

6-BA和GA₃对牡丹叶片衰老过程中生理特性的影响

李金航¹, 郭丽丽¹, 孔祥生^{1,*}, 张淑玲², 闫臻¹

¹河南科技大学农学院, 河南洛阳471003; ²洛阳国际牡丹园, 河南洛阳471003

摘要: 以‘洛阳红’和‘胡红’为试材, 研究了牡丹衰老过程中喷施不同浓度的6-BA和GA₃对叶片净光合速率(P_n), 可溶性糖、可溶性蛋白和丙二醛(MDA)含量以及细胞膜相对透性的影响。结果表明: 7月30日喷施浓度100、200、300 mg·L⁻¹的6-BA或GA₃可以显著提高‘洛阳红’和‘胡红’叶片的 P_n 以及可溶性糖和可溶性蛋白含量, 明显抑制叶片中MDA的积累, 降低叶片细胞膜相对透性; 2种植物生长调节剂均以300 mg·L⁻¹处理效果最显著。8月10日喷施浓度为300 mg·L⁻¹的6-BA或GA₃, 可以有效延缓‘洛阳红’和‘胡红’叶片的衰老, 而低浓度的6-BA和GA₃处理效果不显著。

关键词: 牡丹; 叶片衰老; 生理特性; 6-BA; GA₃

Effects of 6-BA and GA₃ on Physiological Characteristics during Leaf Senescence of *Paeonia suffruticosa*

LI Jin-Hang¹, GUO Li-Li¹, KONG Xiang-Sheng^{1,*}, ZHANG Shu-Ling², YAN Zhen¹

¹College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China; ²Luoyang International Peony Garden, Luoyang, Henan 471003, China

Abstract: In this study *Paeonia suffruticosa* ‘Luoyanghong’ and ‘Huhong’ were used as the test materials. Effects of different concentrations of 6-BA and GA₃ on physiological characteristics including net photosynthetic rate (P_n), soluble sugar, soluble protein and malondialdehyde (MDA) contents, and relative membrane permeability during leaf senescence were determined. The results showed that spraying 6-BA and GA₃ at concentrations of 100, 200 and 300 mg·L⁻¹ on July 30th could improve P_n , and soluble sugar and protein contents significantly, while MDA accumulation in leaves was inhibited obviously, and the relative cell membrane permeability was reduced. The appropriate concentration of the two kinds of growth regulator was 300 mg·L⁻¹. Spraying 6-BA or GA₃ at the concentration of 300 mg·L⁻¹ on August 10th could effectively delay leaf senescence of ‘Luoyanghong’ and ‘Huhong’, while 6-BA and GA₃ of lower concentrations showed no remarkable effect.

Key words: *Paeonia suffruticosa*; leaf senescence; physiological characteristics; 6-BA; GA₃

从20世纪30年代开始, 人们对植物生长调节剂的功能和作用机制进行了研究(傅华龙等2008), 目前多数研究认为赤霉素(gibberellin, GA)和6-苄氨基腺嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)可以延缓植物叶片的衰老进程(李柏林和梅慧生1989; 张立军和梁宗锁2007)。对观赏植物而言, 延缓叶片的衰老不仅可以延长植物本身的绿叶观赏期, 还可以增加植物的光合作用时间, 使植物体内积累更多的光合产物, 为植株次年的生长和开花提供养分, 从而提高其观赏价值。牡丹是我国特有的木本名贵花卉, 素有“国色天香”、“百花之王”的美誉, 一直受到国人的推崇, 长盛不衰(李嘉珏等2011)。但是目前关于延缓牡丹叶片衰老的研究还未见报道。本试验以花后90 d左右的牡丹为研究对象, 通过叶面喷施6-BA和GA₃探讨植物生长调节

剂对牡丹叶片衰老过程中生理特性的影响, 以期达到延缓牡丹叶片衰老的效果。

材料与方法

供试材料为五年生牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.), 品种为‘洛阳红’(‘Luoyanghong’)和‘胡红’(‘Huhong’), 由洛阳市国际牡丹园提供。试验所用6-BA和GA₃均购自上海蓝季科技发展有限公司。

