

植物生长调节剂 Cabrio 和 Opera 对大豆生长以及产量的影响

张 锴¹, 王 宇¹, 李 凯¹, 王成坤¹, 赵 琳¹, 马 娜¹, 智海剑¹, 王宗标²

(1. 南京农业大学 国家大豆改良中心/作物遗传与种质创新国家重点实验室, 江苏 南京 210095; 2. 徐州农业科学研究所, 江苏 徐州 221000)

摘要: Cabrio 和 Opera 是新型广谱杀菌剂, 也是具有一定生物活性的植物生长调节剂。采用 Cabrio 和 Opera 喷洒处理大豆, 研究了它们对大豆主要生理生化过程以及产量的影响。结果表明: 喷施 Cabrio 和 Opera 可使大豆植株过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性显著增加; 根瘤重分别比对照增加 56.3% 和 57.6%; 每荚粒数分别增加 14.3% 和 13.6%; 百粒重分别增加 5.28% 和 5.42%; 产量分别增加 10.64% 和 7.85%; 中黄 13 的籽粒霉变率分别下降 5.07% 和 3.87%, 而南农 99-6 的籽粒霉变率分别下降 1.00% 和 0.87%。但部分性状如株高、根长、内源激素(生长素, 赤霉素, 细胞分裂素, 脱落酸)含量、光合速率和蒸腾速率等虽有一定变化, 但与对照没有显著差异。

关键词: 植物生长调节剂; 大豆; 防御酶; 激素; 光合速率; 产量

中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9841(2013)03-0371-05

Physiological Effects of the Cabrio and Opera on the Soybean Productivity

ZHANG Kai¹, WANG Yu¹, LI Kai¹, WANG Cheng-kun¹, ZHAO Lin¹, MA Na¹, ZHI Hai-jian¹, WANG Zong-biao²

(1. National Center for Soybean Improvement of Nanjing Agricultural University/National Key Laboratory for Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing 210095, China; 2. Xuzhou Institute of Agricultural Sciences, Xuzhou 221000, China)

Abstract: Cabrio and Opera are new broadspectrum Fungicides and plant growth regulators. They can reduce the growth of bacteria and regulate the physiological activity of plants. But their affections on soybean have not been reported. The purpose of the experiment was to investigate the growth, yield and physiological effects on different soybean cultivars after Cabrio and Opera treatment. The result showed that after treated with the Fungicides, the activity of peroxidase(POD) and catalase(CAT) significantly increased, the weight of nodules increased 56.3% and 57.6%, the number of pods increased 14.3% and 13.6%, 100-seed weight increased 5.28% and 5.42%, yield increased 10.64% and 7.85%, respectively, with the rate of moldy seeds decreased 5.07% and 3.87% in Zhonghuang13 and 1.00% and 0.87% in Nannong99-6. But there were insignificant difference between treated cultivars and CK in other traits such as plant height, root length, the content of auxin, gibberellin, cytokinin and abscisic acid. In brief, Cabrio and Opera could promote growth and increase yield of soybean.

Key words: Plant growth regulators; Soybean (*Glycine max*); Defense enzymes; Hormones; Photosynthetic rate; Yield

Cabrio(吡唑醚菌酯, 商品名: 凯润)和 Opera(吡唑醚菌酯+氟环唑)是德国巴斯夫公司研发的新型广谱杀菌剂, 吡唑醚菌酯为线粒体呼吸抑制剂, 可阻断呼吸链中电子向复合体 III 的传递, 抑制 ATP 的产生, 使线粒体不能产生细胞正常代谢所需能量, 最终导致细胞死亡^[1], 这对真菌孢子和寄生性病原物有很强的抑制作用。国外许多试验证明, Cabrio 和 Opera 对作物具有防病保健增产功效^[2]: Bryson 等^[3]证明, 醚菌酯可以增加冬小麦的产量; Köhler 等^[4]和 Bertelsen 等^[5]分别在烟草和小麦中证明施用 Cabrio 可以延迟叶片的衰老, 增强光合效率, 降低 ACC 合酶的活性及乙烯的生物合成, 增强抗氧化酶类的活性, 最终引起产量的增加; Stefan 等^[6]研究表明, Cabrio 可以增加烟草花叶病毒(TMV)诱导的 PR-1 基因的表达, 增强植株对 TMV 的抗性。因此, Cabrio 和 Opera 对于作物的保健作用

