

不同时期喷施 SHK-6 对大豆光合生理及产量、品质形成效应的研究^{*}

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 以垦农 5 号为试验材料, 在大田条件下, 研究在大豆不同生育时期, 叶面喷施新型植物生长调节剂 SHK-6 对大豆产量和品质形成及其光合生理的调控。经两年试验, 结果表明: SHK-6 可以, 1 提高单株结荚数、粒数和粒重, 实现产量显著提高, 产量增加了 8.1%~9.3%; 2 降低株高, 提高了植株的生物量; 3 显著改善了叶片光合生理功能, 如提高了叶片光合速率、叶绿素含量和 PS II 光化学效率, 明显改善了 RuBPCase、PEP 羧化酶和蔗糖磷酸合成酶的活性; 4 SHK-6 在大豆上使用的最佳时期为 R₁ 期。

关键词 植物生长调节剂 SHK-6; 大豆; 光合作用

中图分类号 S 565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2006)04-0399-05

有目标地调节植物内源激素系统的化学调控技术, 是保障品种优良遗传性状和抗逆潜能充分发挥的新技术资源^[1]。应用化控技术解决大豆生产问题的实例很多, 如多效唑^[2]和烯效唑^[3]抗倒伏增产, ABT 生根粉^[4]促根增产等。但在生产中施用存在残留多, 成本高, 使用不便等问题。中国农业大学作物化控研究中心研制了低毒、低残留、高效和安全的新型植物生长调节剂 80% 胺羧酯。甲哌可溶性粉剂(农药登记证号为 LS20041457, 本文用名为 SHK-6, 有效成分为甲哌啶和已酸二乙氨基乙醇酯, 二者的比例为 1:5), 已商品化生产使用。具有抗倒、提高产量和蛋白质品质的作用^[5], 而且还能促进根系的结瘤和固氮能力^[6,7]。本文是以垦农 5 号为试验材料, 利用植物生长调节剂 SHK-6 为调控手段, 研究 SHK-6 在不同时期施用对大豆株型、产量和品质的调节作用, 以及产量和品质形成的生理基础, 探明 SHK-6 最佳施用时期, 为其在大豆生产中应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2003~2004 年在中国农业大学科学园进行。试验地为轻壤土, 肥力中等。供试品种为垦农 5 号(黑龙江八一农垦大学)。2003 年试验于 4 月 20 日播种, 于 7 月 31 日收获, 2004 年试验于 5 月 8 日播种, 于 8 月 20 日收获。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。

调节剂 SHK-6 施用方法为叶面喷施, 施用时期分别为 V₃、R₁、R₃ 和 R₅ (生育期的划分参见文献^[8]), SHK-6 使用剂量为 75 g·hm⁻², 水 450 kg/hm²。以叶面喷施清水为对照。处理后定期对植株进行生物学性状观察与测定, 花荚期每天观测开花结荚情况, 收获后随机取 20 株室内考种。

1.2 样品采集

1.2.1 生物量的测定 按小区取样, 随机取 15 株, 将其地上部和地下部分开烘干称重。

1.2.2 叶片取样方式 叶片标记是在喷药当天进行, 标记未展开叶。每次取样均取标记叶片, 取样时间为上午 9:30。各个处理取 5 片叶片, 放置在低

* 收稿日期: 2006-03-09

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

作者简介: 张明才(1975-), 男, 讲师, 主要从事大豆化学控制研究。

通讯作者: 李召虎教授, 博士生导师。

温冰壶内,迅速带回试验室,用湿蒸馏水纱布擦去尘土,在液氮速冻后,保存在低温冰箱中,待测。

1.2.3 产量构成因素 每小区选取2个5 m²进行测产,随机取20株进行产量构成因素调查。

1.3 试验方法

群体叶面积指数(LAI)用叶面积测定仪(LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, LI-COR),在株间取8个点测定求其平均值。光合速率的测定使用L-6400型光合作用测定系统,测定时叶室CO₂浓度330~360 μL·L⁻¹,光强1200 μmol·m⁻²·s⁻¹,温度(34±3)℃,湿度在60%±5%。叶绿素荧光的测定用FMS2型便携式荧光仪(英国Hansatech公司),测定标记叶PS II光化学效率F_v/F_m 参见文献^[9];叶绿素的测定用叶绿素计(Minolta SPAD-502, Japan)测定标记叶片的叶绿素计读数,每个叶片取8个测定点的平均值^[10]。RuBPCase和PEP羧化酶酶活性测定分别见参考文献^[11,12];蔗糖磷酸合成酶(SPS)的测定参见Huber的方法^[13]。

