

# 切花月季失水胁迫耐性差异与内肽酶活性的关联

赵喜亭 丛日晨 单宁伟 高俊平\*

(中国农业大学观赏园艺与园林系, 北京 100094)

**摘要:** 选用切花月季耐失水胁迫品种 'Samantha' 和中度耐失水胁迫品种 'Belami', 采用带枝花和离枝花两种形式, 在 22~25 °C、RH 30%~50%、 $80 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  荧光灯光照条件下进行了 0~60 h 的失水胁迫处理。结果显示: 失水胁迫中花枝弯颈率的增加, 'Samantha' 快于 'Belami', 同一品种带枝花快于离枝花, 但复水后恢复率的降低前者慢于后者, 同一品种带枝花慢于离枝花。胁迫过程中, 带枝花、离枝花都出现了恢复率快速降低的拐点, 前者晚于后者。对应于花枝复水恢复率快速降低的拐点, 水势值同一品种的带枝花、离枝花基本相同。两品种花瓣中游离氨基酸含量均是带枝花、离枝花快速上升的转折点与其相应的复水率迅速降低拐点相吻合。胁迫诱导的花瓣内肽酶活性上升, 'Samantha' 明显晚于 'Belami', 同一品种带枝花早于离枝花。两品种带枝花和离枝花花瓣内肽酶活性诱导上升的转折点与其相应的复水恢复率迅速降低拐点相一致。胁迫诱导引起花瓣中金属蛋白酶和丝氨酸蛋白酶活性的变化均是 'Samantha' 显著低于 'Belami'。由此推测, 切花月季品种间失水胁迫耐性差异可能与胁迫对花瓣中金属蛋白酶和丝氨酸蛋白酶活性诱导的差异有关。

**关键词:** 月季; 切花; 失水胁迫; 耐性; 内肽酶

**中图分类号:** S 685.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2005) 05-0854-07

## Relationship between Endopeptidase Activity in Petals and Tolerance to Water Deficit Stress of Two Cut Rose Cultivars

Zhao Xiting, Cong Richen, Shan Ningwei, and Gao Junping\*

(Department of Ornamental Horticulture and Landscape Architecture, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** This work was aimed to investigate the relations between tolerance to water deficit stress (WDS) and the activity and type of endopeptidase in different cultivars of Cut roses (*Rosa hybrid*). Two cultivars, 'Samantha' with the strong tolerance to WDS, and 'Belami' with the medium one, were used as materials, and WDS treatment was carried out for 0 - 60 h under the conditions of 22 - 25 °C, RH 30% - 60%, and  $80 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . To make different process of WDS, we treated the two cultivars separately with two manners, namely flowers with and without branches in the same condition of WDS above. The results showed that, the decrease of flower recovery percentage was much slower in 'Samantha' than in 'Belami', and was slower significantly in the flowers with branches than without branches in a cultivar, while the opposite tendency was obtained on the increase of flower bent neck percentage during WDS. A turning point, in which recovery rate of flowers was going to be decreasing rapidly, was observed in both flowers with and without branches, and the occurrence of the turning point was later in 'Samantha' than in 'Belami'. However, the value of water potential was almost the same in a cultivar, corresponding to the turning point of recovery rate. The turning point of quick climbing of free amino acid content in petals was also observed in the flowers of both cultivars, including the two manners, with or without branches separately during WDS, and these points were identical with the turning points of their recovery rate. WDS-induced increase of endopeptidase activity was later in 'Samantha' than in 'Belami', and it was earlier in the flowers with branches than without branches in a cultivar. Interestingly, the turning points of quick increase of endopeptidase activity in-

收稿日期: 2004 - 10 - 25; 修回日期: 2005 - 01 - 05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (39870490)

\*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: gaojp@cau.edu.cn)

duced by WDS in both cultivars with or without branches were consistent with the turning points of their recovery rates. Changes of both metalloproteinase and serine proteinase activities of petals induced by WDS were significantly smaller in 'Samantha' than in 'Belami'. The results above suggested that the difference of tolerance to WDS between different cultivars might be related to the different changes of metalloproteinase and serine proteinase activities in petals induced by WDS.

