

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201312003

乔永旭. 水杨酸对牡丹叶片耐冷性的影响[J]. 广西植物, 2015, 35(3):343–347

Qiao YX. Effects of salicylic acid on cold resistance of *Paeonia suffruticosa* leaves[J]. Guihaia, 2015, 35(3):343–347

水杨酸对牡丹叶片耐冷性的影响

乔永旭

(唐山师范学院 生命科学系, 唐山 063000)

摘要: 为了探索低温胁迫下, 水杨酸(salicylic acid, SA)提高牡丹叶片耐冷性的生理机制, 以8年生牡丹品种‘胡红’20 d叶龄的叶片为试材, 将其浸入0、0.5、1.0、1.5、2.0 mmol·L⁻¹的SA水溶液, 置于4℃光照培养箱进行暗培养, 经0、4、8、12 h的低温处理后取样测定其活性氧水平和保护酶活性, MDA、可溶性糖和可溶性蛋白含量及细胞膜透性。结果表明: 施用低于2.0 mmol·L⁻¹的SA可减轻低温对牡丹叶片的伤害程度, 降低O₂⁻·、H₂O₂和MDA含量以及细胞膜透性, 但能使可溶性糖、可溶性蛋白含量升高, POD、SOD和CAT活性增加。其中1.0 mmol·L⁻¹的SA能显著降低叶片组织中O₂⁻·和MDA的含量, 明显降低低温引起的叶片水渍化程度, 随着低温处理时间的增加, 这种效果更加明显。施用2.0 mmol·L⁻¹的SA并不能明显减轻低温引起的叶片水渍化程度, 当低温处理12 h后, 叶片受到的低温伤害程度和没有施用SA时没有明显区别。总之, SA是否能明显提高牡丹叶片的耐冷性与其浓度有关, 1.0 mmol·L⁻¹的SA最能提高牡丹叶片的抗寒性, 过低和过高浓度的SA则不能明显增加叶片的抗寒性。该研究成果能快速应用于牡丹的提早生产, 并为增强其它作物的抗寒性提供理论参考。

关键词: 牡丹叶片; 抗寒性; 水杨酸

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)03-0343-05

Effects of salicylic acid on cold resistance of *Paeonia suffruticosa* leaves

QIAO Yong-Xu

(Department of Life Sciences, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, China)

Abstract: In order to explore the physiological mechanism of salicylic acid (SA) improving ability against chilling injury of plant leaves, 20 d old leaves of *Paeonia suffruticosa* cultivar ‘huhong’ were treated by 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mmol·L⁻¹ SA under 4℃ darkness incubator, and then effects of SA on the contents of H₂O₂, O₂⁻·, soluble sugar, soluble protein and malonaldehyde (MDA) content, the activities of guaiacol-dependent peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT), and membrane permeability in leaves of *P. suffruticosa* were investigated in 0, 4, 8, 12 h later. The results showed that low concentration of SA (<2.0 mmol·L⁻¹) could reduce chilling injury of leaves of *P. suffruticosa*, the content of H₂O₂, O₂⁻· and MDA, and membrane permeability of leaves of *P. suffruticosa*. However, it could increase the contents of soluble sugar and soluble protein, and activities of POD, SOD and CAT of leaves of *P. suffruticosa*. Especially, 1.0 mmol·L⁻¹ SA could decrease contents of O₂⁻· and MDA, and reduced chilling injury of leaves of *P. suffruticosa*. The longer the time of lower temperature treatment was, the stronger the protection of SA to leaves of *P. suffruticosa* was. 2 mmol L⁻¹ SA did not significantly reduce the low temperature inducing leaf water salinization degree. The degree of chilling injury of leaves *P. suffruticosa* un-

收稿日期: 2014-05-25 修回日期: 2014-07-08

基金项目: 国家科技部科技基础专项(2007FY110500-9)

作者简介: 乔永旭(1978-), 男, 山西晋城人, 博士, 副教授, 从事园艺植物逆境生理和细胞工程研究, (E-mail) qiaoyx123@163.com。

der 4 °C for 12 h whether to 2 mmol L⁻¹ SA use or not was the same. It was concluded that whether SA can obviously improve ability against chilling injury of leaves *P. suffruticosa* depended on SA concentration. 1.0 mmol · L⁻¹ SA reduced chilling injury of leaves of *P. suffruticosa*, while the lower or higher concentration SA could not obviously increase the cold resistance of leaves of *P. suffruticosa*. The results can be applied quickly in early spring production of *P. suffruticosa*, and provide the theoretical reference for ability against chilling injury of other crops.

