植物营养与肥料学报 2005,11(5): 634 - 640
Plant Nutrition and Fertilizer Science

生长调节剂对玉米氮代谢的影响

荣湘民, 谢桂先, 刘 强, 彭建伟, 朱红梅
(湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙 410128)

摘要: 采用田间小区试验,研究了植物生长调节剂不同配方对玉米光合特性、氮素代谢以及玉米子粒产量与蛋白质含量的影响。结果表明,调节剂不同配方处理能明显提高子粒灌浆期玉米功能叶叶绿素的含量和净光合速率,功能叶与茎秆中的全氮和蛋白氮的减少量,功能叶的硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶与转化酶活性及子粒谷氨酰胺合成酶与转化酶活性; 灌浆中、后期玉米功能叶蛋白水解酶活性和玉米子粒产量、子粒蛋白质含量及蛋白质产量。在生长调节剂中, PGR4 处理玉米子粒的蛋白氮含量比对照提高 1.35 g/kg,子粒产量比对照增加 9.5%,子粒蛋白质产量比对照增加 19.6%; PGR3 处理玉米子粒的蛋白氮含量比对照提高 0.78 g/kg,子粒产量比对照增加 11.4%,子粒蛋白质产量比对照增加 17.4%,是较合理的配方。

关键词: 玉米; 生长调节剂; 光合特性; 氮代谢; 关键酶
中图分类号: S482.8　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2005)05-0634-07

Effects of plant growth regulator on nitrogen metabolism of maize

RONG Xiang-min, XIE Gui-xian, LIU Qiang, PENG Jian-wei, ZHU Hong-mei
(*College of Resources and Environment, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China*)

Abstract: Maize is a crop with low protein. Increasing protein content and grain yield of maize has become a focal concern for maize cultivation. Applying plant growth regulator (PGR) to regulate carbon metabolism and nitrogen metabolism of maize may be a promising approach to increase protein resource. A field experiment was conducted to compare the effects of PGRs with different formula on the photosynthesis characteristic and nitrogen metabolism of maize. The results showed that PGRs significantly increased the chlorophyll contents and the net photosynthetic rate of functional leaves, the transportation of nitrogen from leaves and stems to grains, the activities of nitrate reductase, glutamine synthetase and glutamine transferase in functional leaves of maize and glutamine synthetase and glutamine transferase in grains of maize in grain filling stage, and the activities of protease in maize functional leaves in the middle and anaphase of filling stage. The grain yields, the protein contents in the grain, and the grain protein yields were significantly increased when maize plant was treated with PGRs. PGR4 and PGR3 had the best feedback effects. The protein N in maize grain, maize grain yields and grain protein yields of treatment PGR4 were increased respectively by 1.35 g/kg, 9.5%, 19.6% compared with CK. The protein N in grain, grain yields and grain protein yields of PGR3 increased by 0.78 g/kg, 11.4%, 17.4% compared with CK respectively.

Key words: maize; plant growth regulator; photosynthesis characteristic; nitrogen metabolism; key enzyme

大多数植物生长调节剂是从调节植物生长发育入手,通过改变植株的株型、提高植株叶片的光合效率、调控植物的碳素代谢来提高产量,或缓解逆境对植物的胁迫[1-3]。关于专门调节植物氮代谢以增加玉米子粒蛋白质含量的植物生长调节剂的报道很少。本研究从筛选出来的效果最好的调节剂[4-5]作供试调节剂,探讨其不同配方对玉米光合特性和氮素代谢的影响,为利用植物生长调节剂提高玉米子粒和蛋白质产量提供依据。

收稿日期: 2004-01-18　　**修改稿收到日期**: 2004-10-31
基金项目: 教育部重点项目(00A002); 湖南省教育厅优秀青年资金项目(02B009)资助。
作者简介: 荣湘民(1965—),男,湖南东安人,博士研究生,教授,主要从事植物营养与植物营养生理研究。

