

# 菊花花芽分化期超微弱发光及生理代谢的变化

林桂玉<sup>1,3</sup>, 黄在范<sup>2,3</sup>, 张翠华<sup>1,3</sup>, 郑成淑<sup>1,3\*</sup>

(<sup>1</sup> 山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; <sup>2</sup> 山东农业大学机械与电子工程学院, 山东泰安 271018;

<sup>3</sup>作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

**摘 要:** 研究了菊花花芽分化期超微弱发光 (UWL), 呼吸速率和 ATP、可溶性糖、可溶性蛋白含量的变化。结果表明, 菊花花芽分化起始期 ( ) 与未分化期 ( ) 相比, UWL 强度增加 119.3%, 呼吸速率提高 102.4%, ATP 含量增加 148.6%, 可溶性糖增加 95.5%, 可溶性蛋白增加 18.3%; 在总苞鳞片分化期 ( ), 小花原基分化期 ( ) 和花冠形成期 ( ), UWL 强度、呼吸速率和 ATP 含量逐渐下降, 可溶性糖在 和 期下降幅度很大并接近对照水平, 可溶性蛋白在 、 和 期保持较高水平, 在 期下降幅度较大, 但仍比对照增加 14.0%; 而未发生花芽分化的长日照对照的 UWL 强度、呼吸速率以及 ATP、可溶性糖和可溶性蛋白含量基本保持较稳定水平, 显示菊花花芽分化期叶片 UWL 水平与呼吸速率和能量代谢密切相关。

**关键词:** 菊花; 花芽分化; 超微弱发光; 生理代谢

**中图分类号:** S 682.1<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2008) 12-1819-06

## Changes in Ultraweak Luminescence Intensity, Respiration Rate and Physiological Metabolism of Chrysanthemum During Floral Differentiation

LI N Gui-yu<sup>1,3</sup>, HUANG Zai-fan<sup>2,3</sup>, ZHANG Cui-hua<sup>1,3</sup>, and ZHENG Cheng-shu<sup>1,3\*</sup>

(<sup>1</sup> College of Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; <sup>2</sup> Department of Mechatronic Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; <sup>3</sup> State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China)

**Abstract:** These studies were carried out to investigate dynamic changes in ultraweak luminescence (UWL) intensity, respiration rate, contents of ATP, soluble sugars and soluble proteins of chrysanthemum leaves during floral differentiation. The results showed that the UWL intensity increased 119.3%, respiration rate increased 102.4%, contents of ATP, soluble sugars and soluble proteins increased 148.6%, 95.5%, 18.3% respectively at initial stage of floral bud differentiation ( ) compared with those of vegetative stage of apical bud ( ), and then UWL intensity, respiration rate and contents of ATP reduced slowly respectively at stage of involucre primordial differentiation ( ), stage of floret primordial differentiation ( ) and stage of crown form ( ). Contents of soluble sugars decreased mostly at stage and stage, and the levels neared to those of controls. Contents of soluble proteins maintained higher levels at stage, stage, and stage, decreased mostly at stage, but it still increased 14.0% compared with those of controls. But all of UWL intensity, respiration rate, and contents of ATP, soluble sugars and soluble proteins maintained stable status in all stages of controls of non-short day treatments. This suggested that the UWL has close relation to respiration and energy metabolism of leaves during differentiation of chrysanthemum.

**Key words:** chrysanthemum; floral differentiation; ultraweak luminescence; respiration rate; physiological metabolism

收稿日期: 2008 - 08 - 12; 修回日期: 2008 - 10 - 29

基金项目: 教育部留学回国基金项目 (33206); 山东农业大学青年科技创新项目 (23408)

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

植物超微弱发光 (ultraweak luminescence, UWL) 是发生在植物体内与其生命活动相耦联的超微弱光子辐射, 反映了植物体内物质代谢和能量转化的活跃程度 (张新华 等, 2004a)。UWL 作为一个灵敏反映有机体生理生化反应状态的特征性指标, 自 20 世纪 80 年代以来已被广泛应用于农业科学等领域。近年来, 对植物 UWL 与抗逆性及生长发育之间关系研究报道很多 (Hiroyuki et al, 2002; 杨妍妍 等, 2006)。张新华等 (2004b) 研究发现, 在杏花开放过程中 UWL 与杏花的能量代谢关系密切。