表1 SHK-6在不同生育期对大豆产量和品质的影响

Table1 Effect of SHK-6 on the yield and quality of soybean in different growth duration

处理 Treatment	荚数 Pot number (No. ° plant ⁻¹)	粒数 Grain number (No. ° plant ⁻¹)	粒重 Grain yield (g ° plant ⁻¹)	产量 Yield (kg, hm ⁻²)	蛋白质 Protein (mg/g)	脂肪 Crude fat (%)
CK	22 b	51 b	8.45 c	3334 c	38.30 a	22.96 a
V ₃	23 ab	54 ab	8.55 b	3404 b	38.44 a	22.87 a
R ₁	26 a	58 a	8.95 a	3665 a	38.43 a	22.96 a
R ₃	25 ab	55 ab	8.81 a	3635 a	38.41 a	22.85 a
R ₅	25 ab	54 ab	8.68 ab	3575 ab	38.42 a	22.81 a

表2 SHK-6在不同生育期对高油大豆株高与生物量的影响

Table2 Effect of SHK-6 on the height and biomass of soybean in different growth duration

处理 Treatment	株高 Height (cm)	根重 Root weight (g ° DW ° plant ⁻¹)	茎重 Shoots weight (g ° DW ° plant ⁻¹)
CK	50.90 a	0.86 b	2.15 b
V ₃	50.57 a	0.95 ab	2.41 ab
R ₁	48.73 ab	1.02 a	2.74 a
R ₃	48.57 ab	0.95 a	2.62 a
R ₅	46.45 b	0.94 ab	2.41 ab

SHK-6处理降低了株高,但处理与对照间差异未达到显著水平,降低的株高一般是显著缩短处理后1~4节间长度(数据未列)同时提高了根和茎的干重,其中在R₁期使用,处理与对照间差异达到了显著水平。

2.2 SHK-6对大豆叶片光合生理的调控

2.2.1 群体叶面积指数的变化

本文中生理测定的数据为2004年,其余数据均为2003~2004年的平均数。数据显著分析通过SAS分析。

2 结果与分析

2.1 SHK-6对大豆产量和植株性状的调控

在不同生育期SHK-6处理显著提高了产量,产量增加了8.1%~9.3%(表1)。SHK-6各处理间产量差异未达到显著,但在R₁期使用产量最高,其次为R₃期使用。从产量构成因素分析,SHK-6处理通过提高单株结荚数、粒数和粒重来实现产量的提高。从籽粒蛋白质和脂肪含量上分析,SHK-6处理对籽粒蛋白质和脂肪含量影响较小,处理与对照比较差异未达到显著。但SHK-6处理对蛋白质的积累具有促进作用,对脂肪的积累有抑制作用。

大豆整个生育期内群体叶面积指数呈单峰曲线变化,对照的峰值出现在R₂期,而SHK-6处理不改变群体叶面积指数的单峰趋势,其中SHK-6在R₁期处理峰值出现在R₃期,其他均出现在R₂期(见表3)。此外,在不同生育期施用SHK-6,群体叶面积指数有较大变化,其中在R₁时期处理LAI大于5.0持续时间明显长于对照,而其他时期处理

LAI 的变化与对照比较差异不显著。

2. 2. 2 叶片光合功能指标的变化

表 3 SHK—6 在不同生育期处理对大豆群体叶面积 LAI 的影响
Table 3 Effect of SHK—6 on the population LAI of soybean in different growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
V ₄	3. 57±0. 27	3. 28±0. 11	3. 55±0. 53	3. 51±0. 20	3. 50±0. 42
R ₁	5. 13±0. 30	5. 20±0. 70	5. 16±0. 43	5. 10±0. 42	5. 11±0. 38
R ₂	5. 46±0. 62	5. 57±0. 48	5. 31±0. 18	5. 44±0. 40	5. 45±0. 30
R ₃	5. 30±0. 20	5. 45±0. 33	5. 75±0. 56	5. 28±0. 32	5. 23±0. 31
R ₄	5. 18±0. 33	5. 21±0. 50	5. 31±0. 28	5. 23±0. 42	5. 15±0. 56
R ₅	4. 58±0. 43	4. 81±0. 35	5. 05±0. 28	4. 78±0. 37	4. 64±0. 72
R ₆	3. 14±0. 47	3. 22±0. 33	4. 23±0. 27	4. 22±0. 76	4. 29±0. 68

