

# 紫甘蓝和普通甘蓝光合特性的比较

王美玲, 艾希珍\*, 丁 飞, 王洪涛, 梁文娟

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

**摘 要:** 以‘早红’、‘红日’紫甘蓝为试材, 分别用 Unispec 型光谱仪和 Ciras-2 型光合作用测定系统研究紫甘蓝色素含量及光合特性, 并与普通甘蓝‘中甘 11’作比较。结果表明, 两个紫甘蓝品种的色素含量和净光合速率 ( $P_n$ ) 差异不大。与普通甘蓝相比, 紫甘蓝叶绿素含量较高, 且含有较大比例的花青素,  $P_n$  明显降低。紫甘蓝生长过程中结球初期  $P_n$  最高, 后期  $P_n$  降低幅度明显小于普通甘蓝, 结球中期叶绿素含量最高, 花青素含量随着生育期进展而逐渐升高。紫甘蓝  $P_n$  日变化呈单峰曲线型, 峰值出现在 10: 00—11: 00, 其光补偿点为  $68.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 饱和点为  $1\ 077.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  补偿点为  $70.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 饱和点为  $1\ 140 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 均略高于普通甘蓝。20 °C 条件下, 紫甘蓝的  $P_n$  最高, 其低温补偿点和高温补偿点分别为 -4.4 °C 和 51.3 °C, 均低于普通甘蓝。

**关键词:** 紫甘蓝; 甘蓝; 光合特性; 花青素; 温度补偿点

中图分类号: S 635 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2008) 04-0547-06

## Comparison of the Photosynthetic Characteristics of Purple Cabbage and Cabbage

WANG Mei-ling, AI Xi-zhen\*, DING Fei, WANG Hong-tao, and LIANG Wen-juan

(College of Horticultural Science and Engineering, State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

**Abstract:** This study is to clarify the photosynthetic characteristics of purple cabbage, and the differences compared with cabbage. The pigment contents and photosynthetic characteristics of purple cabbage varieties ‘Zaohong’ and ‘Hongri’ were investigated by Unispec spectrometer and Ciras-2 photosystems respectively, and compared with a common cabbage variety ‘Zhonggan 11’. The result showed that the two varieties of purple cabbage differ less in pigment content and photosynthetic rate ( $P_n$ ), their chlorophyll content were higher, the  $P_n$  were lower than those of ‘Zhonggan 11’. There were more proportion of anthocyanin in purple cabbage, but none in cabbage. The  $P_n$  of purple cabbage was highest in initial heading stage, and decreased by a less margin in last stage compared with that of cabbage. The chlorophyll content was the highest in middle heading stage, but the anthocyanin content increased as growing period getting along. The daily  $P_n$  varied in a single peak curve. The light compensation point and light saturation point of ‘Zaohong’ were  $68.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and  $1\ 077.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  respectively, the  $\text{CO}_2$  compensation point and saturation point were  $70.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  and  $1\ 140 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , which were higher than those of ‘Zhonggan 11’. The  $P_n$  of ‘Zaohong’ was the highest in 20 °C, its compensation point was -4.4 °C at low temperature but 51.3 °C at high temperature, which were lower than those of ‘Zhonggan 11’.

**Key words:** purple cabbage; cabbage; photosynthetic characteristics; anthocyanin; temperature compensation point

收稿日期: 2007 - 12 - 04; 修回日期: 2008 - 02 - 28

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: axz@sda.u.edu.cn; Tel: 0538-8246015)

