

文章编号:1000-8551(2005)06-451-05

观赏狼尾草光合特性的研究

巨关升¹ 武菊英² 赵军锋³ 孙振元¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所/国家林业局林木培育重点实验室,北京 100091;
2. 北京草业与环境发展研究中心,北京 100089;3. 河南科技学院,河南 新乡 453003)

摘要:用 Li-6400 便携式光合分析仪测定了观赏狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides* L. Spreng) 的光合特性。试验结果显示:狼尾草的光合日进程呈“单峰型”,无“午休”现象,最大净光合速率为 $21.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$,出现在 13:00。狼尾草的光饱和点为 $1200 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$,光补偿点为 $15 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$,表观量子效率为 0.05743; CO_2 饱和点为 $600 \mu\text{molmol}^{-1}$,补偿点在 $5 \mu\text{molmol}^{-1}$ 左右,羧化效率 $\text{CE} = 0.2349$ 。所有数据表明该狼尾草具有典型的 C4 植物的特性。

关键词:狼尾草;光合特性;蒸腾速率;表观量子效率;羧化效率

STUDY ON THE PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF THE *Pennisetum alopecuroides* L. SPRENG

JU Guan-sheng¹ WU Ju-ying² ZHAO Jun-feng³ SUN Zhen-yuan¹

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry/ Key Laboratory of Forest Cultivation, State Forestry Administration, Beijing, 100091;
2. Beijing research center of Lawns and Environment, Beijing, 100089; 3. Henan Science and Technology college, Xinxiang, Henan, 453003)

Abstract: The photosynthetic characteristics of *Pennisetum alopecuroides* L. Spreng selected for ornamental culture were measured with the Licor-6400 portable photosynthesis system. The results showed that daily variation of net photosynthetic rate in leaves presented a single peak curve, no midday depression. The peak value of the net photosynthetic rate was $21.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, occurred at 13:00. Light saturation point was $1200 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$, light compensation point was $15 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$, and apparent quantum efficiency was 0.05743. CO_2 saturation point was $600 \mu\text{molmol}^{-1}$, and CO_2 compensation point was about $5 \mu\text{molmol}^{-1}$, and carboxylation efficiency was 0.2349. All the data of showed that *P. alopecuroides* owed photosynthetic characteristics of a typical C4 plant.

Key words: *Pennisetum Alopecuroides* L. Spreng; photosynthetic characteristic; transpiration rate; apparent quantum efficiency; carboxylation efficiency

狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides* L. Spreng), 是一种狼尾草属多年生植物。须根较粗壮, 秆直立, 丛生, 高 30~120cm。圆锥花序直立, 长 5~25cm, 宽 1.5~3.5cm。在我国东北、华北、华东、中南及西南各省均有分布; 多生于海拔 50~3200m 的田岸、荒地、道旁及小山坡上; 可作饲料, 也可以作固堤防沙植物^[1]。其株型优美, 花序长而洁白, 因此越来越多地被人们用作园林绿化配置植物。前人对狼尾草属植物的研究主要集中在栽培技术, 生物学特性和繁育特性等方面^[2,3], 对生理特性方面的研究报道很少^[4], 本试验对狼尾草的光合生理特性进行了研究, 为狼尾草在园林布置中的合理利用提供可靠依据。

1 材料与方法

收稿日期: 2005-07-11

基金项目: 北京市科委重点项目 (H030630070430) 和国家“863”计划 (2002AA2Z4281 - 05)。

作者简介: 巨关升 (1965 -), 男, 陕西岐山人, 副研究员, 主要从事植物生理生态研究, Email: jugs @caf. ac. cn。武菊英为通讯作者。

1.1 材料

试验在中国林业科学院温室进行。该观赏狼尾草是近年从北京乡土野生狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides* L. Spreng) 中选育的、适合北京地区园林栽培的品种。2004 年 2 月初播种于营养钵, 3 月移入塑料盆, 每盆 1 株, 正常管理, 4 月下旬有 8 片叶时进行测定。选大小均匀、长势基本一致的植株作为供试材料, 测定部位为叶片长度的 1/3 处。