1 材料与方法

1.1 试验设计

田间试验于 2002 年在湖南农业大学资环学院农业资源系教学实习基地进行。供试植物生长调节剂为甲壳素的降解物 N-羧甲基壳聚糖，按 N-羧甲基壳聚糖与 N、P、K 养分不同比例组成 4 个配方[调节剂的用量不变；N、P、K 养分之和相同，即喷施液中 N、P、K 总养分含量为 7/1000(7g/kg)，处理 2 至处理 5 的 N:P:K 分别为 0:1:1.3，1:1:1.3，2:1:1.3，4:1:1.3]。供试土壤为河流冲积物发育的冲积菜园土，肥力中等。其有机质含量 26.23 g/kg，全 N 1.50 g/kg，全 P 2.16 g/kg，全 K 18.43 g/kg，碱解 N 117.79 mg/kg，速效 P 11.56 mg/kg，速效 K 104.26 mg/kg，缓效 K 426.59 mg/kg，pH 5.89。供试玉米品种为掖单 13 号。

试验设 5 个处理：1)对照，喷清水(CK)，2)喷调节剂配方 1(PGR1)，3)喷调节剂配方 2(PGR2)，4)喷调节剂配方 3(PGR3)，5)喷调节剂配方 4(PGR4)，3 次重复，随机区组排列。小区面积 10.8 m^2，条播，种植密度为 25cm × 60cm，每穴定苗一株。各处理均施菜饼肥 750 kg/hm^2 作基肥；N、P_2O_5、K_2O 的施用量分别是 276，72，135 kg/hm^2。N 肥采用尿素，按基肥：苗肥：穗肥 = 1:1:2 的比例施用；磷肥采用钙镁磷肥一次性作基肥施用；钾肥用 KCl，50% 作基肥，50% 作穗肥。玉米经浸种后于 2002 年 3 月 31 日直播，7 月 21 日收获。调节剂在玉米开花授粉后喷第一次，6 d 后再喷一次。

1.2 测定项目和方法

第一次喷施后 5、10、15、20、25 d 取样分析功能叶(棒三叶，即穗位叶及上、下叶)、功能叶所在的茎秆全氮、蛋白氮含量；功能叶的叶绿素含量，硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶和谷氨酰胺转化酶、蛋白水解酶活性以及子粒谷氨酰胺合成酶和谷氨酰胺转化酶活性。在玉米开花授粉后 21d 和 29d 测定功能叶净光合速率(Pn)和胞间二氧化碳浓度(Ci)。玉米收割后测定子粒全蛋白氮、非蛋白氮含量。

净光合速率和胞间二氧化碳浓度采用美国产 LICOR-6400 光合测定系统测定。叶绿素含量用丙酮浸提，分光光度法测定。硝酸还原酶活性利用 NADH-H^+ 还原 NO_3^-，再利用分光光度法测定，以 25℃下每 1 小时内还原 NO_3^- 形成 1μg NO_2^- 的酶量作为一个酶活性单位(U)[6]。谷氨酰胺合成酶和转化酶活性用分光光度法测定，以 30℃下每 1 小时内催化形成 1μmol γ-谷氨酰基羟肟酸的酶量作为一个酶活性单位(U)[6]。蛋白水解酶活性用分光光度法测定，以 40℃下每小时内形成 10μg 酪氨酸的酶量作为一个酶活性单位(U)[7]。全氮含量用浓硫酸混合催化剂消化，凯氏定氮法测定。非蛋白氮含量用三氯乙酸沉淀，凯氏定氮法测定。蛋白氮含量为全氮含量减去非蛋白氮含量的差值。

2 结果与分析

2.1 调节剂对玉米光合特性的影响

2.1.1 对玉米功能叶叶绿素含量的影响　喷施调节剂能提高玉米功能叶叶绿素含量(图 1)。PGR1 处理功能叶叶绿素含量的峰值出现在玉米授粉后 20 d，比对照高 25.4%；PGR2 处理功能叶叶绿素含量的峰值出现在玉米授粉后 10 d，比对照高 6.73%，PGR3 和 PGR4 处理功能叶叶绿素含量的峰值出现在玉米授粉后 15 d，分别比对照分别高 24.5% 和 24.5%。