越来越被人们重视。而它们对大豆生长发育及其产量的影响鲜有报道。现采用 Cabrio 和 Opera 处理大豆, 研究它们对大豆有关生理生化指标及产量构成因子的影响, 为其在大豆生产上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2009~2010 年在南京农业大学江浦试验站进行。试验地土壤肥力中等, 常规田间管理。供试药剂为 Cabrio(25% EC)和 Opera(18.3% SC), 供试大豆材料为南农 99-6 和中黄 13。试验采用二因素裂区设计, 主区为药剂, Cabrio、Opera 和清水(对照)3 个水平, 裂区为品种, 南农 99-6 和中黄 13 两个水平。3 次重复, 裂区面积 40 m²。在大豆结荚初期(R3 期)叶面喷药处理, Cabrio 和 Opera 用药量

收稿日期: 2013-01-13

基金项目: 国家自然科学基金(31171574); 大豆产业技术体系(CARS-004); 抗病虫转基因大豆新品种培育(2008ZX08004-004); 南京农业大学青年科技创新基金(KJ2010002)。

第一作者简介: 张锴(1987-), 男, 博士, 主要从事大豆抗病遗传育种研究。E-mail: 2011201008@njau.edu.cn。

通讯作者: 智海剑(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事大豆抗病遗传育种研究。E-mail: zhj@njau.edu.cn。

王宗标(1955-), 男, 副研究员, 主要从事大豆育种与栽培研究。E-mail: wzbiaoxz@163.com。

分别为400和750 mL·hm⁻²,均加675 L·hm⁻²清水混匀,优质细雾喷头均匀喷洒。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 形态指标和叶绿素含量的测定 在R5期每小区随机取10株测定株高、根长、分枝数、叶片数、地上部和地下部分干重、根瘤数和根瘤重等形态性状,并取其根瘤测定豆血红蛋白含量^[7]。叶绿素含量于喷药后1,3,7,14,21 d用CCM-200型叶绿素仪在田间进行测定,测量时每小区随机取10株对其功能叶进行测定。

1.2.2 抗氧化酶活性和激素含量的测定 过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、多酚氧化酶(PPO)和硝酸还原酶(NR)以及超氧化物歧化酶(SOD)活性、植物生长素(IAA)、脱落酸(ABA)、细胞分裂素(Cytokinins)和赤霉素(GA)的含量在喷药后1,3,7 d检测,抗氧化酶和激素测定所用试剂盒分别购买于南京建成生物技术公司和美国R&D Systems公司^[8]。

1.2.3 植株光利用效率和光合速率的测定 于喷药后15 d用英国Hansatech公司FMS-2型荧光仪测定光捕捉效率。在R5期用美国LI-COR公司Li-6400型光合仪测定光合速率、蒸腾速率、胞间CO₂浓

度和气孔导度。

1.2.4 产量指标和籽粒蛋白质、油份含量的测定 成熟后每小区取10株考种,测定每株荚数、每荚粒数和百粒重等指标。每小区收获40 m²脱粒干燥后计产。籽粒蛋白质和油份含量在籽粒充分干燥后用FOSS INFRATECTM 1241 Grain Analyzer近红外谷物分析仪进行测定。

1.3 数据分析

数据经Excel 2007处理后,应用SAS 9.2统计软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 Cabrio 和 Opera 对大豆形态指标的影响