表 4 SHK—6 在不同生育期处理对大豆光合速率的影响 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Table 4 Effect of SHK—6 on the photosynthetic rate of soybean in different growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
R ₂	18. 73±3. 05	19. 33±2. 75	21. 37±3. 02	19. 45±1. 74	18. 83±2. 91
R ₃	25. 42±3. 92	26. 10±4. 47	31. 27±2. 16	25. 27±4. 35	25. 37±4. 68
R ₄	21. 83±3. 58	22. 38±4. 63	28. 57±2. 26	25. 40±3. 90	21. 52±3. 09
R ₆	15. 92±3. 87	16. 87±1. 71	17. 42±3. 32	18. 08±4. 21	17. 28±4. 48

表 5 SHK—6 在不同生育期处理对大豆叶绿素的影响 (SPADR)
Table 5 Effect of SHK—6 on the chlorophyll content in different growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
R ₂	40. 20±2. 00	39. 60±1. 56	40. 35±1. 85	43. 17±1. 92	42. 18±2. 38
R ₃	49. 62±2. 62	50. 33±1. 12	50. 73±2. 48	50. 08±2. 35	49. 57±1. 26
R ₄	46. 62±1. 20	48. 62±2. 18	49. 35±1. 40	48. 87±0. 46	47. 28±2. 03
R ₆	43. 47±2. 39	43. 20±4. 64	45. 22±4. 47	45. 50±4. 53	45. 18±2. 83

在不同时期施用 SHK—6 均提高了大豆叶片光合速率, 但 SHK—6 处理不改变光合速率的单峰变化趋势, 即光合速率的变化峰值出现在 R₃ 期(见表 4)。在试验中发现, SHK—6 处理在 R₁ 期对提高叶片光合速率的效果最好, 其次为 R₃ 期。在不

同时期施用 SHK—6 提高了叶片叶绿素含量, 但不改变叶绿素的单峰变化趋势, 峰值出现在 R₃ 期, 而且叶绿素含量变化与光合速率变化的趋势一致(见表 5)。其中 SHK—6 处理在 R₁ 期用药叶片叶绿素含量最高, 其次为 R₃ 期。

表 6 SHK—6 在不同生育期处理对大豆 PS II 光化学效率的影响 (%)
Table 6 Effect of SHK—6 on the Fv/Fm of soybean in different leaf growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
R ₂	78. 97±1. 17	79. 77±0. 90	79. 60±0. 70	79. 92±0. 69	79. 42±0. 46
R ₃	84. 68±0. 31	84. 82±0. 12	85. 08±0. 16	84. 90±0. 20	84. 75±0. 22
R ₄	83. 78±0. 89	83. 85±1. 01	84. 55±0. 52	84. 60±0. 49	84. 45±0. 36
R ₆	75. 08±2. 40	75. 52±3. 01	77. 70±2. 00	77. 18±1. 23	77. 95±3. 21

在整个生育期内, Fv/Fm 的变化呈现单峰曲线, 峰值出现在 R₃ 期, 而 SHK—6 处理不改变这一变化趋势(见表 6)。在不同生育期, SHK—6 处理能不同程度地改善叶片的 PS II 光化学效率。以在 R₁ 期施用, 比对照提高的较为明显。

2. 2. 3 光合酶活性的变化

在整个生育期内, RuBPCase 和 PEP 羧化酶的

活性呈单峰曲线变化, 峰值出现在 R₃ 期, SHK—6 处理不改变这一变化趋势(如表 7)。这一结果与叶绿素含量和光合速率变化基本一致。SHK—6 处理提高了叶片 RuBPCase 和 PEP 羧化酶的活性, 通过比较发现, SHK—6 处理在 R₁ 期用药效果最为理想。