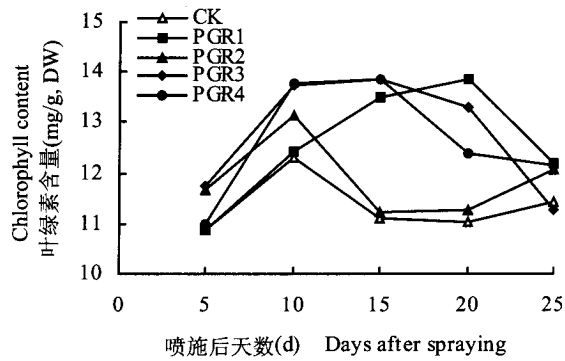

图 1　不同配方调节剂对玉米功能叶叶绿素含量的影响

Fig. 1　Effect of regulators on chlorophyll content in functional leaf of maize

2.1.2 玉米功能叶的光合作用　表 1 看出，在玉米授粉后 21 和 29 d，除 PGR1 处理外，其它调节剂配方处理玉米功能叶的 Pn 均高于对照。在玉米授粉后 21d，功能叶的 Pn 以 PGR2 处理最高，比对照提高了 20.30%；PGR4 和 PGR3 处理分别比对照高 15.06% 和 8.71%。在玉米授粉后 29 d，功能叶的 Pn 以 PGR4 处理最高，比对照提高了 33.32%；PGR2 和 PGR3 处理分别比对照高 15.67% 和 10.53%。同样，除 PGR1 处理外，喷施其它调节剂处理，玉米授粉后 21d 功能叶的 Ci 均低于对照。其中 PGR4 处理最低，比对照降低 3.78%；PGR3 和 PGR2 处理分别比对照降低 2.93% 和 2.07%。玉米授粉后 29 d，PGR4

表1 不同处理玉米功能叶净光合速率、胞间二氧化碳含量

Table 1 Pn and Ci of functional leaf in different treatments

时期 Stage	处理 Treatment	净光合速率 Pn [CO_2 mg/(dm^2·s)]	胞间 CO_2 浓度 Ci (CO_2.mg/kg)
21DAP	CK	15.27 d C	273.33 b A
	PGR1	14.63 e C	276.33 a A
	PGR2	18.37 a A	267.67 c B
	PGR3	16.60 c B	265.33 cd BC
	PGR4	17.57 b A	263.00 d C
29DAP	CK	18.70 c C	192.00 a A
	PGR1	16.00 d D	180.33 a A
	PGR2	21.63 b B	190.67 a A
	PGR3	20.67 b B	183.33 a A
	PGR4	24.93 a A	158.00 b B

注(Note)：不同大、小写字母表示达1%和5%差异水平，下同。Different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, respectively, same as follows. DAP：授粉后天数 Days after pollination.

处理玉米功能叶的 Ci 最低，比对照低 17.71%；PGR1 和 PGR3 处理分别比对照低 6.08%和 4.52%。

2.2 调节剂对玉米功能叶、茎秆中氮的贮存、转运的影响

玉米授粉后 5 到 25d，各处理功能叶的全氮和蛋白氮含量随着生育期的延长而呈下降趋势，减少幅度均明显高于对照。在玉米授粉后 5 d，各处理功能叶中全氮、蛋白氮含量相差不大；授粉后 25 d，喷施调节剂各处理功能叶中全氮、蛋白氮含量均低于对照。表 2 看出，PGR4 处理功能叶全氮、蛋白氮含量的减少幅度最大，是对照的 2.80 倍和 1.36 倍；PGR3 处理次之，再次是 PGR1、PGR2 处理。各处理茎秆中全氮含量减少的幅度也高于对照，以 PGR1 处理减少幅度最大，其次是 PGR3 处理。说明喷施生长调节剂能提高玉米功能叶、茎秆中氮素向其它生长器官的转运量，有利于玉米子粒氮素的累积和子粒蛋白质含量的提高。

表2 调节剂对玉米功能叶、茎秆中全氮、蛋白氮含量的影响(g/kg)

Table 2 Effects of regulators on contents of total N and protein N in functional leaf and stem of maize

