

# 80%胺羧酯·甲哌可溶性粉剂对大豆根系 生理生化特性的调控

张明才, 翟志席, 何钟佩, 段留生, 李召虎

(中国农业大学 农学与生物技术学院农学系, 北京 100094)

**摘要:**以中黄 13 为试验材料, 在大田条件下研究了大豆根系生理活性的变化及新型植物生长调节剂 80% 胺羧酯·甲哌可溶性粉剂对其调控的生理机制。结果表明: 80% 胺羧酯·甲哌可溶性粉剂处理提高了根系氧化还原能力, 促进了根系分泌伤流液的能力, 增加了根系伤流中氨基酸、硝态氮、铵态氮以及无机离子的含量。80% 胺羧酯·甲哌可溶性粉剂通过调节内源激素来实现调控根系生理活性表达, 显著提高了根系和伤流中 CTGs, GAs (除  $R_1$  和  $R_2$ ) 和 IAA 的含量, 同时降低了  $R_7$  期之前的 ABA 含量, 而在  $R_7$  期显著提高了 ABA 的含量。此外, 根系和伤流中的激素含量变化与根系生理活性变化是一致的, 如根和伤流中 CTGs, GAs 和 IAA 在生育期内呈现单峰曲线, 峰值均出现在  $R_4$  期, 而 ABA 含量变化呈现直线上升趋势, 峰值出现在  $R_7$  期。

**关键词:** 植物生长调节剂; SHK-6; 大豆; 根系; 激素

中图分类号: S565.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)01-0044-06

## Regulation of 80% Diethyl Aminoethyl Hexanoate and Mepiquat Chloride on the Physiological and Biochemical Character in Soybean Roots

ZHANG Ming cai, ZHAI Zhi-xi, HE Zhong pei, DUAN Liu sheng, LI Zhao hu

(Department of Agronomy, College of Agronomy and Biotechnology,  
China Agricultural University, Beijing 10094, China)

**Abstract:** Field experiments were conducted in 2004 at Changping Experiment Station of China Agricultural University to examine the effect of PGR SHK-6 (80% Diethyl aminoethyl hexanoate and Mepiquat chloride, its ratio is 1: 5) on the physiological and biochemical character in soybean (*Glycine max* L. cv. Zhonghuang 13) roots. SHK-6 was foliar applied in  $V_7$  stage at 100 mg/L, with water controlled. The results were showed: SHK-6 treatment significantly increased root physiological activity. The root activity and the volume of bleeding sap were markedly improved by SHK-6. Furthermore, the flow capacity of nitrite,  $NH_4^+$ , amino acids, P, K, Ca, Mg and Mo in bleeding sap were significantly promoted by SHK-6. In whole growth stages, SHK-6 treatment significantly promoted the content of IAA (auxin) and GAs (gibberellin, except for  $R_1$  and  $R_2$  stage) and CTGs (cytokinins) in root, but markedly decreased the flow capacity of ABA, expect for  $R_7$  stages. At the same time, SHK-6 treatment significantly promoted the flow capacity of IAA and GAs (except for  $R_1$  and  $R_2$  stage) and CTGs in bleeding sap, but markedly decreased the flow capacity of ABA, expect for  $R_6$  and  $R_7$  stages.

**Key words:** Plant growth regulator; SHK-6; Soybean; Root; Hormone

根系是大豆的重要营养器官, 对大豆的生长发育及产量形成有着重要的作用<sup>[1]</sup>。若根系发育不良或生理功能失调, 会严重影响整株大豆的生长发育, 降低籽粒产量和品质<sup>[2]</sup>。因此, 在大豆生产中, 强大的根系是获得高产的重要保证<sup>[3]</sup>。目前, 有关大豆根系的研究主要集中于根系的形态特征、生长动态、

根系分布, 不同品种和不同环境条件下根系的变化等<sup>[4-8]</sup>方面, 在根系功能方面的研究多侧重于对水分和无机盐的吸收<sup>[9-11]</sup>, 而对其调控的研究较少。根系建成和功能发挥多受内源激素等信号物质的调节, 这些信号物质在根冠联系中起着重要作用<sup>[12, 13]</sup>。应用植物生长调节剂可以调控根系的激

收稿日期: 2006-10-01

基金项目: 国家重点新产品计划(2005ED105002); 农业科技资金项目(05EFN217100434)

