

稀土对八角种子萌发及幼苗生长的生理效应

Physiological Effects of Rare-earth Elements on the Seeds Germination and Seedlings Growth of *Illicium verum*

吕成群 黄宝灵 牟继平
Lü Chengqun Huang Baoling Mu Jiping

(广西大学林学院 南宁市邕武路16号 530001)

(Forestry College, Guangxi University, 16 Yongwulu, Nanning, Guangxi, 530001, China)

摘要 用0 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L浓度稀土 (RE)处理八角 (*Illicium verum* Hock. f.)种子和幼苗,结果表明:100 mg/L浓度 RE增加种子发芽时的根长、芽长、侧根数和提高种子活力指数最显著;200 mg/L浓度 RE提高种子发芽率、发芽指数、日平均发芽率和发芽值最显著;300 mg/L浓度 RE提高发芽高峰值和降低平均发芽天数最显著;100 mg/L浓度 RE对提高幼苗叶绿素含量、净光合速率最显著;200 mg/L浓度 RE增加幼苗叶片脯氨酸含量最显著;200 mg/L和300 mg/L浓度 RE提高过氧化物酶活性最显著;100 mg/L和200 mg/L提高过氧化氢酶活性最显著;各种浓度的 RE均能提高超氧化物歧化酶活性;200 mg/L和300 mg/L浓度 RE能显著降低叶片在低温和高温干旱处理下的电导率。

关键词 八角 种子萌发 幼苗生长 稀土 生理效应

中图法分类号 S 794.905

Abstract The rare-earth elements (RE) with six concentration levels of 0 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L were used in seed germination of *Illicium verum*. RE of 100 mg/L was the most significant in increasing to the growth of the roots and the buds and the numbers of lateral roots and the vigor index of the seeds. RE of 200 mg/L was best significantly raising the germination percentage and the germination index and the mean diurnal germination percentage and the germination value of the seeds. RE of 300 mg/L was best significantly raising the peak value and the mean germination days of the seeds. RE of 100 mg/L was best significantly raising the chlorophyll contents and net photosynthetic rate of the seedlings. RE of 200 mg/L was best significantly increasing the proline content of the seedlings. RE of 200 mg/L and 300 mg/L raised the activity of peroxidase and 100 mg/L and 200 mg/L raised the activity of the catalase best significantly. The RE of different concentration were raised the activity of superoxide dismutase. RE of 200 mg/L and 300 mg/L significantly decreased the electric conduction rate when the leaves were at low/high temperature and dry condition.

Key words *Illicium verum*, seed germination, seedling growth, rare-earth elements, physiological effects

稀土 (RE)农用的研究始于30年代,起初是国外学者开展了一些试验性质的研究^[1],193年原苏联的Drobkov^[2,3]以混合稀土及单一稀土对碗豆、萝卜、黄瓜等植物的生长发育、产量及品质等的作用进行了比较系统的研究。在林木上菲律宾的Velasco等^[4]用稀土及铈对椰子树的生长及形态变化方面进行了研究。此外,罗马尼亚、保加利亚、美国、日本、联邦德国等的科技工作者也对稀土促进植物生长发育、提高产量等作了报道^[5]。

我国从70年代开始这方面的研究工作,经“六

五”“七五”国家重点技术推广项目计划实施后,稀土已广泛应用于作物、果树、林木、花卉、畜牧和养殖等方面,取得了很好的效益^[6]。在林业上,RE应用于种子发芽、苗木的生长、提高经济林木产量以及改善果实品质等方面的研究均取得重要的技术突破。目前看来,适量应用RE对植物的生长发育是有益的,它能促进植物的生理活动和相关的生物化学反应。因此,可以确认RE是植物的有益元素^[7]。

八角产于中国长江以南,在广西区内分布最广、种植面积最大。其种子、果、皮和叶子均含芳香油(称八角油或茴香油),是一种效益很高的经济林木。但八角种子的发芽率较低,苗木生长慢,对水肥条件

要求较高, 苗木在温度过低或过高时容易出现伤害, 从而影响八角的生产。本文用不同浓度 RE对八角种子萌发和幼苗生长过程中的生理效应进行研究, 为进一步研究 RE的作用机理和生产应用提供一些参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