施用Cabrio和Opera后,大豆的根长、分枝数、叶片数、地上部和地下部干重以及豆血红蛋白含量与对照没有显著差别,并且药剂对以上指标的影响在2个品种间也没有显著差别;根瘤数和根瘤重比对照显著增加,并且南农99-6的增幅显著大于中黄13(表1)。虽然豆血红蛋白的含量没有增加,但施用Cabrio和Opera后,根瘤数量和重量显著增加,从而增加豆血红蛋白总量,进而增加了氮的固定量,这对于植株生长以及产量的增加有十分重要的作用。

表1 Cabrio 和 Opera 对大豆形态指标的影响

Table 1 Effect of Cabrio and Opera on morphological index of soybean

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高 Plant height /cm	根长 Root length /cm	分枝数 Branch number	叶片数 Number of leaves	地下部干重 Weight of underground /g	地上部干重 Weight of shoot /g	根瘤数 Number of nodule	根瘤重 Weight of nodule/g	豆血红蛋白 含量 Leghemoglobin content/OD ₅₄₀
南农99-6	CK	95.03	28.69	2.20	65.20	19.21	73.55	75.00 a	1.19 a	0.79
Nannong 99-6	Cabrio	93.47	30.19	2.37	64.20	27.62	67.50	126.70 b	2.01 b	0.79
	Opera	92.28	29.99	2.25	65.87	26.67	70.53	130.20 b	1.60 b	0.80
中黄13	CK	33.15	22.90	3.07	30.40	11.46	18.00	23.90 a	0.55 a	0.82
Zhonghuang 13	Cabrio	32.90	23.75	3.37	31.87	19.05	17.75	27.90 b	0.72 b	0.82
	Opera	32.84	24.15	3.38	33.27	17.58	17.28	25.70 b	0.63 b	0.83

同列数值标以不同字母者差异显著,下同。

Values within a column followed by different lowercase letters are significantly different at 0.05 probability level, the same below.

2.2 Cabrio 和 Opera 对大豆叶绿素含量的影响

由表2可知,施用Cabrio和Opera后大豆叶绿

素含量与对照没有显著差别,而品种间叶绿素含量存在显著差异,这可能是品种本身特点所致。

表2 施用 Cabrio 和 Opera 后大豆功能叶叶绿素含量平均数

Table 2 Effect of Cabrio and Opera on chlorophyll content of soybean

品种 Cultivar	处理 Treatment	喷药后天数 Days past treatment/d				
		1	3	7	14	21
南农99-6	CK	16.22	19.04	19.32	19.83	19.32
Nannong 号99-6	Cabrio	17.31	19.89	21.56	21.12	21.99
	Opera	16.50	20.25	20.14	20.66	22.51
中黄13	CK	17.02	17.98	18.13	18.80	19.73
Zhonghuang 13	Cabrio	17.12	19.50	19.88	21.99	22.24
	Opera	16.29	20.77	21.62	21.33	22.14

2.3 Cabrio 和 Opera 对大豆部分酶活性的影响

由表 3 可以看出, Cabrio 和 Opera 处理后第 1 天, CAT 的活性与对照无显著差别, 之后 CAT 活性开始增加, 且处理的增加幅度显著大于对照, Opera 处理的增幅高于 Cabrio。处理后第 7 天, 各处理的 CAT 活性与对照相同。POD 活性在第 3 天和第 7 天

比对照有显著增加。且施用 Cabrio 比 Opera 的增幅更大。CAT 和 POD 作为植株体内清除活性氧的关键酶, 可以清除大豆体内的活性氧, 使细胞免于受到活性氧损伤, 其活性升高意味着植株对体内活性氧的清除能力升高, 有利于植株生长。

表 3 施用 Cabrio 和 Opera 后大豆过氧化氢酶 (CAT), 过氧化物酶 (POD), 多酚氧化酶 (PPO), 硝酸还原酶 (NR) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的变化

Table 3 Effect of Cabrio and Opera on the CAT, POD, PPO, NR and SOD activity of soybean