试验于2013年7~8月在洛阳市国际牡丹园进行。于7月30日和8月10日, 分别进行单次喷施6-BA和GA₃处理, 以清水作为对照, 每次喷施均在

收稿 2014-05-26 修定 2014-07-14

资助 国家自然科学基金(31200468)。

* 通讯作者(E-mail: kxsh55@163.com; Tel: 0379-64282253)。

晚上6:00后进行,以整株牡丹的所有叶面湿润为度。喷施后10 d采集叶片,放入冰盒内带回实验室,进行生理生化指标的测定。随机区组设计,3次重复,随机排列。

净光合速率(P_n)用Li-6400光合仪(美国LI-COR公司),采用开放式气路于晴天上午9:00~11:00进行测定。可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250比色法测定,丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定用硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)显色法(孔祥生和易现峰2012),细胞膜相对透性测定采用电导法(陈爱葵等2010)。

数据采用Excel 2007计算,辅以DPS 7.05进行方差分析及差异显著性检验($P<0.05$)。

实验结果

1 不同处理对牡丹叶片 P_n 的影响

7月30日喷施6-BA或 GA_3 均可提高2个品种牡丹叶片的 P_n ,且随着处理浓度的升高, P_n 呈上升趋势。6-BA浓度为100、200、300 $mg\cdot L^{-1}$ 时,‘洛阳红’叶片 P_n 与对照相比分别显著提高了24.33%、38.67%和40.85%;200和300 $mg\cdot L^{-1}$ 的6-BA处理使‘胡红’叶片 P_n 分别比对照高42.03%和71.59%,差异显著。同期喷施 GA_3 ,只有300 $mg\cdot L^{-1}$ 处理可以显著提高‘洛阳红’叶片的 P_n ,比对照高46.89%;而‘胡红’喷施 GA_3 的浓度从低到高分别比对照提高27.63%、31.88%和39.12%,差异均达显著水平(图1-A)。

8月10日喷施6-BA可以提高‘洛阳红’叶片的 P_n ,300 $mg\cdot L^{-1}$ 处理比对照显著提高55.07%,其余效果不

显著;‘胡红’叶片 P_n 随着6-BA浓度的升高而呈上升趋势,200和300 $mg\cdot L^{-1}$ 处理分别比对照显著提高61.68%和82.47%。同期喷施 GA_3 对2个品种牡丹叶片 P_n 的影响相同,300 $mg\cdot L^{-1}$ 处理效果显著,‘洛阳红’和‘胡红’分别比对照高45.02%和90.56%(图1-B)。

2 不同处理对牡丹叶中可溶性糖含量的影响

7月30日喷施6-BA可显著提高‘洛阳红’叶片中的可溶性糖含量,且随着处理浓度的升高,可溶性糖含量呈上升趋势,6-BA浓度为100、200、300 $mg\cdot L^{-1}$ 时分别比对照高9.32%、18.05%、24.07%;200和300 $mg\cdot L^{-1}$ 6-BA处理可使‘胡红’叶片中可溶性糖含量比对照提高21.35%和25.47%。同期喷施100、200、300 $mg\cdot L^{-1}$ 的 GA_3 ,‘洛阳红’叶片中可溶性糖含量均有提升,分别比对照升高4.82%、5.42%、19.84%,300 $mg\cdot L^{-1}$ 处理与对照差异显著;‘胡红’叶片中可溶性糖含量显著高于对照6.69%、15.74%和23.05%(图2-A)。

8月10日喷施6-BA,当浓度为300 $mg\cdot L^{-1}$ 时‘洛阳红’叶片中可溶性糖含量比对照高22.61%,差异达显著水平;对‘胡红’喷施浓度为200和300 $mg\cdot L^{-1}$ 6-BA可显著提高叶片中可溶性糖含量,与对照相比提高9.05%和25.44%。同期喷施 GA_3 ,浓度为300 $mg\cdot L^{-1}$ 时可显著提高2个品种牡丹叶片可溶性糖含量,‘洛阳红’和‘胡红’分别比对照高19.73%和23.42%(图2-B)。

3 不同处理对牡丹叶中可溶性蛋白含量的影响

7月30日喷施100、200、300 $mg\cdot L^{-1}$ 的6-BA均可显著提高‘洛阳红’叶片中可溶性蛋白含量,且随着浓度的升高,可溶性蛋白含量呈上升趋势,分别比对照高10.33%、17.11%、25.52%;6-BA浓度为