八角 (*Illicium verum* Hook. f.) 种子由广西林业科学院提供

RE为广西博白化工厂生产的多元素混合稀土“常乐稀土益植素”, 纯度 38%。试验所用浓度均按此纯度配制

1.2 试验方法

设置 6个不同浓度的 RE (mg/L): 0, 50, 100, 200, 300, 500, 其中浓度 0为对照。用不同浓度 RE浸泡种子 24 h 种子发芽试验采用玻板直立发芽法^[8], 每种处理 200粒种子, 1994年 11月 9日处理, 12月 1日种子开始发芽, 12月 29日发芽结束。在发芽过程中记录各种种子发芽指标。

发芽试验结束后, 将其移至装有蛭石的花盆中, 在自然光条件下生长。每种处理有幼苗 100株, 待幼苗长出绿色叶子时, 再次分别用对应浓度的 RE喷洒 1次, 1个月后测定各种生理指标。

1.3 测定方法

种子发芽的各项测定及计算按顾增辉等^[9]的方法。发芽指数是指在时间 t 日的发芽数与相应的日数的比值的累加值。活力指数是指幼苗的生长势 (本试验是根芽总长的平均长度) 与发芽指数的乘积。高峰值是从发芽起始日到高峰出现时 (本试验在第 17天出现发芽高峰) 的每天平均发芽率。日平均发芽率是总发芽率与发芽天数的比值。平均发芽天数是每粒种子发芽时平均需要的天数, 它的大小可表示发芽快慢程度和整齐度。在发芽结束时测定根长、芽长和侧根数, 表 1 RE对八角种子发芽的影响

Table 1 Effect of RE on seed germination

RE浓度 concentration (mg/L)	根长 Root length (cm)	芽长 Bud length (cm)	侧根数 Number of lateral root	发芽率 Germination percentage (%)	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	高峰值 Peak value	日平均发芽率 Mean daily germination rate	发芽值 Germination value	平均发芽天数 Mean germination days
0	2.49	1.58	1.30	47.9	51.0	207.6	2.58	1.65	4.26	9.4
50	2.49	1.58	1.32	50.0	53.3	216.9	2.67	1.72	4.59	9.4
100	3.06	2.16	1.79	53.6	65.9	344.0	2.69	1.85	5.48	8.9
200	2.59	1.93	1.73	58.9	73.3	331.3	3.00	2.03	6.09	8.6
300	2.50	1.90	1.69	52.9	63.8	280.7	3.25	1.82	5.91	8.2
500	2.17	1.76	1.51	49.6	57.1	224.4	3.08	1.71	5.26	8.8

取其平均值

叶绿素含量用 Amon法^[10]测定, 用 80% 丙酮提取。净光合速率和光呼吸速率按 Zeitch 的微量定积测压法^[11], 测定光呼吸时用 NaHSO_3 作为抑制剂抑制乙醇酸氧化酶活性, 在相同条件下测定抑制剂处理叶片和没有抑制剂处理叶片的 O_2 交换量, 用其 O_2 增量计算光呼吸速率, 没有抑制剂处理的叶片的 O_2 交换量用来计算净光合速率。

游离脯氨酸含量按朱广廉方法^[12]测定

酶液的制备方法是将新鲜叶片迅速冰冻, 按 1: 3 (W/V) 加入 0.02 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH 值 6.5), 在冰浴中匀浆提取, 四层纱布过滤, 3 500× g 离心 15 min, 上清液用于测定酶活性。过氧化物酶活性测定参照 Evans法^[13]进行; 过氧化氢酶活性用微量滴定法^[14]测定; 超氧化物歧化酶活性按王爱国方法^[15]测定。

取叶片洗干净吸干, 剪成 0.5 cm× 1.5 cm 小块, 单层平铺在培养皿中, 一份放在 0℃ 冰冻 3 h, 作抗寒性试验, 用 DDS-11A 型电导仪测定电导率^[16]; 另一份放在 40℃ 恒温箱中作抗高温干旱试验, 1 h 后取出进行提取测定电导率^[17]。