品种 Cultivar	处理 Treatment	CAT 活性			POD 活性			PPO 活性			NR 活性			SOD 活性		
		CAT activity/ $U \cdot g^{-1}FW$			POD activity/ $U \cdot g^{-1}FW$			activity/ $U \cdot g^{-1}FW$			NR activity/ $U \cdot g^{-1}FW$			SOD activity/ $U \cdot g^{-1}FW$		
		1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
中黄 13	CK	21.68	45.10 a	60.94	430.17	366.23 a	404.00 a	24.40	32.45	36.17	0.63	0.53	0.51	213.87	548.67	603.73
Zhonghuang 13	Cabrio	27.09	54.20 b	65.05	449.23	395.30 b	427.20 b	28.76	39.23	37.17	0.66	0.67	0.83	238.13	659.43	622.40
	Opera	31.32	55.81 b	64.01	434.60	402.40 b	423.57 b	26.50	35.76	28.83	0.63	0.67	0.70	243.37	636.47	595.13
南农 99-6	CK	17.42	32.52 a	81.00	443.52	338.55 a	323.32 a	45.17	40.17	47.00	0.30	0.41	0.42	562.89	505.10	420.33
Nannong 99-6	Cabrio	18.07	87.32 b	76.18	444.63	365.56 b	339.26 b	30.50	47.33	54.00	0.38	0.43	0.53	522.02	635.23	586.80
	Opera	22.88	93.95 b	60.52	445.93	349.82 b	331.48 b	29.17	42.17	49.00	0.39	0.42	0.50	522.02	627.67	505.83

1, 3, 7 分别表示喷药后第 1, 3, 7 天。

1, 3, 7 means 1, 3, 7 days after treatment.

多酚氧化酶 (PPO) 可以通过催化木质素及醌类化合物形成, 构成保护性屏蔽而使细胞免受病菌的侵害, 也可以通过形成醌类物质直接发挥抗病作用^[9]。施用 Cabrio 和 Opera 后 PPO 活性在第 3 天和第 7 天较对照有所增加, 说明 2 种药剂对 PPO 活性增加有一定促进作用。

硝酸还原酶 (NR) 可催化硝酸离子还原成亚硝酸离子的反应, 是植物体内固氮的关键酶^[10]。由表 3 可以看出, 施用 Cabrio 和 Opera 后, NR 活性有一

定幅度的增加, 但没有达到显著水平。

超氧化物歧化酶 (SOD) 也是清除植株体内活性氧的酶。由表 3 可以看出, 与对照相比施用 Cabrio 和 Opera 后大豆体内 SOD 活性第 3 天和第 7 天都有增加的趋势, 但没有达到显著水平。

2.4 Cabrio 和 Opera 对大豆内源激素的影响

Cabrio 和 Opera 处理后的 4 种大豆内源激素水平与对照没有显著差异, 两种药剂对以上指标的影响在两品种间也没有显著差别 (表 4)。

表 4 Cabrio 和 Opera 大豆内源激素含量 (OD_{410} 值) 的变化

Table 4 Effect of Cabrio and Opera on endogenous hormones content of soybean

激素类型 Hormone	施药后 1 天 1 Day after treatment						施药后 3 天 3 Days after treatment					
	中黄 13 Zhonghuang 13			南农 99-6 Nannong 99-6			中黄 13 Zhonghuang 13			南农 99-6 Nannong 99-6		
	CK	Cabrio	Opera	CK	Cabrio	Opera	CK	Cabrio	Opera	CK	Cabrio	Opera
IAA	0.028	0.034	0.028	0.025	0.018	0.021	0.027	0.028	0.033	0.008	0.019	0.005
GA	0.052	0.054	0.054	0.068	0.051	0.053	0.043	0.039	0.041	0.061	0.064	0.052
Cytokinins	0.037	0.038	0.031	0.039	0.038	0.039	0.034	0.033	0.037	0.03	0.03	0.031
ABA	0.031	0.031	0.027	0.032	0.030	0.028	0.038	0.033	0.028	0.033	0.032	0.035