Key words: *Paeonia suffruticosa* leaves; cold resistance; salicylic acid

牡丹(*Paeonia suffruticosa*)属芍药科,又名木芍药、洛阳花等。为我国特产名花,雍容华贵,国色天香,自古尊为花中之王,有富贵花之称。大田牡丹要经历低温的春季,低温能降低植物叶片的光合作用、改变叶绿素的组成、抑制叶片的发育(Kratsch *et al.*, 2000)。此外,低温还能增加辣椒的膜脂过氧化程度和抗氧化酶活性(王洪涛等, 2010),也能明显增加牡丹叶片活性氧水平及渗透调节物质的含量(刘春英等, 2012)。因此提高植物叶片的抗冷性有助于提高植物个体的抗冷性。

水杨酸(salicylic acid, SA)是植物体内普遍存在的小分子酚类物质,既参与调控了植物体内许多生理代谢过程,比如植物生长、发育、成熟、衰老等,又能提高植物对盐碱、干旱、紫外线、重金属和低温的抗性(孟雪娇等, 2010; 张亚新等, 2007)。SA可通过诱导提高香蕉和冬麦的抗氧化酶活性从而增强植物对非生物胁迫的适应性(孟雪娇等, 2010)。Kang *et al.* (2002)认为SA提高黄瓜和玉米的耐冷性与GR和POD的活性增加有关,但SA在提高牡丹叶片的抗低温能力方面尚未见有研究报道(王宏等, 2007; 岳桦等, 2009; 闫中园等, 2009)。基于此,本试验以8年生‘胡红’牡丹为试验材料,研究SA对低温胁迫下牡丹抗寒性的影响,以期为提高牡丹的抗寒性提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试牡丹品种为8年生‘胡红’,采自唐山师范学院苗圃园。选择生长健壮,无病虫害,无机械损伤,约20 d叶龄的叶片,测定其生理指标作为对照。之后将叶片浸入0、0.5、1.0、1.5、2.0 mmol · L⁻¹的SA溶液,置入4 °C光照培养箱内进行暗培养,4、8、12 h的低温处理后取样测定其生理指标。

1.2 测定方法

H₂O₂和O₂⁻含量的测定采用乔永旭等(2010)

的方法,POD、SOD和CAT活性测定依据王学奎(2006)的方法,细胞膜透性测定采用电导率仪法(乔永旭, 2010),MDA、可溶性蛋白和可溶性糖含量测定采用张志良(2003)的方法。

2 结果与分析

2.1 SA对低温处理过程中牡丹叶片中活性氧和膜脂过氧化的影响

由表1可知,随着低温处理时间的增加,O₂⁻和H₂O₂含量均先升高后降低,处理8 h时达最大值,之后降低。SA处理后O₂⁻含量较未经SA处理的要低,当SA的浓度为0.5 mmol · L⁻¹时,O₂⁻含量降至最低。随着SA浓度的增加,O₂⁻的含量降低的幅度逐渐减小。0.5 mmol · L⁻¹ SA处理后的H₂O₂含量较未经处理的明显上升,但当SA的浓度大于0.5 mmol · L⁻¹时,H₂O₂含量反而随着SA浓度的增高而降低。此外,低温使牡丹叶片的MDA含量上升,不同浓度SA处理会不同程度地降低其上升幅度,以浓度为1.0 mmol · L⁻¹ SA的效果最明显,低温处理12 h后,1.0 mmol · L⁻¹ SA处理后的MDA含量较处理前降低了23.4%。从低温持续时间看,随低温处理时间的延长,MDA含量呈现先升后降的变化趋势。SA处理后牡丹叶片的MDA含量均低于处理前,说明适当浓度的SA处理使膜脂过氧化程度降低,增强牡丹叶片的耐冷性。

2.2 SA对低温处理过程中牡丹叶片中保护酶活性的影响

由表2可知,随着低温处理时间的增加,SOD、POD和CAT活性变化趋势基本一致,均为先升高后降低。低温处理8 h后,SOD、POD和CAT酶活性均达最高;12 h后则达到最低。施加SA在一定程度上提高了SOD、POD和CAT的活性,且随着外源SA浓度增加,叶片SOD、POD和CAT活性的增加量也呈现先增加后降低的趋势。低温处理8 h后,0.5、1.5和2.0 mmol · L⁻¹ SA处理后的总酶活

