

自然低温条件下南洋楹抗寒生理研究

韦如萍¹ 胡德活¹ 王润辉¹ 柳军¹ 周宏² 何志明²

(1. 广东省林业科学研究院 广州 510520; 2. 国营九曲水林场)

摘要 在自然低温(1~4℃)侵袭后进行南洋楹的生理指标测定,结果表明:南洋楹抗寒生理指标在参试家系间的变化不尽相同,各指标间的相关关系较复杂。进行抗寒性评价时,单一指标很难反映其实质。用主成分分析法进行抗寒性综合评价结果表明,综合抗寒力较强的家系有 P16、Y6、P12、P14,较弱的家系有 Y4、S3、N4和 N5。

关键词 南洋楹 自然低温 抗寒生理

中图分类号: S718.43 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-4427(2008)01-0010-06

Study on Physiological Resistance to the Cold of *Paraserianthes falcataria* under the Situation of Naturally Low Temperature

Wei Ruping¹ Hu Dehuo¹ Wang Runhui¹ Liu Jun¹ Zhou Hong² He Zhiming²

(1. Forest Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou, 510520; 2. Jiugu shui State Forest Farm)

Abstract The Index of physiological resistance to the cold of *Paraserianthes falcataria* were measured after being affected by naturally low temperature (1~4℃), the results showed that the changes of the index of physiological resistance to the cold were not complete homology among the families, the correlativity among index was quite complex, single index could not completely reflect family resistance to the cold. The result of synthesis evaluation by principle component analytical method showed that four families including P16, Y6, P12 and P14 were appraised with highly strong resistance to the cold, and Y4, S3, N4 and N5 with relatively faintish resistance to the cold.

Key words *Paraserianthes falcataria*, naturally low temperature, physiological resistance to the cold

南洋楹(*Paraserianthes falcataria*)是世界著名的热带速生树种,木材用途广泛,于1940年左右引种到我国,1988年被广东省林业厅选定为营建丰产林基地的主要树种,目前,已在增城、惠州等地营造了大面积的南洋楹工业用材速生丰产林。但作为热带树种,南洋楹具有喜暖畏寒的习性,在冬季如遇较长时间持续低温天气,常会发生严重寒害,导致大量植株死亡。低温寒害是限制南洋楹引种、扩大栽培与速生丰产的重要因素。本研究首次对冬季自然低温侵袭后南洋楹抗寒生理方面的变化进行研究,并探讨其抗寒性的生理机制,为南洋楹引种栽培及树木抗寒生理研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验林位于广东翁源县国营九曲水林场境内,地处北纬 24°24',东经 114°00',年均温 20.3℃,1月平均气温 10.6℃,历年最高温 39.5℃,历年最低温 -5.1℃,年均积温(10℃)6588.7℃,海拔 185~267m,土壤为沙页岩发育成的赤红壤,土层深 1m以上,肥力中上。

* 基金项目:广东省自然科学基金项目“自然低温侵袭后南洋楹抗寒生理及适应性研究”(06024735)。

1.2 试验材料

试验材料为广东省林科院 1999 年从巴布亚新几内亚引进的南洋楹家系 N1, N2, N3, N4, N5; 菲律宾引进的家系 P12, P13, P14, P15, P16; 印度尼西亚引进的家系 Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Y9 以及所罗门群岛引进的家系 S1, S2, S3; 对照 (CK) 为广东饶平南洋楹次生种源, 是在林分中随机采集的。

1.3 试验方法

1.3.1 试验林营造 试验林于 2001 年 6 月造林, 采用随机完全区组设计, 8 株单行小区, 7 次重复, 株行距 3 m × 3 m, 穴规格 40 cm × 40 cm × 30 cm, 每穴施 100 g 过磷酸钙作基肥。