作者简介: 张明才(1975-), 男, 安徽六安人, 讲师, 主要从事大豆化学控制和杂草学研究工作

通讯作者: 李召虎(1967-), 男, 内蒙古人, 教授, 主要从事作物化控和杂草研究工作。

素水平,有效改善根系功能,调节根系与地上部的关系,提高产量、品质和解决生产技术难题,在棉花、玉米等作物上已有大量研究和应用<sup>[14-17]</sup>。关于大豆根系受激素调控方面也有报道<sup>[18,19]</sup>,但成功用于大豆大面积生产的调节剂较少,在大田条件下根系生长发育和生理的化学调控理论和技术都尚待研究。

中国农业大学作物化控研究中心在 20 世纪 90 年代末即展开研究低毒、低残留、高效和安全的新型植物生长调节剂,经过大量的室内和田间试验,研制出 80% 胺羧酯·甲哌可溶性粉剂 (SHK-6),有效成分为甲哌噻和乙酸二乙氨基乙醇酯 (二者的比例为 1:5),已商品化生产使用。生产上应用表现为具有抗倒、抗逆、提高产量和蛋白质品质的作用<sup>[20,21]</sup>,而且促进了根系的活性、结瘤性和固氮能力<sup>[22,23]</sup>。本试验是以中黄 13(中国农业科学院)为试验材料,利用植物生长调节剂 SHK-6 为调控手段,从根系生理功能的角度,探讨研究 SHK-6 对大豆根系生理生化特性的调控,也为实现其在大豆生产中应用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2004 年在中国农业大学昌平实验站进行。试验地为轻壤土,肥力中等。供试品种为中黄 13。试验于 5 月 21 日播种,9 月 19 日收获,施用 SHK-6 时期为 V<sub>7</sub> 期 (2004-06-28) 叶面喷施,SHK-6 使用剂量为 75 g/hm<sup>2</sup>,每公顷用 450 kg 水,以叶面喷施清水为对照。小区面积 4 m×5 m、行距为 30 cm,株距为 10 cm。处理与对照随机排列,4 次重复。在整个生育期间,适时浇水除草并防治病虫。

### 1.2 根系取样和伤流收集

根系分别在各生育期 (生育期的划分参见文献 [3],下同) 随机选择植株 4~6 株,挖取 20 cm×20 cm×40 cm 土体内根系,先用自来水冲洗,而后用蒸馏水冲洗,用吸水纸擦干,剪碎,放置在 -37℃ 低温冰箱中保存待测。

伤流收集分别在各生育期随机选择植株 6 株,用蒸馏水冲洗主茎子叶节处,擦干,在子叶节处切断主茎,将洁净的乳胶管套在根基部茎秆上,收集 12 h (18:00-6:00)。用注射器测量伤流液的体积。而后放置在 -37℃ 低温冰箱中保存待测。

### 1.3 试验方法

根系活力采用  $\alpha$ -萘胺氧化还原法<sup>[24]</sup>;游离氨基酸的测定利用酸性茚三酮比色法<sup>[25]</sup>;硝态氮的测定采取 Cataldo 法<sup>[26]</sup>;无机离子测定利用原子吸收方

法<sup>[27]</sup>;激素测定采用间接酶联免疫法 (ELISA)<sup>[28]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 根系活力的变化

根系还原能力的大小在一定程度上反映了根系生物化学过程的活跃程度,以及提供能量消耗的能力。如图 1 结果表明,SHK-6 处理根系活力 (以鲜质量计) 在整个生育期均高于对照,其中,根系活力高峰出现在 R<sub>4</sub> 期。在此需指出,在营养生长和生殖生长转化的 R<sub>1</sub> 期,SHK-6 处理根系活力比对照提高了 21%;在活力高峰期 SHK-6 处理比对照提高了 9%;而在 R<sub>7</sub> 期处理比对照提高了 26%。