以上全过程的试验均重复 3 次。

2 结果

2.1 不同浓度 RE对八角种子发芽的影响

从表 1 结果可见, RE在 100 mg/L~ 300 mg/L 浓度范围内的总体效果较好。与对照浓度 0 mg/L 相比, 其中 100 mg/L 浓度促进根长增加 22.9%, 芽长增加 36.7%, 侧根数增加 33.7%, 活力指数提高 66.7%。200 mg/L 浓度提高发芽率 11.0%, 发芽指数提高 43.7%, 日平均发芽率提高 23.0%, 发芽值提高 43.0%。300 mg/L 浓度使高峰值增加 26.0%, 平均发芽天数减少 1.2 d。经方差分析结果表明, 不

同处理间的根长差异达到极显著水平 ($F = 7.83^{**} > F_{0.01} = 5.06$),芽长差异程度达极显著水平 ($F = 9.17^{**} > F_{0.01} = 5.06$),侧根数差异程度达极显著水平 ($F = 8.91^{**} > F_{0.01} = 5.06$),活力指数差异达极显著水平 ($F = 15.1^{**} > F_{0.01} = 5.06$),发芽率差异达到极显著水平 ($F = 13.5^{**} > F_{0.01} = 5.06$),日平均发芽率差异程度达到极显著水平 ($F = 10.5^{**} > F_{0.01} = 5.06$),发芽值差异程度达到极显著水平 ($F = 9.19^{**} > F_{0.01} = 5.06$),高峰值差异程度达到显著水平 ($F = 4.19 > F_{0.05} = 3.11$).

2.2 不同浓度 RE对八角幼苗光合特性的影响

2.2.1 对叶绿素含量的影响

从表 2可知,不同浓度的 RE都能增加幼苗的叶绿素含量,与对照浓度 0mg/L相比较,其中 100 mg/L浓度更为明显,能使叶绿素 a含量提高 25.0%,叶绿素 b含量提高 23.0%,叶绿素总量提高 24.7%。经方差分析结果表明,不同处理间的差异都达到极显著水平,叶绿素 a $F = 7.59^{**} > F_{0.01} = 5.06$,叶绿素 b $F = 8.11^{**} > F_{0.01} = 5.06$,叶绿素总量 $F = 7.97^{**} > F_{0.01} = 5.06$

表 2 RE对幼苗叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of RE on the chlorophyll content of seedlings

RE浓度 RE concentration (mg/L)	叶绿素含量 Chlomophyll content (毫克/克·鲜重)		
	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chbrophyll b	叶绿素总量 Chlomophyll total
0	0.60	0.21	0.81
50	0.61	0.25	0.86
100	0.75	0.26	1.01
200	0.74	0.25	0.99
300	0.72	0.24	0.96
500	0.71	0.24	0.95

2.2.2 对净光合速率和光呼吸速率的影响

表 3的结果表明,不同浓度的 RE都能提高苗木的净光合速率。用方差分析结果表明,不同处理间的差异程度达到极显著水平 ($F = 6.11^{**} > F_{0.01} = 5.06$)。其中 100 mg/L浓度比对照提高 20.0%。RE对苗木的光呼吸没有表现出抑制作用,而是随着苗木净光合速率的增加,光呼吸速率也随之有所升高。但 RE却能降低光呼吸速率/净光合速率的比值。因此 RE对提高苗木净光合速率仍是有意义的。

2.3 不同浓度 RE对八角幼苗叶片脯氨酸及几种氧化酶的影响

表 4的结果表明,与对照相比,100 mg/L~500 mg/L浓度的 RE对苗木叶片脯氨酸含量有不同程度的提高。经方差分析,不同处理间的差异也达到差异显著的水平 ($F = 3.75 > F_{0.05} = 3.11$),其中

200 mg/L浓度处理提高 22.6%。

表 3 RE对幼苗净光合速率、光呼吸速率的影响

Table 3 Effect of RE on the net photosynthetic rate and photorespiratory rate of seedlings

RE浓度 RE concentration (mg/L)	净光合速率 Net photosynthetic rate ($\mu\text{L O}_2 / \text{dm}^2 \text{ h}$)	光呼吸速率 Photorespiratory rate ($\mu\text{L O}_2 / \text{dm}^2 \text{ h}$)	光呼吸速率 / 净光合速率 Photorespiratory rate / Net photosynthetic rate
0	3018.0	1001.0	0.33
50	3100.7	1007.1	0.32
100	3621.9	1008.9	0.28
200	3519.6	1102.0	0.31
300	3570.5	1110.0	0.31
500	3600.1	1008.1	0.28

