

施氮量对不同肥力水平下夏玉米碳氮代谢 及氮素利用率的影响

王俊忠¹, 黄高宝^{2,*}, 张超男², 杨亚军², 赵会杰³, 朱晓燕¹, 马培芳³

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 河南农业大学资源与环境学院, 河南 郑州 450002;

3. 河南农业大学生命科学学院 河南 郑州, 450002)

摘要:以郑单 958 为材料, 在高产田和中产田两种地力水平下, 利用¹⁵N 标记法研究了施氮量对夏玉米氮素分配率、利用率和碳氮代谢的影响。结果表明: 高产田适量施氮可以提高玉米产量, 过量施氮没有表现出进一步增产效果, 其氮肥利用率较低 (29.04%)。中产田随施氮量的增加产量提高, 但氮素利用率却降低。各个器官¹⁵N 积累量依次为籽粒 > 叶片 > 茎 > 根 > 叶鞘 > 穗轴。在高产田, 当施氮量超过 300 kg·hm⁻² 时, 玉米籽粒和叶片中积累¹⁵N 有所下降, 而茎和根中积累¹⁵N 的量随施 N 量的增加而增加; 在中产田, 随着施 N 量的增加, 籽粒和穗轴积累¹⁵N 量均相应增加。高产田叶片的硝酸还原酶活性、谷氨酰胺合成酶活性和蔗糖磷酸合成酶活性以及籽粒中蔗糖合成酶活性和酸性转化酶活性均是施氮 300 kg·hm⁻² 时最大, 施氮 450 kg·hm⁻² 则抑制了其活性的增强, 而中产田的各个酶活性则随着施氮量的增加而增加。

关键词: 夏玉米; 施氮量; 碳氮代谢; 氮素利用率

文章编号: 1000-0933(2009)04-2045-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Influence of nitrogen fertilizer rate on carbon-nitrogen metabolism and nitrogen use efficiency of summer maize under high and medium yield levels

WANG Jun-Zhong¹, HUANG Gao-Bao^{1,*}, ZHANG Chao-Nan², YANG Ya-Jun², ZHAO Hui-Jie³, Zhu Xiao-Yan¹, MA Pei-Fang³

1 College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 College of Resource and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

3 College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 2045 ~ 2052.

Abstract: The effects of nitrogen fertilizer rate on carbon-nitrogen metabolism and nitrogen use efficiency of summer maize (*Zea mays* L. cv. Zhengdan 958) were studied by ¹⁵N labeling under high and intermediate yield conditions. In the high-yield field, proper nitrogen fertilizer rate increased gain yield, but excessive nitrogen fertilizer rate did not have further yield-increasing effect and nitrogen use efficiency was low (29%). In the medium-yield field, grain yield increased and nitrogen use efficiency decreased with the rise of nitrogen fertilizer rate. The order of ¹⁵N accumulation in different organs was: grain, leaf lamina, stem, root, and leaf sheath and spike axis. In the high-yield field, accumulation of ¹⁵N in grains and leaves declined, but increased in stems and roots, when nitrogen fertilizer rate was over 300 kg·hm⁻². In the medium-yield field, the accumulation of ¹⁵N in grains and spike axes increased with the increase of nitrogen fertilizer rate. The highest activities of nitrate reductase, glutamine synthetase, and sucrose phosphate synthetase in leaves and sucrose synthetase in grains were observed in the high-yield field with a nitrogen fertilizer rate of 300 kg·hm⁻². When nitrogen fertilizer rate reached 400 kg·hm⁻², there is no further increase in the activities of abovementioned enzymes. However, the

基金项目: 国家粮食丰产科技工程资助项目 (2004BA520A06-2)

收稿日期: 2008-11-12; 修订日期: 2009-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Huanggb@gsau.edu.cn

activities of these enzymes increased with the increment of nitrogen fertilizer rate in the medium-yield field.

Key Words: summer maize; nitrogen fertilizer rate; carbon-nitrogen metabolism; nitrogen use efficiency