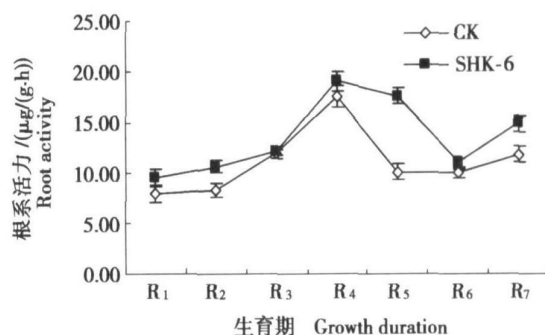


图 1 SHK-6 对大豆根系活性的影响

Fig 1 Effect of SHK-6 on soybean root activity

### 2.2 根系伤流量的变化

根系伤流量的多少是反映根系活力高低的一个重要指标。本试验研究表明,SHK-6 处理促进了根系伤流量的分泌,而且伤流量的变化趋势与根系还原力的变化一致,根系伤流量的高峰出现在 R<sub>4</sub> 期 (图 2)。其中在 R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> 和 R<sub>7</sub> 期,SHK-6 处理分别比对照提高了 25%, 13% 和 37%。

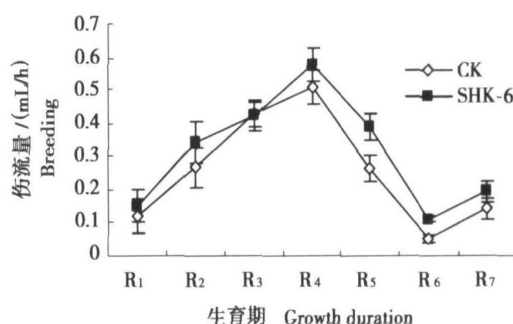


图 2 SHK-6 对大豆根系伤流量的影响

Fig 2 Effect of SHK-6 on bleeding sap in soybean

在 R<sub>4</sub> 和 R<sub>6</sub> 期,连续 120 h 取伤流的试验中发现,SHK-6 处理的根系伤流量均比对照高 (图 3, 4),这为 SHK-6 处理提高根系的生理活性提供了佐证。

### 2.3 根系伤流液氨基酸、硝态氮和铵态氮的变化

从表 1 的试验结果看,SHK-6 处理伤流液中的硝态氮、铵态氮和氨基酸流量在整个生育期均高于

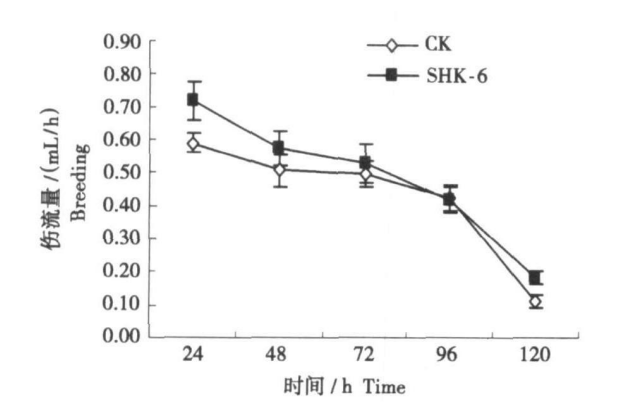


图 3 SHK 6 处理对 R<sub>3</sub> 期根系伤流量的影响

Fig 3 Effect of SHK 6 on bleeding sap in R<sub>3</sub>

对照, 而且在整个生育期内的变化趋势与根系活力以及伤流量的变化一致。尤其在 R<sub>2</sub> 和 R<sub>4</sub> 期, SHK-6 处理伤流液中向上运输的硝态氮、铵态氮和

氨基酸流量显著高于对照。由此可见, SHK-6 处理明显提高了根系合成、吸收和运输能力。

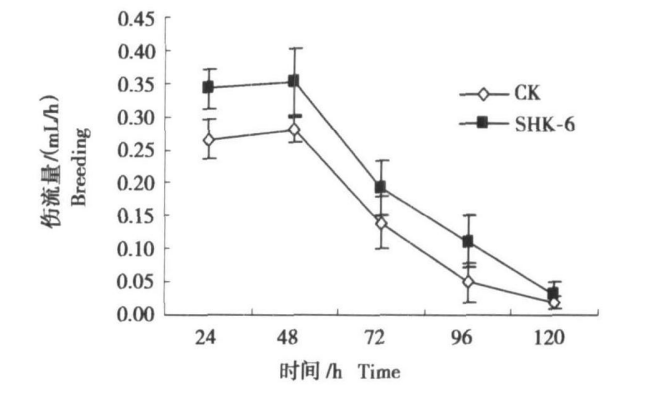


图 4 SHK 6 对 R<sub>5</sub> 期连续 120 h 根系伤流量的影响

Fig 4 Effect of SHK 6 on bleeding sap in R<sub>5</sub>

表 1 SHK-6 处理对根系伤流中氨基酸、铵态氮和硝态氮的影响

Tab 1 Effect of SHK 6 on the bleeding sap and free amin acid, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in sap