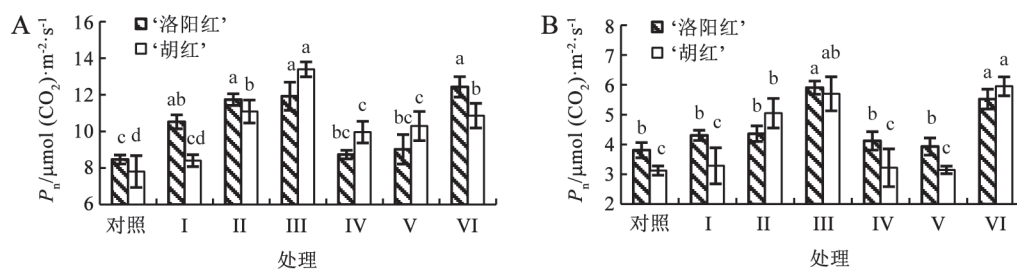
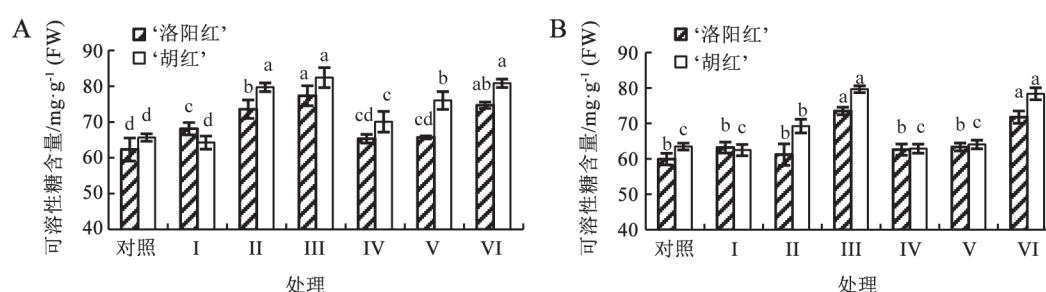


图1 喷施6-BA和 GA_3 对牡丹叶片 P_n 的影响

Fig. 1 Effects of spraying 6-BA and GA_3 on the P_n of *P. suffruticosa* leaves

A: 7月30日; B: 8月10日。I: 6-BA 100 $mg\cdot L^{-1}$; II: 6-BA 200 $mg\cdot L^{-1}$; III: 6-BA 300 $mg\cdot L^{-1}$; IV: GA_3 100 $mg\cdot L^{-1}$; V: GA_3 200 $mg\cdot L^{-1}$; VI: GA_3 300 $mg\cdot L^{-1}$ 。不同小写字母表示同一时间不同处理的差异显著($P<0.05$)。图2~5同此。

图2 喷施6-BA和GA₃对牡丹叶中可溶性糖含量的影响Fig.2 Effects of spraying 6-BA and GA₃ on soluble sugar content in *P. suffruticosa* leaves

200和300 mg·L⁻¹可使‘胡红’叶片中可溶性蛋白含量分别比对照提高13.2%和25.47%，差异达到显著水平。7月30日喷施GA₃，只有浓度为300 mg·L⁻¹处理的‘洛阳红’叶片中可溶性蛋白含量显著高于对照；而此时GA₃对‘胡红’的处理效果较好，浓度为100、200、300 mg·L⁻¹时分别比对照显著提高10.58%、14.55%、26.99% (图3-A)。

8月10日对‘洛阳红’喷施300 mg·L⁻¹的6-BA后，叶片中可溶性蛋白含量比对照高22.94%，差异显著；而对‘胡红’进行处理时，200和300 mg·L⁻¹的6-BA均可以显著提高叶片的可溶性蛋白含量，分别比对照高17.11%和19.06%。同期喷施GA₃对2个品种牡丹叶片可溶性蛋白含量的影响基本一致，只有在浓度300 mg·L⁻¹的处理下，‘洛阳红’和‘胡红’分别显著升高9.99%和13.81%，其余处理与对照差异不显著(图3-B)。