**Key words:** Rose; Cut flower; Tolerance; Water deficit stress; Endopeptidase

国内外鲜切花长途运输主要采用干式运输,花材常遭受不同程度的失水胁迫。月季切花对失水胁迫的耐性相对较差,往往因失水而导致僵蕾、僵花、萎蔫、弯颈,花朵不能正常开放等。因此,月季切花失水胁迫耐性机理及其减轻措施的研究始终是其采后研究的热点。归纳迄今为止的研究,主要集中在耐失水胁迫品种的筛选,包括耐性类型的划分、忍耐极限的确定等<sup>[1]</sup>;水分吸收和输导能力的改善,包括表面活性剂的应用等<sup>[2]</sup>;抗氧化酶系统和非酶系统的调节机理<sup>[3~5]</sup>;蛋白质等大分子的降解和合成机理,如内肽酶的合成和作用机理等<sup>[6~8]</sup>。

关于植物内肽酶的研究,已经明确是水解蛋白的一类酶,失水胁迫能引起其活性及种类的变化。目前有关的研究主要集中在小麦<sup>[9,10]</sup>、蚕豆<sup>[11]</sup>、豇豆<sup>[12]</sup>等大田作物和模式植物拟南芥上<sup>[13]</sup>。我们前期的研究表明,耐性不同的切花月季品种在花朵自然开放和衰老中内肽酶活性和种类存在差异<sup>[7]</sup>。本研究选用两个失水胁迫耐性不同的品种,采用带枝花和离枝花方式分别进行连续的失水胁迫处理,从胁迫诱导的花瓣内肽酶活性和种类变化层面上,探讨造成切花月季不同品种间失水胁迫耐性差异的可能原因。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材与处理

试验于2001年1月~2003年6月在中国农业大学进行。根据前期失水胁迫耐性品种筛选的结果<sup>[1]</sup>,选取切花月季(*Rosa hybrida*)耐失水胁迫品种'Samantha'和中度耐失水胁迫品种'Belami'。试材购自河北固安和北京郊区。采收标准为开花指数2级<sup>[1]</sup>。采切后,将花材装入盛水的容器内运回实验室。以创造不同的失水胁迫速度为目的,分别采用带枝花和离枝花两种方式进行失水胁迫处理。带枝花枝长25 cm、留3片复叶;离枝花从离花朵最近第一叶位的叶柄基部剪切。在22~25℃、RH 30%~50%、80  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 荧光灯照光的处理条件下干置0~60 h,并定期进行复水处理。失水期间定期取样并进行形态学观察。

### 1.2 测定项目与方法

鲜质量损失率为胁迫后花材鲜质量损失量占胁迫前鲜质量的百分率。胁迫后弯颈率为胁迫后弯颈的花枝数占总花枝数的百分率。复水恢复率是胁迫后于蒸馏水中吸水2 h恢复的花枝数占总花枝数的百分率。这3项指标均为10支花材的平均值。水势用ZIZ-5型水分状况测定仪测定,为5支花材的平均值。

参照Ye等的方法<sup>[14]</sup>,提取花瓣可溶性蛋白质作为粗酶提液,用于可溶性蛋白质含量<sup>[6]</sup>和游离氨基酸含量、内肽酶活性<sup>[7]</sup>及其种类检测。单枝花样本,3次重复。

花瓣内肽酶种类的测定:采用专一性抑制法。内肽酶专一性抑制剂选用金属蛋白酶抑制剂异二胺四乙酸二钠(EDTA)、巯基蛋白酶抑制剂碘乙酸(A)、丝氨酸蛋白酶抑制剂苯基磺酰氟化物(PMSF)。

参照Barbara的方法<sup>[15]</sup>,略有改进。底物偶氮酪蛋白(azocasein)终浓度为1%,酶反应体系由0.1 mL酶液,0.25 mL 50 mmol  $\cdot \text{L}^{-1}$  pH 6 ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ -NaOH)或pH 10 (Tris-HCl)的缓冲液,0.15 mL azocasein溶液,0.1 mL终浓度为1.0 mmol  $\cdot \text{L}^{-1}$ 或5.0 mmol  $\cdot \text{L}^{-1}$ 的抑制剂溶液(对照管和100%酶活体系都分别加入0.1 mL抑制剂溶液的相应溶剂)。反应体系37℃保温3 h,然后加1 mL 10%的

TCA终止反应(对照管则在反应前加TCA),4静置30 min,8 000 ×g离心10 min,上清液用UV7500紫外-可见分光光度计记录340 nm下的吸光度。抑制百分比以 $(1 - A_{340}^o / A_{340}^i) \times 100\%$ 表示,其中, $A_{340}^o$ 、 $A_{340}^i$ 分别为100%酶活体系、抑制剂体系与对照相比在340 nm波长下的吸光度。

