ear length (cm)	秃尖长 Bare top length (cm)	出籽率 Seed rate (%)
I	14.9±0.4a	29.7±1.0a	2.9±3.4b	13.7±0.0a	0.6±0.1b	81.0±0.4a
II	14.9±0.3a	29.5±1.2a	5.1±0.1a	13.9±0.3a	0.7±0.0a	79.6±1.4b
III	14.7±0.6b	30.8±1.9a	5.1±0.1a	14.4±0.7a	0.5±0.2c	80.1±0.8a
IV	14.9±0.2a	30.3±2.2a	5.1±0.2a	14.6±0.8a	0.3±0.1d	81.3±1.8a

同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ), 下同。Different small letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level, the same below.

表 3 不同施氮模式对夏玉米产量及产量要素的影响

Table 3 Effects of different nitrogen application patterns on yield components and yield of summer maize

处理 Treatment	收获穗数 Ear number (ear·hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Kernels per ear	千粒重 1000-kernel weight (g)	产量 Yield (kg·hm <sup>-2</sup> )	氮收获指数 Nitrogen harvest index (%)
I	66 666±780.53	442.9±28.15b	288.6±7.14c	8 500±431.19b	39.1±0.01ab
II	66 388±723.76	438.5±10.99c	289.5±11.50bc	8 400±722.05bc	36.0±0.03c
III	63 472±710.61	452.5±27.50a	292.0±9.11b	8 300±397.49c	39.8±0.01a
IV	64 629±800.68	452.2±30.50a	297.8±22.75a	8 700±1 040.08a	40.8±0.04a

熟期籽粒体积提高 5.5%~12.8%(与不施吐丝肥的模式相比)。可见, 吐丝期施氮对籽粒胚乳细胞的分化和发育非常有利, 能够形成较大的籽粒体积。

### 2.3 施氮模式对夏玉米籽粒吸氮动态和穗位叶 SPAD 值动态的影响

模式 I、II、III、IV 的吸氮速率随时间的推移而升高(图 2)。吐丝期施氮使模式 I 吐丝后 50 d 的吸氮速率显著大于不施吐丝肥的模式, 除吐丝后 10 d、20 d、30 d 模式 I 的吸氮量与其余模式差异不显著外, 其余时期模式 I 的吸氮量均显著大于不施吐丝肥的模式(模式 II、III、IV)。可见, 夏玉米吐丝期增施氮肥可显著提高夏玉米吐丝后籽粒的吸氮量(模式 I 籽粒吐丝后 50 d 的吸氮量分别是模式 II、III 和 IV 的 1.65 倍、1.45 倍和 1.31 倍), 从而提高氮收获指数(表 3)。

夏玉米的穗位叶是夏玉米灌浆的功能叶, 其叶绿素含量与籽粒灌浆速率相关。各模式吐丝后穗位叶 SPAD 值大致呈先升高后降低的变化趋势, 但各模式的峰值出现时间不同, 模式 I 的峰值出现在吐

丝后 20 d, 其余 3 个模式的峰值在吐丝后 10 d 出现; 吐丝期施氮的模式 I 显著增大了其峰值(图 2)。吐丝期、吐丝后 10 d 时模式 III 的 SPAD 值显著高于模式 II, 吐丝后 20 d, 模式 I 穗位叶的 SPAD 值最大, 吐丝后 40 d 与吐丝后 50 d 各模式的 SPAD 值存在显著差异, 模式 I 高于其余模式。可见, 吐丝期施氮可以提高吐丝后穗位叶 SPAD 值的峰值, 延缓灌浆中后期 SPAD 值的下降, 维持吐丝后穗位叶高效的光合作用, 促进籽粒灌浆(图 1), 增加粒重(表 3)。

### 2.4 施氮模式对夏玉米吐丝后枯叶数变化的影响

吐丝后 11~40 d 各模式每天增加的枯叶数存在显著差异, 吐丝后 11~20 d, 模式 I、II、III、IV 每天增加的枯叶数依次减小(表 4); 吐丝期施氮的模式 I 与不施氮的模式相比显著减小了吐丝后 21~40 d 每天增加的枯叶数(表 4); 在吐丝后 41~50 d, 模式 I 每天增加的枯叶数显著小于模式 II、III、IV (表 4)。可见, 吐丝期施氮可以延缓吐丝后叶片的衰老, 其中吐丝后 11~20 d、21~30 d、31~40 d, 模式 I 每天增加的枯叶数分别比不施吐丝肥的模式减少 0.01~0.02 片