4 不同处理对牡丹叶中MDA含量的影响

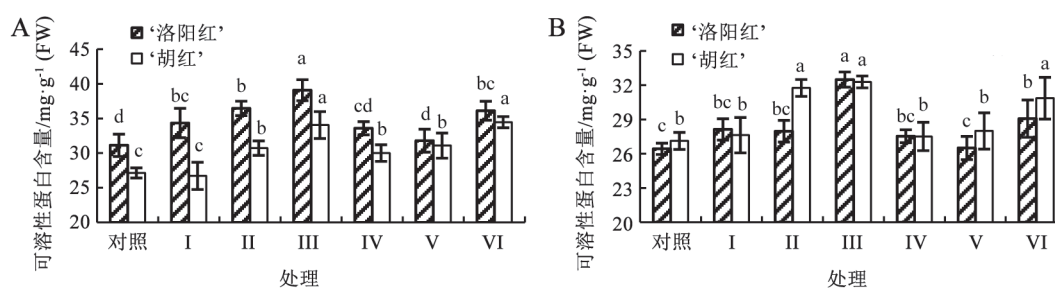
7月30日喷施100、200、300 mg·L⁻¹的6-BA可以降低2个品种牡丹叶片中MDA含量，‘洛阳红’分别比对照显著降低25.36%、31.86%、35.63%，‘胡红’分别比对照降低10.27%、30.65%、66.23%，

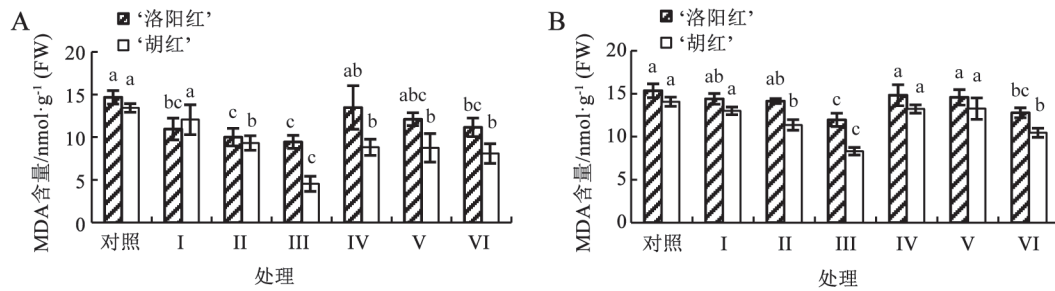
6-BA浓度为200和300 mg·L⁻¹时处理与对照差异显著。同期喷施不同浓度的GA₃均可显著降低‘胡红’叶片中的MDA含量，而‘洛阳红’仅在GA₃浓度为300 mg·L⁻¹时比对照显著降低24.03% (图4-A)。

8月10日喷施不同浓度的6-BA均可降低‘洛阳红’叶片中MDA含量，但仅在浓度为300 mg·L⁻¹时与对照差异显著，降幅达22.11%；6-BA浓度为200和300 mg·L⁻¹时‘胡红’叶片中MDA含量比对照下降19.28%和40.99%，差异均达显著水平。同期喷施不同浓度的GA₃对2个品种的牡丹叶片中MDA含量的影响大体相似，均为300 mg·L⁻¹的处理浓度效果显著(图4-B)。

5 不同处理对牡丹叶片细胞膜相对透性的影响

7月30日喷施不同浓度6-BA均可显著降低‘洛阳红’叶片的细胞膜相对透性，浓度为300 mg·L⁻¹的处理比对照下降41.51%，差异最大；‘胡红’叶片喷施6-BA后，细胞膜相对透性均有降低，且随处理浓度的上升呈下降趋势，200和300 mg·L⁻¹的6-BA处理比对照显著降低23.03%和32.69%。同期喷施不同浓度GA₃可使‘洛阳红’叶片细胞膜相对透性低于对照，浓度为200和300 mg·L⁻¹处理分别比对照显著

图3 喷施6-BA和GA₃对牡丹叶中可溶性蛋白含量的影响Fig.3 Effects of spraying 6-BA and GA₃ on soluble protein content in *P. suffruticosa* leaves

图4 喷施6-BA和GA₃对牡丹叶中MDA含量的影响Fig.4 Effects of spraying 6-BA and GA₃ on MDA content in *P. suffruticosa* leaves