## 2 结果与分析

### 2.1 失水胁迫中品种间弯颈率和复水恢复率以及花枝水分状况比较

2.1.1 弯颈率和复水恢复率 将‘Samantha’和‘Belami’以带枝花和离枝花两种形式进行了0~60 h的失水胁迫处理。从图1可以看出,在0~60 h失水胁迫过程中,花枝弯颈率的增加速度,耐失水胁迫品种‘Samantha’快于中度耐失水胁迫品种‘Belami’;同一品种带枝花快于离枝花。失水胁迫后的花枝复水状况,即恢复率的降低速度‘Samantha’慢于‘Belami’;同一品种带枝花慢于离枝花。

进一步分析发现,在0~60 h的失水胁迫过程中,带枝花、离枝花都出现了恢复率快速降低的拐点,并且‘Samantha’晚于‘Belami’,前者带枝花、离枝花分别为30 h和42 h,后者分别为24 h和30 h。

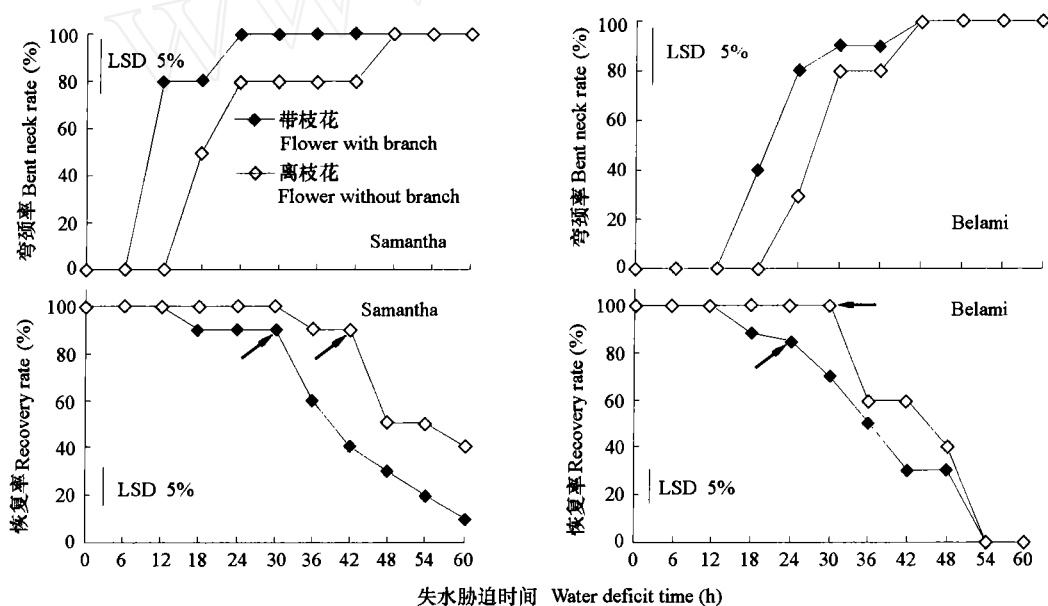


图1 失水胁迫对切花月季‘Samantha’和‘Belami’弯颈率和复水恢复率的影响

图中箭头表示花枝复水恢复率快速降低的拐点。

Fig. 1 Effects of water deficit stress on bent neck and recovery rates in cut rose ‘Samantha’ and ‘Belami’

Arrows in the figure means the turning points going to be decreasing rapidly in recovery rate of flowers

2.1.2 花枝水分状况 从图2看出,在失水胁迫过程中,鲜质量损失率的增加速度‘Samantha’显著快于‘Belami’(图2);同一品种带枝花显著快于离枝花。花朵水势下降速度‘Samantha’显著快于‘Belami’(图2),带枝花快于离枝花,并且‘Samantha’带枝花和离枝花差异显著,而‘Belami’没有达到显著水平。对应于花枝复水恢复率快速降低的拐点,同一品种带枝花、离枝花花朵水势降低值非常接近,‘Samantha’在30 h和42 h的水势分别为-4.04 MPa和-3.85 MPa;‘Belami’在24 h和30 h的水势分别为-2.5 MPa和-2.36 MPa。可见,虽然带枝花、离枝花由失水胁迫带来的水势降低速度有差异,但是花枝复水恢复率进入快速降低拐点处的水势值保持基本一致。