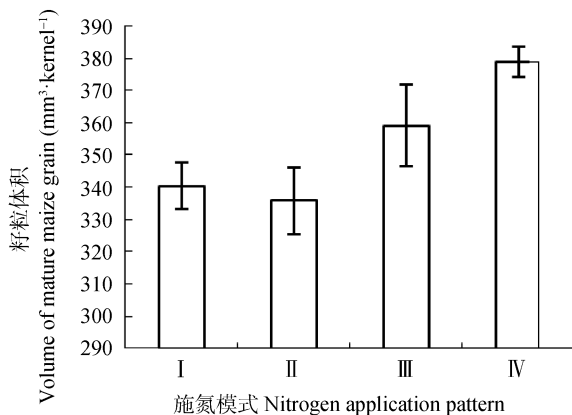
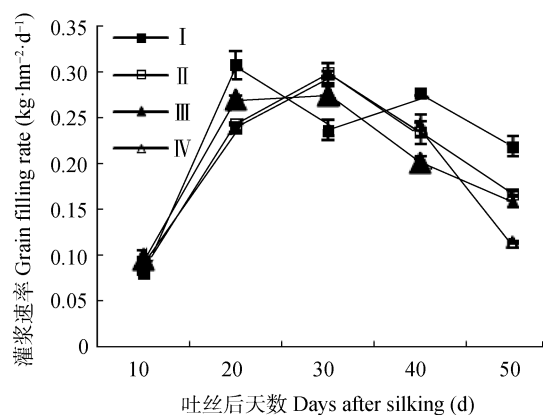


图 1 不同施氮模式对夏玉米灌浆速率和成熟期籽粒体积的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen application patterns on grain filling rate and volume of mature maize grain

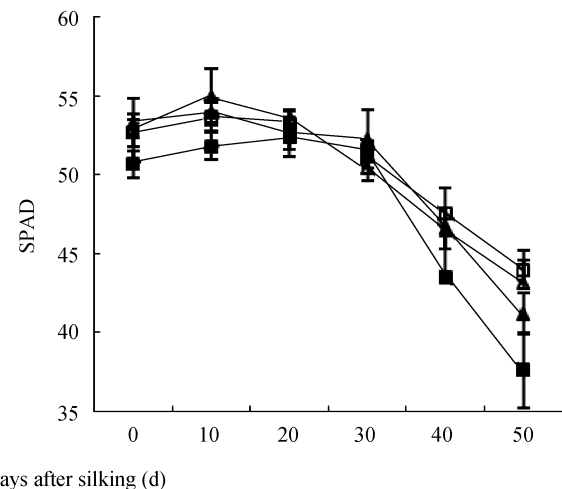
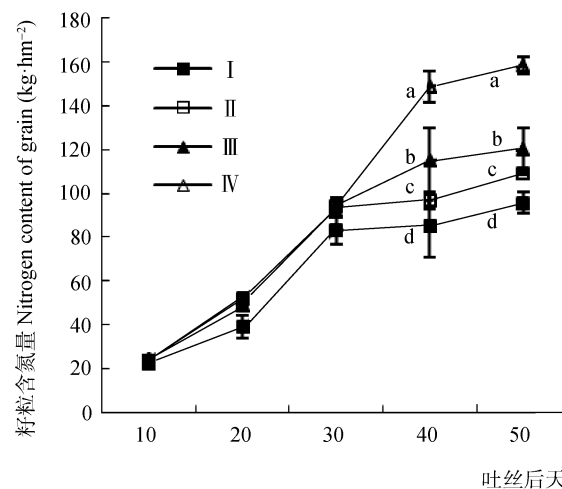


图 2 施氮模式对籽粒的吸氮动态和吐丝后穗位叶 SPAD 值动态的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen application patterns on dynamics of grain nitrogen absorption and SPAD value of summer maize ear-leaf after silking

表 4 不同施氮模式对夏玉米吐丝后枯叶数增加的影响

Table 4 Increasing of number of summer maize dried leaves after silking under different nitrogen application patterns leaf·d<sup>-1</sup>

处理 Treatment	吐丝后天数 Days after silking (d)			
	11~20	21~30	31~40	41~50
I	0.04±0.004b	0.04±0.004b	0.08±0.008c	0.13±0.013a
II	0.02±0.002d	0.06±0.006a	0.10±0.010a	0.13±0.013a
III	0.05±0.005a	0.02±0.002c	0.09±0.009b	0.04±0.004c
IV	0.03±0.003c	0.01±0.001d	0.06±0.006d	0.12±0.012b

(模式 除外)、0.01~0.05 片、0.02~0.04 片；延缓了叶面积指数(leaf area index)下降(本文未做分析)，保证较强的光合作用，进而提高籽粒的灌浆速率(图 1)和粒重(表 3)。