项目 Item	处理 Treatment	授粉后天数 Days after pollination (d)										减少量 Decrease	
		5		10		15		20		25			
		TN	PN	TN	PN	TN	PN	TN	PN	TN	PN	TN	PN
功能叶 Functional leaf	CK	27.59	24.67	27.58	23.69	25.98	22.36	26.86	23.30	25.92	20.20	1.67 e	4.47 d
	PGR1	27.54	23.65	30.40	26.55	25.86	22.47	27.57	23.82	24.28	18.77	3.26 c	4.88 c
	PGR2	28.52	25.14	28.57	25.19	23.85	20.81	26.23	22.61	25.68	19.86	2.84 d	5.28 b
	PGR3	37.36	24.31	27.81	24.41	26.59	22.97	25.91	22.89	23.94	18.93	3.42 b	5.38 b
	PGR4	27.94	24.20	28.44	24.75	26.14	22.18	25.37	21.77	23.26	18.11	4.68 a	6.09 a
茎秆 Stem	CK	9.94	6.46	9.39	5.91	8.45	5.48	9.07	5.20	8.75	4.59	1.19 d	1.87 b
	PGR1	10.85	6.36	9.98	5.15	8.36	5.61	8.48	5.43	8.25	4.43	2.60 a	1.93 b
	PGR2	9.61	5.30	8.40	4.43	8.98	4.37	8.10	4.10	7.73	3.72	1.88 c	1.58 c
	PGR3	9.58	5.71	9.44	4.29	8.42	4.48	7.65	4.25	7.24	3.15	2.34 b	2.56 a
	PGR4	10.15	5.68	8.68	4.02	8.88	4.88	8.50	4.45	7.88	3.80	2.27 b	1.88 b

注(Note)：TN—全氮 Total N；PN—蛋白氮 Protein N.

2.3 调节剂对玉米功能叶、子粒中氮代谢关键酶活性的影响

2.3.1 硝酸还原酶活性 硝酸还原酶(NR)是 NO_3^- 同化过程中的第一个关键酶，也是植物体内同化硝酸盐过程的限速酶，其活性强弱与植物体内氮同化能力密切相关。图 2 表明，随着叶片的衰老，玉米功能叶中 NR 活性呈下降趋势。喷施生长调节剂各处理功能叶的 NR 活性始终高于对照，说明调节剂能够提高功能叶的 NR 的活性。在玉米授粉后 5 d，PGR2 处理 NR 活性最高，比对照提高 63.88%；其次是 PGR1 处理，比对照提高 41.24%。在玉米授粉后 25 d，PGR4 处理功能叶还具有较高的 NR 活性，其它处理则与对照差异不大。

2.3.2 功能叶谷氨酰胺合成酶和谷氨酰胺转化酶活性 授粉后喷施调节剂玉米功能叶谷氨酰胺合成酶活性呈先上升再下降的变化趋势。喷施后 10～20 d，各处理功能叶的谷氨酰胺合成酶活性均高于对照(图 3a)。玉米功能叶谷氨酰胺转化酶活性总体上呈下降趋势，但喷施后 15～20 d，各处理功能叶谷氨酰胺转化酶活性明显高于对照(图 3b)。说明

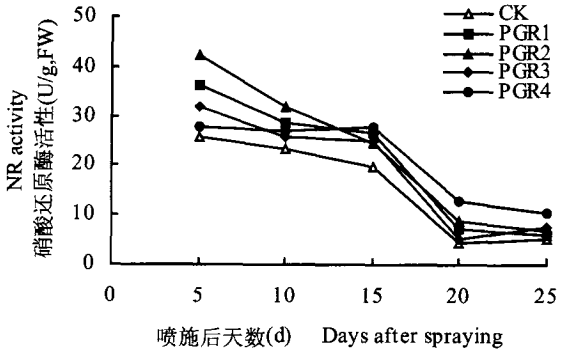

图 2　调节剂对玉米功能叶硝酸还原酶活性的影响

Fig. 2　Effect of regulators on NR activity in functional leaf of maize

喷施调节剂能够促进玉米灌浆期功能叶的谷氨酰胺合成酶与转化酶活性，提高功能叶的氮素同化能力。

2.3.3　子粒谷氨酰胺合成酶和转化酶活性　在玉米授粉后 5d，玉米子粒的谷氨酰胺合成酶与转化酶活性均最高，而后下降，到 15d 以后又上升，且调节剂处理谷氨酰胺合成酶活性均高于对照（图 4a）。但从玉米授粉后 5 d 以后谷氨酰胺转化酶活性基本上呈下降趋势，15d 以后虽略有上升，但差异不大（图 4b）。说明喷施调节剂对玉米子粒谷氨酰胺合成酶活性的促进作用表现在子粒灌浆前期和灌浆后期，对子粒谷氨酰胺转化酶活性的促进作用表现在子粒灌浆的后期。