蔗糖磷酸合成酶(SPS)在整个生育期内呈单峰

变化的趋势,峰值仍出现在 R₃ 期,SHK-6 处理也未改变这一变化趋势(表 9)。SHK-6 处理均提高

了叶片 SPS 的活性,通过比较发现,SHK-6 处理在 R₁ 期用药效果最为明显。

表 7 SHK-6 在不同生育期处理对大豆 RuBP 羧化酶的影响 ($\mu\text{molCO}_2\text{ mg}^{-1}\text{pro h}^{-1}$)

Table7 Effect of SHK-6 on the activity of RuBPCase in different growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
R ₂	20.23±1.13	26.79±1.36	31.98±1.06	20.16±2.13	20.97±1.67
R ₃	29.61±1.56	30.01±2.01	33.62±2.81	31.10±1.56	30.21±2.41
R ₄	23.46±2.63	23.89±1.63	25.15±1.13	28.12±2.21	23.64±1.62
R ₆	17.41±1.92	18.79±1.36	20.13±2.11	22.23±1.25	23.19±1.42

表 8 SHK-6 在不同生育期处理对 PEP 羧化酶的影响 ($\mu\text{molCO}_2\text{ mg}^{-1}\text{pro h}^{-1}$)

Table 8 Effect of SHK-6 on the activity of PEPCase in different growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
R ₂	2.95±0.11	3.01±0.09	3.19±0.11	4.02±0.21	3.01±0.04
R ₃	5.21±0.31	5.34±0.46	5.65±0.16	5.26±0.29	5.24±0.39
R ₄	3.61±0.21	3.87±0.21	4.04±0.19	4.23±0.61	3.63±0.06
R ₆	3.41±0.06	3.47±0.12	3.52±0.01	3.61±0.36	3.72±0.06

表 9 SHK-6 在不同生育期处理对大豆蔗糖磷酸合成酶(SPS)的影响 ($\text{mg 蔗糖 g}^{-1}\text{FW min}^{-1}$)

Table 9 Effect of SHK-6 on the activity of SPS in different growth duration

生育期 Growth duration	CK	V ₃	R ₁	R ₃	R ₅
R ₂	1.31±0.06	1.34±0.06	1.51±0.03	1.33±0.07	1.32±0.08
R ₃	3.02±0.11	3.46±0.16	3.52±0.23	3.14±0.21	3.09±0.19
R ₄	1.86±0.12	1.85±0.21	1.99±0.07	1.96±0.07	1.87±0.06
R ₆	1.36±0.06	1.42±0.06	1.54±0.05	1.56±0.06	1.52±0.13

3 讨论

SHK-6 是利用调节剂间的复合效应,由 DTA-6(己酸二乙氨基乙醇酯,Diethyl aminoethyl hexanoate)与甲哌噻(1,1-二甲基哌啶噻氯化物,Mepiquat chloride)复配而成的大豆专用型植物生长调节剂。其中甲哌噻可以提高叶片的光合性能,如在棉花上应用提高光合强度的有效期为 30 d,可使叶绿素含量、叶绿素 a、b 含量及 a/b 值维持较高的水平,促进光合产物的输出^[14,15]。己酸二乙氨基乙醇酯(DTA-6)在很多作物和园艺植物上具有促进生长、提高产量和改善果实品质的作用^[16,17]。同时能促进根系发育、类胡萝卜素合成、叶面积扩大,增加叶绿体体积,提高 CO₂ 同化能力^[18]。SHK-6 的功能综合了促进光合、加强代谢转化和协调两类生长等特点,解决了单一调节剂不能达到的复合效果。

已有研究表明,SHK-6 处理可以实现大豆抗倒、产量与蛋白质的协同提高^[5,7]。同时,SHK-6 处理显著改善了大豆植株的氮素代谢^[6],本文研究结果表明,对叶片的光合生理也有明显的调控效果。但是新型植物生长调节剂 SHK-6 的应用技术和生产效果研究需加强。本文通过两年大田试验研究表明,SHK-6 在不同生育期施用均可以实现产量的增加,这一结果与我们前期报道的结果一致^[5]。