玉米是我国主要粮食作物之一,也是发展畜牧业的优质饲料和工业原料。目前,世界人口不断增加,而耕地面积却急剧减少,如何提高玉米单产,保障粮食安全成了亟待解决的问题。前人通过改良品种^[1]、改善栽培方式^[2,3]提高玉米单产,取得了显著成效。关于施肥对提高玉米产量的贡献,很多学者也做了大量研究,并且多侧重于施氮对籽粒灌浆的影响^[4,5],关于不同地力水平下施肥量对碳氮代谢、氮素在各器官的分配率和氮素利用率及玉米产量的影响研究涉及较少。本文选用高产田和中产田两种地力水平,研究了施氮量对夏玉米碳氮代谢关键酶活性的影响,并利用¹⁵N示踪法研究氮素在各个器官的分配率及氮素利用率,旨在探究如何通过控制施氮量调控夏玉米的代谢作用及氮素利用率以达到既高产又高效,为不同地力水平下夏玉米的合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在河南省温县祥云镇试验基地。供试土壤为中壤质潮土,耕层(0~20cm)养分状况为:高产田(以H表示)有机质含量 20.12 g·kg⁻¹、碱解氮 127.81 mg·kg⁻¹、速效磷 40.22 mg·kg⁻¹、速效钾 92.67 mg·kg⁻¹;中产田(以M表示)有机质含量 16.09 g·kg⁻¹、碱解氮 112.35 mg·kg⁻¹、速效磷 34.72 mg·kg⁻¹、速效钾 76.63 mg·kg⁻¹。供试玉米品种为郑单 958。

1.2 试验设计与管理

1.2.1 小区试验

以玉米(*Zea mays* L.)郑单 958 为材料,分别选择高产田和中产田两种地力水平进行试验。每种地理水平均设 4 个氮肥用量,即 0 kg·hm⁻²(CK)、150 kg·hm⁻²(低施氮量,L)、300 kg·hm⁻²(中施氮量,M)和 450 kg·hm⁻²(高施氮量,H)。L、M 和 H 处理氮肥(尿素)分基肥、拔节期和大喇叭口期追肥 3 次施用,基追比为 3:7,两次追肥比例为 2:3。除氮肥外,所有处理基施硫酸钾及重过磷酸钙,分别为 K₂O 120 kg·hm⁻²、P₂O₅ 105 kg·hm⁻²。试验小区面积 38.4 m²,8 行区,行长 8m,宽窄行种植,平均行距 60cm,株距 22cm,保护行 1.8m(4 行),区组间走道宽 1m。密度 75000 株·hm⁻²,采用随机区组排列,重复 4 次。

1.2.1 微区试验

除第 4 重复外,在 L、M 和 H 处理的各个小区中央设置一个微区,微区为高 1.0m,面积为 1225cm²(长宽均为 35cm)的镀锌铁框。先将微区铁框放置于设定位置,将微区周围小心挖开,将铁框套进土柱中,并保持土壤与铁皮内壁紧贴,铁框顶端距地面 5cm,施肥量 and 对应小区相同,用¹⁵N-尿素(上海化工研究院生产,其标记丰度为 10.15%)代替普通尿素,施肥时先将微区 0~10cm 土壤挖出,过 5mm 筛,然后把¹⁵N-尿素和硫酸钾及重过磷酸钙与土壤充分混合后,将土壤回填微区,播种。追肥时先将肥料溶于水中,均匀施入微区,再浇入和小区追肥后同样量的水。

播种前拔除播种带麦茬,2007 年 6 月 8 日用划行器划行,开沟带尺人工摆播,每穴 2 粒,肥料随播种施入沟内(种子之间),播种深度 5~6cm,足墒下种,5~6 叶期定苗。生长期內浇水两次。田间除草及植保措施等分别按高产管理要求和中产田管理要求进行。9 月 22 日收获。

1.3 样品采集与测定

小区取样:从授粉后第 5 天起,每隔 10d 取样 1 次,进行相关酶活性的测定。取穗位叶和雌穗中部籽粒作为样品,共取样 5 次。

微区取样:玉米收获时连根拔起,带回实验室 105℃杀青,80℃烘至恒重,分成根、茎、叶、叶鞘、穗轴和籽粒 6 部分,之后粉碎过筛,以备测定。全氮用凯氏定氮法,MAT-250 型质谱仪测定¹⁵N 丰度值。根据各器官全

氮、 ^{15}N 丰度值以及干重计算出 ^{15}N 在植株不同部位的分配率与利用率。

1.3.1 硝酸还原酶(NR)活性 活体法^[6]

取 1.0 g 去主脉剪碎的新鲜玉米叶片于试管中,先向对照管中加入 1 ml 30% 三氯乙酸,然后向各管中都加入 9 ml $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KNO}_3$ 溶液,混匀后立即放入干燥器中,抽气 1 min 再通入空气,再抽真空,反复几次,至叶片完全沉入瓶底,然后在 25℃ 黑暗中反应 0.5 h,分别向测定管(对照管除外)加入 1 ml 30% 三氯乙酸。将各管摇匀静置 2 min 后,各取 2 ml 反应液,加入 1 ml 磺胺和 1 ml 奈基乙烯胺,摇匀显色 15 min 后,于 $4000\times g$ 下离心 5 min,取上清液于 540 nm 处测定其吸光 OD 值。