1.3.2 样品的采集与保存 采样区组为试验林的第 7 区组, 位于山坡下部, 海拔 185 m 左右, 坡向为北坡。造林后连续几年观察发现, 在冬季出现长时间连续低温时, 这个区组的植株受寒害的现象较严重。2007 年 1 月, 在试验林遭受连续低温 (1~4 ℃) 侵袭一周后, 植株叶片、枝条呈现不同程度的寒害现象时, 采集叶片进行生理指标测定。每个参试家系采集一份样品, 采样方法是: 在同一水平位置, 每个家系选定三株树, 然后选取位置相近、粗度相近、长势较一致、无病虫害、充分成熟的一年生外围枝条采集枝叶, 采集下来的材料要即刻放入封口胶袋中, 做好标记, 回实验室后及时进行各项指标测定; 在试验分析时, 同一生理指标在同一时间测定, 对未能及时测定的样品均保存在冰箱中, 冰箱温度设定在 1~4 ℃ 范围内。

1.3.3 生理指标测定 把每个家系三株树的叶片均匀混合后称样测定各项生理指标。叶片相对电导率、丙二醛 (MDA)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性参照陈建勋等的方法测定^[11], 叶片光合物质 (叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素) 和可溶性糖含量参照李合生等的方法测定^[2]。

1.4 统计分析

数据统计分析均采用 SAS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 自然低温后南洋楹家系叶片膜透性和膜脂过氧化

大量研究报道, 植物在低温胁迫下, 常导致细胞膜系统的破坏, 致使细胞内的无机离子大量外渗, 细胞代谢失调, 植物正常的生长发育受到影响。以叶片相对电导率表示植物在低温伤害下细胞质膜透性的变化, 是评价植物抗寒性较直观的方法^[3]。由表 1 可知, 相对电导率在家系间有极显著差异 ($P < 0.01$, 下同)。家系 P16、P12、P14、Y6、Y5 的电导率较高, 在 10.90% ~ 8.85% 之间, 显著高于 CK (6.32%) 和部分参试家系 ($P < 0.05$, 下同); Y4、N4 的电导率分别是 6.03% 和 6.37%, 与 CK 相近, 但低于或显著低于其他家系; 其余家系位于以上两者之间, 均值为 7.13% ~ 8.56% (表 2)。

表 1 南洋楹家系叶片相对电导率和 MDA 含量方差分析

指标	变异来源	自由度	F 值	Pr > F
相对电导率	家系	21	3.46	0.0003
MDA	家系	21	4.23	<0.0001

丙二醛 (MDA) 是细胞膜的脂质过氧化分解的主要产物, MDA 的积累能对膜和细胞造成进一步的伤害^[4-5]。MDA 含量增加说明膜脂过氧化作用增强, 一般认为, 耐寒性强的品种膜脂过氧化程度明显低于耐寒性弱的品种^[5]。MDA 含量在参试家系间有极显著差异 (表 1)。以家系 N4、Y8、N5、N2、Y7、Y9、Y4 的含量较高, 在 0.074 ~ 0.064 $\mu\text{mol/g}$ 之间, 高于或显著高于其他家系, 但与 CK 无显著差异; 家系 Y6、P16、N3、P14、S2 的含量较少, 在 0.055 ~ 0.052 $\mu\text{mol/g}$ 之间, 显著低于 CK 和部分参试家系; 其余家系位于以上两者之间, 均值为 0.056 ~ 0.062 $\mu\text{mol/g}$ (表 2)。

2.2 自然低温后南洋楹家系叶片超氧化物歧化酶活性和可溶性糖含量

超氧化物歧化酶 (SOD) 是植物体内的保护酶, 对植物体内超氧化物阴离子自由基起到清除作用, 避免了自由基对机体的攻击和伤害, 尤其是对细胞膜的攻击。SOD 酶的活性与植物抗寒性有关, 抗寒力强的植物在逆境中 SOD 酶活性明显高于抗寒力差的植物^[3, 5-6]。SOD 酶活性在参试家系间有极显著差异 (表 3)。家系 P16、P14、N1 的 SOD 酶活性较高, 在 141.53 ~ 134.09 u/g 之间, 显著高于 CK 和大部分家系; S2、Y5、Y4、S3、N2、N5、Y9、N4 的较低, 在 101.64 ~ 77.25 u/g 之间, 但除 N4 显著低于 CK 外, 其余的与 CK 无显著差异;

