

库源关系对草莓叶片 光合磷酸化和 Rubisco 活性的影响

平吉成, 单守明, 刘 晶, 刘 亮

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以温室草莓为试材,研究库源关系对叶片光合磷酸化和 Rubisco 活性的影响,以提高草莓叶片光合作用和果实品质。结果表明:提高草莓的负载量,可显著提高叶片净光合速率、叶绿素含量,同时,叶片中可溶性蛋白、Rubisco 活性、Hill 反应活性、光合磷酸化活性、ATPase 活性也得到显著提高。所有处理叶片净光合速率与 Rubisco 活性和 Ca^{2+} -ATPase 呈显著正相关,在高负载量下净光合速率与叶绿体活性显著性升高。提高负载量能提高草莓单株产量,但是降低了果实品质,在宁夏,每株草莓留 4 个果实其产量和品质均较好。因此,设施条件下,负载量主要是通过调节叶片中 Rubisco 和叶绿体活性来影响叶片光合作用,最终调节草莓产量和果实品质。

关键词:草莓;源库关系;光合作用;光合磷酸化;负载量

中图分类号:S 668.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)19-0001-04

源库关系可通过气孔因素、叶绿素含量、叶片中碳水化合物含量和光合作用关键酶活性等调节叶片的光合作用^[1-4];调节小麦、果树等植物的源、库器官比例可影响植株发育、碳水化合物的运输、经济产量和品质的形成^[1-4]。在许多植物上的研究表明,叶绿体光合磷酸化活性和 Rubisco 活性与叶片的净光合速率密切相关,环境条件、植物生长调节剂等都能调节叶片的光合磷酸化和同化代谢关键酶活性^[1,5-6]。在草莓的生产中,叶片同化物供应能力的不足往往是限制草莓产量和品质的重要因素^[7],因此,该试验以草莓为试材,研究源库比例对草莓叶片光合作用和叶绿体活性的影响,以期理论研究和实际生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

该试验在宁夏大学永宁试验基地进行(温室条件),采用随机区组方案,3 次重复,每个小区面积 10 m²。选用生长势一致的草莓“童子 1 号”(Fragaria × ananassa Duch cv. Camarosa)为试材,起垄栽植,株行距为 25 cm × 35 cm,常规管理。在花期仅留第 2 级花,将其余花全部去掉,在谢花期进行如下处理:3 叶 6 果/株

(3L6F)、5 叶 6 果/株(5L6F)、5 叶 4 果/株(5L4F)(对照:CK)、5 叶 2 果/株(5L2F),在试验过程中保持各处理叶果数不变。

1.2 试验方法

1.2.1 光合速率的测定 从谢花后到果实成熟,每隔 7 d 于上午 10:00 采用 GFS-3000 型便携式光合仪测定各处理植株第 3 片复叶(从心叶算起)的净光合速率(Pn)、采用开路系统,光照强度为 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;每个处理测定 3 株,3 次重复。

1.2.2 叶绿体光合磷酸化活性和 Rubisco 活性的测定

在测定叶片光合速率的同时,每处理采 10 片中位叶,测定叶片 Rubisco 的总活性^[6],Hill 反应活力^[8],光合磷酸化活性^[9],ATPase 活性^[10]。

1.2.3 单株产量和果实品质的测定 果实成熟时,每个处理采 20 株的果实,测平均单株产量、平均单果重、果实硬度、可溶性固形物含量(SSC)、可滴定酸含量^[11]。

1.3 数据统计

采用 DPS 软件分析数据。

2 结果与分析

2.1 不同处理对叶片光合速率和叶绿素含量的影响

在花后 0~21 d,各处理叶片的 Pn 升高了 1.67~2.21 倍,之后 Pn 开始下降(图 1);与此同时,叶片的叶绿素含量也在不断上升,在花后 21 d 时达到最高值,之后开始下降。自处理后 7 d,叶果比处理明显的影响了叶片的 Pn 和叶绿素含量,在花后 21 d 时,3L6F 的 Pn 和叶绿素含量最高,5L2F 处理的最低,差异达极显著水平。