综合上述4项指标,可以认为,切花品种间复水能力,即失水胁迫耐性的差异与其花枝的失水速度没有必然联系。

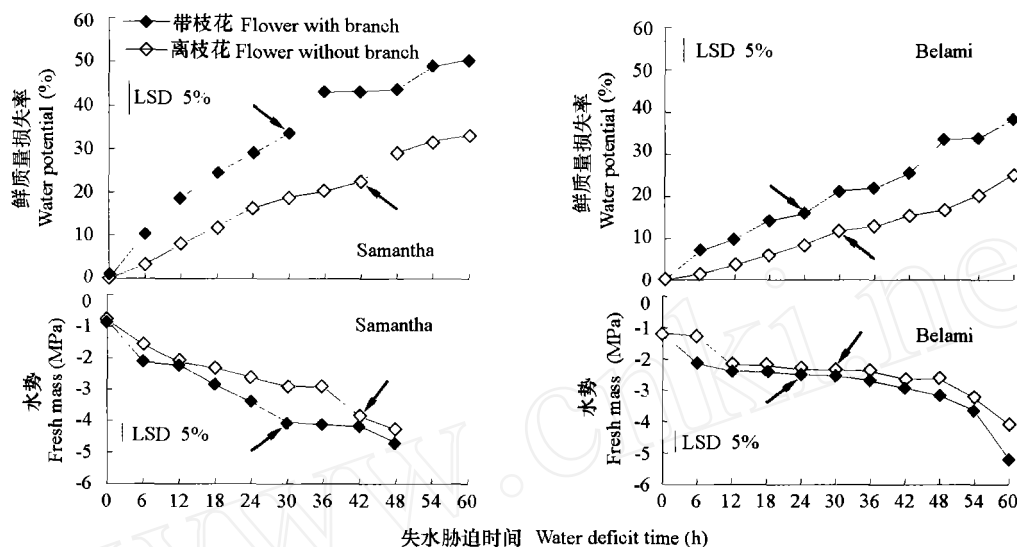


图 2 切花月季 'Samantha' 和 'Belami' 失水胁迫过程中鲜质量损失率和水势的变化

图中箭头为花枝复水率快速降低拐点的位置。

Fig 2 Changes of fresh mass loss rate and water potential in cut rose 'Samantha' and 'Belami' during water deficit stress

Arrows in the figure mean the positions, in which, recovery rates of flowers were turning to be decreased rapidly.

## 2.2 失水胁迫中品种间花瓣可溶性蛋白质和游离氨基酸含量的比较

由图 3 可以看出, 花瓣可溶性蛋白质含量, 'Samantha' 在失水胁迫前期略有增加, 很快进入平稳状态, 然后迅速转向降低趋势, 呈现明显的转折点 (图中箭头); 并且, 带枝花、离枝花这一转折点都与复水恢复率快速降低的拐点 (图 1) 相一致。而 'Belami' 则没有发现规律性的变化。

从图 3 还可以看出, 两品种花瓣中游离氨基酸含量呈现相近的变化趋势, 即胁迫处理前期增加相对缓慢, 然后转向较快的上升趋势; 并且两品种带枝花、离枝花快速上升的转折点都与其相应的复水恢复率迅速降低的拐点相吻合。