1.3.2 蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性

参照於新建^[7]的方法并稍加改进。酶液提取:取 1 g 左右预冷的玉米籽粒(SPS 取 0.5 g 左右预冷剪碎的去主叶脉的玉米叶片),加 4 ml 缓冲液 A ($50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Tris-HCl}$, pH 7.0、 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{MgCl}_2$ 、 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{EDTA-Na}_2$ 、 $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 巯基乙醇、2% 乙二醇)于预冷的研钵中冰浴快速研磨成糊状,倒入离心管中,在低温冷冻离心机上 4℃ $10000\times g$ 离心 30 min,所得上清液用于酶活性测定。

SS 活性的测定 在总体积 0.15 ml 的反应介质(含 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Tris-HCl}$, pH 7.0、 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{MgCl}_2$ 、 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 果糖、 $3\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{UDPG}$)中,加入 100 μl 酶液,30℃ 水浴中反应 10 min,加入 $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 0.05 ml,沸水煮 10 min,流水冷却。再加入 1.5 ml 浓盐酸和 0.5 ml 0.1% 的间苯二酚,摇匀后置于 80℃ 水浴保温 10 min,冷却后于 480 nm 处比色测定蔗糖的生成。活性单位以[蔗糖, $\text{nmol}\cdot\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$, FW]表示。

SPS 活性的测定 在蔗糖合成酶反应体系中用 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 果糖-6-磷酸取代 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 果糖,其余均按蔗糖合成酶的方法。活性单位以[蔗糖, $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, FW]表示。

1.3.3 籽粒酸性转化酶(AI)活性

参照赵智中的方法^[8]的方法并略有改进。酶液提取:取 3 粒玉米籽粒,用预冷的蒸馏水在冰浴中研磨成匀浆,定容至 100 ml,在冰箱中浸提 3 h,4℃ 下 $4000\times g$ 离心 15 min,上清液即为酶的粗提液。吸酶液 2 ml,放入试管中(以煮沸酶液 10 min 钝化酶的试管作对照),加入 pH 6.0 的磷酸缓冲液 5 ml 及 10% 蔗糖溶液 1 ml,在 37℃ 水浴中保温 30 min,取出后立即吸取 2 ml 加入 1.5 ml 3,5 二硝基水杨酸试剂,沸水浴中煮沸 5 min,冷却定容至 20 ml,测定 540 nm 波长下的 OD 值。活性单位以[葡萄糖, $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, FW]表示。

1.3.4 谷氨酰胺合成酶(GS)活性

参照 Zhang 等^[9]的方法,并略有改进:取 0.2 g 左右预冷剪碎的去主叶脉的玉米叶片,用 $100\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、pH 7.6 的 Tris-HCl 缓冲液提取酶,测定 GS 活性。酶活性反应液组成为:0.6 ml 咪唑盐酸缓冲液,0.4 ml 谷氨酸钠溶液,0.4 ml ATP-Na 溶液($30\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 7.0), MgSO_4 溶液($0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$),酶提取液 1.2 ml 反应液 0.2 ml 在 25℃ 水浴中保温 5 min,加入 0.2 ml 羟胺试剂开始反应,在 25℃ 水浴中反应 15 min,加入 0.8 ml 反应终止液终止反应。混合液在 $4000\times g$ 离心 15 min,测定 540 nm 波长下的 OD 值。活性单位以[GHA, $\mu\text{mol}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$, FW]表示。

以上所有测定均重复 3 次。

1.4 有关计算方法^[10]

(1) $\text{Ndff}(\%) = \text{植物样品中 } ^{15}\text{N} \text{ 原子百分超}\% / \text{肥料中 } ^{15}\text{N} \text{ 原子百分超}\% \times 100$

(2) $\text{Ndff}(\text{mg}) = \text{器官干重}(\text{g}) \times \text{器官全 N 含量}(\%) \times \text{Ndff}\% \times 1000 / 10^4$

(3) $\text{氮肥分配率}(\%) = \text{各器官 Ndff}(\text{mg}) / \text{植株 Ndff}(\text{mg}) \times 100$

(4) $\text{氮肥利用率}(\%) = \text{植株 Ndff}(\text{mg}) / \text{施肥量}(\text{mg}) \times 100$

1.5 统计方法

数据处理采用 DPS 统计软件。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对不同地力水平下夏玉米碳氮代谢关键酶活性的影响

2.1.1 氮肥用量对夏玉米叶片硝酸还原酶(NR)活性的影响

如图 1 所示,各处理 NR 活性在授粉后呈逐渐下降趋势,授粉后 45 d 趋于一致。高产田 NR 活性随着氮肥

用量的增加呈先增高后降低的趋势,其活性大小依次为 HM(高产田,中施氮量) > HH(高产田,高施氮量) > HL(高产田,低施氮量) > CKH(高产田对照),HM 处理明显高于其它处理,说明在 $150 \sim 300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内增加氮肥用量能够提高高产田穗位叶 NR 活性,从而增强植株氮素的吸收转化,但施用量达到 $400\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时 NR 活性反而降低。中产田 NR 活性随着氮肥施用量的增加呈增高的趋势,HH 处理 NR 活性明显高于其它处理。CKH、HL、HM 处理 NR 活性均高于中产田相同处理 CKM(中产田对照)、ML(中产田,高施氮量)、MM(中产田,中施氮量)的 NR 活性。