降低4.68%和15.58%;不同浓度GA₃可使‘胡红’叶片的细胞膜相对透性均显著低于对照,降幅为14.66%~19.69% (图5-A)。

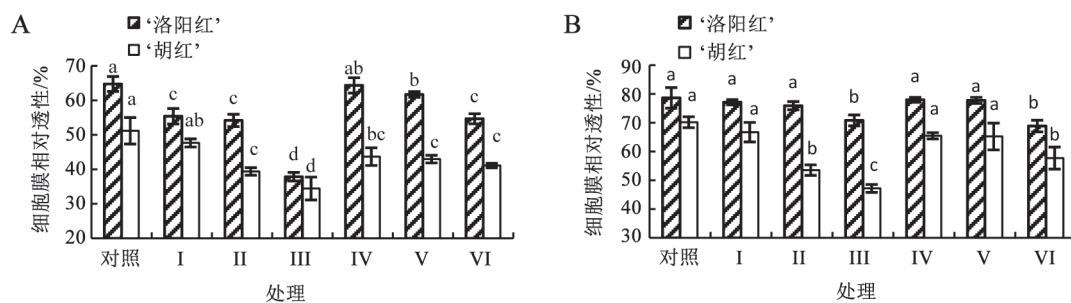
8月10日,在‘洛阳红’叶面喷施6-BA,只有300 mg·L⁻¹的浓度处理可以使叶片细胞膜相对透性显著低于对照,降幅为9.91%;而6-BA浓度为200和300 mg·L⁻¹处理时‘胡红’比对照降低23.69%和32.75%,差异显著。‘洛阳红’和‘胡红’叶片的细胞膜相对透性经300 mg·L⁻¹的GA₃处理后均显著低于对照,分别比对照降低12.42%和17.74% (图5-B)。

讨 论

6-BA和GA₃可以延缓叶片的衰老,并提高光合速率,这已在多种植物上得到证实(单守明等2007;李鹏程等2010)。本研究在不同时期喷施6-BA和GA₃均可不同程度提高牡丹叶片的P_n,在一定程度上延缓了牡丹叶片的衰老,而且7月30日的喷施效果明显好于8月10日,说明在叶片衰老的前期喷施6-BA和GA₃能更有效地延缓叶片衰老。可溶性糖和可溶性蛋白均参与植物的各项生命代谢活动。叶片中可溶性糖含量高,意味着植物体可

以积累更多的淀粉,为来年的生长储存更多的营养物质。所以,通过检测叶片中可溶性糖和蛋白含量的变化,可以部分了解叶片光合产物的积累、转运和叶片衰老的程度(刘道宏1983;Buchanan-Wollaston等2003)。目前已有的研究表明,6-BA可以延缓叶片中蛋白质的降解,还能促进蛋白质的合成(Criado等2009);喷施外源GA也能够延缓叶片的衰老进程(Parmar和Hammond 1971;Li等2010;Daviere和Achard 2013)。本试验在7月30日和8月10日分别喷施不同浓度的6-BA和GA₃,均能延缓牡丹叶片中可溶性糖和可溶性蛋白含量的丧失,且浓度为300 mg·L⁻¹时效果最佳,高浓度的6-BA和GA₃能更有效地延缓衰老;这与弓德强等(2003)研究结果相似。

植物体叶片在衰老过程中,细胞中活性氧含量增加,发生脂膜过氧化作用,产生MDA (鱼欢等2007)。MDA的大量积累,将加速植物细胞和组织的衰老(张国平和Stanley 1994)。细胞膜相对透性越高,则说明植物体细胞内的营养物质越容易流失,越容易造成衰老的发生。本试验在7月30日喷施6-BA和GA₃均可显著降低牡丹叶片的MDA含量

图5 喷施6-BA和GA₃对牡丹叶片细胞膜相对透性的影响Fig.5 Effects of spraying 6-BA and GA₃ on the membrane permeability of *P. suffruticosa* leaves

和细胞膜相对透性; 这与郑翠萍等(2008)、杨东清等(2013)、聂松青等(2013)对香石竹(*Dianthus caryophyllus*)、小麦(*Triticum aestivum*)和葡萄(*Vitis vinifera*)的研究结果一致。8月10日喷施浓度为300 mg·L⁻¹的6-BA和GA₃则可明显抑制牡丹叶片中MDA的积累和细胞膜相对透性的增加, 且效果好于100和200 mg·L⁻¹处理。同时我们还发现, 在7月30日和8月10日, ‘胡红’叶片的MDA含量和细胞膜相对透性均明显低于‘洛阳红’, 说明‘胡红’叶片的衰老晚于‘洛阳红’。本研究中6-BA和GA₃延缓牡丹衰老前期叶片中可溶性糖和蛋白质的丧失可能是其直接或间接作为自由基清除剂(李柏林和梅慧生1989), 通过延缓MDA的积累来保护叶片的细胞膜结构, 进而起到阻止细胞内营养物质流失的作用, 从而达到延缓衰老的目的。