本试验中以切花菊品种 ‘神马’ 为试材, 研究花芽分化期 UWL 变化及其与呼吸速率、ATP、可溶性糖和可溶性蛋白质等生理代谢之间的关系, 旨在探讨菊花花芽分化机理和 UWL 产生机制, 为菊花花期调控提供参考依据。

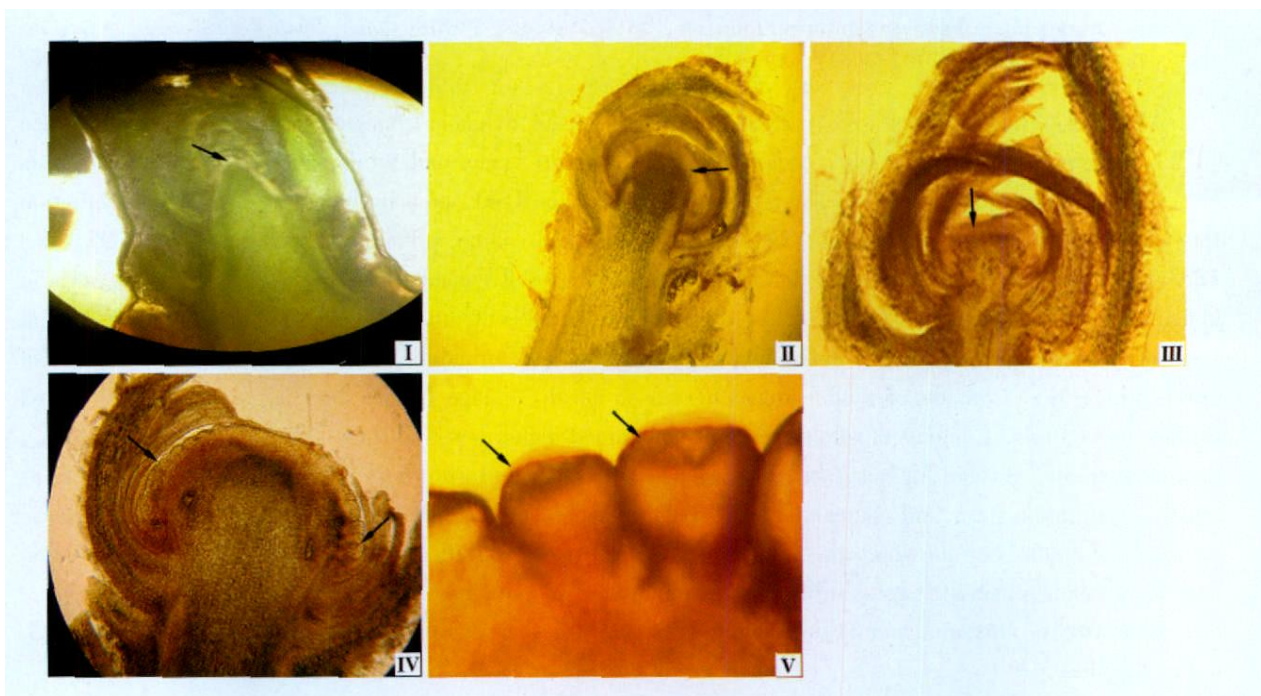
## 1 材料与方法

供试材料为切花菊品种 ‘神马’ [*Dendranthema grandiflorum* (Ramat) Kitam. ‘Shenma’]。

2007 年 5 月末取生长一致, 株高约 50 cm 的菊花, 每盆 1 株, 共 240 株, 其中 120 株放入一个人工气候室中进行短日照处理 (18: 00—8: 00, 14 h 暗期, SD), 另外 120 株作为对照组放入另一个人工气候室中进行长日照处理 (21: 00—7: 00, 10 h 暗期, LD)。温度设为昼 22 ℃ 夜 18 ℃; 光照  $370 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

参考杨娜等 (2007) 的方法, 用显微镜观察并确定花芽分化各时期 (图版): ( ) 未分化期; ( ) 花芽分化起动期 (处理后 4~5 d); ( ) 总苞鳞片分化期 (处理后 7~8 d); ( ) 小花原基分化期 (处理后 14~16 d) 和 ( ) 花冠形成期 (处理后 18~20 d)。

取样时, 在不同花芽分化期分别取生长点以下第 5~6 节位叶片, 5 个植株, 每株取 2 片, 对照组同步取样 (始终未花芽分化)。重复 3 次。



图版说明: . 未分化期; . 花芽分化起动期; . 总苞鳞片分化期; . 小花原基分化期; . 花冠形成期。

**Explanation of plates:** . Vegetative stage of apical bud; . Initial stage of floral bud differentiation; . Stage of involucre primordial differentiation; . Stage of floret primordial differentiation; . Stage of crown form.