其余家系位于以上两者之间,均值为 125.97~105.93 u/g(表 2)。

表 2 南洋楹家系叶片生理指标多重比较分析

序号	相对电导率(%)			MDA ($\mu\text{mol/g}$)			SOD酶 (u/g)			可溶性糖 (%)		
	家系	均值	差异	家系	均值	差异	家系	均值	差异	家系	均值	差异
1	P16	10.90	a	N4	0.0742	a	P16	141.53	a	S2	1.66	a
2	P12	10.43	ab	Y8	0.0736	a	P14	137.84	a	Y2	1.64	ab
3	P14	9.95	abc	N5	0.0726	ab	N1	134.09	ab	Y4	1.64	ab
4	Y6	9.27	abcd	N2	0.0700	abc	N3	125.97	bc	N1	1.62	abc
5	Y5	8.85	abcd	CK	0.0674	abcd	P15	124.59	c	P14	1.61	abc
6	N1	8.56	bcde	Y7	0.0658	abcde	P13	120.66	c	P12	1.60	abc
7	S2	8.40	bcde	Y9	0.0652	abcdef	Y7	120.45	c	CK	1.59	abc
8	P15	8.38	bcde	Y4	0.0644	abcdef	Y8	119.19	cd	S1	1.55	abc
9	Y8	8.34	bcde	Y3	0.0624	bcdefg	Y6	119.07	cd	N4	1.54	abc
10	S3	7.94	cdef	S3	0.0617	bcdefg	P12	110.75	de	N5	1.53	abc
11	N3	7.94	cdef	P13	0.0611	cdefg	Y2	110.20	de	Y5	1.52	abc
12	Y3	7.86	cdef	N1	0.0607	cdefg	S1	106.46	ef	N2	1.52	abc
13	P13	7.78	cdef	P15	0.0600	cdefg	Y3	105.93	ef	S3	1.51	abc
14	Y2	7.77	cdef	Y2	0.0598	cdefg	S2	101.64	efg	N3	1.49	abc
15	Y9	7.70	cdef	P12	0.0598	cdefg	Y5	101.41	efg	Y3	1.48	abcd
16	Y7	7.44	def	Y5	0.0585	defg	Y4	100.90	efg	Y9	1.46	abcd
17	N5	7.29	def	S1	0.0563	defg	S3	99.56	fg	Y6	1.45	bcd
18	S1	7.17	def	Y6	0.0546	efg	N2	96.78	fgh	P13	1.45	bcd
19	N2	7.13	def	P16	0.0539	fg	CK	94.35	gh	P15	1.42	cd
20	N4	6.37	ef	N3	0.0526	g	N5	93.41	gh	P16	1.29	de
21	CK	6.32	ef	P14	0.0524	g	Y9	89.40	h	Y8	1.17	ef
22	Y4	6.03	f	S2	0.0516	g	N4	77.25	i	Y7	1.09	f

注:表中多重比较采用 DUNCAN法,在 0.05水平上进行比较,下同。

表 3 南洋楹家系叶片 SOD活性和可溶性糖含量方差分析

指标	变异来源	自由度	F值	Pr > F
SOD酶	家系	21	27.52	<0.0001
可溶性糖	家系	21	6.26	<0.0001

可溶性糖是植物体内重要的渗透调节物质和冰冻保护物质,其含量的增加能够加大细胞的原生质浓度,降低细胞的冰点,还可缓冲细胞质过度脱水,从而减少低温对细胞的伤害。因此低温胁迫下植物体内可溶性糖含量与植物抗寒性之间存在相关性^[7]。可溶性糖含量在参试家系间有极显著差异(表 3)。以 P16、Y8、Y7的含量较低,为 1.29%~1.09%,显著低于 CK和大部分家系;其余家系的含量在 1.66%~1.42%之间,差异不显著(表 2)。

2.3 自然低温后南洋楹家系叶片光合物质含量

低温对植物造成伤害的机理之一被认为是低温增强了植物对光抑制的敏感性,这可能是叶绿体受低温胁迫时在光下更易产生 O_2^- ,由此引发一系列自由基的产生;在逆境条件下,自由基水平的增高会造成膜脂过氧化,使叶绿体膜系统遭受损伤,引起叶绿素、类胡萝卜素的光氧化,这必然导致光合反应中心的损伤,光合电子传递速率的降低以及光合磷酸化的解耦联^[8]。叶绿素 a、叶绿素 b及类胡萝卜素在参试家系间均有极显著差异(表 4)。家系 Y8、Y9、Y3、Y6、P12的叶绿素 a含量为 1.91~1.82 mg/g,显著高于 CK和大部分家系;家系 P15、S3、N3、N5的含量在 1.12~0.92 mg/g之间,显著低于 CK和大部分家系;其余家系在以上两者之间,含量为 1.59~1.28 mg/g,与 CK无显著差异(表 5)。