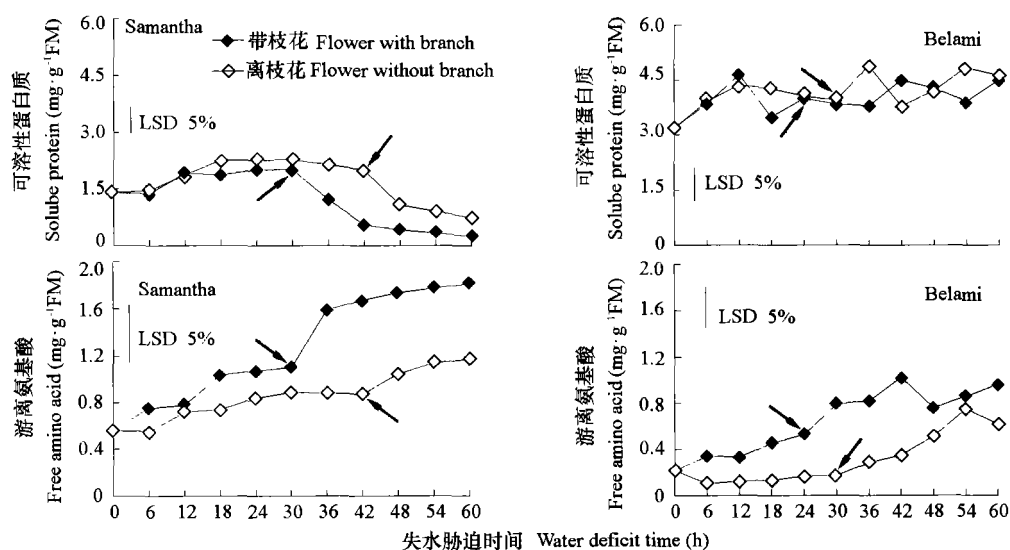


图 3 失水胁迫对切花月季 'Samantha' 和 'Belami' 花瓣可溶性蛋白质和游离氨基酸含量的影响

图中箭头为花枝复水率快速降低拐点的位置。

Fig 3 Effects of water deficit stress on soluble protein and free amino acid contents in petals of cut rose 'Samantha' and 'Belami'

Arrows in the figure mean the positions, in which, recovery rates of flowers were turning to be decreased rapidly.

### 2.3 失水胁迫中品种间花瓣内肽酶活性的比较

我们前期的研究表明, 未经失水胁迫处理的对照花材花瓣中内肽酶活性, ‘Samantha’ 在 pH 10 出现活性高峰; 而 ‘Belami’ 却分别在 pH 6 和 pH 10 出现活性高峰, 其中前者高于后者<sup>[7]</sup>。为此, ‘Samantha’ 和 ‘Belami’ 分别选取 pH 10 和 pH 6 的结果进行分析。

由图 4 看出, 在失水胁迫过程中, 花瓣内肽酶活性的诱导上升, ‘Samantha’ 明显晚于 ‘Belami’; 同一品种带枝花早于离枝花。并且, 两品种带枝花和离枝花诱导上升的转折点与其相应的复水恢复率快速降低的拐点 (图 1) 相一致。由此推测, 两品种失水胁迫耐性之间的差异, 与内肽酶活性诱导升高之间的差异相关联。

### 2.4 失水胁迫中品种间花瓣内肽酶种类的比较

用蛋白酶抑制剂对 ‘Samantha’ 和 ‘Belami’ 花瓣中内肽酶种类进行鉴定的结果见表 1。从中看出, 花瓣中金属蛋白酶活性, 在 pH 6 测定条件下, ‘Samantha’ 因失水胁迫而显著提高, 而 ‘Belami’ 被胁迫显著诱导; 在 pH 10 条件下, ‘Samantha’ 因失水胁迫而轻微诱导; ‘Belami’ 则被显著诱导。

花瓣中巯基蛋白酶活性, 在 pH 6 条件下, 两品种均因失水胁迫而提高, 胁迫处理结束的 60 h, 处理与对照之间达到了显著差异水平, 其中, ‘Samantha’ 差异更大; 在 pH 10 条件下, 两品种对照花材都没有检测出活性, 并且也没有因失水胁迫而诱导。

花瓣中丝氨酸蛋白酶活性, 在 pH 6 条件下, 两品种都没有受到失水胁迫的显著影响; 在 pH 10 条件下, 两品种均因失水胁迫而显著提高, 其中 ‘Belami’ 提高的幅度更大。

由此推测, 两品种失水胁迫耐性之间的差异, 与花瓣中金属蛋白酶和丝氨酸蛋白酶活性诱导之间的差异有关。

## 3 讨论

### 3.1 品种间失水胁迫耐性差异与花朵水势变化之间的关联

我们的前期工作明确, 在给定的失水胁迫条件下, 以月季切花瓶插寿命缩短百分比为衡量基准, 将常见品种的失水胁迫耐性划分为 3 个等级。其中, ‘Samantha’ 等品种为耐失水胁迫品种; ‘Belami’ 等品种为中度耐失水胁迫品种; ‘Gabriella’ 等品种为不耐失水胁迫品种<sup>[1]</sup>。由于 ‘Gabriella’ 等极不耐失水胁迫的品种已被商品生产所淘汰, 故再没能得到。于是, 我们选用了有一定生产规模的