第一作者简介:平吉成(1968-),男,硕士,副教授,现主要从事果树生理研究及教学工作。E-mail:13995201223@126.com。

责任作者:单守明(1975-),男,博士,讲师,现主要从事果树生理研究工作。E-mail:fxssm@163.com。

基金项目:宁夏大学博士科研启动经费资助项目;宁夏回族自治区科技攻关资助项目。

收稿日期:2011-06-28

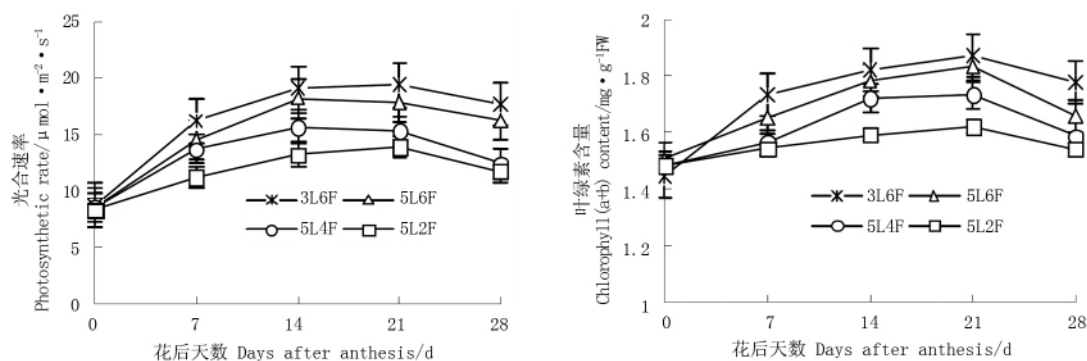


图 1 不同处理对草莓叶片光合速率和叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different treatment on photosynthetic rate and chlorophyll content of strawberry

2.2 不同处理对 Rubisco 活性和蛋白质含量的影响

由图 2 可知,在花后 21 d 内,草莓叶片 Rubisco 活性不断升高,之后开始下降。自处理后 7 d 开始,叶果比的大小调节了叶片 Rubisco 活性,其中 3L6F 处理的活性最高,5L2F 处理的活性最低,二者差异达到显著

水平。草莓叶片中可溶性蛋白含量随着果实的发育而不断升高,花后 21 d 时达到最高值,在处理 14~21 d,3L6F 和 5L6F 处理的蛋白质含量显著高于 5L2F 的处理。

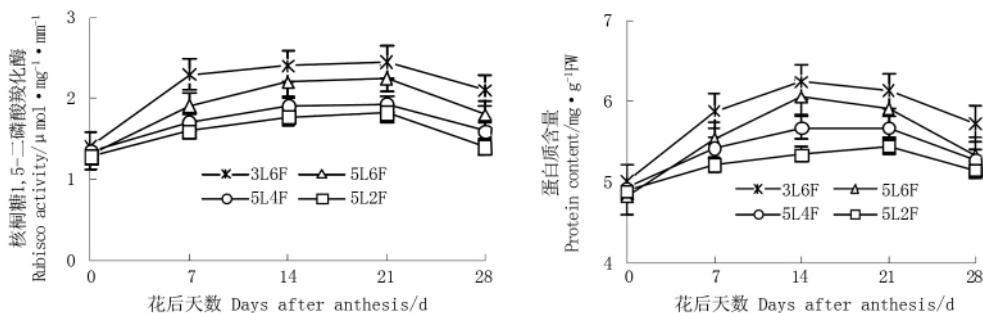


图 2 不同处理对草莓叶片 Rubisco 活性和蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effects of different treatment on Rubisco activities and protein content of strawberry

2.3 不同处理对 Hill 反应和光合磷酸化活性的影响

由图 3 可知,在草莓果实的发育过程中,叶绿体活性各指标和 ATPase 活性呈单峰变化趋势,都在花后 14~21 d 时达到最高值,之后开始下降。不同的叶果比处理明显的 Hill 反应、光合磷酸化和 ATPase 活性,最显著的时期发生在花后 14~21 d。总的来看,以 3L6F 处理的 Rubisco、Hill 反应、光合磷酸化活性、叶绿体 Mg^{2+} -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性最高,其次为 5L6F,差异达显著水平。