表 4 RE对幼苗叶片脯氨酸含量的影响

Table 4 Effect of RE on the proline content of the seedling leaves

RE浓度 RE concentration (mg/L)	脯氨酸含量* Proline content	RE浓度 RE concentration (mg/L)	脯氨酸含量* Proline content
0	3.1	200	3.8
50	3.1	300	3.5
100	3.3	500	3.5

* 毫克/克·鲜重。

从表 5结果可以看出,不同浓度 RE对八角幼苗叶片几种氧化酶活性的影响虽不完全相同,但是总的趋势是增加酶的活性。经方差分析结果表明,不同处理间几种酶活性的差异程度都达到极显著水平,过氧化物酶活性 $F = 9.00^{**} > F_{0.01} = 5.06$,过氧化氢酶活性 $F = 11.9^{**} > F_{0.01} = 5.06$,超氧化物歧化酶活性 $F = 12.8^{**} > F_{0.01} = 5.06$ 。与对照相比,其中 200 mg/L和 300 mg/L浓度提高过氧化物酶活性 36.1%,100 mg/L和 200 mg/L浓度分别提高过氧化氢酶活性 24.6%和 22.4%,500 mg/L浓度提高超氧化物歧化酶活性 33.6%。

表 5 RE对幼苗叶片过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活性的影响

Table 5 Effect of RE on the activities of POD, CAT, SOD in the seedling leaves

RE浓度 RE concentration (mg/L)	过氧化物酶活性 POD activity (OD/mg pro. min)	过氧化氢酶活性 CAT activity ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 / \text{mg pro. min}$)	超氧化物歧化酶活性 SOD activity (units/mg pro.)
0	0.23	189.0	25.0
50	0.24	201.1	27.0
100	0.27	235.4	28.5
200	0.29	235.1	31.1
300	0.29	227.5	32.3
500	0.23	221.1	33.4

2.4 不同浓度 RE对经低温和高温干旱处理后的幼苗叶片电导率的影响

从表 6的结果可以看出,经低温处理的叶片,不

同浓度 RE与对照相比,电导率均有所下降,经方差分析结果表明,不同处理间的差异程度达到极显著水平 ($F = 10.1^{**} > F_{0.01} = 5.06$),其中 200 mg/L、300 mg/L、500 mg/L浓度的电导率分别比对照降低 15.3%、12.4%、12.4%。经高温干旱处理的叶片的电导率比对照也有明显的下降,经方差分析结果表明,不同处理间的差异程度达到极显著水平 ($F = 17.0^{**} > F_{0.01} = 5.06$),其中 200 mg/L和 300 mg/L浓度的电导率分别比对照下降 13.0%和 13.1%。

表 6 RE对幼苗叶片电导率的影响

Table 6 Effect of RE on the electric conduction rate of the seedling leaves

RE浓度 RE concentration (mg/L)	电导率 Electric conduction rate ($\mu\Omega/cm$)	
	0°C 3h	0°C 1h
0	786.5	1001.2
50	761.1	989.8
100	750.9	919.9
200	666.5	870.6
300	688.8	870.0
500	688.94	908.9

3 讨论

八角种子由于含芳香油,在干燥时其中的油质易挥发,过于潮湿又易于腐烂,极易丧失发芽力,所以严重影响种子的萌发率。适宜浓度的 RE处理,能够明显提高八角种子的发芽率和发芽速度,提高种子活力,降低发芽天数,促进种子生根长芽,提高根和芽的生长速度,增加侧根数,此结果与 Shroubeem等^[18]用混合稀土元素处理蚕豆的结果相似。为今后幼苗生长打下良好基础,这对于提高成苗率和加快幼苗生长速度都非常有意义。