本研究选择大豆生育期为 V₃、R₁、R₃ 和 R₅,研究 SHK-6 对形态器官和生殖器官建成及其形成的光合生理的效应,证为 SHK-6 在大豆上使用的最佳时期为 R₁ 期。由于试验所选择的品种仅为垦农 5 号(黑龙江八一农垦大学),代表性具有一定的局限。因此,SHK-6 的进一步研究需加大品种多样化。

参 考 文 献

1 何钟佩,李丕民,王保民,等.加强农作物生育信息调控研究,建立

- 高产与低风险最佳结合的技术体系[J]. 中国农业科技导报, 2000, 2(3): 58—61.
- 2 王化源. 多效唑在我国大豆栽培上应用近况与前景[J]. 大豆科学, 1992, 11(2): 173—177.
- 3 滕康开, 蔡世飏, 王五洲. 大豆喷施烯效唑的生物学效应及增产作用[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(5): 694—696.
- 4 韩天富, 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.
- 5 张明才, 何钟佩, 田晓莉, 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.
- 6 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.
- 7 张明才, 何钟佩, 田晓莉, 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.
- 8 Fehr WR, Caviness CE, Burmood DT, et al. Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* (L.) Merrill [J]. Crop Science, 1971, 34: 1143—1151.
- 9 Genty B, Briantais JM, Baker NR. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 990: 87—92.
- 10 Turner FT, Jund MF. Chlorophyll meter to predict nitrogen top-dress requirement for semidwarf rice[J]. Agron. J., 1991, 83: 926—928.
- 11 Sawada S, Usuda H, Hasegawa Y, et al. Regulation of Rubisco activity in response to changes of the source/sink balance in single-rooted soybean leaves [J]. Plant Cell Physiol., 1990, 31: 697—704.
- 12 Gonzalez MC, Osuna L, Echevarria C, et al. Expression and localization of phosphoenolpyruvate carboxylase in developing and germinating wheat grains [J]. Plant Physiol., 1998, 116: 1249—1258.
- 13 Huber S C. Role of sucrose phosphate synthetase in partition of carbon in levels [J]. Plant Physiol., 1983, 71: 818—821.
- 14 金子渔, 何钟佩. 应用同位素示踪研究 DPC 在棉花上的生理反应[J]. 北京农业大学学报, 1984, 10(3): 245—254.
- 15 何钟佩, 宋绍省, 李丕明. 植物生长延缓剂 DPC 对棉叶生理功能的调节作用[J]. 北京农业大学学报, 1991, 17(增刊): 21—26.
- 16 张明才, 何钟佩, 田晓莉, 等. 植物生长调节剂 DTA—6 在花生产量、品质及其根系生理调控研究[J]. 农药学学报, 2003, 5(4): 47—52.
- 17 张明才, 何钟佩, 王玉琼, 等. 植物生长调节剂 DTA—6 在甜豌豆上的应用效果[J]. 农药学学报, 2001, 3(4): 53—58.
- 18 Yokoyama H, Debenedict C, Hsu W J, et al. Bioregulation of lipid and protein synthesis in soybean by 2-diethylaminoethyl-3, 4-dichlorophenylether [J]. Bio/technology., 1984, 2: 712—714.

STUDY ON PLANT GROWTH REGULATOR SHK—6 ON SOYBEAN YIELD AND PROTEIN QUALITY AND ITS PHOTOSYNTHESIS IN DIFFERENT GROWTH DURATION

Zhang Mingcai Zhai Zhixi He Zhongpei Li Zhaochu

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

Abstract Field experiments were conducted in 2003 to 2004 at the Research Center 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 yield and quality of Soybean (*Glycine max* L.), cv. Kennong 5. SHK—6 was foliar applied in V₃, R₁, R₃ and R₅ stage at 100 mg · L⁻¹, with water as control. The results showed: 1) SHK—6 treatment increased the number of pods and seeds per plant and the weight of seeds per plant, and significantly increased 8.1% to 9.3% seed yield than control; 2) SHK—6 treatments decreased the heights, and promoted the accumulation of biomass; 3) SHK—6 significantly increased the leaf physiology, such as photosynthetic rate, chlorophyll content, the photochemistry efficiency were increased by SHK—6, and the activities of RuBPCase, PEPCase and SPS were improved; 4) The R₁ stage was the optimal time to spraying SHK—6 on soybean.

Key words Plant growth regulator; SHK—6; Soybean; Photosynthesis