UWL的测定：取完整叶片，以鲜样质量 0.5 g左右为单位，经白炽灯（光强  $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）照射 5 min后立即放入超微弱放光测量仪（BPCL）测量杯中测量（从放入到开始计数时间间隔 2 s）。测量参数为：调解高压 800，标准光源发光强度  $7\,000 \text{ counts} \cdot \text{s}^{-1}$ ，本底强度  $5 \text{ counts} \cdot \text{s}^{-1}$ ，采样时间 200 s，采样间隔时间 1 s。每个样品测试 3次，取平均值。测定在暗室及恒温（ $20 \pm 1$ ），湿度（ $75 \pm 2$ ）%条件下进行。

ATP含量参照王维光和顾俭本（1986）的方法测定。

呼吸速率的测定：在活体植株生长点以下第 5~6 节位叶片连体测定，用 COMBO280 型  $\text{O}_2/\text{CO}_2$  气体分析仪测定，当光强为零时，所得光合速率即为呼吸速率，单位  $\mu\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

可溶性糖用蒽酮比色法，可溶性蛋白用考马斯亮蓝 G-250法测定（李合生，2000）。3次重复。数据用 DPS处理软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 菊花花芽分化期超微弱发光强度的变化

从图 1可以看出，长日照对照菊花始终未花芽分化，其叶片的 UWL 强度随着时间的推移虽略有波动，但没有出现显著变化。短日照处理的叶片 UWL 强度在花芽未分化期（I）处于较低的水平（ $176 \sim 181 \text{ counts} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ），与长日照对照没有显著差异。但进入花芽分化起动机（II）时 UWL 强度迅速上升，比未分化期增加 119.3%，之后呈缓慢下降趋势，并在花冠形成期（V）下降幅度最大，但仍比长日照对照增加 52.6%。

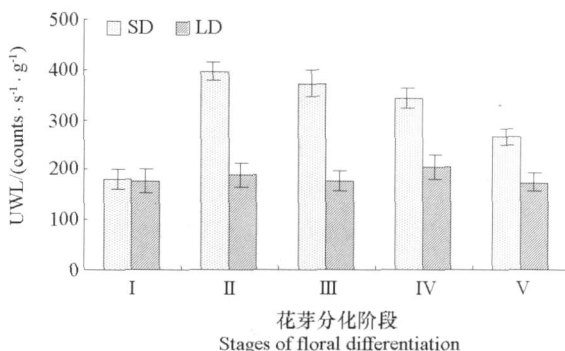


图 1 花芽分化期菊花超微弱发光强度的变化

· 未分化期； · 花芽分化起动机； · 总苞分化期；  
· 小花原基分化期； · 花冠形成期。下同。

Fig 1 Changes in UWL intensity of chrysanthemum during floral differentiation

I Vegetative stage of apical bud; · Initial stage of floral bud differentiation;  
· Stage of involucre primordial differentiation;  
· Stage of floret primordial differentiation;  
· Stage of crown form. The same below.

### 2.2 菊花花芽分化期呼吸速率的变化

从图 2可以看出，对照菊花叶片的呼吸速率在整个试验过程基本没有明显变化。短日照处理的叶片呼吸速率在未分化期（I）与对照没有明显差异，但在花芽分化起动机（II）比未分化期相比增加 102.4%，在总苞分化期（III）和小花原基分化期（IV）保持较高水平，在花冠形成期（V）明显下降，但仍比对照增加 16.7%。

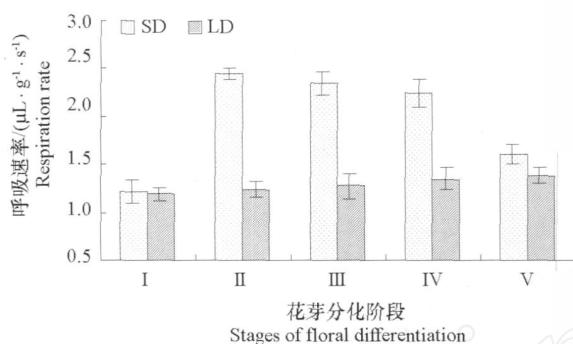


图 2 花芽分化期菊花叶片呼吸速率的变化

Fig 2 Changes of respiration rate of chrysanthemum leaves during floral differentiation