表 4 南洋楹家系叶片光合物质含量方差分析

指标	变异来源	自由度	F值	Pr > F
叶绿素 a	家系	21	9.30	<0.0001
叶绿素 b	家系	21	11.59	<0.0001
类胡萝卜素	家系	21	15.58	<0.0001

由表 5 还可知,家系 Y3、Y8、Y6、Y9、P12 的叶绿素 b 含量在 1.07~0.92 mg/g 之间,显著高于 CK 和部分参试家系;家系 N3、N5、S3 的含量为 0.52~0.43 mg/g,显著低于 CK 和大部分家系;其余家系在以上两者之间,与 CK 无显著差异。类胡萝卜素以家系 Y8、Y9 的最高,分别为 0.536 mg/g 和 0.521 mg/g,显著高于 CK 和其他家系;家系 N3 的含量为 0.231 mg/g,显著低于 CK 和其他家系;其余家系在 0.404~0.295 mg/g 之间,与 CK 无显著差异。

表 5 南洋楹家系叶片光合物质含量多重比较分析

单位:mg/g

序号	叶绿素 a			叶绿素 b			类胡萝卜素		
	家系	含量	差异	家系	含量	差异	家系	含量	差异
1	Y8	1.91	a	Y3	1.07	a	Y8	0.536	a
2	Y9	1.87	ab	Y8	1.00	a	Y9	0.521	a
3	Y3	1.87	ab	Y6	0.97	ab	Y3	0.404	b
4	Y6	1.86	ab	Y9	0.94	abc	Y6	0.403	b
5	P12	1.82	abc	P12	0.92	abcd	N2	0.398	b
6	P16	1.59	bcd	N2	0.83	bcde	S1	0.385	b
7	S1	1.58	bcd	S1	0.82	bcde	Y5	0.383	b
8	N2	1.58	bcd	P16	0.82	bcde	P14	0.374	bc
9	S2	1.54	cd	S2	0.79	cdef	P12	0.366	bc
10	Y7	1.52	cd	P13	0.78	def	S3	0.361	bcd
11	Y2	1.50	d	Y5	0.77	def	N4	0.359	bcd
12	Y5	1.45	d	Y7	0.76	defg	P16	0.359	bcd
13	CK	1.44	d	CK	0.71	efgh	Y2	0.358	bcd
14	Y4	1.42	de	Y2	0.71	efgh	CK	0.351	bcde
15	P13	1.40	de	P14	0.69	efgh	S2	0.317	cde
16	P14	1.36	de	N1	0.66	efghi	P15	0.306	de
17	N1	1.30	def	Y4	0.65	fghi	P13	0.303	de
18	N4	1.28	def	N4	0.60	ghij	Y7	0.303	de
19	P15	1.12	efg	P15	0.56	hijk	N5	0.299	e
20	S3	1.04	fg	N3	0.52	ijk	Y4	0.297	e
21	N3	0.92	g	N5	0.49	jk	N1	0.295	e
22	N5	0.92	g	S3	0.43	k	N3	0.231	f

2.4 生理指标间的相关性分析

表 6 生理指标间的偏相关系数

	SOD酶	相对电导率	可溶性糖	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素
MDA	-0.335	0.383	-0.467*	-0.065	-0.020	0.302
SOD酶	1	0.499**	-0.518**	-0.076	0.081	-0.281
相对电导率		1	0.036	-0.012	0.012	0.345
可溶性糖			1	0.070	-0.113	-0.144
叶绿素 a				1	0.934***	0.373
叶绿素 b					1	-0.137