2.5 Cabrio 和 Opera 对大豆光利用效率和光合速率的影响

$\Phi PSII$ 和 Fv/Fm 是考查植株光利用效率的两个主要指标^[11]。由表 5 及对其进行的方差测验 (文中

未给出) 可以看出, 经过 Cabrio 和 Opera 处理后的大豆植株这两个指标与对照都没有显著变化。两种药剂对这两个指标的影响在两品种间也没有显著差别。

表5 Cabrio 和 Opera 对大豆光利用效率和光合速率的影响
Table 5 Effect of Cabrio and Opera on physiological index of soybean

品种 Cultivar	处理 Treatment	F_v/F_m	$\Phi PSII$	光合速率 Photosynthetic rate $P_n/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	蒸腾速率 Transpiration rate $Tr/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CO ₂ 浓度 CO ₂ concentration $C_i/\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	气孔导度 Stomatal conductance $G_s/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
南农 99-6	CK	0.73	0.66	16.54	8.10	284.80	0.52
Nannong 99-6	Cabrio	0.75	0.66	14.47	8.67	288.35	0.53
	Opera	0.73	0.67	15.31	8.05	294.35	0.55
中黄 13	CK	0.68	0.65	17.11	8.58	284.03	0.57
Zhonghuang 13	Cabrio	0.70	0.68	17.90	8.33	276.70	0.56
	Opera	0.68	0.69	18.91	7.97	278.17	0.54

经过 Cabrio 和 Opera 处理后南农 99-6 光合速率降低,蒸腾作用升高,而中黄 13 与它正好相反,光合速率升高而蒸腾作用降低,但这种变化没有达到显著水平。气孔导度和胞间 CO₂ 浓度主要考查气孔因素对光合作用的影响。气孔导度越大,气孔张开得越大,进入细胞的 CO₂ 就越多,光合作用有升高的潜力。在气孔导度相同的情况下,胞间 CO₂ 浓度越大,说明细胞光合作用利用的 CO₂ 越少,则光合作用越弱。经过 Cabrio 和 Opera 处理后南农 99-6 气孔导度升高,胞间 CO₂ 浓度也升高,但是光合速率降低,说明是非气孔因素限制了它的光合作用;中黄 13 气孔导度降低,胞间 CO₂ 浓度也降低,光合速率升

高,说明叶绿素充分利用了细胞中的 CO₂,且气孔的关闭减少了蒸腾作用并且使更多的碳留在了细胞中,这对增加碳固定有一定作用。

2.6 Cabrio 和 Opera 对大豆产量的影响

经过 Cabrio 和 Opera 处理后大豆每株荚数、每荚粒数和百粒重都有显著增加(表 6)。经 Cabrio 处理后,南农 99-6 和中黄 13 分别比对照增产 6.56% 和 14.72%,平均增产 10.64%,Opera 处理后,南农 99-6 和中黄 13 分别比对照增产 10.04% 和 5.65%,平均增产 7.85%,经方差分析,品种间增加量的差异不显著,两种处理的产量与对照相比均显著增加,说明药剂的增产效果在不同品种间是一致的。

表 6 Cabrio 和 Opera 对大豆产量指标和籽粒蛋白质、油份含量的影响

Table 6 Effect of Cabrio and Opera on yield and grain protein and oil content in soybean

品种 Cultivar	处理 Treatment	每株荚数 Pods per plant	每荚粒数 Seeds per pod	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield $/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	较对照增产 Yield Compared with CK/%	蛋白含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content /%	霉变率 Moldy rate /%
南农 99-6	CK	46.63 a	2.51 a	17.75 a	2339.29 a	-	41.61	21.11	2.37
Nannong 99-6	Cabrio	53.95 b	2.62 b	18.32 b	2492.80 b	6.56	41.80	21.19	1.37
	Opera	53.39 b	2.52 a	18.15 b	2574.18 b	10.04	41.73	21.16	1.50
中黄 13	CK	27.87 a	1.92 a	21.64 a	1581.54 a	-	42.87	14.02	14.30
Zhonghuang 13	Cabrio	31.47 b	2.01 b	23.23 b	1814.35 b	14.72	43.60	13.53	9.23
	Opera	31.43 b	1.97 a	23.50 b	1670.84 b	5.65	43.54	13.28	10.43