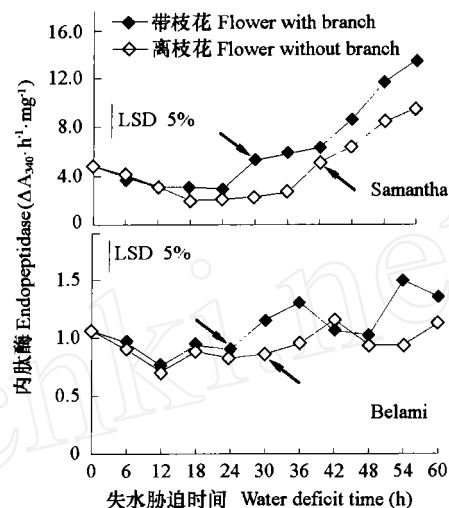


图 4 失水胁迫对切花月季 ‘Samantha’ 和 ‘Belami’ 花瓣中内肽酶活性的影响

图中箭头为花枝复水率快速降低拐点的位置。

Fig 4 Effect of water deficit stress on endopeptidase activity of petals in cut rose ‘Samantha’ and ‘Belami’

Arrows in the figure mean the positions, in which, recovery rates of flowers were turning to be decreased rapidly.

表 1 蛋白酶抑制剂对切花月季 ‘Samantha’ 和 ‘Belami’ 失水胁迫过程中花瓣内肽酶活性的抑制效应

Table 1 Effect of different inhibitors on endopeptidase activity in petals of cut rose ‘Samantha’ and ‘Belami’ during water deficit stress (WDS)

| 品种<br>Cultivar | 处理<br>Treatment           | 抑制百分比 Inhibition (%) |     |      |       |    |      |
|----------------|---------------------------|----------------------|-----|------|-------|----|------|
|                |                           | pH 6                 |     |      | pH 10 |    |      |
|                |                           | EDTA                 | IA  | PMSF | EDTA  | IA | PMSF |
| Samantha       | 对照 Control                | 5b                   | 14b | 13a  | 0a    | 0a | 17b  |
|                | 失水胁迫 30 h<br>WDS for 30 h | 15a                  | 13b | 16a  | 6a    | 0a | 41a  |
|                | 失水胁迫 60 h<br>WDS for 60 h | 14a                  | 40a | 17a  | 0a    | 0a | 43a  |
| Belami         | 对照 Control                | 0c                   | 16b | 20a  | 0c    | 0a | 40b  |
|                | 失水胁迫 30 h<br>WDS for 30 h | 7b                   | 14b | 14a  | 9b    | 0a | 83a  |
|                | 失水胁迫 60 h<br>WDS for 60 h | 16a                  | 25a | 15a  | 18a   | 0a | 83a  |

注: 同一列相同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平上差异不显著,  $n=3$ 。

Note: The same letter in the same row means no significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test,  $n=3$ .

‘Samantha’和‘Belami’,分别作为不同耐性品种的代表。为了创造不同的胁迫进程,分别采用带枝花和离枝花两种方式进行连续的失水胁迫和复水处理。结果表明,在0~60 h失水胁迫过程中,带枝花花枝复水恢复率呈现由缓慢下降到快速下降的拐点,‘Samantha’和‘Belami’分别为30 h和24 h(图1);两品种花朵水势对应于复水率拐点呈现高度吻合的由快速下降转向缓慢下降的转折点。离枝花获得了与带枝花一致的结果(图1、图2)。本试验‘Samantha’失水胁迫30 h获得的水势转折点的数值(-4.04 MPa,图2),与我们前期在相同条件下失水胁迫28 h获得的数值(-4.00 MPa)<sup>[1]</sup>非常吻合,说明同一品种在不同年度和不同季节具有一定的可重复性。这一结果说明,在月季切花流通实践中,我们可以用快速、便捷的花枝复水恢复率作为衡量品种间的失水胁迫耐性的判断指标。

### 3.2 品种间失水胁迫耐性与内肽酶活性和种类诱导之间的关联

植物在遭受与水分亏缺有关的水分胁迫时,体内往往伴随着蛋白质的降解。而蛋白质的降解先是由内肽酶水解成肽段,接着由外肽酶进一步水解成氨基酸。

我们前期的工作表明,失水胁迫30 h提高了切花月季中度耐性品种‘Belami’花瓣中内肽酶活性<sup>[8]</sup>。本试验得到了与上述一致的结果,即随着失水胁迫时间的延长,两品种花瓣内肽酶活性升高。