### 2.3 菊花花芽分化期 ATP含量的变化

从图 3可以看出, 对照菊花叶片的 ATP含量在整个试验过程中都处于较稳定的状态; 短日照处理的在未分化期 ( ) 和对照相比没有明显差异, 但在花芽分化启动期 ( ) 迅速上升, 与未分化期 ( ) 相比增加 148.6%, 之后逐渐下降, 但仍比对照相比显著增加。

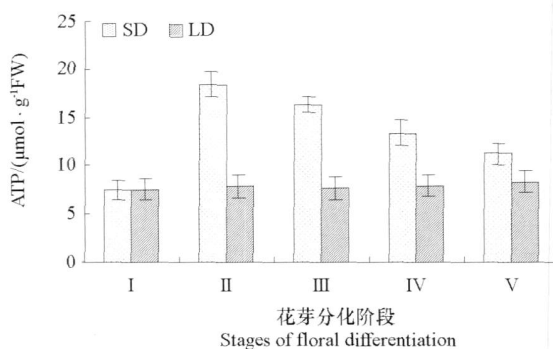


图 3 花芽分化期菊花叶片 ATP含量的变化

Fig 3 Changes of ATP content of chrysanthemum leaves during floral differentiation

### 2.4 菊花花芽分化期可溶性糖含量的变化

从图 4可以看出, 对照菊花叶片的可溶性糖含量随着时间的推移出现上升趋势, 但总体保持较稳定; 短日照处理的在未分化期与对照相比没有明显差异, 都处于较低水平, 但在花芽分化启动期 ( ) 迅速增加, 与未分化期相比增加 95.5%, 然后在总苞鳞片分化期 ( ) 有所减少, 但仍保持较高水平, 之后迅速减少, 在小花原基分化期 ( ) 和花冠形成期 ( ) 与对照相比没有显著差异。

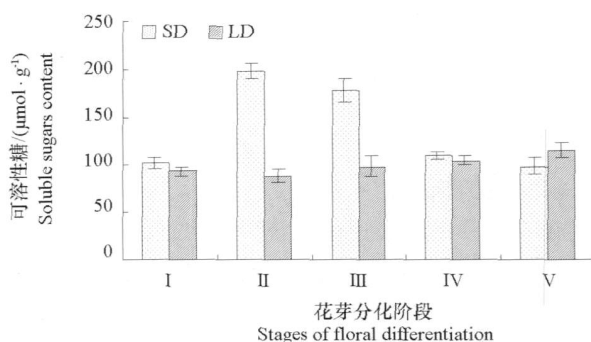


图 4 花芽分化期菊花叶片可溶性糖含量的变化

Fig 4 Changes of soluble sugar content of chrysanthemum leaves during floral differentiation

## 2.5 菊花花芽分化期可溶性蛋白含量的变化

从图 5 可以看出, 对照菊花叶片的可溶性蛋白含量在整个试验过程中没有大幅度变化。短日照处理的菊花叶片可溶性蛋白质含量在花芽未分化期 ( ) 与对照相比没有显著差异, 但随着花芽分化的启动 ( ) 迅速增加, 与对照相比增加 32.5%, 在总苞分化期 ( ) 和小花原基分化期 ( ) 没有大变化, 仍保持较高水平, 最后在花冠形成期 ( ) 明显减少, 但仍比对照显著增加。

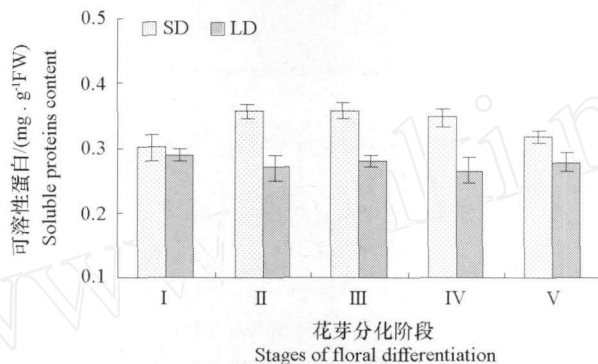


图 5 花芽分化期菊花叶片可溶性蛋白含量的变化

Fig 5 Changes of soluble proteins content of chrysanthemum leaves during floral differentiation