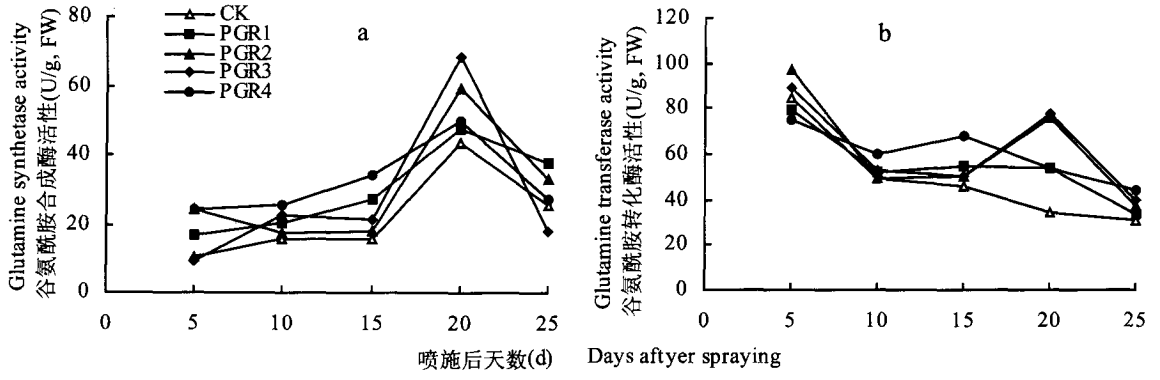

图 3　调节剂对玉米功能叶谷氨酰胺合成酶(a)和谷氨酰胺转化酶(b)活性的影响

Fig. 3　Effects of regulators on activities of glutamine synthetase(a) and glutamine transferase(b) in functional leaf of maize

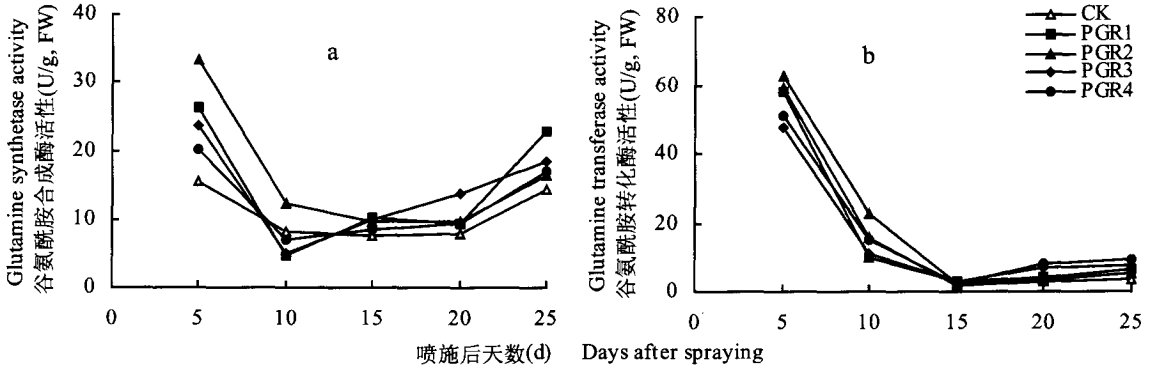

图 4　调节剂对玉米子粒谷氨酰胺合成酶(a)和谷氨酰胺转化酶(b)活性的影响

Fig. 4　Effects of regulators on activities of glutamine synthetase(a) and glutamine transferase(b) in grain of maize

2.3.4　玉米功能叶蛋白水解酶活性　玉米叶片中氮的同化和蛋白质的降解同时存在，叶片中的氮素对子粒氮的贡献为 30%，叶片中氮素的再分配效率达到 65%[8]。图 5 看出，玉米功能叶蛋白水解酶活性呈倒 S 形。在授粉后 5 d，对照玉米功能叶的蛋白水解酶活性较高；授粉 10 d 后，喷施调节剂功能叶的蛋白水解酶活性则高于对照。PGR4 处理的峰值出现在授粉后 15 d，比对照提高 33.77%；而 PGR3、PGR2、PGR1 处理的峰值则出现在授粉后 20d，分别比对照提高了 20.61%、17.60%、6.05%。说明调节剂对灌浆前期玉米功能叶的蛋白水解酶活性影响不大，但能明显促进子粒灌浆中、后期蛋白水解酶活性，从而促进玉米叶片蛋白质的降解，有利于氮素向子粒转运，提高子粒蛋白质含量和蛋白质产量。