生育期 Growth duration	氨基酸/ (μg/ h) Amino acid		硝态氮/ (μg/ h) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		铵态氮/ (mg/ h) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	CK	SHK-6	CK	SHK-6	CK	SHK-6
R <sub>1</sub>	248±11	341±25	147±18	168±23	2.01±0.09	3.12*±0.10
R <sub>2</sub>	336±29	475**±51	201±16	294**±19	2.89±0.10	4.05**±0.12
R <sub>3</sub>	201±34	433*±68	181±25	260*±39	4.23±0.12	5.61*±0.14
R <sub>4</sub>	878±57	1206**±69	793±69	945**±73	9.08±0.31	12.59**±0.23
R <sub>5</sub>	401±37	508*±40	559±28	585±34	5.20±0.19	6.78*±0.20
R <sub>6</sub>	401±37	521*±46	265±29	349*±47	4.32±0.21	5.22*±0.19
R <sub>7</sub>	204±18	218±19	175±33	429*±37	1.97±0.06	2.21±0.05

注: \*, \*\* 分别表示 F<sub>0.05</sub> 和 F<sub>0.01</sub> 显著水平  
Note: \*, \*\* Significant at the 0.05 and 0.01 probability leavels, respectively

表 2 SHK 6 对伤流中无机离子流量的影响

Tab 2 Effect of SHK 6 on the content of inorganic composition in root sap

生育期 Growth duration	处理 Treatment	K/ (mg/ (mL·h))	P/ (mg/ (mL·h))	Ca/ (mg/ (mL·h))	Mg/ (mg/ (mL·h))	Mo/ (μg/ (mL·h))
R <sub>1</sub>	CK	0.6	0.1	0.8	0.4	15.2
	SHK-6	1.2	0.3	0.9	0.9	25.8
R <sub>2</sub>	CK	0.2	0.2	0.4	0.3	5.2
	SHK-6	0.3	0.4	0.9	0.5	11.6
R <sub>3</sub>	CK	0.4	0.2	1.4	0.5	4.2
	SHK-6	0.6	0.5	1.6	0.8	5.5
R <sub>4</sub>	CK	1.0	0.4	1.2	0.5	1.3
	SHK-6	2.4	0.7	3.2	0.9	1.5
R <sub>5</sub>	CK	0.3	0.1	0.2	0.4	0.6
	SHK-6	1.7	0.3	0.5	0.5	1.5
R <sub>6</sub>	CK	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1
	SHK-6	0.6	0.2	0.4	0.2	0.4
R <sub>7</sub>	CK	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
	SHK-6	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2

## 2.4 伤流液中无机离子含量变化

伤流液中的无机离子流量可反映根系矿质元素的吸收能力。表 2 结果表明, 伤流液中无机离子的含量变化与根系伤流量和根系活力变化趋势是一致的, 伤流中主要营养元素含量高峰出现在 R<sub>4</sub> 期, 而且在各生育时期, SHK-6 处理伤流中测定的无机离

子总流量均比对照高。进一步分析发现, SHK-6 处理伤流中大量元素如 P, K 流量明显高于对照, 如在 R<sub>1</sub> 期伤流中 P 的流量比对照高 200%, K 的流量比对照高 100%; 在吸收高峰期, 处理的伤流中 P、K 流量分别比对照高 75%, 140%; 而在 R<sub>7</sub> 期, 处理的伤流中 K 流量比对照高 50%, 但伤流中 P 流量处理与

对照基本一致。SHK-6 处理伤流中常量元素如 Ca、Mg 流量明显高于对照。如在吸收高峰期 R<sub>4</sub> 处理的伤流中 Ca、Mg 流量分别比对照高 267%、125%，而在 R<sub>7</sub> 期，处理的伤流中 Ca 流量比对照高 50%，但伤流中 Mg 流量处理与对照基本一致。而微量元素 Mo 在伤流液中流量的变化与其他元素变化不一致，高峰出现在测定的 R<sub>1</sub> 期，SHK-6 处理提高了 Mo 的流量，但不改变其变化趋势。