多年来人们对光合作用的研究多集中在绿色植物上,而对彩叶植物,尤其是彩色叶片色素含量与光合作用关系的报道较少(郝峰鸽等,2006;庄猛等,2006)。彩叶植物叶色表现各有不同,但都涉及到色素的变化,因而光合特性很可能受到影响,从而直接影响植株的生长速度和生长量。因此,研究彩叶植物的光合特性有着重要的理论意义和实践价值。与普通结球甘蓝相比,紫甘蓝(*Brassica oleracea* L.)的主要特点是叶片中花青素含量或比例较高。前人研究发现,花青素能吸收蓝光,反射红光,叶片组织中的花青素与光合色素(叶绿素和胡萝卜素)在捕光上存在竞争,因此影响光合作用的光反应(Woodal & Stewart, 1998)。花青素同时具有光保护作用,可以减轻强光、紫外线等引起的光伤害(Lee & Lowry, 1980; Dodd et al, 1998; Jayakumar et al, 1999; Smillie & Hetherington, 1999; Manetas et al, 2002),还具有清除自由基(余莹等,2002;吴春等,2005)和抗突变(赵宇瑛和张汉锋,2005)等多种生理功能。然而紫甘蓝色素含量及其比例的变化特征以及对光合特性的影响至今未见报道。

传统的色素含量测定多用生化分析法或液相色谱法,这两种方法均需破坏性取样,无法对叶片生长过程中的色素含量进行动态观测,并且测定时间长,成本高。本试验中采用英国 PP-Systems 公司生产的 Unispec 型光谱分析系统解决了这一难题。该系统可以快速准确地测定同一叶片同一位点的光谱反射率,对叶片没有损伤。按照 Sim 和 Gamon (2002) 的方法计算色素相对含量,数据更加准确可靠,便于分析色素与光合作用的相互关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2006 年在山东农业大学园艺试验站进行,供试紫甘蓝品种为‘早红’,‘红日’,普通绿甘蓝为‘中甘 11’。

7 月 25 日播种,露地自然条件下平畦育苗。8 月 23—24 日(6~7 片叶)定植。行距 60 cm,株距 55 cm,每品种种植 50 株;另选生长一致的幼苗各 10 株,栽于直径 25 cm,高 30 cm 的塑料盆中,每盆 1 株。

盆中土壤与田间相同,常规管理。

### 1.2 测定项目及方法

#### 1.2.1 温光因子

用温度计测定气温( $T_a$ ),用美国产 LF18P 型量子辐射照度计测定光量子通量密度(PFD)。莲座期取不同品种和不同叶位叶片(50 片),分别按反射光谱法和生化分析法(马志本和程玉娥,1984)测定紫甘蓝和绿甘蓝叶绿素、类胡萝卜素和花青素相对含量,进行相关性分析。

#### 1.2.2 色素含量

晴天用 Unispec 型光谱分析仪测定最佳功能叶(上数 5~6 片叶)。测定时以白色样板为基准,用光纤探头扫描叶片(波长范围 350~1100 nm),分别记录样板和叶片的光谱反射值,二者的比率即为叶片的光谱反射率(SR)。参照 Sims 和 Gamon (2002) 的方法计算  $SR_{705}$  和  $R/G$  (红光区与绿光区的光谱反射系数之比),分别用以代表叶绿素(Chl.)和花青素的相对含量。 $SR_{705} = (R_{750} - R_{445}) / (R_{705} - R_{445})$ 。

#### 1.2.3 光合速率时期变化与日变化

晴天上午 10:00—11:30 用英国 PP-Systems 公司产 Ciras-2 型光合仪测定不同时期(9 月 6 日、10 月 1 日、10 月 23 日和 11 月 11 日)功能叶片的净光合速率( $P_n$ ),并于结球初期(10 月 1 日)测定  $P_n$  和气孔导度( $G_s$ )的日变化。

#### 1.2.4 光响应曲线和表观量子效率

用 Ciras-2型光合作用测定系统测定  $\text{CO}_2$  浓度  $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，叶温  $20^\circ\text{C}$ ，相对湿度 80% 下的光合—光响应曲线 ( $\text{Pn} - \text{PFD}$ )，PFD 范围  $50 \sim 1400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，变化梯度为  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以下) 和  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上)。回归法求得光饱和点和光补偿点，该曲线初始直线部分的斜率即为表观量子效率 (AQY) (许大全等, 1990)。