表 1 不同浓度 SA 对牡丹叶片中 O₂⁻· 和 H₂O₂ 含量的影响

Table 1 Influencing on O₂⁻· and H₂O₂ contents in leaves of *Paeonia suffruticosa* treated with different concentrations of SA

生理指标 Physiological index	低温处理时间 Low temperature time (h)	SA 浓度 SA concentration (mmol · L ⁻¹)				
		0	0.5	1.0	1.5	2.0
O ₂ ⁻ · 含量 O ₂ ⁻ · content (μmol · g ⁻¹)	0	0.229±0.021a	0.227±0.021a	0.228±0.021a	0.229±0.021a	0.231±0.021a
	4	0.249±0.014a	0.201±0.012a	0.235±0.019a	0.246±0.016a	0.251±0.012a
	8	0.302±0.013b	0.284±0.021b	0.250±0.020c	0.298±0.018b	0.282±0.019b
	12	0.261±0.017b	0.198±0.019d	0.182±0.012d	0.249±0.016a	0.260±0.015b
H ₂ O ₂ 含量 H ₂ O ₂ content (mmol · L ⁻¹ · g ⁻¹)	0	0.740±0.051a	0.745±0.045a	0.739±0.047a	0.743±0.057a	0.738±0.053a
	4	1.550±0.116b	2.060±0.192b	0.830±0.043a	0.630±0.038a	0.710±0.024a
	8	1.570±0.132b	2.590±0.201b	1.280±0.110c	0.880±0.043a	0.790±0.032a
	12	0.450±0.023d	0.780±0.041a	0.390±0.030d	0.320±0.024d	0.260±0.018d
MDA 含量 MDA content (μmol · g ⁻¹)	0	0.040±0.002a	0.043±0.002a	0.041±0.001a	0.045±0.002a	0.044±0.002a
	4	0.057±0.003b	0.051±0.003b	0.047±0.002b	0.054±0.002b	0.055±0.003b
	8	0.048±0.002a	0.045±0.003a	0.040±0.003a	0.046±0.002a	0.047±0.002a
	12	0.047±0.002a	0.042±0.002a	0.036±0.001c	0.042±0.002a	0.043±0.001a

注：平均值±标准偏差后面的不同字母表示在 0.05 水平上存在的差异。下同。
Note: Means±SD for treatments that have different letters are significantly different at P<0.05. The same below.

表 2 不同浓度 SA 对牡丹叶片中 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

Table 2 Influencing on SOD,POD and CAT activities in leaves of *P. suffruticosa* treated with different concentrations of SA

生理指标 Physiological index	低温处理时间 Low temperature time (h)	SA 浓度 SA concentration (mmol · L ⁻¹)				
		0	0.5	1.0	1.5	2.0
SOD 活性 SOD activity (U · g ⁻¹ · min ⁻¹)	0	5082±102a	5079±94a	5050±80a	5088±99a	5049±112a
	4	5274±176a	6420±389b	7222±266b	6802±321b	5121±256a
	8	6738±223b	6917±354b	7630±387b	7515±219b	6063±365b
	12	6076±227b	6496±269b	7070±305b	6789±378b	6420±274b
POD 活性 POD activity (U · g ⁻¹ · min ⁻¹)	0	10.400±1.527a	10.625±2.165a	10.738±1.291a	10.289±0.998a	10.451±1.882a
	4	11.250±2.357a	11.875±1.931a	19.375±2.893c	18.125±1.098c	13.125±0.882a
	8	11.875±1.07a	13.125±1.64a	20.000±3.00c	18.750±1.91c	18.125±2.01c
	12	8.750±1.00b	10.000±0.892b	11.875±1.640a	8.750±0.663b	7.500±0.917b
CAT 活性 CAT activity (U · g ⁻¹ · min ⁻¹)	0	1.667±0.114a	1.681±0.187a	1.594±0.144a	1.688±0.192a	1.694±0.071a
	4	3.334±0.267b	5.417±0.391c	5.834±0.521c	5.000±0.320c	3.750±0.142b
	8	3.750±0.274b	5.834±0.498c	5.834±0.500c	5.417±0.467c	4.167±0.231b
	12	1.667±0.103a	2.917±0.188d	2.500±0.244d	2.084±0.118d	2.084±0.097d