### 2.5 根中植物激素的变化

在植物体各器官中，根系是内源激素合成和转化的主要场所之一。如图 5~ 8 结果所示，促进型激素如 CTKs、GAs 和 IAA 在各生育期内呈现单峰曲线，而且峰值均出现在 R<sub>4</sub> 期。而 ABA 则呈现上升趋势，峰值出现在 R<sub>7</sub> 期。SHK-6 处理根中 CTKs 和 IAA 的含量均比对照高，而且 CTKs 在 R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>、R<sub>6</sub> 和 R<sub>7</sub> 期差异达到显著水平，IAA 在 R<sub>1</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>5</sub> 和 R<sub>7</sub> 差异达到显著水平。SHK-6 处理根中 GAs 的含量在 R<sub>3</sub> 前低于对照，其后高于对照。SHK-6 处理后，ABA 在整个生育期除 R<sub>7</sub> 高于对照外，其他各期均低于对照。这对内源激素调节植株生长、促进营养合理分配具有重要意义。

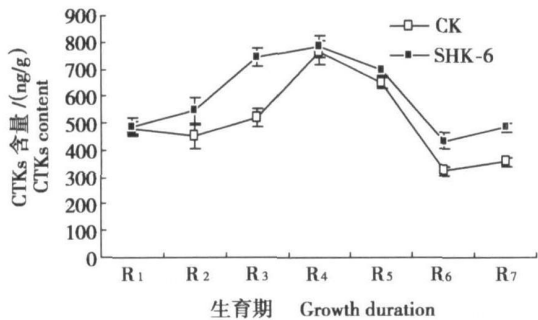


图 5 SHK-6 处理对根中 CTKs 含量的影响  
Fig 5 Effect of SHK-6 on CTKs content in roots

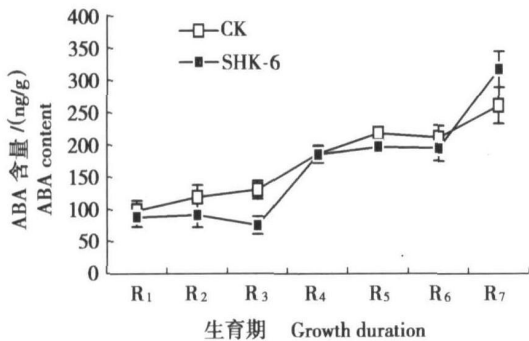


图 6 SHK-6 处理对根中 ABA 含量的影响  
Fig 6 Effect of SHK-6 on ABA content in roots

### 2.6 伤流中植物激素的变化

伤流中激素变化，可以反映根系对激素合成与需求的变化状况，从侧面可以反映根系生理活性的高低。伤流中激素变化与根系内激素变化趋势基本

一致，如伤流中的促进型激素如 CTKs、GAs 和 IAA 在生育期内呈现单峰曲线，而且峰值均出现在 R<sub>4</sub> 期，而 ABA 则呈现上升趋势，峰值出现在 R<sub>7</sub> 期(图 9 ~ 12)。CTKs 主要在根部合成随伤流液向地上部运输。根系内的 CTKs 出现高峰与伤流液中 CTKs 流量高峰一致，且伤流液中 CTKs 流量在各测定时期均高于对照。结果表明，SHK-6 处理可能提高了根系合成 CTKs 能力。SHK-6 处理伤流中的 IAA 流量在整个生育期内均高于对照，而 GAs 的量在 R<sub>3</sub> 期前均低于对照，其后 GAs 流量也均高于对照。SHK-6 处理的 ABA 流量在 R<sub>5</sub> 期以及以前各个测定时期均低于对照，而在生育后期如 R<sub>6</sub> 和 R<sub>7</sub> 期高于对照，这可能与植株开始进入衰老阶段有内在关系。