1.2 试验方法

1.2.1 不同叶位光合速率的测定 采用美国 Li-COR 公司生产的 Li-6400 便携式光合分析仪。设定顶端第 1 片完全展开叶为第 1 叶位, 向下依次为第 2、3、4、5 叶位。晴天 9:00—10:00 在自然光下测定, 光强约为 $1500\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。测定时从第 1 片完全展开叶依次向下取 5 叶, 6 株重复, 计算各叶位叶片光合速率的平均值。

1.2.2 光响应曲线测定 用 Li-6400 光合作用分析系统的人工光源控制测定光强, 空气 CO_2 浓度设定为恒值 $400\mu\text{molmol}^{-1}$, 温度为 22, 测定不同光强下的狼尾草叶片的净光合速率。3 株重复, 用非直角双曲线拟合, 根据拟合曲线估计光饱和点和光补偿点。非直角双曲线公式为:

$$p_n = \frac{x + b - \sqrt{(x + b)^2 - 4 (xb) - c}}{2}$$

式中, p_n 为净光合, x 为光强, c 为暗呼吸, b 为最大光合速率, 为直线部分的斜率, 为曲线形状参数。

1.2.3 CO_2 响应曲线测定 用 Li-6400 光合作用分析系统的 CO_2 混合器控制 CO_2 浓度, 人工光源设定为 $1500\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 气温为 22, 在不同 CO_2 浓度下测定狼尾草叶片的光合速率, 3 株重复, 用非直角双曲线拟合, 公式同上, x 代表 CO_2 浓度, b 、 c 、为参数。根据拟合曲线确定 CO_2 饱和点和 CO_2 补偿点。

1.2.4 光合速率和蒸腾速率日变化的测定 在晴天, 选择大小和生长势相对一致的植株 6 株测定日进程, 从 7:00 开始到 19:00, 每隔 2h 测定 1 次。测定部位取顶端第 1 片展开叶。同时由系统自动记录净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、空气 CO_2 浓度、叶室内的光合有效辐射、气温等相关参数值。光合速率以 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 表示, 蒸腾速率以 $\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同叶位的光合速率

狼尾草不同叶位叶片的净光合速率测定结果见表 1。从表 1 可知, 狼尾草第 1~3 叶位叶片的净光合速率基本相同, 第 4 叶位叶片稍低, 第 5 叶位叶片的光合速率较前 4 位叶片要小的多, 只有前 4 叶平均值的 67% 左右。这可能是光合器官衰老所致。

2.2 光响应曲线

图 1 为狼尾草光合作用光响应曲线的测定结果和拟合曲线。从图 1 可以看出, 光强达到 $800\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之前, 随着光强的增加, 光合速率增加迅速, $800\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以后, 光合速率缓慢上升, 逐渐趋于与 x 轴平行。可见狼尾草在高光强下没有出现明显的光抑制现象。根据测定数据, 在光强达到 $1200\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以后, 光合速率增加很少, 可以初步确定狼尾草的光饱和点在 $1200\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 左右。

由于非直角双曲线具有明确的生理意义, 所

表 1 狼尾草不同叶位叶片的净光合速率

Table 1 The net photosynthetic rates of leaf at different leaf orders ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

叶序 leaf order	1	2	3	4	5
最大净光合速率	21.5	21.1	21.4	20.0	14.1
net photosynthetic rate	(± 2.2)	(± 1.0)	(± 2.1)	(± 1.9)	(± 2.0)