植物遭受水分胁迫后,能诱导新的内肽酶产生。研究表明,干旱胁迫在豇豆叶片中诱导出多种半胱氨酸内肽酶<sup>[12]</sup>;使两种编码半胱氨酸蛋白酶的基因在拟南芥中显著表达<sup>[13]</sup>;在蚕豆细胞壁诱导出一个编码内肽酶的Cyp15a基因<sup>[11]</sup>;花椰菜采后在空气中放置72 h后,诱导出4个半胱氨酸蛋白酶;在PEG渗透胁迫下,提高了平邑甜茶叶片中巯基蛋白酶、丝氨酸蛋白酶及金属蛋白酶活性,其中最活跃的是巯基蛋白酶。综合上述报道可以明确,水分胁迫诱导产生的主要是巯基蛋白酶。但是,本试验月季切花失水胁迫虽然也提高了其巯基蛋白酶和丝氨酸蛋白酶的活性,并且其中丝氨酸蛋白酶变化最剧烈,但诱导产生的主要是金属蛋白酶。

不同植物的水分亏缺耐性不同,同一植物的不同品种间耐性也会存在差异。耐性不同,胁迫对其器官或组织内肽酶诱导可能会存在差异。对小麦的研究表明,在PEG渗透胁迫下,抗旱性不同的品种叶片内肽酶活性诱导升高幅度和活性组成的变化不同:抗旱品种上升幅度远小于敏感品种;两品种叶片中的内肽酶主要是巯基蛋白酶,其活性因渗透胁迫而显著提高,两品种叶片中没有检测到丝氨酸蛋白酶,其活性在敏感品种中没有因渗透胁迫被诱导,但在抗旱品种中却显著被诱导<sup>[9]</sup>。我们前期的研究表明,耐性不同的‘Samantha’和‘Belami’花瓣中内肽酶活性和种类在自然衰老过程中存在差异<sup>[7]</sup>。本试验对两品种进行连续失水胁迫,结果是耐性品种‘Samantha’花瓣内肽酶活性上升的幅度远大于中度耐性品种‘Belami’;花瓣内肽酶种类,丝氨酸蛋白酶,在pH 10检测条件下,两品种均存在,其活性均因胁迫而显著提高,但‘Samantha’的提高幅度远低于‘Belami’;金属蛋白酶活性,‘Samantha’只在其最适pH 10下被轻微诱导,而‘Belami’在出现活性高峰的pH 6和pH 10下均被显著诱导。本试验所获得的切花月季品种间失水胁迫耐性与内肽酶活性和种类之间的关联与上述农作物小麦之间存在很大的差异。

综合上述,基于我们现有的信息,将月季品种间失水胁迫耐性与失水胁迫对其花瓣内肽酶活性和种类的诱导联系起来,发现二者之间存在一定的关联,在国内外还没有见到过类似的报道。目前我们正围绕失水胁迫诱导的特异内肽酶种类进行深入的探讨。

### 参考文献:

- 1 唐雪梅,高俊平,艾光艳,孙自然.切花月季品种失水胁迫耐性差异及忍耐极限初探.园艺学报,1999,26(1):41~48  
Tang XM, Gao J P, Ai G Y, Sun Z R. Preliminary study on difference and critical value of tolerance to water stress in cut rose cultivars. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26(1): 41~48 (in Chinese)
- 2 Van Doorn W G, Abadie P, Belde P J M. Alkylethoxylate surfactants for rehydration of roses and Bouvardia flower. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24: 327~333