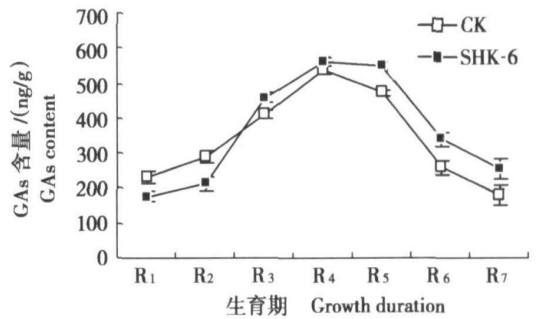


图 7 SHK-6 处理对根中 GAs 含量的影响  
Fig 7 Effect of SHK-6 on GAs content in roots

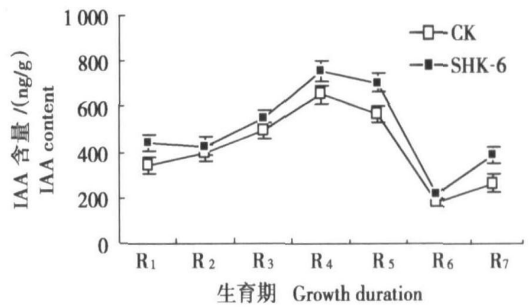


图 8 SHK-6 处理对根中 IAA 含量的影响  
Fig 8 Effect of SHK-6 on IAA content in roots

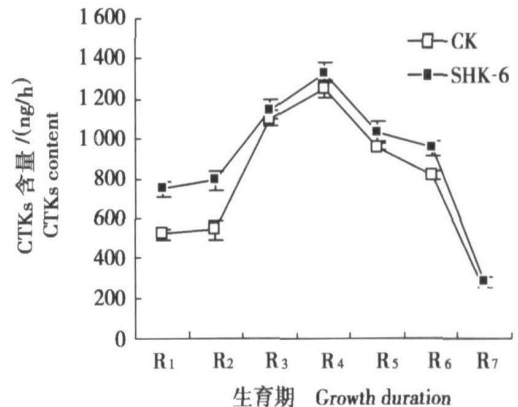


图 9 SHK-6 处理对根系伤流中 CTKs 流量的影响  
Fig 9 Effect of SHK-6 on CTKs content in bleeding sap

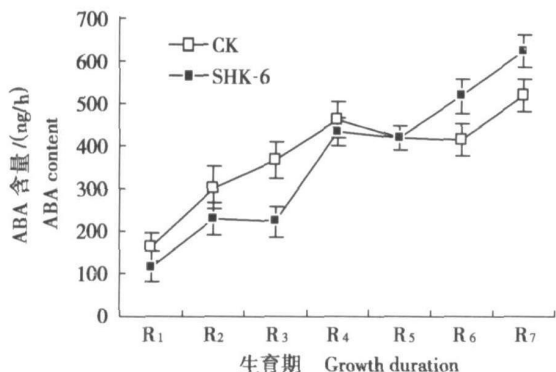


图 10 SHK 6 处理对根系伤流中 ABA 流量的影响

Fig 10 Effect of SHK 6 on ABA content in bleeding sap

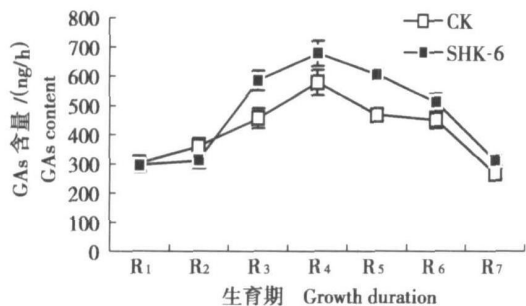


图 11 SHK 6 处理对根系伤流中 GAs 流量的影响

Fig 11 Effect of SHK 6 on GAs content in bleeding sap

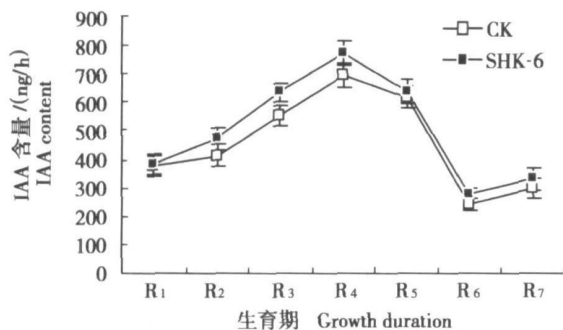


图 12 SHK-6 处理对根系伤流中 IAA 流量的影响

Fig 12 Effect of SHK 6 on IAA content in bleeding sap

### 3 讨论

植物根系的生长对于吸收水分、养分以及储存碳水化合物和生长调节因子的合成极其重要<sup>[29]</sup>。作物自身的正常生长发育是地上部光合作用与地下部根系吸收水分、养分相统一的系统过程,强大的根系势必促进地上部的同化作用<sup>[3]</sup>。已有研究报道,植物生长调节剂可以改善作物根系的生理活性<sup>[14, 15]</sup>。