综上所述, 在牡丹叶片衰老过程中喷施6-BA和GA₃均可改善叶片的生理特性, 说明适宜浓度的6-BA和GA₃可以有效地延缓牡丹叶片衰老, 且高浓度效果好于低浓度。

参考文献

- 陈爱葵, 韩瑞宏, 李东洋, 凌连莲, 罗惠霞, 唐上剑(2010). 植物叶片相对电导率测定方法比较研究. 广东教育学院学报, 30 (5): 88~91
- 傅华龙, 何天久, 吴巧玉(2008). 植物生长调节剂的研究与应用. 生物加工过程, 6 (4): 7~12
- 弓德强, 郑鹏, 任小林, 商洪光(2003). 几种植物生长调节剂对牡丹花期的影响. 陕西农业科学, (1): 9~10
- 孔祥生, 易现峰(2012). 植物生理学实验原理与技术. 北京: 中国农业出版社, 141~259
- 李柏林, 梅慧生(1989). 燕麦叶片衰老和活性氧代谢关系. 植物生理学报, 15: 6~12
- 李嘉珏, 张西方, 赵孝庆, 马卓华, 刘改秀, 侯小改, 赵孝知, 胡永红, 李清道, 张淑玲等(2011). 中国牡丹. 北京: 中国大百科全书出版社, 9
- 李鹏程, 郁松林, 符小发, 郑强卿(2010). GA₃对葡萄果实成熟期叶片光合及荧光特性的影响. 西北农业学报, 19 (3): 144~149
- 刘道宏(1983). 植物叶片的衰老. 植物生理学通讯, (2): 14~19
- 聂松青, 陈斌, 刘昆玉, 石雪晖, 杨国顺, 钟晓红, 徐丰, 白描(2013). 叶面喷施6-BA对葡萄叶片衰老生理及果实品质的影响, 15: 47~49, 52
- 单守明, 刘国杰, 李绍华, 苗鹏飞(2007). 秋季叶面喷施IAA、6-BA或GA₃对草莓植株的影响. 果树学报, 24 (4): 545~548
- 杨东清, 王振林, 尹燕秤, 倪英丽, 杨卫兵, 蔡铁彭, 佃亮, 徐彩龙, 崔正勇, 刘铁宁等(2013). 外源ABA和6-BA对不同持绿型小麦旗叶衰老的影响及其生理机制. 作物学报, 39 (6): 1096~1104
- 鱼欢, 冯佰利, 张英, 刘鹏涛, 何永艳, 代惠萍, 李生秀(2007). 不同栽培模式下冬小麦叶片衰老与活性氧代谢研究. 作物学报, 33 (10): 1729~1732
- 张国平, Stanley M (1994). 几种化学物质对小麦叶片衰老的延缓作用. 浙江农业学报, 6 (2): 94~97
- 张立军, 梁宗锁(2007). 植物生理学. 北京: 科学出版社, 356
- 郑翠萍, 吴迪, 李玲, 程聪, 罗红艺(2008). 6-苜基腺嘌呤和激动素对香石竹切花衰老的生理效应. 植物生理学通讯, 44 (6): 1152~1154
- Buchanan-Wollaston V, Earl S, Harrison E, Mathas E, Navabpour S, Page T, Pink D (2003). The molecular analysis of leaf senescence—a genomics approach. Plant Biotechnol J, 1 (1): 3~22
- Criado MV, Caputo C, Roberts IN, Castro MA, Barneix AJ (2009). Cytokinin-induced changes of nitrogen remobilization and chloroplast ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum*). J Plant Physiol, 166: 1775~1785
- Daviere JM, Achard P (2013). Gibberellin signaling in plants. Development, 140 (6): 1147~1151
- Li JR, Yu K, Wei JR, Ma Q, Wang BQ, Yu D (2010). Gibberellin retards chlorophyll degradation during senescence of *Paris polyphylla*. Biol Plant, 54 (2): 395~399
- Parmar AS, Hammond HD (1971). The effect of boron and gibberellic acid on the senescence of leaf discs from *Lycopersicon esculentum* cv. Rutgers. Physiol Plant, 25 (2): 169~177