稀土能显著增加叶绿素含量,增加叶绿素 a与叶绿素 b比值,提高净光合速率^[19]。M. Johnston等^[20]认为叶绿素 a/叶绿素 b指示捕光色素与反应中心的相对比例,因而对光合作用是有利的。本试验进一步证明,RE处理能明显提高八角幼苗的叶绿素含量,提高苗木的净光合速率,降低光呼吸速率/净光合速率的比值,从而降低了幼苗生长对蔽荫的严格要求,这为在全光照下八角育苗提供一条有益的探索途径。

八角幼苗的生长要求较好的水肥条件,抗寒、抗旱和抗高温能力较差,温度过低或过高,以及干旱都会使幼苗受到伤害,所以在自然条件下严重制约了育苗的成苗率。游离脯氨酸的积累可作为植物抗干旱和抗寒性的指标^[21~23],在不良环境条件下生长的植物,体内脯氨酸含量积累,增加植物对不良环境的适应和

抵御能力。过氧化物酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶被确认为是植物体内清除自由基、抑制脂质过氧化物的自身保卫系统^[24~27],这几种酶活性的提高,能增加植物在逆境条件下的自身保护作用。适宜浓度的 RE处理,提高八角幼苗脯氨酸含量和增强过氧化物酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶的活性,表明 RE对提高八角幼苗的抵抗和适应低温、高温和水分胁迫的能力都具有积极的意义,这一点在用 RE处理的幼苗叶片经高温干旱和低温后其电导率明显低于对照的试验得到有力的支持。

参考文献

- Gschneidner A. Industrial application of rare earth elements. Iowa State University, 1981, 1-5.
- Drobkov A A. Compt Rend Acad Sci U SSR, 1937, (17): 265-267 (Chem. Abst. (32) 34554).
- Drobkov A A. Compt Rend Acad Sci U SSR, 1941, (32): 669-670 (Chem. Abst. (37) 20409).
- Velasco J R et al. Philippine Journal of Coconut Studies, 1979, 4 (1): 1-13.
- 梅文钰. 农用稀土在林业上的应用前景. 浙江林业科技, 1989, 9 (4): 69-72.
- 王国烘. 我国农用稀土化合物应用研究的进展. 热带作物研究, 1986, (3): 71-74.
- 吴兆明. 植物营养中新的必要、有益和毒害元素. 见: 吴相钰, 赵微平, 匡廷云等主编. 植物生理补充教材-纪念56年教学讨论会40周年. 北京: 中国植物学会生理专业委员会, 北京植物生理学会, 1996, (26): 1-17.
- 徐本美, 顾增辉. 测定种子活力方法的探讨VII: 玻板直立发芽法. 种子, 1983, (4): 22-24.
- 顾增辉, 徐本美, 郑光华. 测定种子活力方法之探讨(II) 发芽的生理测定法. 种子, 1982, (3): 11-16.
- Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant Physiol, 1949, 24 1-15.
- Zelitch I. Increased rate of net photosynthetic carbon dioxide uptake caused by the inhibition of glycolate oxidase. Plant Physiol, 1966, 41 1623-1631.
- 朱广廉. 植物体内游离脯氨酸的测定. 植物生理学通讯, 1983, (1): 35-37.
- Evans J J. The distribution of peroxidase in extreme dwarf and normal tomato. Phytochemistry, 1965, 4 499-503.
- 波钦诺克 X H. 植物生物化学分析方法. 北京: 科学出版社, 1981. 197-201.
- 王爱国. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究. 植物生理学报, 1983, 9 (1): 77-84.

(下转第 240页 Continue on page 240)

Publishing Company, New York. 1980.