#### 1.2.5 $\text{CO}_2$ 响应曲线和羧化效率

用 Ciras-2型光合作用测定系统测定 PFD 为  $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  下的光合— $\text{CO}_2$  浓度响应曲线 ( $\text{Pn} - \text{CO}_2$ )， $\text{CO}_2$  浓度范围  $50 \sim 1600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，变化梯度为  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  ( $300 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  以下) 和  $100 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $300 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  以上)。回归法求得  $\text{CO}_2$  补偿点和饱和点；同时测定 Pn 对胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{Ci}$ ) 的响应曲线 ( $\text{Pn} - \text{Ci}$ )，其初始直线部分的斜率即为羧化效率 (CE)。叶温和相对湿度同上。

#### 1.2.6 温度响应曲线和低温、高温补偿点

在人工气候室内用 Ciras-2型光合作用测定系统测定 PFD 为  $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ， $\text{CO}_2$  浓度为  $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，相对湿度 80% 下的光合—温度响应曲线 ( $\text{Pn} - \text{T}$ )，温度梯度为 2、5、8、11、15、20、25、30、35、38、40、42 和  $44^\circ\text{C}$ ，每个温度适应 15~20 min 后记录测定数据。取  $11^\circ\text{C}$  以下和  $38^\circ\text{C}$  以上各点，回归法求直线方程，Pn 为零时对应的叶片温度即低温补偿点和高温补偿点 (张振贤等, 2003)。

以上测定重复 5 次，取平均值，用 DPS 数据处理系统进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期色素含量和光合速率

图 1 表明，生化法和光谱法测定所得的叶绿素与花青素含量呈线性相关，相关系数分别达到 0.9015 和 0.9484。

类胡萝卜素含量的相关系数较低，因此未列出其图。

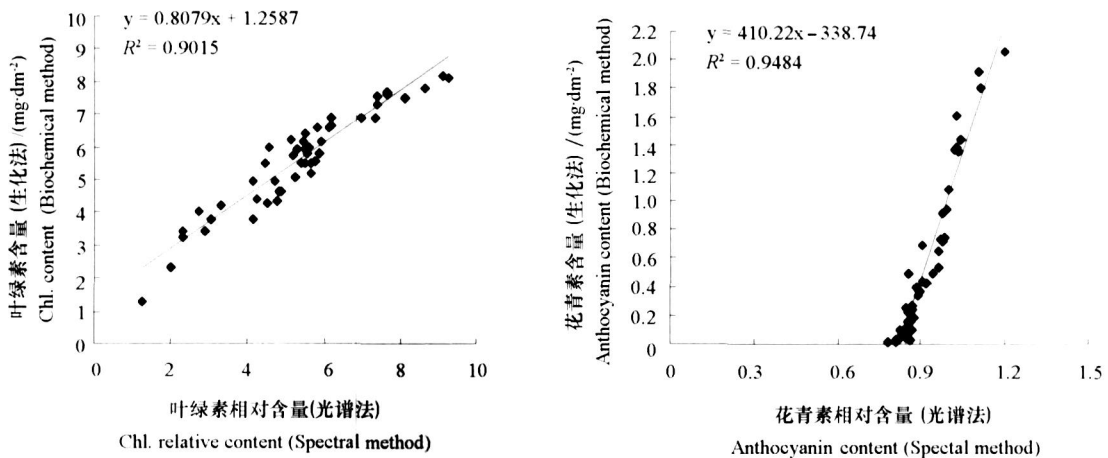


图 1 光谱法和生化法测定紫甘蓝叶片叶绿素和花青素含量比较

Fig. 1 Chlorophyll and anthocyanin content in cabbage leaves determined with spectral and biochemical methods

从9月6日—11月11日,每隔15~22 d(受天气变化影响,间隔时间有差异)测定一次紫甘蓝的色素含量与 Pn,并与普通甘蓝作比较。可以看出,紫甘蓝的叶绿素含量明显高于普通甘蓝的(图2, A),但二者的变化趋势相似,前期快速增加,10月下旬达到最高,之后逐渐下降。紫甘蓝中含有大量花青素,并随着生育期的进展而增加(图2, B);普通甘蓝中没有检测出花青素。