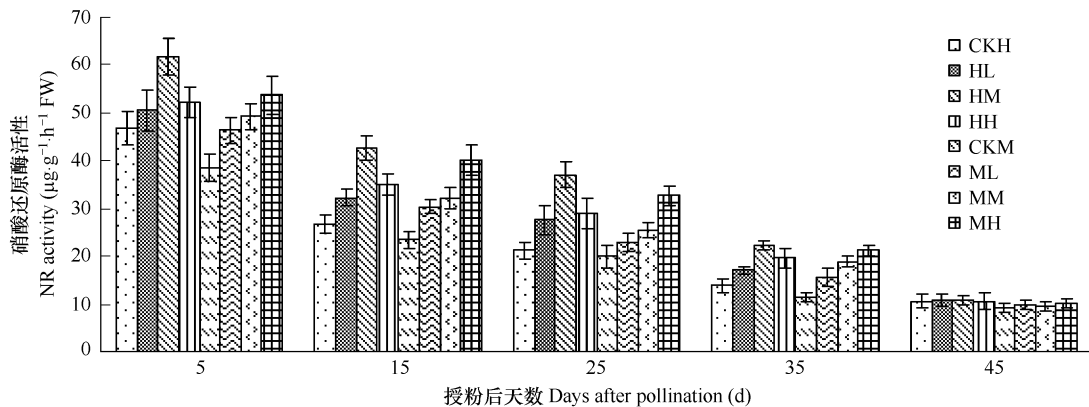


图1 不同施氮量对夏玉米叶片硝酸还原酶活性的影响

Fig. 1 Effect of nitrogen fertilizer rate on NR activity of summer maize leaves

2.1.2 氮肥用量对夏玉米叶片谷氨酰胺合成酶(GS)活性的影响

如图2所示,授粉后穗位叶 GS 活性呈先升后降的趋势。授粉后 15d 各处理 GS 活性较授粉后 5d 有小幅上升,之后又迅速下降。授粉后至成熟期高产田 HM 处理 GS 活性高于其它处理,可见适量施氮可明显促进夏玉米穗位叶 GS 活性的增强,在 $N 150 \sim 300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 间,随施氮量的增加穗位叶 GS 活性增强,但在较高地力水平下过量施氮反而会抑制 GS 活性。在 $N 150 \sim 450\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 间,中产田随施氮水平的增加穗位叶 GS 活性增强。

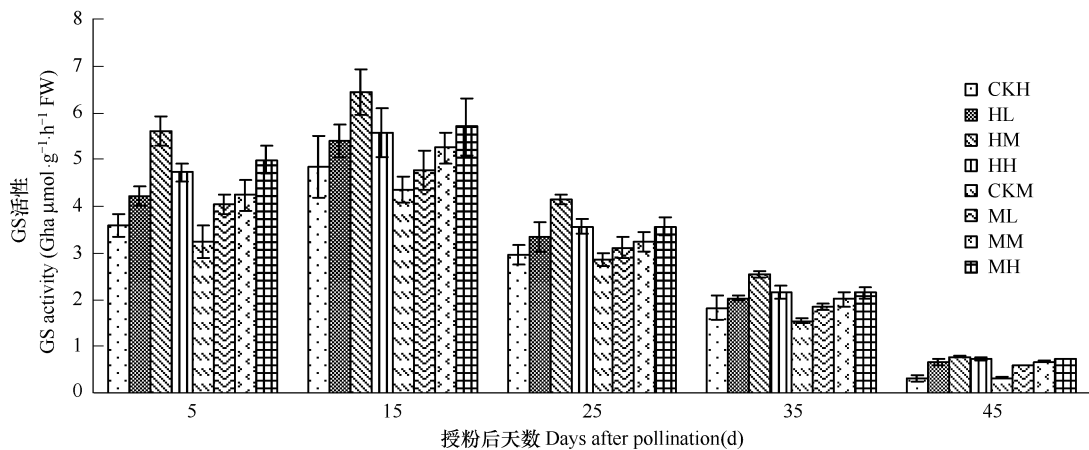


图2 氮肥用量对夏玉米叶片谷氨酰胺合成酶活性的影响

Fig. 2 Effect of nitrogen fertilizer rate on GS activity of summer maize leaves

2.1.3 氮肥用量对夏玉米叶片蔗糖磷酸合成酶(PPS)活性的影响

图3结果表明,PPS 活性在整个生育期内持续下降,授粉后 5~25 d 下降缓慢,且保持较高水平,之后快速下降,授粉后 45d 除 CKH 和 CKM 明显低于施氮处理,其它各施氮处理趋于一致。高产田 PPS 活性变化趋势与 NR 相似,其活性大小依次为 $HM > HH > HL > CKH$,HM 处理明显高于其它处理。中产田 PPS 活性各施氮