2.4 草莓叶片 Pn 和叶绿体活性指标的相关性分析

不同叶果比处理叶片的 Pn 和叶绿体活性各参数间均是正相关(表 1),表现为随着叶果比的降低,各相关系数升高。3L6F 和 5L6F 处理的 Pn 与叶绿体活性各指标间均呈显著正相关,5L4F 处理的 Pn 与 Hill 反应、Rubisco 活性呈显著正相关,但与光合磷酸化活性、 Mg^{2+} -ATPase 间的相关性没有达到显著水平。对于 5L2F 处理来说,Pn 仅与 Rubisco 活性显著正相关,与其它参数间的相关性没有达到显著水平。

表 1

光合速率与叶绿体活性间的相关性分析

Table 1

Correlation analysis between photosynthetic rate and chloroplast activities

处理 Treatment	核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶 Rubisco	Mg^{2+} -ATP 酶 Mg^{2+} -ATPase	Ca^{2+} -ATP 酶 Ca^{2+} -ATPase	希尔反应 Hill reaction	光合磷酸化活性 Photophosphorylation
5L2F	0.918 *	0.894	0.890	0.903	0.827
5L4F	0.924 *	0.905	0.913 *	0.932 *	0.876
5L6F	0.953 *	0.943 *	0.924 *	0.965 * *	0.91 *
3L6F	0.971 * *	0.964 * *	0.934 * *	0.968 * *	0.961 * *

注:*,** 分别表示差异达 0.05 和 0.01 显著水平。
Note: * and * * mean significant at 0.05 and 0.01 levels respectively.

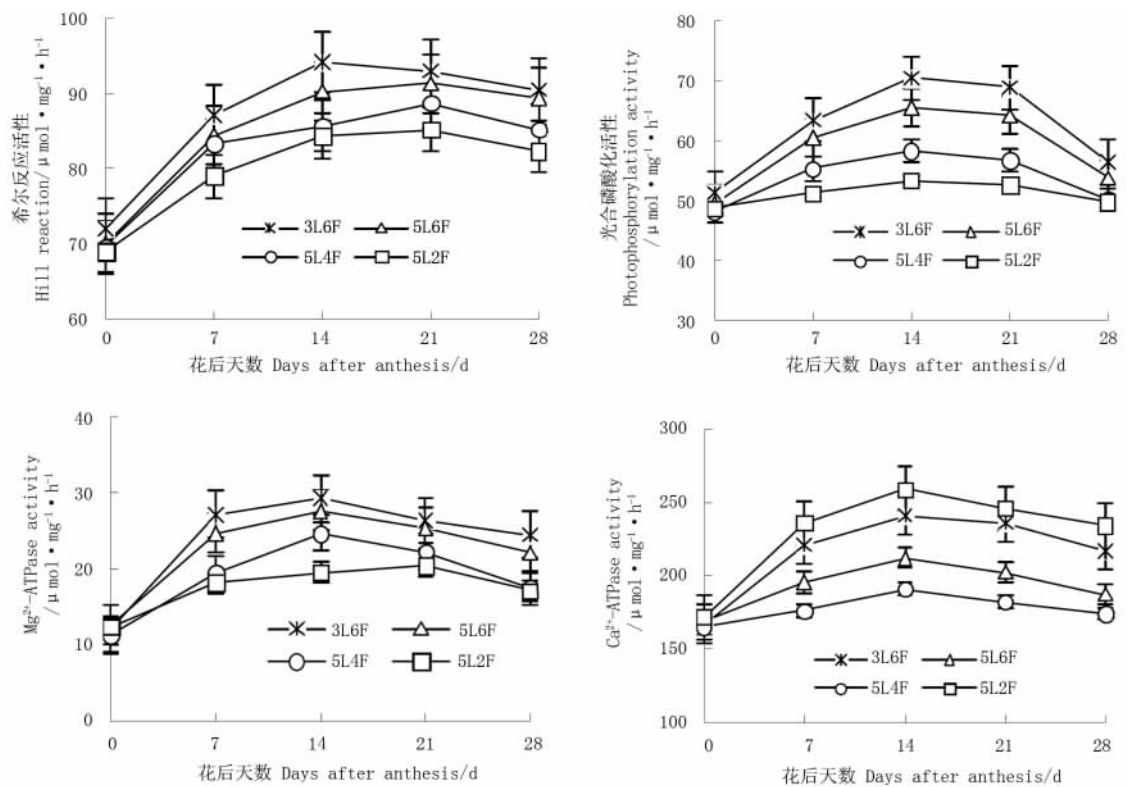


图3 不同处理对草莓叶片 Hill 反应和光合磷酸化活性的影响

Fig. 3 Effects of different treatment on Hill reaction and photo phosphorylation activities of strawberry