紫甘蓝 Pn的时期变化与普通甘蓝相似(图2, C)。前期随着生长期的推移逐渐增加,10月初达到最高值,之后逐渐减弱。紫甘蓝 Pn最高值明显低于普通甘蓝,但后期下降速度较缓,降低幅度明显小于普通甘蓝。说明紫甘蓝生长后期衰老较慢,结球后期仍有较强的光合能力。两个紫甘蓝品种的 Pn在多数时间内差异不大,唯生长后期‘早红’的降低幅度小于‘红日’,即‘早红’较‘红日’衰老慢,这可能与二者的熟性有一定关系。

## 2.2 光合速率日变化

图3表明,紫甘蓝与普通甘蓝的 Pn日变化规律相似,呈单峰曲线型(图3, A)。与普通甘蓝相比,紫甘蓝 Pn较低。Gs日变化规律(图3, B)与 Pn基本相似,唯12:00以后降低幅度较大。紫甘蓝 Gs显著低于普通甘蓝,表明 Pn的日变化与气孔因素有一定相关性。

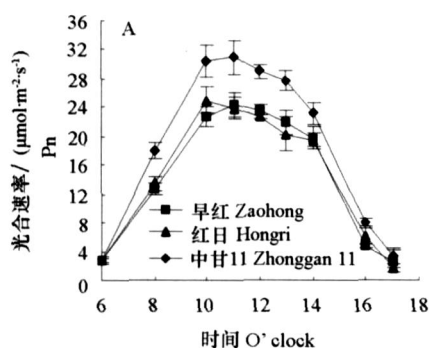


图3 甘蓝光合速率和气孔导度日变化(10-01)

Fig 3 Diurnal changes of photosynthetic rate (Pn), and stomatal conductance (Gs) of cabbage leaves (10-01)

## 2.3 光合速率对光强、CO<sub>2</sub>浓度和温度的响应

图4, A是9月15日测定的‘早红’和‘中甘11’莲座叶 Pn - PFD曲线。用计算机模拟运算,得出‘早红’的 Pn - PFD曲线方程为  $y = -2E - 05x^2 + 0.0431x - 2.5463$  ( $R^2 = 0.9972$ ); ‘中甘11’

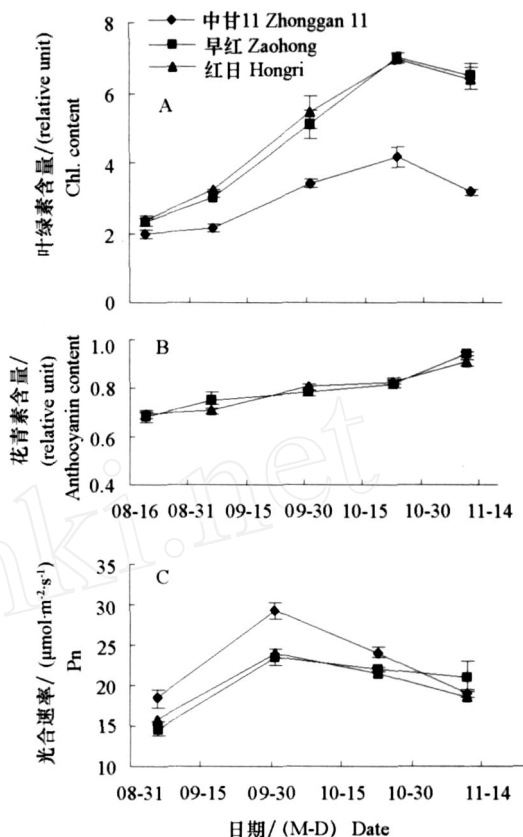


图2 甘蓝不同时期叶绿素、花青素含量和光合速率变化(10:00—11:30)

Fig 2 Changes of chlorophyll, anthocyanin content and photosynthetic rate (Pn) of cabbage leaves at different stage (10:00—11:30)