性较对照分别增加了 36.1%、47.9% 和 19.4%，而 1.0 mmol · L⁻¹ SA 处理的总酶活性较对照则提高了 50.2%。低温处理 4 h 和 12 h 的酶活性变化与此类似，但酶活性增加的幅度降低了。因此 1.0 mmol · L⁻¹ SA 处理 8 h 时最能增加保护酶的活性。

2.3 SA 对低温处理过程中牡丹叶片几种渗透调节物质的影响

表 3 显示，随着低温处理时间的增加，电导率水平逐渐升高，处理 12 h 时电导率达到最大值。低温处理 0~8 h，SA 处理后电导率较没有经过 SA 处理的有所降低，SA 以 1.0 mmol · L⁻¹ 处理 4 h 时效果最为明显，电导率比对照降低了 44.03%；当低温处理时间为 12 h 时，SA 处理并没有降低牡丹叶片的

电导率。另外，随低温处理时间的增加，牡丹叶片中可溶性蛋白和可溶性糖含量先升高后下降。较低浓度 SA 均提高了可溶性蛋白和可溶性糖的含量，且提高的程度随着 SA 浓度的增加先升高后降低，其中 1.0 mmol · L⁻¹ SA 增加效果最为明显，其次为 0.5 mmol · L⁻¹ 的 SA，之后为 1.5 mmol · L⁻¹ 的 SA；2.0 mmol · L⁻¹ SA 则与之相反；处理后反而增加了可溶性蛋白质和糖的含量。

2.4 SA 对低温处理过程中牡丹叶片冷害的影响

从表 4 可以看出，SA 能减轻牡丹叶片受冷害的程度。冷害处理 4 h 以内，处理和对照之间无差异。8 h 后，未施用 SA 的牡丹叶片开始出现水渍状，施用 SA 的叶片则无该症状。低温处理 12 h 后，

表 3 不同浓度 SA 对牡丹叶片电导率、可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响
Table 3 Influencing on EC,soluble protein and soluble sugar contents in leaves of *P. suffruticosa* treated with different concentrations of SA

生理指标 Physiological index	低温处理时间 Low temperature time (h)	SA 浓度 SA concentration (mmol · L ⁻¹)				
		0	0.5	1.0	1.5	2.0
电导率 Conductivity ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	0	33.400±2.092a	32.786±3.178a	33.220±2.389a	34.102±4.000a	33.388±3.997a
	4	72.900±8.261b	40.800±2.659c	36.200±1.936a	58.100±4.871c	68.400±6.582c
	8	82.400±7.923b	80.500±6.784b	70.200±4.596b	79.400±6.527b	80.300±9.368b
	12	89.900±8.006b	88.200±9.354b	84.300±6.492b	94.900±8.537b	90.500±9.015b
可溶性蛋白含量 Soluble protein content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0	23.900±1.073a	23.900±3.201a	23.900±2.558a	23.900±1.937a	23.900±3.014a
	4	29.900±2.784b	33.600±2.096b	41.100±3.827b	29.500±2.489b	28.030±2.916b
	8	21.200±1.823a	24.100±2.017a	29.500±4.163b	22.900±2.001a	18.800±1.476a
	12	23.400±2.095a	24.600±1.869a	24.500±3.004a	30.500±2.058b	20.100±1.784a
可溶性糖含量 Soluble sugar content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0	64.128±4.579a	64.039±6.028a	63.829±5.396a	65.573±2.189a	64.001±4.778a
	4	76.334±5.578b	85.334±7.823b	92.679±5.889b	82.128±7.463b	76.645±3.838b
	8	60.093±7.548a	69.093±5.774b	81.197±4.968b	73.438±3.589b	56.162±4.997a
	12	64.438±6.457a	70.955±8.652b	68.783±5.093a	60.507±2.774a	57.610±4.256a

1.0 mmol · L⁻¹ SA 处理的叶片水渍状程度最低,0.5 和 1.5 mmol · L⁻¹ SA 处理的为其次,2.0 mmol · L⁻¹ SA 处理的和未施用 SA 的牡丹叶片水渍化程度最高。

表 4 SA 对低温处理过程中牡丹叶片冷害的影响
Table 4 Influencing on chilling injury of leaves of *P. suffruticosa* treated with different concentrations of SA

低温处理时间 Low temperature time (h)	SA 浓度 SA concentration (mmol · L ⁻¹)				
	0	0.5	1.0	1.5	2.0
0	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
8	+	-	-	-	-
12	***	**	+	**	***

注:“-”表示叶片没有冷害症状;“+”表示叶片水渍状程度。
Note:“-”means no chilling injury symptom in leaves;“+”means chilling injury symptom level in leaves.