本试验研究结果表明,SHK-6 处理改善了大豆根系的生理活性,具体表现在根系活力、根系伤流量、伤流中营养元素和激素含量以及根系激素含量均得到显著改善。氮素被大豆根系固定、吸收后,主要以硝态氮和铵态氮的形式向上运输,另一部分被还原同化成氨基酸,随伤流液向上运输<sup>[30]</sup>。SHK-6

处理显著提高了根系伤流中硝态氮、铵态氮和氨基酸流量(表 1),其变化趋势与我们前期的研究一致<sup>[20]</sup>。这表明,SHK-6 促进了氮的吸收和运转。从测定的伤流液中无机离子流量变化趋势看,在各生育时期,SHK-6 处理伤流中测定的无机离子总流量均比对照高(表 2)。在矿质营养元素中,P 是作物生长的必需营养元素,不仅是植物体的组成部分,也是植物体内能量载体的主要组成和提供者,在植物的光合作用、呼吸作用和生理生化调节过程中起着重要作用<sup>[31, 32]</sup>。K 也是作物生长的必需营养元素,其影响植物体内所有的代谢过程,包括光合作用、同化产物运转和分配、能量代谢、水分代谢、氮素代谢等许多方面<sup>[30]</sup>。本试验研究表明,其中 SHK-6 处理根系伤流 P 和 K 流量在整个生育时期(除 R7 期 P 的流量)显著高于对照,这表明 SHK-6 处理提高了植物对养分的利用效率,为获得高产提供了物质基础。同时, Mg 离子是植株进行光合作用所必需的元素<sup>[33]</sup>, Mg 元素在整个生育期内前期吸收多,且吸收高峰经 SHK-6 处理后持续期延长,这对促进叶片光合作用具有重要意义。SHK-6 处理 Mo 元素在整个生育期均高于对照,这对固氮酶、硝酸还原酶活性增加有促进作用,对根系共生固氮、吸收土壤中硝酸盐、还原并转化成大分子的含氮化合物<sup>[34]</sup>,为大豆器官建成及蛋白质积累都有非常重要的作用。

植物激素对矿质营养的吸收与运输的调控,一方面通过影响细胞膜的透性或影响各种组织的主动吸收和分泌能力影响矿质元素的流动;另一方面是影响植物的生长,通过增加或减弱库的调运能力影响矿质营养的吸收与运输<sup>[35]</sup>。SHK-6 处理显著提高了根系中 CTKs 和 IAA 的含量,降低了 ABA 的含量(除 R7 外),这种变化与伤流中的激素流量是一致的。已有研究证明,植株生长发育所需要的 5 大内源激素均可在根系合成,对根系生长、发育和功能起重要的调控作用,且作为信号传递到地上部,调控物质和能量代谢<sup>[14, 15]</sup>。同时,其均可通过木质部向上部运输,因而一定时间内伤流中激素的运输量反映了根系合成、吸收能力的强弱<sup>[36]</sup>。因此,根系伤流中激素变化是反应根系激素动态和根冠联系的重要指标,SHK-6 处理提高了大豆荚期与粒期 GAs, CTKs 和 IAA 的流量,可能与叶源与籽粒库生理活性改善有关,这与我们已报道的 SHK-6 处理可以显著提高是一致的。