处理明显高于 CKM,但随着肥料用量的增加 SPS 活性增加减缓,即报酬率降低。不同地力水平下相同施肥量相比较,CKH > CKM、HL > ML、HM > MM,而 HH < MH。

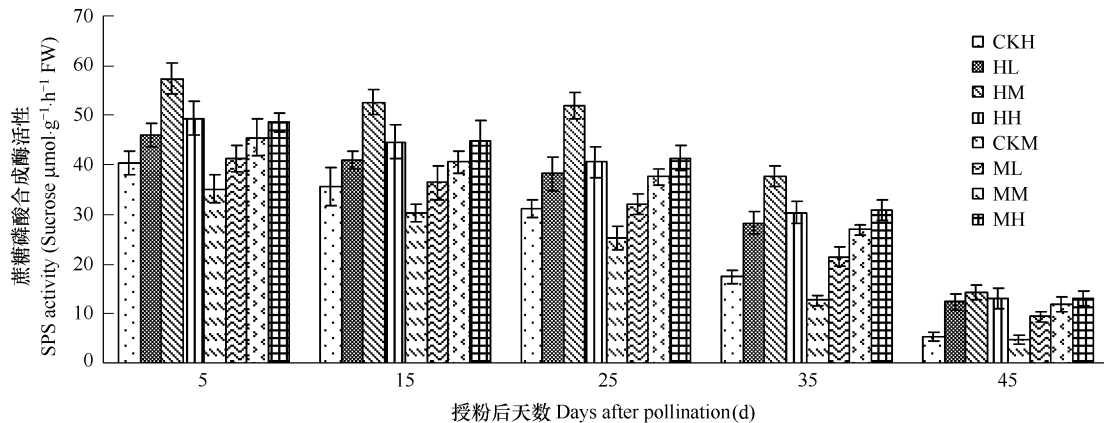


图3 氮肥用量对夏玉米叶片蔗糖磷酸合成酶活性的影响

Fig. 3 Effect of nitrogen fertilizer rate on SPS activity of summer maize leaves

2.1.4 氮肥用量对夏玉米籽粒蔗糖合成酶(SS)活性的影响

授粉后 15 d,玉米籽粒 SS 活性较第 5 天略有升高,并维持在较高水平,之后持续下降,且前期急剧下降,35 d 后下降缓慢(图 4)。高产田除授粉后 45 d 外,其他时期 HM 处理的籽粒 SS 活性均与对照达到了显著差异水平。授粉后 45 d 各个处理差异不显著,但从 SS 活性的绝对值看,以 HM 处理的最大。与高产田不同,中产田各个时期以 MH 处理 SS 活性最高,除授粉后 45 外,施氮处理均与 CKM 的 SS 活性达到显著差异水平。两块田相比 CKH > CKM、HL > ML、HM > MM、HH < MH。

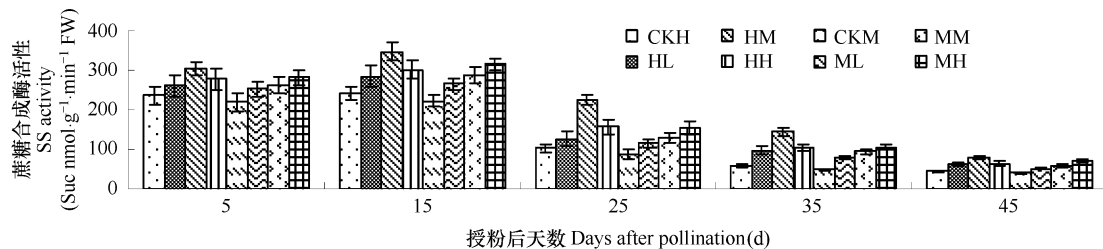


图4 氮肥用量对夏玉米籽粒蔗糖合成酶活性的影响

Fig. 4 Effect of nitrogen fertilizer rate on SS activity of summer maize grains

2.1.5 氮肥用量对夏玉米籽粒酸性转化酶(AI)活性的影响

从图 5 可以看出,授粉后籽粒的酸性转化酶(AI)活性一直呈下降趋势,授粉后 45d 降至最低。两种地力水平下,除授粉后 45 d 外,其他时期各施肥处理的 AI 活性均与其对照达到了显著差异水平。而其他趋势与