### 3 讨论与结论

本试验用夏玉米品种“郑单 958”进行研究，结果表明在玉米吐丝期增施氮肥能够增加千粒重，显著提高籽粒体积。吐丝期增施氮肥主要提高了籽粒灌浆高峰的峰值，形成较大的籽粒体积，从而提高了粒重<sup>[12]</sup>。吐丝期增施氮肥的模式使夏玉米籽粒的氮素积累表现为，在灌浆前期积累较快，灌浆后期明显减慢，这可能对获得较高的籽粒产量非常有利。Pollmer 等<sup>[13]</sup>也认为氮吸收速度快、吸收持续期长、氮转移量大是高产高蛋白玉米的生理基础。所以，在一定公顷粒数和穗数的基础上，吐丝期增施氮肥能够较好地协调玉米高产和优质的矛盾。

本研究发现吐丝期增施氮肥显著提高了夏玉米粒重，这对于华北地区作物的高产稳产栽培具有重要价值，因为粒重不稳是黄淮海地区夏玉米产量出现年际间大幅度波动的主要原因。夏玉米灌浆时间短，再加上黄淮海地区灌浆期阴雨寡照天气多和农民早收的习惯，因此增施吐丝肥，加快籽粒灌浆，对提高该地区夏玉米产量非常必要。崔俊明等<sup>[14]</sup>也认为在高产栽培条件下粒重是影响玉米产量的主要因素，增加粒重对产量的再提高起主导作用，因为在农业生产中增密增产的理念已经得到广泛应用，所以目前应把提高粒重作为玉米超高产研究的主攻方向，本研究从氮肥角度做了有益的尝试。

有关氮肥运筹对玉米生长发育和产量的影响前人<sup>[15-17]</sup>做了大量研究。与千粒重关系密切的是吐丝肥，氮肥分 3 次施用有利于增强籽粒灌浆强度，增施粒肥可以延长叶片寿命，提高成熟期叶面积指数<sup>[4]</sup>。王宜伦等<sup>[18]</sup>研究表明，增施吐丝肥可提高穗粒数和百粒重，最终提高产量；本研究表明与穗粒数相比，吐丝期增施氮肥对千粒重的促进更显著，吐丝期增施氮肥改善了夏玉米产量因子和部分穗部性状，与不施吐丝肥的模式、  
、  
相比分别增产 200 kg·hm<sup>-2</sup>、300 kg·hm<sup>-2</sup>、400 kg·hm<sup>-2</sup>。总之，夏玉米

的基肥、拔节肥和吐丝肥对增加穗粒数、千粒重，促进灌浆、籽粒吸氮，延缓叶片衰老均有极其重要的意义，生产应力争“三肥”配合施用。

### 参考文献

- [1] 农业部. 历年全国农业统计提要[M]//2010 年鉴. 2011, <http://www.agri.gov.cn>
- [2] Johnson D R, Tanner J W. Comparisons of corn (*Zea mays* L.) inbreds and hybrids grown at equal leaf area index, light penetration and population[J]. Crop Sci, 1972, 12: 482-485
- [3] Engledow L, Wadham M. Investigation on yield in the cereal, Part I[J]. J Agric Sci (Camb), 1923, 13(1): 390-439
- [4] 曹承富, 汪芝寿, 孔令聪. 氮肥运筹对夏玉米产量及籽粒灌浆的影响[J]. 安徽农业科学, 1993, 21(3): 236-240
- [5] 唐保军, 丁勇. 种植密度对玉米产量及主要农艺性状的影响[J]. 中国种业, 2008(10): 35-37
- [6] 杨国虎, 李新, 王承莲, 等. 种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 57-60, 64
- [7] 刘宗华, 张战辉. 玉米籽粒灌浆速率研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(11): 148-153
- [8] 戴纳德 T B. 玉米生理译丛[M]. 北京: 农业出版社, 1979
- [9] 李绍长, 盛茜, 陆家惠, 等. 玉米籽粒灌浆生长分析[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 1999, 3(增刊): 1-5
- [10] 王友华, 徐海涛, 徐波, 等. 施用氮肥对玉米产量构成因素及其根系生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(3): 58-61
- [11] Burkart R, Kolpin W. Hydrologic and land-use factors associated with herbicides and nitrate in near-surface aquifers[J]. J Environ Qual, 1993, 22(4): 646-656
- [12] 王启现, 王伟东, 王璞, 等. 吐丝期施氮对夏玉米粒重和籽粒粗蛋白的影响[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(1): 59-64
- [13] Pollmer W G, Eberhard D, Klein D, et al. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize[J]. Crop Sci, 1978, 19(1): 82-86
- [14] 崔俊明, 王海龙. 玉米籽粒发育的生理特性研究[J]. 河南农业大学学报, 1995, 29(2): 116-120
- [15] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 861-868
- [16] 赵士诚, 裴雪霞, 何萍, 等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 492-497
- [17] 易镇邪, 王璞, 陶洪斌, 等. 氮肥基/追比对华北平原夏玉米生长发育与水、氮利用的影响 II. 夏玉米氮素累积、转运与土壤无机氮动态[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 86-90
- [18] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 339-347