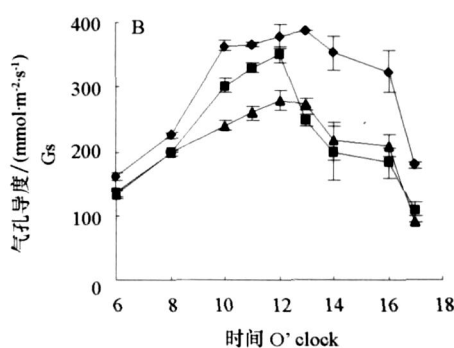


图3 甘蓝光合速率和气孔导度日变化(10-01)

Fig 3 Diurnal changes of photosynthetic rate (Pn), and stomatal conductance (Gs) of cabbage leaves (10-01)

## 2.3 光合速率对光强、CO<sub>2</sub>浓度和温度的响应

图4, A是9月15日测定的‘早红’和‘中甘11’莲座叶 Pn - PFD曲线。用计算机模拟运算,得出‘早红’的 Pn - PFD曲线方程为  $y = -2E - 05x^2 + 0.0431x - 2.5463$  ( $R^2 = 0.9972$ ); ‘中甘11’

的曲线方程为  $y = -2E-05x^2 + 0.0411x - 1.4335$  ( $R^2 = 0.9961$ )。由此求得紫甘蓝光补偿点为  $68.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 饱和点为  $1077.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 普通甘蓝的光补偿点为  $50.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 饱和点为  $1027.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。根据以上方程计算所得紫甘蓝和普通甘蓝的 AQY 分别为 0.0404 和 0.0430, 说明紫甘蓝对强光的耐受性略强于普通甘蓝, 而对弱光的利用能力稍低于普通甘蓝。

紫甘蓝  $P_n$  对  $\text{CO}_2$  浓度的响应如图 4, B 所示, 其曲线方程为:  $y = -3E-05x^2 + 0.0684x - 5.6572$  ( $R^2 = 0.9913$ )。由此得出的  $\text{CO}_2$  补偿点为  $70.4 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 饱和点为  $1140 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; 普通甘蓝的曲线方程为:  $y = -3E-05x^2 + 0.0654x - 5.2151$  ( $R^2 = 0.9923$ )。  $\text{CO}_2$  补偿点为  $67.6 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 饱和点  $1090 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。可见, 紫甘蓝对  $\text{CO}_2$  的需求略高于普通甘蓝, 但差异不显著。根据以上方程计算得到紫甘蓝和普通甘蓝的 CE 分别为 0.1179 和 0.1151, 也没有明显差异。

图 4, C 表明, 20 条件下紫甘蓝的  $P_n$  最高, 为  $13.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 而普通甘蓝在 25 条件下  $P_n$  最高, 为  $16.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。根据 11 以下和 38 以上各点直线方程, 得出紫甘蓝的低温补偿点和高温补偿点 (理论值) 分别为 -4.4 和 51.3 ; 普通甘蓝的分别为 -2.0 和 55.9 。表明紫甘蓝对低温的忍耐能力较强, 而普通甘蓝的耐高温能力较强。

### 3 讨论

本试验结果表明, 紫甘蓝叶片含有较大比例的花青素, 虽然其叶绿素含量显著高于普通甘蓝, 但  $P_n$  明显降低, 因为花青素主要分布在叶片表层, 可能抑制了光合色素的光能捕获, 从而影响光合作用。然而从  $P_n$  时期变化 (图 2) 看出, 紫甘蓝生长后期的  $P_n$  降低幅度明显小于普通甘蓝, 其中午的下降幅度较小。推测花青素在减缓植株衰老和抵御强光、干旱、低温等逆境胁迫中可能发挥积极作用。

通过对紫甘蓝  $P_n$  - PFD 响应曲线的分析, 结果与普通甘蓝相似, 属于中光植物, 但其光补偿点和饱和点均比普通甘蓝略高, 表明紫甘蓝对强光的耐受性较普通甘蓝强, 但对弱光的利用范围小于普通甘蓝。紫甘蓝的  $P_n$  -  $\text{CO}_2$  曲线和 CE 与普通甘蓝没有明显差异, 说明二者对  $\text{CO}_2$  的需求特性相似。