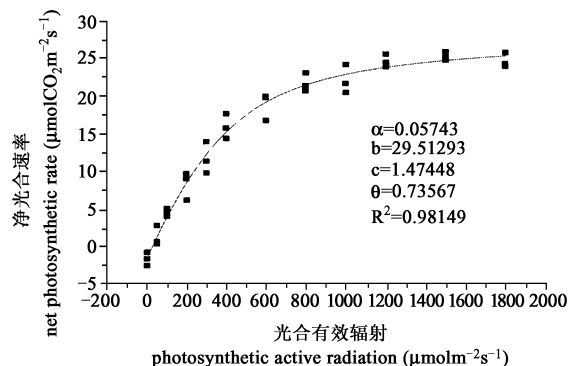


图 1 狼尾草光合作用光响应曲线拟合图

Fig.1 The light-photosynthetic rate response curve

以使用这种公式对实测数据进行拟合, $R^2 = 0.98149$ 。根据拟合公式可以计算出狼尾草的光补偿点为 $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 但由于拟合曲线是一个渐进线, 难以确定有生理意义的光饱和点, 所以仍以前面确定的 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 为狼尾草的光饱和点。

在低光合有效辐射下, 净光合速率—光合有效辐射的模拟直线方程, 其斜率即为表观量子效率。根据非直角双曲线参数的生理意义, 参数表示曲线直线部分的斜率, 即表观量子效率。从拟合结果可知, 狼尾草的表观量子效率为 0.05743。

2.3 CO_2 响应曲线

图 2 为狼尾草光合作用 CO_2 响应曲线的拟合曲线(A)以及羧化效率的拟合图(B)。

由图 2 可知, 当外部 CO_2 浓度达到 $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 以下时, 随 CO_2 浓度的增加, 光合速率迅速上升, 特别是 CO_2 浓度达到 $200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 以前, 光合速率的上升几乎呈一条直线。在 CO_2 浓度达到 $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 以后, 光合速率增加迅速减缓, CO_2 浓度高于 $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 后, 光合速率几乎不再增加, 曲线基本平行于 x 轴。因此, CO_2 饱和点为 $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 左右。根据拟合曲线可以算出狼尾草的 CO_2 补偿点为 $5 \mu\text{mol mol}^{-1}$;

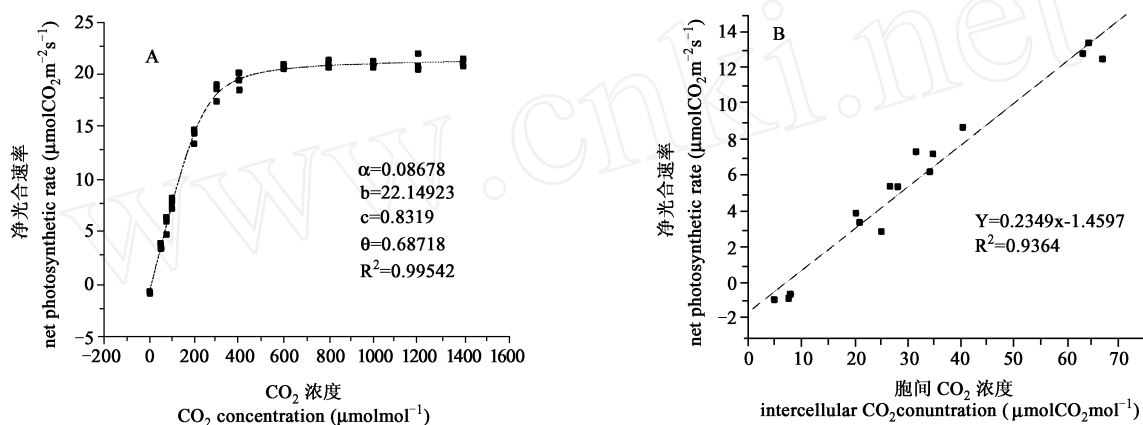


图 2 狼尾草光合作用 CO_2 响应曲线拟合图(A)及羧化效率拟合图(B)

Fig. 2 The CO_2 -photosynthetic rate response curve and the carboxylation efficiency