注:表中 * 表示较显著相关 (P < 0.1); ** 表示显著相关 (P < 0.05); *** 表示极显著相关 (P < 0.01)。

采用偏相关系数对各生理指标进行相关分析表明(表6),除类胡萝卜素和相对电导率外,MDA含量与其他生理指标间呈不同程度的负相关,其中与可溶性糖含量达较显著负相关($P < 0.1$)。SOD酶活性与相对电导率有显著正相关,与可溶性糖含量有显著负相关,与叶绿素a和类胡萝卜素含量也呈一定负相关关系。除了叶绿素a外,相对电导率与其余指标有不同程度的正相关,但均未达显著水平。可溶性糖含量与叶绿素a呈正相关,与叶绿素b和类胡萝卜素呈负相关,但均未达显著水平。叶绿素a和叶绿素b呈极显著正相关;类胡萝卜素与叶绿素a呈正相关,与叶绿素b呈负相关,但均未达显著水平。

2.5 南洋楹家系抗寒能力综合评价

环境胁迫下植物的抗性反应是一个复杂的生理、生化、生态过程,并且各种生理生化之间相互影响、相互作用。因此,利用单一生理指标很难揭示植物抗寒性的复杂本质^[4,7]。为了尽量克服单一指标鉴定的不足,本文采用主成分分析法对南洋楹的抗寒性生理指标进行了综合评价。主成分分析结果见表7,保留前三个主成分(累积贡献率87.98%)。由表7可知,对第一主成分贡献较大的是光合物质含量(叶绿素a、b和类胡萝卜素),与抗寒性呈一定正相关;第二主成分以SOD酶活性、相对电导率和MDA的贡献较大,其中MDA含量与抗寒性呈一定负相关;第三主成分主要反映可溶性糖含量的作用。

表7 生理指标的主成分分析

项目	主成分		
	1	2	3
特征根	2.8035	2.2657	1.0896
累计贡献率(%)	40.05	72.42	87.98
特征向量			
MDA	-0.00764	-0.56510	-0.37074
SOD酶	0.10106	0.57854	-0.30535
相对电导率	0.25864	0.51839	0.02853
可溶性糖	-0.26092	-0.00943	0.8324
叶绿素a	0.56106	-0.088615	0.20629
叶绿素b	0.55924	-0.046717	0.17438
类胡萝卜素	0.47667	-0.259037	0.05156

南洋楹家系的主成分值见表8,根据公式 $\sum_{j=1}^3 j_j$ (j_j 为主成分贡献率, j_j 为南洋楹家系主成分值, $j=1 \sim 3$) 求出南洋楹家系综合抗寒力数值^[9](表8)。由表8可知,22个家系的抗寒力平均值为0,标准差为0.538,抗寒力大于均值加一个标准差的家系有P16、Y6、P12、P14,为0.838~0.633,表明其综合抗寒力相对较强;抗寒力小于均值减一个标准差(-0.538)且小于CK的家系有Y4、S3、N4和N5,为-0.529~-1.040,说明其综合抗寒力相对较弱;其余家系的抗寒力数值在以上两者之间,综合抗寒力表现中等。

表8 南洋楹家系的主成分值和抗寒力

家系	PR N1	PR N2	PR N3	抗寒力	位次	家系	PR N1	PR N2	PR N3	抗寒力	位次
P16	0.958	1.897	-1.026	0.838	1	Y2	-0.249	0.013	0.895	0.044	12
Y6	1.289	0.687	0.527	0.821	2	P13	-0.200	0.338	-0.456	-0.041	13
P12	0.950	0.630	1.162	0.765	3	P15	-0.819	0.748	-1.009	-0.243	14
P14	0.021	1.652	0.579	0.633	4	N2	0.234	-1.165	0.116	-0.265	15
Y3	1.234	-0.456	0.559	0.434	5	N3	-1.545	1.292	-0.510	-0.280	16
S2	-0.158	0.511	1.648	0.358	6	Y7	0.236	-0.022	-2.603	-0.317	17
Y8	2.096	-0.935	-1.842	0.250	7	CK	-0.525	-1.138	0.422	-0.513	18
Y9	1.388	-1.298	0.565	0.224	8	Y4	-0.954	-0.756	0.628	-0.529	19
Y5	0.143	0.118	0.519	0.176	9	S3	-1.187	-0.148	-0.307	-0.571	20
S1	0.194	-0.151	0.838	0.159	10	N4	-0.908	-1.858	-0.100	-0.981	21
N1	-0.608	0.941	0.109	0.078	11	N5	-1.592	-0.900	-0.713	-1.040	22