3 讨论与结论

SA 可通过调节抗氧化酶活性、降低活性氧的积累、抑制电解质泄漏和提高光合作用效率来增强植物的耐寒性(孟雪娇等,2010)。Kang *et al.* (2003)研究认为 5℃低温条件下用 0.5 mmol · L⁻¹ SA 处理敏感型香蕉幼苗抑制了电解质的泄漏,提高了 SOD、CAT、POX 的活性,抑制了活性氧水平的增加,提高了香蕉的光合作用。而较高浓度的 SA 则引起电解质泄漏增加,加剧了低温冷害,说明 SA 的浓度要适宜,在一定的范围内起积极作用,这和本研究的结果基本一致。本研究发现,4℃下 1.0

mmol · L⁻¹ SA 处理后能明显降低电解质的渗漏,但 2.0 mmol · L⁻¹ 的 SA 长时间处理则增加了牡丹叶片电解质的渗漏;此外,低浓度的 SA 处理后,SOD、CAT 和 POD 活性均较处理前有了明显提高,其中 1.0 mmol · L⁻¹ SA 的效果最好。本研究还发现,低浓度 SA 处理 0~8 h 以内,各酶活性均有了较大提高,活性氧总体水平也有了提高,之后二者均呈下降趋势,这和抗氧化系统酶具有清除活性氧的功能相矛盾。通过前人研究,这可能和抗氧化系统酶的性质有关(尚庆茂等,2007;乔永旭,2010),该酶有两种作用方式(庞金安等,2000):一是当底物浓度增加(O₂⁻ 和 H₂O₂),诱导了酶活性增加,此时称为诱导酶;另外一种方式是当抗氧化系统酶具有清除活性氧的功能,浓度越高,清除活性氧的能力越强,此时称为保护酶。本研究发现,低温处理 8 h 时,底物(O₂⁻ 和 H₂O₂)含量和酶(SOD、POD 和 CAT)活性均达到了最大值,此时的抗氧化系统酶为诱导酶;低温处理 8 h 后,底物含量和酶活性均呈现下降趋势,此时酶为保护酶,虽然在低温处理 8 h 后,保护酶活性下降,但依然能消除大量的 O₂⁻ 和 H₂O₂,所以在低温处理后期活性氧的含量也快速降低。由此可见,同一种酶在植物生理代谢过程中参与不同的代谢方向。

MDA 是膜脂氧化的最终产物,可与生物膜上的蛋白质等反应,使之失活,破坏生物膜的结构与功能;还会造成细胞膜内不饱和脂肪酸过氧化作用,从而导致细胞膜破裂(庞金安等,2000)。MDA 在正常生长的植株体内含量较低,当植株处于不良环

境时,MDA 含量会上升。上升的原因主要是自由基的过多积累(王毅等,1994)。抗寒性强的植物MDA含量的变化明显低于抗寒性弱的植物(聂庆娟等,2007)。在本试验中,随着低温处理时间的增加,MDA含量先上升后下降,与张富平(张富平等,2007;周立明等,2009)的结果不同。形成这种差异的原因可能是由于不同的植物具有不同的抗寒机制,也可能由于低温胁迫温度及时间的不同所致。低浓度SA能适度抑制MDA含量上升的趋势。本研究发现,1.0 mmol·L⁻¹ SA明显降低了低温胁迫下的MDA含量,冷害实验也证明了植物组织中的MDA含量越低,受到的冷害程度越低。因此可知1.0 mmol·L⁻¹的SA最能提高牡丹叶片的抗寒性。

参考文献:

- Kang GZ, Wang ZX, Sun GC. 2003. Participation of H₂O₂ in enhancement of cold chilling by salicylic acid in banana seedlings [J]. *Acta Phytotax Sin*, **45**(5):567—573
- Kang HM, Saltveit ME. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid[J]. *Physiol Plant*, **115**:571—576
- Kratsch HA, Wise RR. 2000. The ultrastructure of chilling stress [J]. *Plant Cell & Environ*, **23**:337—350
- Liu CY(刘春英), Chen DY(陈大印), Gai SP(盖树鹏), et al. 2012. Effects of high-and low temperature stress on the leaf PS II functions and physiological characteristics of tree peony(*Paeonia suffruticosa* cv. Roufufurong)(高、低温胁迫对牡丹叶片PS II功能和生理特性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*, **23**(1):133—139
- Meng XJ(孟雪娇), Di K(邸昆), Ding GH(丁国华). 2010. Progress of study on the physiological role of salicylic acid in plant(水杨酸在植物体内的生理作用研究进展)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), **26**(15):207—214
- Nie QJ(聂庆娟), Meng Z(孟朝), Liang HY(梁海永). 2007. Effect on low temperature stress on lipid peroxidation and activity of cell defense enzymes of four evergreen broadleaved tree species(低温胁迫对4种常绿阔叶植物膜脂过氧化及保护酶活性的影响)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **27**(5):578—581
- Pang JA(庞金安), Ma DH(马德华), Huo ZR(霍振荣), et al. 2000. Effect of salicylic acid on chilling resistance of cucumber seedlings(水杨酸预处理对提高黄瓜幼苗耐低温能力的影响)[J]. *Acta Agric Boreal-Sin*(华北农学报), **15**(1):112—115
- Qiao YX(乔永旭). 2010. Effect of salicylic acid on physiological index of *Anthurium andraeanum* leaves at low temperature(低温处理过程中水杨酸对红掌叶片生理指标的影响)[J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报), **38**(2):11—12, 15
- Qiao YX(乔永旭), Zhang YP(张永平), Chen C(陈超), et al. 2010. Relationship between breaking of dormancy and antioxidative system s enzymes in low temperature treatment in bulbs of oriental lily 'Sorbonne'(百合鳞茎低温解除休眠与抗氧化系统酶的关系)[J]. *Southwest Chin J Agric Sci*(西南农业学报), **23**(1):161—163
- Shang QM(尚庆茂), Song SQ(宋士清), Zhang ZG(张志刚). 2007. Physiological mechanisms of salicylic acid enhancing the salt tolerance of cucumber seedling(水杨酸增强黄瓜幼苗耐盐性的生理机制)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **40**(1):147—152
- Wang H(王宏). 2007. Research on cold resistance mechanism of colicweed(荷包牡丹抗寒生理特性的研究)[J]. *Nor Hortic*(北方园艺), (6):134—135
- Wang HT(王洪涛), Ai XZ(艾希珍), Zheng N(郑楠), et al. 2010. Effects of graft on lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities of Capsicum annum seedlings under low temperature and weak light intensity(嫁接对低温弱光下辣椒幼苗膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **21**(5):1289—1294
- Wang XK(王学奎). 2006. The Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiment(植物生理生化试验原理和技术)[M]. Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社):167—168, 169—170, 172—173
- Wang Y(王毅), Yang HF(杨宏福), Li SD(李树德). 1994. Studies on chilling injury and cold hardiness of horticultural crops: a literature review(园艺植物冷害和抗冷性的研究)[J]. *Acta Hortic Sin*(园艺学报), **21**(30):239—244
- Yan ZY(闫中园), Jin YM(金研铭). 2009. Study and comparison on freezing resistance of *Paeonia rockii*(不同品种紫斑牡丹的抗寒性研究与比较)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **37**(24):11511—11513
- Yue H(岳桦), Li X(李欣), Ren L(任丽). 2009. Difference in cold tolerance of *Paeonia rockii* varieties(不同紫斑牡丹品种抗寒性差异分析)[J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报), **37**(5):62—63
- Zhang FP(张富平), Zhang R(张蕊). 2007. Effects of salicylic acid on the cell defense enzymes of maize seedlings during chilling stress(低温下外源水杨酸对玉米幼苗保护酶活性的影响)[J]. *J Maize Sci*(玉米科学), **15**(4):83—85
- Zhou LM(周利民), Chen HP(陈惠萍). 2009. Effect of salicylic acid on banana seedlings under chilling stress(胁迫香蕉幼苗抗冷性的效应)[J]. *Subtrop Plant Sci*(亚热带植物科学), **38**(1):19—22
- Zhang YX(张亚新). 2007. Impact of salicylic SA on plant chilling tolerance(水杨酸对植物抗寒性的影响)[J]. *World Build Mat*(国外建材科技), **28**(3):18—20
- Zhang ZL(张志良), Qu WJ(瞿伟菁). 2003. The Experimental Guide for Plant Physiology(植物生理学实验指导)[M]. Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社):274—277, 159—160, 127—128