在较低的 CO_2 浓度下, 狼尾草的同化效率与胞间 CO_2 浓度呈直线相关, 直线的斜率即羧化效率。根据拟合曲线的斜率, 可以确定狼尾草的羧化效率 $\text{CE} = 0.2349$ 。

2.4 光合速率和蒸腾速率日进程

2.4.1 净光合速率日进程 光合速率日变化基本呈“单峰型”曲线(图 3), 其日变化最高值出现在 13:00。从 7:00 开始, 光照随着时间增强, 气温也逐渐升高, 净光合速率迅速增大, 到 9:00 即达到最高值的 90% 以上; 9:00 到 15:00 之间均保持相当高的水平, 其中 13:00 达到最大值, 为 $21.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。15:00 以后, 随光照减弱, 温度降低, 净光合速率减小, 到 19:00 降低到 0 以下, 处于净呼吸状态。狼尾草在全天各个时间的光合速率, 与光合有效辐射具有紧密的直线相关关系, 相关系数为 0.923; 与其他环境因子关系不大。

2.4.2 蒸腾速率日进程 狼尾草蒸腾的日变化也呈“单峰性”曲线(图 4)。7:00 蒸腾速率很小, 只有 $0.7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。随着光照增强, 气温升高, 蒸腾速率也迅速增加, 15:00 左右上升到 $4.7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 为全天的最大值, 约为 7:00 的 7 倍。此后随光强降低, 气温下降, 蒸腾速率直线下降, 到 19:00 时蒸腾速率下降到与 7:00 时相等的水平。全天中蒸腾速率的变化主要与大气温度相关, 相关系数为 0.815。

2.4.3 气孔导度和胞间 CO_2 浓度的日变化 狼尾草叶片气孔导度的日变化呈“单峰型”曲线(图 5), 峰

值出现在 9:00, 为 $0.15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。气孔导度从 9:00 到 15:00 虽然一直在下降, 但仍保持在较高的水平上, 约 $0.125 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上。这与光合速率的变化趋势有差异, 估计可能是由于大气相对湿度下降引起的。15:00 以后, 气孔导度下降较快, 这主要是受光强下降影响。

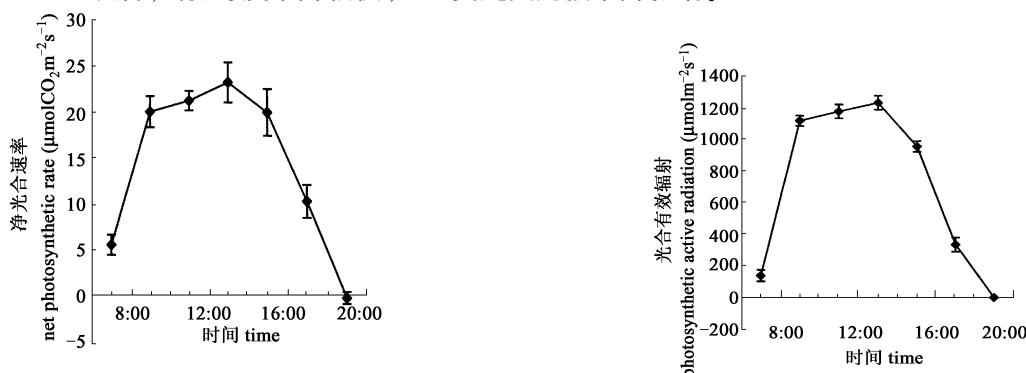


图 3 狼尾草叶片光合速率日进程曲线及光强日变化曲线

Fig. 3 The daily variation of the photosynthetic rate and photosynthetic active radiation