从温度响应曲线看出, 紫甘蓝的最适温度为 20 , 且在 20 ~ 30 范围内  $P_n$  变化不大; 而普通甘蓝的最适温度为 25 , 低于或高于此温度时  $P_n$  明显降低。紫甘蓝的低温补偿点较明显低于普通甘蓝; 虽然紫甘蓝的高温补偿点也低于普通甘蓝, 但田间一般不会出现 50 以上高温。因此, 笔者认

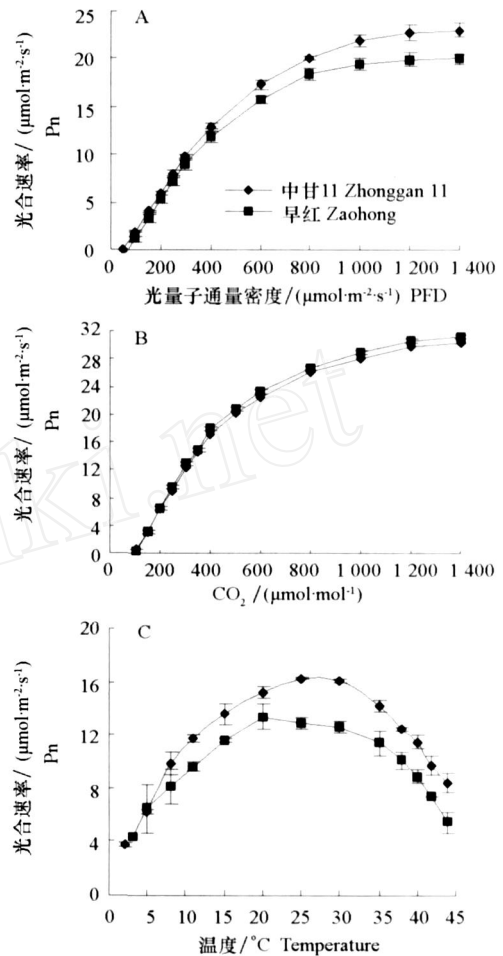


图 4 甘蓝光合速率对 PFD、 $\text{CO}_2$  浓度和温度的响应

9月15日 (A, B)、9月20—23日 (C) 测定。

Fig 4 Response of  $P_n$  to PFD,  $\text{CO}_2$  concentration and temperature of cabbage leaves