2.7 Cabrio 和 Opera 对大豆籽粒的保健作用

经 Cabrio 和 Opera 处理大豆后,中黄 13 和南农 99-6 的籽粒蛋白和脂肪含量与对照没有显著差别(表 6)。经过 Cabrio 和 Opera 处理后,中黄 13 和南农 99-6 的籽粒霉变率比对照均有所下降,但均没有达到显著差异水平(表 6)。这主要是因为夏大豆籽粒霉变率本身较低,药剂的防霉效果不明显。

3 结论与讨论

在本试验中,用 Cabrio 和 Opera 处理的大豆植株根瘤数量和根瘤干重都比对照显著增加,说明他们能够改善植株根部的生长状态,增加根瘤菌的吸

附,进而促使根部固定更多的氮和吸收更多的营养物质。

活性氧是生物体内产生的一种强氧化剂,Fridovich^[12]提出生物活性氧的自由基伤害学说,认为植物体内活性氧自由基(active oxygen species,AOS)大量产生会引发膜脂过氧化作用,造成细胞膜系统的破坏,直到植物细胞的死亡。过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)是植株体内清除活性氧的关键酶类,Cabrio 和 Opera 处理之后,POD 和 CAT 的活性在第 3 天都比对照有显著增加,说明植株体内清除活性氧的能力增强,有利于植株生长。

在 Cabrio 和 Opera 处理下,大豆产量各指标均

比对照显著增加。大豆产量增加的原因是多方面的,Cabrio 和 Opera 处理大豆后能明显改善大豆根部的生长状态,增加根瘤数量,促进营养的吸收和氮的固定;中黄 13 光合速率升高,蒸腾速率降低,增加了光能的吸收和碳的固定。

籽粒霉变主要由霉菌引起^[13],当大豆籽粒含水量高于 14% 时就有霉变的危险,南方春大豆在收获时经常碰到阴雨天气,使籽粒霉变十分严重。并且霉变的大豆会产生黄曲霉素,这是目前世界上公认的强致癌物之一,籽粒霉变影响大豆籽粒的品质和种子活力。喷施 Cabrio 和 Opera 后可显著降低南农 70-60 和南农 307-1 籽粒霉变率(未发表),这对促进大豆生产和保护大豆籽粒安全具有重要作用。