## 3 讨论

超微弱发光是普遍存在于生命体中强度极低的光子辐射现象。生物发射的超微弱光子与生物系统内的氧化代谢、细胞分裂、能量转移、光合作用、细胞内和细胞间的信息传递和功能调节等重要的生命过程有内在联系 (Slawinski, 1988)。超微弱发光的优点是它可以在不破坏植物生命活动的情况下向人们提供一系列生物化学和物理作用信息。目前, 确定植物花芽分化进程常采用生长点显微镜观察法, 对植株破坏性强 (林桂玉等, 2008), 因此, 用 UWL 强度鉴定植物花芽分化进程, 可以减少对植株的伤害, 从而增加产量。

植物花芽分化起动期是从营养生长向生殖生长转变的转折点, 此时植物体内新陈代谢活跃, 生命力旺盛, 而且新陈代谢方式也发生相应变化 (林桂玉等, 2008)。植物旺盛的生命活动需要旺盛的呼吸作用生成大量能源物质, 但同时在电子传递时因电子渗漏导致活性氧的生成, 活性氧对呼吸的促进作用从而引起超微弱发光水平的提高 (王华芳等, 1996)。ATP 是光合磷酸化和氧化磷酸化的产物, 是生命活动中最重要的能量携带者, 维持一定水平的 ATP 含量是植物进行生命活动的重要前提。ATP 含量能够反映植物本身的能量状况。任何生成或消耗 ATP、NAD (H<sub>2</sub>)、FMN (H<sub>2</sub>) 的反应均可导致部分代谢能以光子的形式释放出来, 而出现超微弱发光现象。从本试验结果发现, 菊花的 UWL 强度在花芽未分化期 ( ) 处于较低水平, 而在花芽分化起动期 ( ) 迅速增强, 之后出现逐渐变弱趋势。与此同时, 呼吸速率和 ATP、可溶性糖和可溶性蛋白也出现先上升后下降的现象。相关性分析表明, 花芽分化期菊花叶片 UWL 水平与呼吸速率、ATP 和蛋白质含量呈极显著相关, 相关系数分别为 0.8916、0.9038 和 0.7717。UWL 强度与可溶性糖含量的相关性不显著。林桂玉等 (2008) 发现, 菊花花芽分化期叶片可溶性糖含量迅速增加。本试验结果也发现, 在 期和 期的可溶性糖含量与 UWL 变化趋势基本相似, 但在 期和 期减少幅度较大, 这可能与叶片上积累的大量的可溶性糖随着花芽分化逐渐转移到芽中供花芽分化有关 (梁芳等, 2008)。孙乃波和张志宏 (2006) 认为, 草莓花芽分化开始期蛋白质的大量积累是其成花的重要物质基础。本试验结果表明, 菊花花芽分化起动期可溶性蛋白含量迅速增加, 之后保持一段时间较高水平后, 逐渐降低, 这可能是在花芽分化起动

期, 与一些蛋白质水解酶活性增强, 使组合蛋白分解成可溶性蛋白质, 或形成特异结构和功能的蛋白质以满足花芽分化所需特异蛋白质物质有关 (刘玲玲 等, 2004)。

本试验结果表明, 菊花花芽分化期 UWL 与 ATP 等能量代谢、碳水化合物和蛋白质等物质代谢以及呼吸速率等生理活动关系密切, 因此, 可用于判断菊花是否进入花芽分化期的指标, 但不同菊花品种或相同的品种在不同环境条件下具有不同的生命活动规律, 还需进一步深入研究。