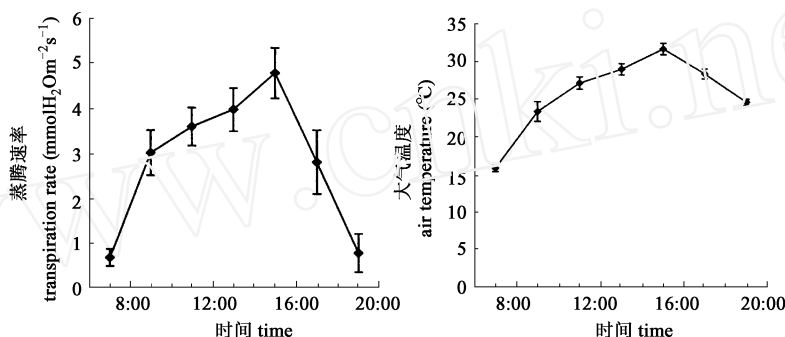


图 4 狼尾草叶片蒸腾速率日进程曲线及气温日变化曲线

Fig. 4 The daily variation of transpiration rate and air temperature

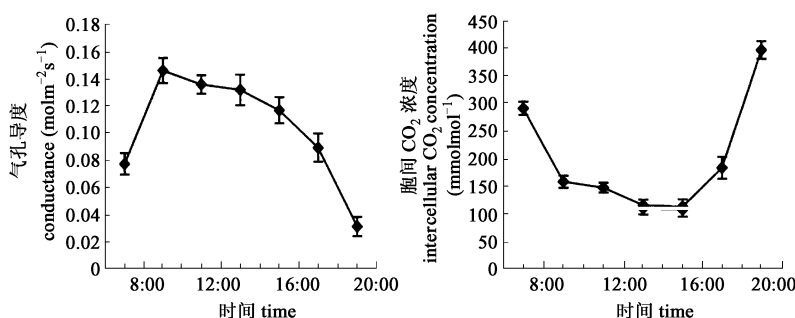


图 5 狼尾草叶片气孔导度和胞间 CO_2 浓度日变化曲线

Fig. 5 The daily variation of conductance and intercellular CO_2 concentration

胞间 CO_2 浓度的日变化曲线为午间降低型 (图 5)。7:00 约为 $300 \mu\text{mol mol}^{-1}$, 13:00 下降至 $115 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 左右, 到 15:00 基本保持不变, 之后显著回升, 到 19:00 高达 $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 。最高值与最低值之差为 $285 \mu\text{mol mol}^{-1}$, 最低值出现时净光合速率为最大值, 最高值出现时净光合速率为最低值, 说明胞间 CO_2 浓度随着光合的减弱而增加, 随着光合的加强而减小。

3 讨论

狼尾草顶端第 1、2、3、4 叶位叶片的光合速率最高, 且差距不大, 4 叶位以后逐渐降低。所以, 在测定时, 前 4 叶位的叶片都能代表整株植物的最大光合强度。因此, 本试验后面的各项测定都以顶端第 1

完全展开叶为测定对象。

光饱和点和光补偿点是植物的两个重要的光合生理指标。植物的光饱和点和光补偿点反映了植物光照条件的要求,是判断植物耐阴性的一个重要指标。一般认为,光补偿点和饱和点均较低的植物是典型的耐荫植物,而光补偿点低而光饱和点高的植物对环境适应性很强^[5]。狼尾草的光饱和点在 $1200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 左右,光补偿点在 $25\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 左右,表观量子效率为 0.0558,与耐阴性的 C4 型阳性植物地毯草的表观量子效率(0.0592)基本相同^[7]。较低的光补偿点、较高的光饱和点和较大的表观量子效率,表明狼尾草是一种较耐荫的阳性植物。因此,在园林配置时,可以配置在一些较荫湿的地带作为绿化和保护之用,并注意适当密植,可生长迅速,提高观赏效果。