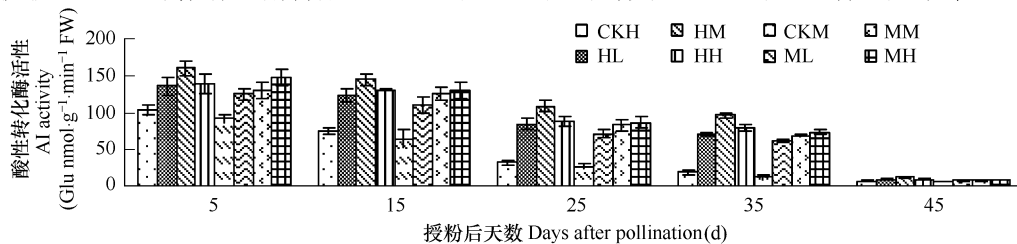


图5 氮肥用量对夏玉米籽粒酸性转化酶活性的影响

Fig. 5 Effect of nitrogen fertilizer rate on AI activity of summer maize grains

SS 活性相似。

2.2 不同地力水平下施氮量对夏玉米各器官氮素分配率和利用率的影响

玉米吸收的标记¹⁵N 在植株体内向各器官运转,其中向籽实器官的运转量最大(表 1)。在高产田,随着增施 N 肥量的增加,籽实、穗轴和叶片中积累¹⁵N 量呈先增后降的趋势,当施氮量超过 300kg·hm⁻²时,玉米籽粒和叶片中积累¹⁵N 有所下降,HM 和 HH 籽粒中氮素的积累量分别比 HL 处理高了 109% 和 103%,而茎和根中积累¹⁵N 的量随施肥量的增加而增加。在中产田,随着施 N 量的增加,籽实和穗轴积累¹⁵N 量均相应增加,MM 和 MH 籽粒中氮素的积累量分别比 HL 处理高了 60% 和 88.7%,而根、茎、叶及叶鞘中均呈先增后降的趋势。各个器官¹⁵N 积累量依次为籽粒>叶片>茎>根>叶鞘>穗轴。

表 1 施氮对夏玉米各个器官 Ndff、N 素分配率和 N 素利用率的影响

Table 1 Effect of nitrogen fertilizer rate on Ndff, N distribution rate and N fertilizer efficiency of summer maize organs

处理 Treatments	器官 Organs	Ndff (mg)	N 素分配率 N distribution rate (%)	N 素利用率 N fertilizer efficiency (%)
HL	根 Root	38.60	4.40	2.10
HM		63.98	3.97	1.74
ML		6.12	1.78	
MM		24.38	2.96	1.33
MH		93.70	6.87	2.55
	茎 Crown	66.84	4.61	1.21
HL		140.09	15.98	7.62
HM		190.44	11.81	5.18
HH		225.76	14.10	4.10
ML		148.88	18.06	8.10
MM	叶片 Leaf	214.02	15.68	5.82
MH		172.77	11.92	3.13
HL		228.03	26.02	12.41
HM		406.07	25.18	11.05
HH		337.80	21.10	6.13
ML	叶鞘 Leafsheat	210.33	25.51	11.45
MM		342.70	25.11	9.33
MH		311.27	21.48	5.65
HL		36.84	4.20	2.00
HM		45.94	2.85	1.25
HH	穗轴 Earaxis	63.48	3.97	1.15
ML		33.93	4.12	1.85
MM		57.27	4.20	1.56
MH		45.95	3.17	0.83
HL		12.97	1.48	0.71
HM	籽粒 Grain	27.58	1.71	0.75
HH		20.13	1.26	0.37
ML		14.97	1.82	0.81
MM		17.40	1.27	0.47
MH		97.62	6.74	1.77
HL	全株 Plant	419.96	47.91	22.85
HM		878.50	54.48	23.90
HH		855.58	53.45	15.52
ML		399.51	48.46	21.74
MM		639.79	46.88	17.41
MH		754.53	52.07	13.69
HL		876.49		47.70
HM		1612.51		43.88
HH		1600.61		29.04
ML		824.35		44.86
MM		1364.88		37.14
MH		1448.98		26.29

氮肥在各个器官中的分配率与氮肥在各个器官中的分配量规律相似。高产田氮肥在籽粒中的分配率大小顺序是 $HM > HH > HL$, 而中产田中则为 $MH > ML > MM$, 两块田相比 $HM > MH$ 、 $HH > MH$, 只有 $HL < ML$ 。在茎叶中高产田和中产田低施肥量的氮素分配率均高于高施肥量。而氮肥利用率除根和穗轴外其他器官包括全株都呈下降的趋势, 施肥量越高氮肥利用率越低。结果表明, 在两种地力水平下每公顷施用纯氮 300kg 的吸收利用率较高, 能较好地发挥追加 N 的经济效益。