- 11 Singh M, Krikorian A D. Inhibition of trypsin activity in vitro by phytate. *J of Agric and Food Chem*, 1982, 30 799 ~ 800.
- 12 刘作华等. 植酸酶对生长猪生产性能及养分利用率的影响. *饲料研究*, 1998, 11: 4~ 6.
- 13 张莹等. 植酸酶替代种鸡料中磷酸氢钙对肉种鸡生产性能和种蛋孵化性能的影响及其经济效益. *饲料博览*, 1997, 5 3~ 5.
- 14 汪傲. 饲料抗营养因子与酶制剂应用研究进展. *动物营养研究进展*, 1996, 234~ 244.
- 15 Antoniou T, Marquardt R R. The utilization of rye by growing chicks as influenced by autoclave treatment, water extraction and water soaking. *Poultry Science*, 1982, 61: 91~ 102.
- 16 Jenkins D J A et al. . Dietary fibers, fiber analogues and glucose tolerance importance of viscosity. *British Medical Journal* 1978, 1: 1392~ 1394.
- 17 Annison G. Relationship between the levels of soluble nonstarch polysaccharides and the apparent metabolizable energy of wheats assayed in broiler chickens. *J of Agric and Food Chem*, 1991, 29 1252~ 1256.
- 18 De Silva et al. . Effects of water and β - glucanase treatment on non-starch polysaccharides in endosperm of low and high viscous barley. *Swedish Journal of Agriculture*, 1983, 13 211~ 219.
- 19 华卫东等. β -葡聚糖酶在猪的大麦基础日粮中的研究进展. *饲料研究*, 1999, 5 18~ 21.
- 20 Crouse R C et al. . Inhibition of growth of hair by mimosine. *Nature*, 1962, 194 694~ 695.
- 21 Serrano E P et al. . Biochemical mechanisms of mimosine toxicity to *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Australian Journal of Biological Science*, 1983, 36 (4): 445~ 454.
- 22 Jones R J et al. . Serum thyroxine levels and live weight gain of steers grazing leucaena pastures. *Leucaena Research Reports*, 1982, 3 2.
- 23 Hegarty M P et al. . Reaction of sheep to the consumption of leucaena glauca Benth. and to its toxic principle mimosine. *Aust J Agric Res*, 1964, 15 153~ 167.
- 24 汪傲, 杨家晃等. 用银合欢饲喂肉牛的效果及其毒性观察. *中国草地*, 1987, 4 60~ 63.
- 25 易俊东等. 含羞草素微生物降解途径的研究. 见: 第二届全国饲料毒物与抗营养因子学术研讨会论文集, 1995. 171~ 178.
- 26 汪傲, 杨家晃等. 银合欢澳洲 DHP- 降解细菌脱毒及饲喂乳牛效果的研究. *畜牧兽医学报*, 1994, 25 (3): 206 ~ 212.

(责任编辑: 黎贞崇)

(上接第 23 页 Continue from page 231)

- 16 薛应龙. 植物生理学实验. 北京: 高等教育出版社, 1985. 151~ 152.
- 17 山东农学院主编. 植物生理学实验指导. 济南: 山东科学技术出版社, 1980. 308~ 310.
- 18 Shroubeem H H, Milad N E. Effect of rare earth elements from monazite on growth vigor and chemical composition of phaseolus vulgaris. *Soil Science*, 1966, 101 130~ 134.
- 19 沈应柏, 王骏, 杨春华等. 稀土元素对 I-69 杨水培苗木生长和光合作用的影响. *北京林业大学学报*, 1991, 13 (4): 47~ 52.
- 20 Johnston M, Crof C P L, Brownell P F. *Aust J Plant Physiol*, 1989 449~ 457.
- 21 汤章诚. 逆境条件下植物脯氨酸的积累及其可能的意义. *植物生理学通讯*, 1984, (1): 15~ 21.
- 22 曹植仪. 水分胁迫下植物体内游离脯氨酸的积累及 ABA 在其中的作用. *植物生理学报*, 1985, 11 (1): 9~ 16.
- 23 王荣福. 植物抗寒指标的种类及其作用. *植物生理学通讯*, 1987, (3): 49~ 55.
- 24 刘鸿先, 曾韶西, 王以柔等. 低温对不同耐寒力的黄瓜幼苗各细胞器中超氧化物歧化酶的影响. *植物生理学报*, 1985, 11 (1): 48~ 57.
- 25 陈贻竹, 帕特森 B. 低温对植物叶片中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化氢水平的影响. *植物生理学报*, 1988, 14 (4): 323~ 328.
- 26 蒋明义, 荆家海, 王韶唐. 渗透胁迫对水稻幼苗膜脂过氧化及体内保护系统的影响. *植物生理学报*, 1991, 17 (1): 80~ 84.
- 27 曾韶西, 王以柔, 刘鸿先. 低温光照下与黄瓜子叶叶绿素降低有关的酶促反应. *植物生理学报*, 1991, 17 (2): 177 ~ 182.

(责任编辑: 邓大玉)