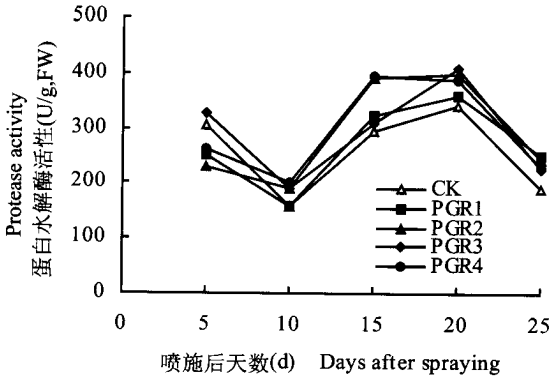

图5 调节剂对玉米功能叶蛋白水解酶活性的影响

Fig.5 Effect of regulators on protease activity in functional leaf of maize

2.4 调节剂对玉米子粒全氮、蛋白氮含量及子粒产量、蛋白质产量的影响

表3看出,喷施调节剂处理玉米子粒的全氮、蛋白氮含量均高于对照,子粒全氮含量比对照高出0.39～1.32 g/kg,蛋白氮含量比对照高出0.37～1.35 g/kg,相当于增加了粗蛋白质2.44～8.25 g/kg和蛋白质2.31～8.44 g/kg。其中以PGR4处理的子粒全氮、蛋白氮含量最高。表3还看出,喷施调节剂处理玉米子粒产量明显高于对照。以PGR3处理玉米子粒产量最高,比对照提高了11.4%;其次为PGR4处理,比对照提高了9.5%。PGR4处理蛋白质产量比对照增产19.6%;PGR3、PGR2、PGR1处理,分别比对照增产17.4%、8.8%、3.9 %。

表3 调节剂对玉米子粒全氮、蛋白氮含量与子粒产量、蛋白质产量的影响

Table 3 Effects of regulators on total N and protein N contents, grain and protein yields of maize

处理 Treat.	全氮含量 Total N (g/kg)	蛋白氮含量 Protein N (g/kg)	子粒产量 Grain yield (kg/hm^2)	蛋白质产量 Protein yield (kg/hm^2)
CK	16.23 dD	14.52 cC	7635.3 bA	692.9 cB
PGR1	16.62 cCD	14.89 bcBC	7734.6 bA	719.8 bcB
PGR2	16.78 cBC	15.08 bBC	8004.2 abA	754.4 bAB
PGR3	17.06 bB	15.30 bAB	8506.1 aA	813.4 aA
PGR4	17.55 aA	15.87 aA	8358.9 aA	829.1 aA

3 讨论

近年来,调节剂及其与养分、杀虫杀菌剂等合理配合的研究报道表明,复配型调节剂的效果要好于单一调节剂的效果[9-10]。叶绿素是叶片首先降解的细胞器,叶绿素逐渐丧失是叶片衰老最明显的外观标志;玉米开花后群体光合速率与产量呈正相关;且玉米生长前期群体光合速率与最终子粒产量的相关性不如开花后的相关性好[11-12]。对筛选出的N-羧甲基壳聚糖与N、P、K等养分合理配方进行验证试验表明,喷施新型植物生长调节剂能明显提高玉米灌浆期功能叶的叶绿素含量和Pn,降低功能叶的Ci。

NR是硝态氮还原为氨过程中的限速酶,而且NR活性同参与氨同化的其他酶的活性呈显著的正相关,因而可作为氮同化能力强弱的指标。玉米叶片的NR活性在拔节期最强,随着生育期的延长而逐渐下降,作物开花后叶片的NR活性与子粒蛋白质含量和蛋白质产量呈正相关[13-14],高蛋白玉米比低蛋白玉米具有较高的NR活性[15]。本研究表明,玉米功能叶的NR活性从玉米灌浆后5～25 d逐渐降低,喷施调节剂能明显提高灌浆前期玉米功能叶的NR活性,但PGR4处理对玉米灌浆后期功能叶的NR活性也有明显的促进作用。

高等植物体内95%以上的NH_4^+通过GS-GOGAT循环同化[16]。Thomas和González等[17-18]证实,玉米叶片GS活性的提高有利于植物氨同化和氮素转运。本试验结果表明,喷施调节剂能明显促进玉米功能叶和子粒的谷氨酰胺合成酶与转化酶活性。玉米功能叶氮的同化能力的增强,所合成的氨基酸一方面有利于自身蛋白质的合成,为灌浆中、后期功能叶蛋白的水解,增加小分子含氮有机物向子粒转运提供了物质基础;另一方面所合成的氨基酸可直接向子粒转运,从而促进子粒蛋白质的合成与子粒蛋白质含量的提高。