2.3 施氮量对不同地力水平下夏玉米产量性状的影响

氮肥用量对夏玉米产量影响表现为: 高产田 $HM > HL > HH > CKH$, HM 显著高于其它处理, HL 和 HH 差异不显著。中产田 $MH > MM > ML > CKM$, 各处理产量差异显著。穗行数、行粒重和千粒重的变化趋势与产量相同。

表 2 施氮量对夏玉米产量构成因素的影响

Table 2 Effect of nitrogen fertilizer rate on yield and its components of summer maize

处理 Treatments	穗行数 Rows per ear(No.)	行粒数 Grains per row(No.)	千粒重 1000-grain wt. (g)	理论产量 Theoretical yield($kg \cdot hm^{-2}$)
CKH	15.43 b	33.39 ab	308.33 c	10821.6 f
HL	15.97 ab	34.90 a	348.24 a	12119.1 b
HM	16.33 a	35.27 a	354.01 a	12380.55 a
HH	15.83 ab	32.83 ab	346.69 a	12043.5 b
CKM	15.33 b	30.63 b	296.54 d	8640 g
ML	15.60 b	31.97 ab	324.63 b	10609.8 e
MM	15.67 b	32.50 ab	322.17 b	10854.15 d
MH	15.80 ab	32.73 ab	326.29 b	11082.6 c

不同字母表示差异达 5% 显著水平 Different letters means significant at 5% level

3 讨论与结论

硝酸还原酶是植物同化 NO_3^- 过程中的关键酶, 也是氮同化的限速酶, 对作物光合、呼吸及碳代谢等有着重要影响^[11]。植物吸收的硝酸盐必须在硝酸还原酶及亚硝酸还原酶作用下还原成 NH_3 , 才能经过一系列的合成过程在体内转化成氨基酸。因此, 其活性高低与植物体内氮同化能力密切相关, 对植物生长发育、产量形成和蛋白质产量都有重要影响^[12]。本实验结果显示, 两种地力水平下施氮处理的 NR 活性均高于 CK。高产田在施氮量 $150 \sim 300 kg \cdot hm^{-2}$ 范围内, 增加氮肥用量穗位叶 NR 活性呈增高的趋势, 到 $400 kg \cdot hm^{-2}$ 则有所下降。中产田在 $150 \sim 400 kg \cdot hm^{-2}$ 范围内, 随着氮肥用量的增加, NR 活性呈增高的趋势。

González 等^[13]报道, GS 活性的提高有利于植物铵同化和氮素转运。刘强^[14]等研究表明, 氮效率高的品种功能叶中 GS 活性明显高于氮低效率品种, 且 GS 活性的增加同样可以加速植物体内氮的同化。本研究表明, 高产田 SPS 活性变化趋势与 NR 相似, 其活性大小依次为 $HM > HH > HL > CKH$, HM 处理明显高于其它处理, 说明过高的施肥量反而影响穗位叶 SPS 活性。中产田 SPS 活性施肥处理明显高于 CKM, 但随着氮用量的增加 SPS 活性增加减缓, 即报酬率降低。GS 活性除生育期呈先升后降的趋势外, 其它与 SPS 相似。作为库强指标的 SS 和 AI^[15,16], 由于高产田和中产田地力水平的差异, 其不同处理之间变化不同, 本试验表明分别以 HM 和 MH 的 SS 和 AI 活性最高。

通过¹⁵N 标记, 研究了氮肥用量对不同地力水平下植株氮素吸收量、不同器官的分配率和氮肥利用率的影响, 结果表明各处理均以籽粒中氮素吸收量、分配率和利用率最高, 其后是叶、茎、根。从全株和籽粒的氮素吸收量来看, 高产田随着氮肥用量的增加呈先增后减的趋势, 以 HM 处理最高, 而中产田则随施氮量的增加而增加, 以 MH 处理最高。茎叶的氮素吸收量由于氮肥用量的增加而增加。总之, 不同地力水平下玉米的氮肥利用率均随施氮量的增加而降低。

施氮可以提高夏玉米穗位叶 NR、SPS、GS 活性和籽粒 SS 和 AI 活性, 促进籽粒对氮素的累积和利用, 从而

增加产量。不同地力水平存在差异,高产田中施用过量的氮肥,不利于氮向籽粒转运,致使籽粒产量降低。中产田随着氮肥用量的增加,其产量也增加,但高施肥量对产量的贡献率下降,因为协调的碳、氮代谢对玉米的高产稳产至关重要,过量施氮可导致叶片中的氮向籽粒转运减少^[17]。因此,综合考虑产量、氮肥利用率、养分转运及环境污染等因素,该试验高产田夏玉米的推荐施氮量应控制在 $300\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以内,中产田推荐施氮量应控制在 $300\sim 400\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间。