2.5 不同处理对果实品质的影响

不同的叶果比处理显著影响了草莓果实的平均单果重(表 2),随叶果比的降低,果实 SSC 含量显著降低,同时可滴定酸含量显著的升高。果实的硬度随着叶果比的降低而升高,但是差异不显著。对于平均单

株产量来说,5L6F 和 5L4F 的最高,它们显著高于 5L2F 和 3L6F 的单株产量,虽然 5L2F 处理的果实品质最好,但是平均单株产量最低,它比 5L6F 的低 44.7%左右。

表 2 不同处理对果实品质的影响

Table 2 Effects of different treatment on fruit quality of strawberry

处理 Treatment	平均单果重 Average fruit weight/g	平均单株产量 Yield per plant/g	果实硬度 Fruit firmness/kg $\cdot \text{cm}^{-2}$	可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	可滴定酸含量 Titratable acidity/%
5L6F	21.5 cB	129 A	0.392 a	8.8 bB	1.21 bAB
5L4F	29.4 bA	117.6 A	0.386 a	10.6 aAB	1.06 cBC
5L2F	34.7 aA	71.4 B	0.374 a	11.2 aA	0.92 dC
3L6F	14.2 dB	85.2 B	0.404 a	8.4 bB	1.33 aA

注:采用新复极差法检验。小写字母表示差异达到 0.05 显著水平,大写字母表示差异达到 0.01 显著水平。

Note: Date in this table was tested with SSR. Different small letters in each column mean significant different at 0.05 level, different capitals mean significant different at 0.01 level.

3 讨论与结论

在许多植物上的研究表明,源库关系能通过调节气孔导度、叶片中碳水化合物和光合作用关键酶含量等调节叶片的 P_n ^[1-6],该试验的结果表明,在花后 6~18 d,随着叶果比的降低,草莓叶片的 G_s 显著升高,同时 P_n 也显著上升,因此叶果比可通过调节叶片 G_s 来调节叶片光合作用,这与在其它植物上研究认为果实的有无和负载量的大小能调节叶片的光合作用的结果相一致^[2-3,12-13]。叶绿素含量是反映光合作用的一个重要指标,它与光合速率关系密切^[1,4-5],该试验中,低的

负载量提高了叶片的叶绿素含量,因此叶绿素含量的升高是 P_n 升高的另一个重要原因。

叶绿体活性涉及碳固定关键酶活性、Hill 反应、光合磷酸化活性和叶绿体 ATPase 酶活性等,叶绿体的活性与 P_n 关系密切,它影响叶片 P_n ^[1,5,14]。由图 3 可知,在草莓花后 6~24 d,叶果比明显的影响了叶绿体活性各指标,表现为随着叶果比的降低,Rubisco、Hill 反应、光合磷酸化活性、 Mg^{2+} -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 酶活性升高,且 P_n 与它们之间相关系数也升高(表 1);在草莓果实的发育过程中,5L2F 处理的 P_n 仅与 Rubisco 活性显著正相关,而 3L6F 处理的 P_n 与叶绿体活

性各指标均极显著正相关,由于 Rubisco 蛋白占叶片中可溶性蛋白的 50% 以上^[1,6],所以在高叶果比条件下,Rubisco 的活性和含量是影响 Pn 的主要因素;在低叶果比条件下,由于库容量增大,对光合产物的需求升高,因此要求更多的光合产物,因此 Rubisco 的活性和含量升高,与此相适应,叶绿体的电子传递和光合磷酸化水平升高,产生更多的同化力以利于 Rubisco 合成更多的光合产物,ATPase 活性的升高也有利于光合产物的输出^[1,5],最终叶片的 Pn 升高。