3 结论和讨论

3.1 低温胁迫能破坏植物叶片细胞膜系统,使叶片相对电导率增加,同时也使植物体内 O_2^- 等活性氧含量增加,降低 SOD 酶活性^[6],并导致叶片叶绿素含量降低和 MDA 含量及可溶性糖含量增加,这已在茶树 (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze)^[3]、水稻 (*Oryza sativa* L.)^[4]、喜树 (*Camptotheca acuminata* Dence)^[5]、马占相思 (*Acacia mangium*)^[7]、杏 (*Prunus ameniaca* Linn.)^[9]、栎树 (*Koelreuteria paniculata* Laxm.)^[10]、香蕉 (*Musa nana* Lour.)^[11] 等多种植物上得到证实。本项研究表明,南洋楹在 1~4 自然低温侵袭一周后,叶片各项生理指标的变化与上述树种基本相似,但在家系间的变化不尽相同,这可能与试验仅在一个时间点采样测定有关,但也说明了植物生长的过程错综复杂,受多种因素影响。在进行抗寒性评价时,应结合多个抗寒因子进行综合考虑,单一指标将很难反映植物的抗寒性实质^[3,9]。

3.2 相关性分析表明,相对电导率与 SOD 酶活性有显著正相关;可溶性糖与丙二醛有较显著负相关,与 SOD 酶有显著负相关。由此可知,在低温环境下,南洋楹表现出了自身的协调能力,其过程较为复杂,包括了细胞膜透性、保护酶活性、渗透调节及光合物质含量的变化。

3.3 由主成分分析可知,叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量与南洋楹抗寒性有较密切的正相关;其次是 SOD 酶活性、相对电导率和 MDA 含量,而 MDA 含量与抗寒性呈一定负相关,这与郭爱华等对杏的研究结果一致^[9];最后是可溶性糖含量,与抗寒性成一定正相关;综合评价结果表明,家系 P16、Y6、P12、P14 的综合抗寒力较强,家系 Y4、S3、N4 和 N5 的较弱。

由于本研究仅在一个时间点的自然环境下采集样品进行抗寒生理研究,因此,在低温变化对南洋楹抗寒性的影响方面尚有待探究,同时抗寒性生理指标和植株外在形态特征及生长量方面的关系也是下一步研究的重要内容。

参考文献

- [1] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学试验指导 [M]. 广州:华南理工大学出版社,2002:31-55.
- [2] 李合生,孙群,赵世杰,等. 植物生理生化试验指导 [M]. 北京:高等教育出版社,2000,167-262.
- [3] 骆颖颖,梁月荣. 茶树抗寒性的间接鉴定 [J]. 茶叶科学技术,1998(3):1-7.
- [4] 李美茹,刘鸿先,王以柔. 低温下水稻幼苗叶片细胞膜膜脂过氧化和膜磷脂脱酯化反应 [J]. 广西植物,1998,18(2):173-176.
- [5] 冯建灿,张玉洁,杨天柱. 低温胁迫对喜树幼苗 SOD 活性、MDA 和脯氨酸含量的影响 [J]. 林业科学研究,2002,15(2):197-202.
- [6] 王建华,刘鸿先,徐同. 超氧化物歧化酶 (SOD) 在植物逆境和衰老生理中的作用 [J]. 植物生理学通报,1989(1):1-7.
- [7] 孙清鹏,许煌灿,张弓秋,等. 低温胁迫对大叶相思和马占相思某些生理特性的影响 [J]. 林业科学研究,2002,15(1):34-40.
- [8] 方允中,李文杰. 自由基与酶 (基础理论及在生物学和医学中的应用) [M]. 北京:科学出版社,1989:181-188.
- [9] 郭爱华,陈钰,姚月俊,等. 杏品种抗寒性主成分分析 [J]. 山西农业大学学报,2007,27(3):234-237.
- [10] 刘西平,胥耀平,王抹清,等. 低温对栎树幼苗衰老与脂质过氧化关系 [J]. 西北林学院学报,1995,10(4):72-75.
- [11] 周碧燕,梁立峰,黄辉白,等. 低温和多效唑对香蕉及大蕉超氧化物歧化酶和脱落酸的影响 [J]. 园艺学报,1995,22(4):331-335.