## References

- Hiroyuki I, Kimihiko K, Takahiro K. 2002. Spectral shift of ultraweak photon emission from sweet potato during a defense response. *Photochemistry and Photobiology*, 75: 322 - 325.
- Li He-sheng. 2000. *Principium and technology of physiological and biochemical experiment of plant*. Beijing: Higher Education Press. 184 - 197. (in Chinese)
- 李合生. 2000. *植物生理生化实验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社: 184 - 197.
- Liang Fang, Zheng Cheng-shu, Zhang Cui-hua, Sun Qing-chun. 2008. Changes of carbohydrate content in buds and leaves of chrysanthemum during floral differentiation. *Shandong Agricultural Sciences*, (1): 40 - 42. (in Chinese)
- 梁 芳, 郑成淑, 张翠华, 孙庆春. 2008. 菊花花芽分化过程中芽和叶片碳水化合物含量的变化. *山东农业科学*, (1): 40 - 42.
- Lin Gui-yu, Zheng Cheng-shu, Sun Xian-zhi, Wang Wen-li. 2008. Effects of photoperiod on floral bud differentiation and contents of endogenous hormones in chrysanthemum. *Shandong Agricultural Sciences*, (1): 35 - 39. (in Chinese)
- 林桂玉, 郑成淑, 孙宪芝, 王文莉. 2008. 光周期对菊花花芽分化和内源激素的影响. *山东农业科学*, (1): 35 - 39.
- Liu Ling-ling, Li Jun, Li Chang-hui, Xia Ping. 2004. Relations of soluble protein, chlorophyll and ATP with drought resistance in potatoes under water stress. *Chinese Potato Journal*, 18 (4): 201 - 204. (in Chinese)
- 刘玲玲, 李 军, 李长辉, 夏 平. 2004. 马铃薯可溶性蛋白质、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗寒性关系的研究. *中国马铃薯*, 18 (4): 201 - 204.
- Slawinski J. 1988. Luminescence research and its relation to ultraweak cell radiation. *Experimental*, 33: 559 - 571.
- Sun Nai-bo, Zhang Zhi-hong. 2006. Content change of carbohydrate and protein during flower bud differentiation of strawberry. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 34 (11): 2328 - 2329. (in Chinese)
- 孙乃波, 张志宏. 2006. 草莓花芽分化过程中叶片碳水化合物和蛋白质含量的变化. *安徽农业科学*, 34 (11): 2328 - 2329.
- Wang Hua-fang, Yin Wei-lun, Zheng Cai-xia, Liang Hai-ying, Lu Yong-bin, Wei Rong. 1996. Ultraweak luminescence of plants. *J Beijing for University*, 18 (2): 83 - 89. (in Chinese)
- 王华芳, 尹伟伦, 郑彩霞, 梁海英, 路永斌, 卫 蓉. 1996. 植物的超微弱发光. *北京林业大学学报*, 18 (2): 83 - 89.
- Wang Wei-guang, Gu Jian-ben. 1986. Compare of methods in extract of ATP leaves. *Communication Plant Physiology*, (5): 54 - 55. (in Chinese)
- 王维光, 顾俭本. 1986. 从叶片中提取 ATP 方法的比较. *植物生理学通讯*, (5): 54 - 55.
- Yang Na, Guo Weiming, Chen Fa-di, Fang Weimin. 2007. Effects of photoperiod on floral bud differentiation and flowering of *Chrysanthemum morifolium* Ramat 'Jinba'. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (4): 965 - 972. (in Chinese)
- 杨 娜, 郭维明, 陈发棣, 房伟民. 2007. 光周期对秋菊品种 '神马' 花芽分化和开花的影响. *园艺学报*, 34 (4): 965 - 972.
- Yang Yan-yan, Yang Jian-ping, Wang Qing-hua, Chen Sheng-dong. 2006. The effects of high temperature stress on ultraweak luminescence and some physiological characters in Chinese cabbage. *Acta Agriculturae Boreal-Occident Sinica*, 15 (5): 218 - 221. (in Chinese)
- 杨妍妍, 杨建平, 王清华, 陈圣栋. 2006. 高温胁迫对大白菜超微弱发光及其他生理指标的影响. *西北农业学报*, 15 (5): 218 - 221.
- Zhang Xin-hua, Yang Hong-qiang, Li Fu-jun. 2004a. Changes of ultraweak luminescence and some physiological characters of apple seedlings under water stress. *Acta Bot Boreal-Occident Sinica*, 24 (4): 720 - 724. (in Chinese)
- 张新华, 杨洪强, 李富军. 2004a. 水分胁迫下苹果幼苗超弱发光及一些生理特性的变化. *西北植物学报*, 24 (4): 720 - 724.
- Zhang Xin-hua, Yang Hong-qiang, Li Fu-jun, Zhang Wei. 2004b. Changes in UWL intensity, ATP content and reactive oxygen active oxygen of leaves during florescence of apricots. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 30 (1): 41 - 44. (in Chinese)
- 张新华, 杨洪强, 李富军, 张 伟. 2004b. 杏花开放过程中超微弱发光和 ATP 及活性氧含量的变化. *植物生理与分子生物学报*, 30 (1): 41 - 44.