玉米子粒氮的来源,一方面来自开花后吸收的氮素,另一方面来自开花前营养器官累积氮素的再转运[8]。开花前贮藏在营养体中的氮在生殖生长期的转运对子粒产量和品质的形成有很大的影响。叶片和茎秆对子粒氮的贡献均达到30%;即使开花后土壤氮供应充足,子粒中的氮至少有50%来自营养器官。玉米叶片和茎秆中的氮素营养绝大部分以氨基酸、酰胺和蛋白质的形态贮藏,且主要以蛋白质的形态存在,叶片和茎秆中的蛋白质需通过降解变成小分子含氮有机物才能在体内运输和再利用,调控植物体内蛋白质水解的酶就是蛋白水解酶。蛋白水解酶活性的增强有利于氮素的转运[13,19]。授粉后喷施调节剂可以提高子粒灌浆中、后期玉米功能叶

中的蛋白水解酶活性，从而促进了玉米叶片蛋白质的降解，有利于氮的转运与再利用，这与玉米子粒灌浆期功能叶中氮的减少幅度结果相一致。

本试验的结果还看出，喷施调节剂可提高玉米子粒蛋白质含量 2.55%～9.30%，比师素云等[20]和 Osuji 等[21]报道的效果偏低，这可能与师素云等采用的是用调节剂注射果穗基部和调节剂溶液喷施花丝，而我们采用的是实际生产中常用的方法，即将调节剂水溶液喷施在功能叶和果穗等部位有关。

综合结果看出，在本试验条件下，PGR4 和 PGR3 为较合理的配方。玉米子粒的蛋白氮含量分别比对照高 1.35、0.78 g/kg，相当于提高蛋白质 8.44、4.88 g/kg；子粒产量分别比对照增产 9.5%、11.4%，子粒蛋白质产量分别比对照增产 19.6%、17.4%。

参 考 文 献：

[1] 李艳杰.应用化调物质对玉米增产效果的试验初报[J].玉米科学，2003，11(4)：61-62.
Li Y J. Effect of chemical regulators on maize yield[J]. J. of Maize Scie., 2003, 11(4): 61-62.

[2] 张吉旺，胡昌浩，王空军，等.植物生长调节剂在玉米上的初步应用研究[J].山东农业大学学报(自然科学版)，2003，34(3)：343-346.
Zhang J W, Hu C H, Wang K J *et al*. Primary studies of plant growth regulators in corn [J]. J. of Shandong Agric. Univ. (Natural Sci.), 2003, 3 4(3): 343-346.

[3] 王敏，张从宇，马同富，姚维传. 植物生长调节剂对干旱胁迫下玉米幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学，2003，31(5)：727-728.
Wang M, Zhang C Y, Ma T F, Yao W C. Effects of plant regulator on maize seedling growth under drought stress[J]. J. of Anhui Agric. Sci., 2003, 31(5): 727-728.

[4] 荣湘民，刘强，朱红梅，等. 植物生长调节剂对水稻氮代谢关键酶活性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2003，29(5)：372-375.
Rong X M, Liu Q, Zhu H M *et al*. Effects of plant growth regulators on activities of key enzymes of rice nitrogen metabolism [J]. J. of Hunan Agric. Univ. (Natural Sci.), 2003, 29(5): 372-375.

[5] 陈静彬，刘强，荣湘民，等. 几种植物生长调节剂对水稻氮素积累与转运及贮存的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2003，29(2)：99-102.
Chen J B, Liu Q, Rong X M *et al*. Effects of several plant growth regulators on accumulation, transportation and storage of nitrogen in rice [J]. J. of Hunan Agric. Univ. (Natural Sci.), 2003, 29(2): 99-102.

[6] 中国科学院上海植生研究所，上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京：北京科学出版社，1999.
Shanghai Plant Physiological Institute, China Academy of Science, Shanghai Plant Physiological Association. Introduction to modern plant physiological experiments[M]. Beijing: Beijing Science press, 1999.

[7] 韩雅珊. 食品化学试验指导[M]. 北京：北京农业大学出版社，1995.
Han Y S. Introduction to food chemistry[M]. Beijing: Beijing Agric. Univ. Press, 1999.