叶绿体活性和 Pn 影响植物经济产量和品质的形成^[1,5],该试验结果表明,随着叶果比的降低,叶片叶绿体活性和 Pn 升高、平均单株产量升高,表明果实中分配到更多的光合产物,但是平均单果重和可溶性固形物含量下降,即库器官增多,由于源器官供应能力和同化物运输能力的限制,库器官之间竞争加剧,单个果实中分配到的光合产物降低,最终果实品质下降^[1,7,13]。对于高的叶果比来说,虽然叶绿体活性和 Pn 较低,但是源器官供应能力充足,单个果实中获得较多得光合产物,提高个平均单果重和可溶性固形物,从而提高了果实品质。

参考文献

- [1] Pessarakli M. Handbook of photosynthesis[M]. Second Edition. London: CRC Press, 2005: 169-451.
- [2] Allen M T, Prusinkiewicz P, Dejong T M. Using L-systems for modeling source-sink interactions, architecture and physiology of growing trees: the L-PEACH model [J]. New Phytologist, 2005, 166(3): 869-880.
- [3] Iglesias D J, Lliso I, Tadeo F R, et al. Regulation of photosynthesis through source-sink imbalance in citrus is mediated by carbohydrate content in leaves [J]. Physiologia Plantarum, 2002, 116(4): 563-572.
- [4] 单守明, 杨恕玲, 王振平, 等. 负载量对宁夏设施草莓光合作用和果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(1): 5-7.
- [5] 单守明, 刘国杰, 李绍华, 等. DA-6 对草莓光化学反应和 Rubisco 活性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2008(2): 7-10.
- [6] Du Y C, Kawamitsu Y, Nose A, et al. Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane [J]. Aust. J. Plant Physiol., 1996, 23(6): 719-726.
- [7] Deng X, Woodward F I. The growth and yield response of *Fragaria ananassa* to elevated CO₂ and N supply [J]. Annals of Botany, 1998, 81: 67-71.
- [8] 汤章城. 现代植物生理学试验指南[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 104-106.
- [9] 薛应龙. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 111-115.
- [10] 黄卓辉, 魏家绵. 光合磷酸化偶联机制研究[J]. 植物生理学报, 1984, 10(2): 161-168.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-161.
- [12] 胡敏, 唐瑞永, 张玉鑫, 等. 叶果比对甜瓜叶片衰老的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 295-300.
- [13] 黄永敬, 唐小浪, 马培怡, 等. 库-源调节对沙糖桔源叶光合特性的影响[J]. 广东农业科学, 2009(8): 93-95.
- [14] 孙锦, 贾永霞, 郭世荣, 等. 海水胁迫对菠菜叶绿体活性氧和叶绿素代谢的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4326-4336.

Effects of Source-sink Relation on Photophosphorylation and Rubisco Activities in Strawberry

PING Ji-cheng, SHAN Shou-ming, LIU Jing, LIU Liang

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking strawberry as materials, the effect of the relationship of source-sink on the photophosphorylation and the activity of Rubisco in strawberry leaf were studied to increase the photosynthesis and berry quality with strawberry in greenhouse. The results showed that when the strawberry loading was increased, the net photosynthetic rate and the chlorophyll content increased significantly, in the meaning time, the soluble protein of leaf, the activity of Rubisco, the activity of Hill reaction, the activity of photophosphorylase, the activities of ATPase were also increased significantly. There were positive co-relationships between the leaf net photosynthetic rate and the activity of Rubisco, and between the leaf net photosynthetic rate and the activity of Ca²⁺-ATPase in all treatments. The leaf net photosynthetic rate and activity of chloroplast increased significantly in the condition of high strawberry loading. The increasing of strawberry loading could increase the yield, but decrease the quality of strawberry. The loading of 4 berries in a strawberry plant could reach a good yield and quality in Ningxia. So in the greenhouse condition, the berry loading adjusted the strawberry yield and quality in the end by adjusting the activity Rubisco and chloroplast.

Key words: strawberry; source-sink relation; photosynthesis; photophosphorylation; loading