狼尾草的 CO_2 补偿点为 $5\mu\text{mol mol}^{-1}$, CO_2 饱和点为 $600\mu\text{mol mol}^{-1}$ 左右,比普通的 C3 植物胡杨(补偿点和饱和点分别高达 $150\mu\text{mol mol}^{-1}$ 和 $900\mu\text{mol mol}^{-1}$) 低的多,与典型的 C4 植物地毯草的补偿点($0.97\mu\text{mol mol}^{-1}$)^[6] 相似;狼尾草羧化效率特别大, $\text{CE} = 0.2349$,也接近于 C4 植物地毯草的羧化效率($\text{CE} = 0.2539$)^[7],约为 C3 植物鹅掌楸(0.02)的 12 倍^[7]。狼尾草表现出典型的 C4 植物的特征,对低浓度 CO_2 有极强的同化能力。因此,在园林布置时,可以增大栽植密度,有利于狼尾草的快速生长,以及时达到景观设计的效果,提高观赏价值。

狼尾草的净光合速率 13:00 时达到 $21.8\mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,为全天的最大值,没有“午休”现象,为典型的“单峰型”曲线;气孔导度在日变化呈“单峰型”曲线,9:00 达到最大值,到 15:00 一直保持较高的水平,但逐步降低,与净光合速率的趋势不同。两者之间的相关性不明显,这与其他一些研究者对一些植物的研究结果不一致。可能是因为狼尾草的光合表现为典型的 C4 植物特性,气孔导度达到一定程度后,对净光合速率就不再有明显的影响。温达志等人对杂交狼尾草做了初步的研究,研究结果是:净光合速率日进程在 10:00 前最大,可达 $36.4\mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,有明显的“午休”现象,随后下降,在 12:00 和 14:00 分别出现两个微弱的 Pn 峰,呈“双曲线型”;气孔导度日变化呈“双曲线型”。同为狼尾草属的植物却存在一定的差异,其原因可能是:(a)植物本身生理特性的不同(b)生长的环境条件的不同(c)测定季节的不同。但真正的原因尚需要做进一步研究。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志第 10 卷第 1 分册. 北京:科学出版社,1990,366 ~ 368
- [2] 左福元,王保全,等. 杂交狼尾草种茎无性繁殖技术研究. 四川畜牧兽医学院学报,2001,15 (3):16 ~ 19
- [3] 陈锦新,赵国平,等. 杂交狼尾草生育特性研究. 草业学报,1998,15(4):14 ~ 17
- [4] 温达志. 四种禾本科牧草植物光合特性的初步研究. 热带亚热带植物学报,2000,增刊:59 ~ 66
- [5] 冷平生,杨晓红,等. 5 种园林树木的光合和蒸腾特性的研究. 北京农学院学报,2000,15 (4):13 ~ 18
- [6] 蹇洪英,邹寿青. 地毯草的光合特性研究. 广西植物,2003,23(2):181 ~ 184
- [7] 郭志华,张宏达. 鹅掌楸苗期光合特性研究. 生态学报,1999,19(2):164 ~ 169

(上接第 468 页)

- [7] Kasuga M, Liu Q, et al. Improving plant drought, salt, and freezing tolerance by gene transfer of a single stressinducible transcription factor. Nat Biotechnol, 1999, 17: 287 ~ 291
- [8] Gilmour SJ, Sebolt A M, et al. Overexpression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. Plant Physiology, 2000, 124: 1854 ~ 1865
- [9] Jaglo K R, Kleff S, et al. Components of the Arabidopsis C-repeat/dehydration -responsive element binding factor cold-response pathway are conserved in *Brassica napus* and other plant species. Plant Physiology, 2001, 127:910 ~ 917
- [10] Horsch R B, Fay J E, et al. A simple and general method for transferring genes into plants. Science, 1985, 227:1229
- [11] Jefferson R A, Kavanagh A, et al. GUS fusion: -glucuronidase as a sensitive and versatile fusion marker in higher plants. EMBO J,1987, 6: 3901 ~ 3907
- [12] Virginie B, Lejeune-Haut I, et al. Cold acclimation of winter and spring peas: carbon partitioning as affected by light intensity. European Journal of Agriculture, 2003, 19:535 ~ 548