[8] 沈成国. 植物衰老生理与分子生物学[M]. 北京：中国农业出版社，2001.
Shen C G. Senescence physiology and molecular biology of plant[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.

[9] 徐伟亮，蔡伟杰，何志宣，等. 井岗霉素与益穗素混喷防治水稻纹枯病[J]. 浙江农业大学学报，1999，25(2)：209-210.
Xu W L, Cai W J, He Z X *et al*. Control of rice sheath blight by Jinggangmycin mixed with a growth regulator agent Yi-Sui-Su [J]. J. of Zhejiang Agric. Univ., 1999, 25(2): 209-220.

[10] 龚梅，张志勇，丁卫红. 抽穗期施用 N-(2-氯-4-吡啶基)-N'-苯基脲对水稻与产量有关性状的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯，1997，33(5)：349-351.
Gong M, Zhang Z Y, Ding W H. The effect of N-(2-chloro-4-Pyridyl)-N'-Phenylurea(4PU-30) on the characteristics in relation to yield of hybrid rice at heading stage[J]. Plant Physiol. Commun., 1997, 33(5): 349-351.

[11] 王庆成，牛玉贞，徐庆章，等. 株型对玉米群体光合速率和产量的影响[J]. 作物学报，1996，22(2)：223-227.
Wang Q C, Niu Y Z, Xu Q Z *et al*. Effect of plant type on rate of canopy apparent photosynthesis and yield in maize (*Zea mays* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(2): 223-227.

[12] 王庆成，刘开昌，张秀清，王春英. 玉米的群体光合作用[J]. 玉米科学，2001，9(4)：57-61.
Wang Q C, Liu K C, Zhang X Q, Wang C Y. Canopy photosynthesis of maize (*Zea mays* L.)[J]. J. of Maize Sci., 2001, 9(4): 57-61.

[13] 王月福，于振文，李尚霞，余松烈. 氮素营养水平对冬小麦氮代谢关键酶活性变化和子粒蛋白质含量的影响[J]. 作物学报，2002，28(6)：743-748.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Effect of nitrogen nutrition on the change of key enzyme activity during the nitrogen metabolism and kernel protein content in winter wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(6): 743-748.

[14] 王宪泽，张树芹. 不同蛋白质含量小麦品种叶片 NRA 与氮素积累关系的研究[J]. 西北植物学报，1999，19(2)：315-320.
Wang X Z, Zhang S Q. Study on the relation of NRA and nitrogen accumulation in leaves of different protein content wheats[J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 1999, 19(2): 315-320.

[15] Lohaus G, Büker M, Hussmann M. Transport of amino acids with special emphasis on the synthesis and transport of asparagine in the illinois low protein and illinois high protein strains of maize[J]. Planta, 1998, 205(2): 181-188

[16] 莫良玉，吴良欢，陶勤南. 高等植物 GS/GOGAT 循环研究进展[J]. 植物营养与肥料学报，2001，7(2)：223-231.
Mo L Y, Wu L H, Tao Q N. Research advances on GS/GOGAT cycle in higher plants[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001,

7(2): 223-231.

[17] 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[J]. Planta, 2000, 211: 800-806.

[18] González-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[J]. Plant Cell Reports, 2000, 19(11):1127-1134.

[19] 李科,卢向阳,彭丽莎,刘强. 羧甲基壳聚糖对水稻氮代谢关键酶活性及子粒蛋白质含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2001,27(6): 421-424.

Li K, Lu X Y, Peng L S, Liu Q. Effects of N-carboxymethyl chitosan on key enzymes activities of nitrogen metabolism and grain protein contents in rice[J]. J. of Hunan Agric. Univ. (Natural Sci.), 2001, 27(6): 421-424.

[20] 师素云,薛启汉,刘蔼民,等.羧甲基壳聚糖对玉米子粒氮代谢关键酶和种子贮存蛋白含量的影响[J].植物生理学报,1999, 25(2): 187-192.

Shi S Y, Xue Q H, Liu A M *et al*. Effects of N-carboxymethyl chitosan on N-metabolisc key enzymes of grains and storage protein contents of seeds in maize[J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1999, 25 (2): 187-192.

[21] Osuji G O, Guero R G. N-carboxymethyl chitosan enhancement of the storage protein contents of maize seeds [J]. Food Biotechnology, 1992, 6(2): 105-126.