References:

- [1] Dong S T, Wang K J, Hu C H. Development of Canopy Apparent Photosynthesis among Maize Varieties from Different Eras. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(2): 200–204.
- [2] Lu H D, Xue J Q, Ma G S, et al. Effect of Source-sink Adjustment on Yield of Grain Form Ation of Different Genotype Maizes. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 2004, 32(9): 9–13.
- [3] Xue J Q, Ma G S, Lu H D. The Regulation and Control of Density on Relationship of Sink-source and Yield of Different Maize. *Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica*, 2001, 21(6): 1162–1168.
- [4] Shen L X, Wang P, Zhang H F, Yi Z X. Effect of nitrogen supply on grain filling at different ear position in summer maize. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(4): 532–534.
- [5] Shen L X, Wang P, Zhang R B. Effect of nitrogen supply on yield and grain filling in summer maize with different crop density. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3): 314–319.
- [6] Zhou Q. The Guidance of Plant Physiology Experiment. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [7] Shanghai Plant Physiol. Inst., CAS, Shanghai Plant Physiol. Association. Introduction to Model Plant Physiological experiments. Beijing: Science Press, 1999.
- [8] Zhao Z Z, Zhang S L, Xu C J. Roles of sucrose- metabolizing enzymes in accumulation of sugars in satsuma mandarin fruit. *Acta Horti Sin*, 2001, 28: 112–118.
- [9] Zhang C F, Peng S B, Peng X X, et al. Response of glutamine synthetase is forms to nitrogen sources in rice roots. *Plant Sci*, 1997, 125: 163–170.
- [10] Peng F T, Zhang Q, Jiang Y M, et al. Effect of nitrogen application on nitrogen absorption, distribution and yield of Strawberry. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3): 400–405.
- [11] SANCHEZ E, RIVERO R M, RUIZ J M, et al. Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high NH_4NO_3 application rates. *Scientific Horticulture*, 2004, 99: 237–248.
- [12] Becker T W, Carrayol E, Hirel B. Glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase isoforms in maize leaves: localization, relative proportion and their role in ammonium assimilation or nitrogen transport. *Planta*, 2000, 211: 800–806.
- [13] Gonzalez-moro B, Mena-Petite A, Lacuesta M, et al. Glutamine synthetase from mesophyll and bundle sheath maize cells: isoenzyme complements and different sensitivities to phosphinothricin. *Plant Cell Reports*, 2000, 19(11): 1127–1134.
- [14] Liu Q, Rong X M, Zhu H M, et al. Nitrogen metabolism of different rice cultivars under different cultivations. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2001, 27(6): 415–420.
- [15] Wang F, Smith A G, Brenner M L. Temporal and spatial expression pattern of sucrose synthase during tomato fruit development. *Plant Physiol*, 1994, 104: 535–540.
- [16] Lü Y M, Zhang D P. Accumulation of sugars in developing fruits. *Plant Physiol. Commun*, 2000, 36(3): 258–265.
- [17] Jin J Y, He P. Effect of N and K nutrition on post metabolism of carbon and nitrogen and grain weight formation in maize. *Sci Agric Sin*, 1999, 32(4): 55–62.

参考文献:

- [1] 董树亭, 王空军, 胡昌浩. 玉米品种更替过程中群体光合特性的演变. *作物学报*, 2000, 26(2): 200–204.
- [2] 路海东, 薛吉全, 马国胜, 等. 不同基因型玉米品种源库调节对籽粒产量形成的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(9): 9–13.
- [3] 薛吉全, 马国胜, 路海东. 密度对不同类型玉米源库关系及产量的调节. *西北植物学报*, 2001, 21(6): 1162–1168.
- [4] 申丽霞, 王璞, 张红芳, 易镇邪. 施氮对夏玉米不同部位籽粒灌浆的影响. *作物学报*, 2005, 31(4): 532–534.
- [5] 申丽霞, 王璞, 张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及籽粒灌浆的影响. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 314–319.
- [6] 邹琦主编. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [7] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999.
- [8] 赵智中, 张上隆, 徐昌杰. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用. *园艺学报*, 2001, 28: 112–118.
- [10] 彭福田, 张青, 姜远茂, 等. 不同施氮处理草莓氮素吸收分配及产量差异的研究. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 400–405.
- [14] 刘强, 荣湘民, 朱红梅, 等. 不同水稻品种在不同栽培条件下氮代谢的差异. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2001, 27(6): 415–420.
- [16] 吕英民, 张大鹏. 果实发育过程中糖的积累. *植物生理学通讯*, 2000, 36(3): 258–265.
- [17] 金继运, 何萍. 氮钾营养对春玉米后期碳氮代谢与粒重形成的影响. *中国农业科学*, 1999, 32(4): 55–62.