因此,本试验研究结果表明,叶面喷施 SHK-6 可以实现大豆根系生理生化功能的改善。

## 参考文献:

- [1] 傅金民. 大豆根系生长及其与产量的关系[J]. 大豆科学, 1987, 6(4): 626– 270.
- [2] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 大豆根系的研究[J]. 东北农业大学学报, 2002, 33(2): 203– 208.
- [3] 董 钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [4] 王晓光, 曹敏建, 王 伟, 等. 钾对大豆根系形态与生理特性的影响[J]. 大豆科学, 2005, 24(2): 126– 130.
- [5] 金 剑, 刘晓光, 王光华, 等. 大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究[J]. 大豆科学, 2004, 23(4): 253– 257.
- [6] 杨守萍, 陈加敏, 何小红, 等. 大豆苗期耐旱性与部分根系性状的遗传[J]. 大豆科学, 2005, 24(4): 275– 280.
- [7] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 无限结荚习性 with 亚有限结荚习性大豆品种根系性状的比较研究[J]. 大豆科学, 2001, 20(3): 231– 234.
- [8] 孙广玉, 张荣华, 黄忠文. 大豆根系在土层中分布特点的研究[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(1): 45– 47.
- [9] De J A GER A. Effects of localized supply of  $H_2PO_4$ ,  $KNO_3$ , Ca and K on the production and distribution of dry matter in young maize plants [J]. Neth J Agric Sci, 1982, 30: 193– 203.
- [10] De JA GER A. Effects of localized supply of  $H_2PO_4$ ,  $KNO_3$ , Ca and K on the concentration of that nutrient in the plant and the rate of uptake by roots in young maize plants in solution culture [J]. Neth J Agric Sci, 1984, 32: 43– 56.
- [11] 陈 伟, 马国瑞, 李春九. 植物激素对离子吸收运输和分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(3): 193– 200.
- [12] Butcher D N, Appleford N E J, Hedden P, *et al.* Plant growth substances in root cultures of *lycopersicon esculentum* [J]. Phytochemistry, 1988, 27: 1575– 1578.
- [13] Koler J, Kozinka V. Physiology of the plant root system [M]. Kluwer Academic Publishers, 1992: 132– 145.
- [14] 田晓莉, 杨培珠, 何钟佩, 等. 棉花根– 冠关系研究—根系伤流液及叶片中内源激素的变化[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(5): 92– 97.
- [15] 董学会, 段留生, 李召虎, 等. 30% 己乙水剂对玉米根系伤流液及其组分的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(3): 587– 591.
- [16] 董志强, 何钟佩, 翟学军. PPC 处理对棉株侧根组织中激素变化动态的影响[J]. 华北农学报, 2000, 15(2): 95– 99.
- [17] 韩建会, 张福墁, 徐淑贞. 日光温室低温室照逆境对黄瓜内源激素水平的影响[J]. 华北农学报, 1999, 14(增刊): 76– 78.
- [18] 韩田夫, 马凤鸣, 马秀峰, 等. ABT 生根粉对大豆内源激素含量和农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 1994, 13(2): 121– 124.
- [19] 齐志广, 赵俊霞. 油菜素内酯对大豆苗期生长及硝酸还原酶活性的影响[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 1999, 23(2): 271– 273.
- [20] 张明才, 何钟佩, 李召虎, 等. 新型植物生长调节剂 SHK-6 对大豆产量与蛋白品质的化学调控[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(1): 26– 30.
- [21] 张明才, 何钟佩, 李召虎, 等. SHK-6 对干旱胁迫下大豆叶片生理功能的作用[J]. 作物学报, 2005, 31(9): 1215– 1220.
- [22] 张明才, 何钟佩, 段留生, 等. 北农化控 6 号对大豆根瘤和叶片蛋白含量的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 20(6): 1225– 1228.
- [23] 张明才, 何钟佩, 李召虎, 等. 植物生长调节剂 BR 和 SHK-6 对大豆生物产量和根瘤固氮活性的激素调控研究[J]. 大豆科学, 2004, 23(2): 96– 100.
- [24] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 32– 35.
- [25] 白宝璋, 汤学军. 植物生理学测试技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 103.
- [26] Gatalb D A, Harsoon M, Schrader L E. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue [J]. Commun Soil Sci and Plant Anal, 1975, 1: 47– 49.
- [27] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 120– 123.
- [28] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 60– 68.
- [29] 贾彦博, 杨肖峨, 刘建祥. 植物根系对养分缺乏和毒害的适应及其与养分吸收效率的关系[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 610– 616.
- [30] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants [M]. 2<sup>nd</sup> Edition. London: Academic press, 1995.
- [31] Abelson P H. A potential phosphate crisis [J]. Science, 1999, 283: 2015– 2021.
- [32] 郭再华, 贺立源, 徐才国. 低磷胁迫时植物根系的形态学变化[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 760– 764.
- [33] 王 丽, 戚金亮, 黄勤妮, 等. 镁素营养研究进展[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2004, 25(2): 46– 51.
- [34] 吴明才, 肖昌珍. 大豆钼素研究[J]. 大豆科学, 1994, 13(3): 245– 251.
- [35] 曹宗巽. 植物生长调节物质概论[M]// 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学. 北京: 科技出版社, 1999: 421– 425.
- [36] 董志强, 何钟佩, 翟学军. DPC 处理对转 Bt 基因棉伤流中激素运输量的动态影响[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(增刊): 44– 47.