Measured on Sep. 15 (A, B) and Sep. 20—23 (C), respectively

为紫甘蓝的耐低温能力较强, 其适温范围大于普通甘蓝。

## References

- Dodd I C, Critchley C, Woodall G S, Stewart G R. 1998. Photoinhibition in differently colored juvenile leaves of *Syzygium* species. *Journal of Experimental Botany*, 49: 1437 - 1445.
- Hao Feng-ge, Yang Li-feng, Ren Jun-hui. 2006. Study on the photosynthetic characteristics and content of pigment of *Berberis thunbergii* atropurpurea growth in different illumination intensities. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 34 (7): 1351 - 1352. (in Chinese)
- 郝峰鸽, 杨立峰, 任军辉. 2006. 不同光照条件对紫叶小檗光合特性及色素含量的影响. *安徽农业科学*, 34 (7): 1351 - 1352
- Jayakumar M, Eyini M, Selvinthangadurai P, Lingakumar K, Premkumar A, Kulandaivelu G. 1999. Changes in pigment composition and photosynthetic activity of aquatic fern (*Azolla microphylla* Kaulf.) exposed to low doses of UV-C (254 nm) radiation. *Photosynthetica*, 37: 33 - 38.
- Lee D W, Lowry J B. 1980. Young-leaf anthocyanin and solar ultraviolet. *Biotropica*, 12: 75 - 76.
- Ma Zhi-ben, Cheng Yu-e. 1984. Measurement of anthocyanin content in apple pericarp by chemical method. *China Fruits*, (4): 49 - 51. (in Chinese)
- 马志本, 程玉娥. 1984. 关于苹果果实表面花青素含量的化学测定方法. *中国果树*, (4): 49 - 51.
- Manetas Y, Drinia A, Petropoulou Y. 2002. High contents of anthocyanins in young leaves are correlated with low pools of xanthophylls cycle components and low risk of photoinhibition. *Photosynthetica*, 40 (3): 349 - 354.
- Sims D A, Gamon J A. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81: 337 - 354.
- Smillie R M, Hetherington S E. 1999. Photobabatement by anthocyanin shields photosynthetic systems from light stress. *Photosynthetica*, 36 (3): 451 - 463.
- Woodall G S, Stewart G R. 1998. Do anthocyanins play a role in UV protection of the red juvenile leaves of *Syzygium*. *Journal of Experimental Botany*, 49: 1447 - 1450.
- Wu Chun, Lu Hai-yan, Dai Li-jun, Liu Tao. 2005. Study on antioxidative effect of procyanidins. *Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition*, 21 (4): 457 - 460. (in Chinese)
- 吴春, 陆海燕, 代丽君, 刘涛. 2005. 原花青素的抗氧化活性研究. *哈尔滨商业大学学报: 自然科学版*, 21 (4): 457 - 460.
- Xu Da-quan, Xu Bao-ji, Shen Yun-gang. 1990. Diurnal changes of photosynthetic efficiency of  $C_3$  plants. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 16 (1): 1 - 5. (in Chinese)
- 许大全, 徐宝基, 沈允钢. 1990.  $C_3$ 植物光合效率的日变化. *植物生理学报*, 16 (1): 1 - 5.
- Yu Ying, Su Wu, Wei Dong-zhi. 2002. Scavenging activity of procyanidins on free radicals. *Journal of East China University of Science and Technology*, 28 (3): 318 - 320. (in Chinese)
- 余莹, 粟武, 魏东芝. 2002. 原花青素体外清除自由基活性的研究. *华东理工大学学报*, 28 (3): 318 - 320.
- Zhang Xue-ying, Zhang Shang-long, Luo Jun, Ye Zheng-wen, Li Shi-cheng. 2004. Advance in research on fruit anthocyanin synthesis. *Journal of Fruit Science*, 21 (5): 456 - 460. (in Chinese)
- 张学英, 张上隆, 骆军, 叶正文, 李世诚. 2004. 果实花色素苷合成研究进展. *果树科学*, 21 (5): 456 - 460.
- Zhang Zhen-xian, Ai Xi-zhen, Zhao Shi-jie, Yang Hong-yan. 2003. The temperature compensation point and the start time of photosynthesis of cucumber leaves. *Acta Horticulturae Sinica*, 30 (2): 157 - 162. (in Chinese)
- 张振贤, 艾希珍, 赵世杰, 杨红艳. 2003. 黄瓜叶片光合作用的温度补偿点与光合启动时间. *园艺学报*, 30 (2): 157 - 162.
- Zhao Yu-ying, Zhang Han-feng. 2005. Current situation and investigation of anthocyanidin and its progressive trend. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 33 (5): 904 - 905, 907. (in Chinese)
- 赵宇瑛, 张汉锋. 2005. 花青素的研究现状及发展趋势. *安徽农业科学*, 33 (5): 904 - 905, 907.
- Zhuang Meng, Jiang Wei-bing, Hua Guo-ping, Cao Jing, Li Gang. 2006. Comparison of the photosynthetic characteristics of *Euonymus japonicus* L. f. *aureomarginatus* Rehd. and *Euonymus japonicus* L. *Plant Physiology Communications*, 42 (1): 39 - 42. (in Chinese)
- 庄猛, 姜卫兵, 花国平, 曹晶, 李刚. 2006. 金边黄杨与大叶黄杨光合特性的比较. *植物生理学通讯*, 42 (1): 39 - 42.