参考文献

- [1] Edson B, Guy M T, Wilson S V. AgCelence basis of the physiological effects [R]. Germany:2009.
- [2] Ypema H L, Gold R E. Kresoxim-methyl: modifications of a naturally occurring compound to produce a new fungicide [J]. Plant Disease, 1999, 83:4-19.
- [3] Bryson R J, Leandro L, Jones D R. The physiological effects of kresoxim-methyl on wheat leaf greenness and the implications for crop yield [C]. Proceedings Brighton Conference: Pests & Diseases Farnham, 2000:739-746.
- [4] Köehle H, Grossmann K, Jabs T, et al. Physiological effects of the strobilurin fungicide F500 on plants [C]. Modern fungicides and antifungal compounds III, 2002:61-74.
- [5] Bertelsen J R, Neergaard E, Smedegaard P V. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat [J]. Plant Pathology, 2001, 50:190-205.
- [6] Stefan H, Kai S. A strobilurin fungicide enhances the resistance of tobacco against tobacco mosaic virus and *Pseudomonas syringae* [J]. Plant Physiology, 2002, 130:120-127.
- [7] 严君. 施氮对大豆结瘤固氮及生长的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009. (Yan J. Effect of nitrogen application on symbiotic nitrogen fixation and growth of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.)
- [8] 吴颂如, 陈婉芬, 周燮. 酶联免疫法 (ELISA) 测定内源植物激素 [J]. 植物生理学通报, 1988(5):53-57. (Wu S R, Chen W F, Zhou X. Enzyme linked immunosorbent assay for endogenous plant hormones [J]. Plant Physiology Communications, 1988 (5):53-57.)
- [9] 许传俊, 李玲. 植物多酚氧化酶的研究进展 [J]. 生命科学, 2002, 6(S):45-48. (Xu C J, Li L. A review of recent advances on poly phenol oxidase in plant [J]. Life Science Research, 2002, 6(S):45-48.)
- [10] 田华, 段美洋, 王兰. 植物硝酸还原酶功能的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(10):96-99. (Tian H, Duan M Y, Wang L. Research progress on nitrate reductase functions in plants [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(10):96-99.)
- [11] Neil R B. Chlorophyll Fluorescence: A probe of photosynthesis *in vivo* [J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59:89-113.
- [12] Fridovich I. Superoxide dismutase [J]. Annual Review of Biochemistry, 1975, 44:147-159.
- [13] 生军苟, 伍友珍. 种子霉变及其控制 [J]. 四川农业科学, 1993(3):43. (Sheng J G, Wu Y Z. Mildew controlling of the grain [J]. Sichuan Agricultural Sciences, 1993(3):43.)
- (上接第 370 页)
- [26] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验指导 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008:35, 50-64. (Zhang Z A, Chen Z Y. Plant physiology [M]. Changchun: Jilin University Press, 2008:35, 50-64.)
- [27] 李彦生, 杜明, 刘晓冰, 等. 氮素用量对菜用大豆生殖生长期根系及鲜荚产量的影响 [J]. 大豆科学, 2012, 31(1):47-51. (Li Y S, Du M, Liu X B, et al. Effects of different nitrogen dosage on root morphology during reproductive stages and fresh pod yield in vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2012, 31(1):47-51.)
- [28] 黄正来, 武立权, 韩立德. 花期追施氮肥对菜用大豆 AC10 生理指标及产量影响的研究 [J]. 激光生物学报, 2005, 14(3):193-196. (Huang Z L, Wu L Q, Han L D. Effect of dressing nitrogen on physiological index and yield vegetable of soybean variety AC10 at Anthesis [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2005, 14(3):193-196.)
- [29] 葛文婷, 金喜军, 马春梅, 等. 大豆硝酸还原酶活性及其与施氮关系的研究 [J]. 核农学报, 2011, 25(5):1036-1041. (Ge W T, Jin X J, Ma C M, et al. Nitrate reductase activity and its relationship with applied nitrogen in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(5):1036-1041.)
- [30] 陈振武, 钱朗, 王海英, 等. 花期追施氮肥对不同株型黑豆品种生殖生长期叶片生理生化特性的影响 [J]. 大豆科学, 2010, 29(4):623-626. (Chen Z W, Qian L, Wang H Y, et al. Effect of nitrogen fertilizer on leaf physiological and biochemical traits of black soybean during reproductive stage [J]. Soybean Science, 2010, 29(4):623-626.)
- [31] Osborne S L, Riedell W E. Starter nitrogen fertilizer impact on soybean yield and quality in the Northern Great Plains [J]. Agronomy Journal, 2006, 98:1569-1574.
- [32] 刘丽君, 孙聪妹, 刘艳, 等. 氮肥对大豆结瘤及叶片氮素积累的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2005, 36(2):133-137. (Liu L J, Sun C S, Liu Y, et al. Effect of nitrogen on nodule-forming and nitrogen concentration in soybean leaves [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2005, 36(2):133-137.)
- [33] 姚玉波, 马春梅, 张磊, 等. 施氮水平对大豆吸收利用氮素及产量的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(4):6-10. (Yao Y B, Ma C M, Zhan L, et al. Effect of nitrogen levels on absorption and utilization of nitrogen and yield of soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(4):6-10.)
- [34] 邸伟, 金喜军, 马春梅, 等. 施氮水平对大豆氮素积累与产量影响的研究 [J]. 核农学报, 2010, 24(3):612-617. (Di W, Jin X J, Ma C M, et al. Effects of nitrogen application on yield and nitrogen accumulation in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(3):612-617.)