- 3 李永红,张常青,谭 辉,高俊平,张 颢,熊 丽. 提高月季切花失水胁迫耐性的抗氧化剂筛选. 见:朱德蔚主编. 中国园艺学会第九届学术年会论文集. 北京:中国科学技术出版社, 2001. 364~373  
Li Y H, Zhang C Q, Tan H, Gao J P, Zhang H, Xiong L. Selection of antioxidants improving the tolerance to water deficit stress of cut rose flower. In: Zhu D W. The forum of the ninth academic annual meeting of Chinese Society for Horticultural Science. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2001. 364~373 (in Chinese)
- 4 张常青,唐雪梅,高俊平,张 颢,熊 丽. 切花月季‘萨蔓莎’和‘加布里拉’失水胁迫耐性的差异. 园艺学报, 2002, 29 (6): 556~560  
Zhang C Q, Tang X M, Gao J P, Zhang H, Xiong L. Physiological bases of difference related to water deficit tolerance of cut rose cv. Samantha and Gabriella. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29 (6): 556~560 (in Chinese)
- 5 李永红,张常青,谭 辉,金基石,高俊平. 抗氧化剂对月季切花失水胁迫耐性和 SOD、POD 活性的影响. 中国农业大学学报, 2003, 8 (5): 14~17  
Li Y H, Zhang C Q, Tan H, Jin J S, Gao J P. Effects of anti-oxidants on tolerance to water deficit stress and activities of SOD and POD in cut rose. Journal of China Agricultural University, 2003, 8 (5): 14~17 (in Chinese)
- 6 丛日晨,赵喜亭,高俊平,张 颢,熊 丽. 环己酰亚胺对月季切花开花进程及可溶性蛋白和游离氨基酸含量的影响. 见:朱德蔚主编. 中国园艺学会第九届学术年会论文集. 北京:中国科学技术出版社, 2001. 386~391  
Cong R C, Zhao X T, Gao J P, Zhang H, Xiong L. Effect of cycloheximide on flower opening, soluble protein content and free amino acid content in cut rose cv. Samantha and Belami. In: Zhu D W. The forum of the ninth academic annual meeting of Chinese Society for Horticultural Science. Beijing: China Science and Technology Press, 2001. 386~391 (in Chinese)
- 7 丛日晨,赵喜亭,刘晓辉,高俊平. 月季切花采后花瓣内肽酶活性的变化. 园艺学报, 2003, 30 (2): 232~235  
Cong R C, Zhao X T, Liu X H, Gao J P. Difference of endopeptidase activity in petals between two cut rose cultivars with different tolerance to water deficit stress during flower opening and senescence. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30 (2): 232~235 (in Chinese)
- 8 丛日晨,赵喜亭,高俊平. 失水胁迫对切花月季‘贝拉米’内肽酶的影响. 园艺学报, 2003, 30 (3): 352~354  
Cong R C, Zhao X T, Gao J P. Effect of water deficit stress on endopeptidase activity in petals of cut rose ‘Belami’. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30 (3): 352~354 (in Chinese)
- 9 吴小平,汪沛洪,张 慧. 渗透胁迫对不同抗旱性冬小麦蛋白水解酶活性的影响. 西北农业学报, 1994, 3 (1): 49~53  
Wu X P, Wang P H, Zhang H. Effects of osmotic stress on protease activities of two winter wheat cultivars with different drought resistance. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 1994, 3 (1): 49~53 (in Chinese)
- 10 Srivalli B, Renu-Khanna C, Khanna C R. Drought-induced enhancement of protease activity during monocarpic senescence in wheat. Current Science, 1998, 75 (11): 74~1176
- 11 Jones J T, Mullet J E. A salt-and dehydration-inducible pea gene, cyp15a, encodes a cell-wall protein with sequence similarity to cysteine proteases. Plant Molecular Biology, 1995, 28: 1055~1065
- 12 Khanna-Chopra R, Srivalli B, and Ahlawat Y S. Drought induces many forms of cysteine proteases not observed during natural senescence. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1999, 255: 324~327
- 13 Koizumi M, Yamaguchi-Shinozaki K, Tsuji H, Shinozaki K. Structure and expression of two genes that encode distinct drought-inducible cysteine proteinases in *Arabidopsis thaliana*. Gene, 1993, 129: 175~182
- 14 Ye Z H, Vamer J E. Induction of cysteine and serine proteases during xylogenesis in *Zinnia elegans*. Plant Molecular Biology, 1996, 30: 1233~1246
- 15 Barbara N, Stedfanica C, Raffaella V, Amedeo A. Purification and characterization of an endopeptidase from alfalfa senescent leaves. Phytochemistry, 1998, 49 (3): 643~649

## 新书推荐

## 《果树钙素营养与生理》

本书是针对目前我国果实品质下降和生理病害日趋严重的现实编写的。全书共分六章,比较详细地总结了果树缺钙症、果实钙素营养水平的调节,  $\text{Ca}^{2+}$  在树体内的运转与分配规律,钙与花芽分化、花粉萌发和花粉管生长、结实及发育之间的关系,钙参与果实成熟衰老和抗逆性的调控机制,以及典型缺钙症——苹果苦痘病研究的评述等。

本书由关军锋、(德)索尔编著,北京:科学出版社,2005年7月出版,可作为大专院校和科研单位的果树学、植物生理学、植物营养学等相关专业人员的参考书。定价:52元(含邮费)

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街12号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编100081。