

## 植物免疫蛋白对草莓光合特性及果实品质、产量的影响\*

钱玲<sup>1</sup>, 童江云<sup>1</sup>, 任建青<sup>1</sup>, 罗志伟<sup>2</sup>, 陈杉艳<sup>2</sup>, 包涛<sup>1</sup>, 许春城<sup>2</sup>, 李长亮<sup>2</sup>

(1. 昆明市农业科学研究院 资源与环境研究所, 云南 昆明 650118;

2. 昆明市农业科学研究院 经济作物研究所, 云南 昆明 650034)

**摘要:**【目的】探讨植物免疫蛋白对草莓光合特性及果实品质、产量的影响, 为草莓高效优质栽培提供技术支持。【方法】以‘章姬’草莓为试验材料, 采用田间小区试验, 施用 1 000 倍液植物免疫蛋白处理, 以清水为对照(CK), 进行田间栽培肥效对比试验。【结果】增施植物免疫蛋白可增加整个生育期草莓的叶绿素相对含量, 显著提高草莓净光合速率和产量( $P<0.05$ ), 改善草莓果实品质。与对照相比, 施用普绿通植物免疫蛋白使草莓在营养生长期、开花坐果期、盛果期的叶绿素相对含量分别增加 1.06%、3.71%、2.40%, 并且在开花坐果期达到显著差异( $P<0.05$ ); 草莓净光合速率和产量分别提高 15.56% 和 24.45%。草莓果实的横径、纵径分别增加 5.62% 和 3.40%, 硬度、可溶性固形物和维生素 C 含量分别增加 11.7%、5.49%、3.89%, 其中可溶性固形物含量变化达到显著差异( $P<0.05$ )。【结论】植物免疫蛋白能有效促进草莓生长, 改善草莓品质和提高产量, 可在草莓生产上推广应用。

**关键词:** 植物免疫蛋白; 草莓; 光合特性; 品质; 产量

中图分类号: S 432.29; S 668.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2018)01-0163-05

## Effects of Plant Immune Protein on the Photosynthetic Characteristics, Fruit Quality and Yield of Strawberry

QIAN Ling<sup>1</sup>, TONG Jiangyun<sup>1</sup>, REN Jianqing<sup>1</sup>, LUO Zhiwei<sup>2</sup>, CHEN Shanyan<sup>2</sup>,

BAO Tao<sup>1</sup>, XU Chuncheng<sup>2</sup>, LI Changliang<sup>2</sup>

(1. Institute of Resources and Environment, Kunming Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650118, China;

2. Research Institute of Cash Crop, Kunming Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650034, China)

**Abstract:** [Purpose] In order to provide technical support for high yield and good quality cultivation, the effects of plant immune proteins on the photosynthesis characteristics, fruit quality and yield of strawberry were studied. [Method] Taking ‘Akihime’ strawberry as experimental materials, the field plot experiment was conducted to study the fertilizer effect of applying 1 000 times diluents of plant immune proteins, with spraying water as control (CK). [Result] Applying plant immune proteins increased relative chlorophyll content of strawberries and significantly prompted the net photosynthetic rate and yield ( $P<0.05$ ), meanwhile, improved the fruit quality of strawberry. Compared with the control, the relative chlorophyll content of strawberries increased by 1.06%, 3.71% and 2.40%, during the vegetative, flowering-fruit bearing and full fruit period, the net photosynthetic rate and yield significantly improved by 15.56% and 24.45% ( $P<0.05$ ), respectively. The horizontal dia-

收稿日期: 2016-10-24

修回日期: 2017-03-21

网络出版时间: 2018-03-02

\*基金项目: 国家科技重大专项(2012ZX07102-003-01)。

作者简介: 钱玲(1981—), 女, 云南姚安人, 硕士, 农艺师, 主要从事植物营养与施肥、农业面源污染控制研究。

E-mail: qianling427@126.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201610029](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201610029)

meter and vertical diameter of strawberry fruit were significantly increased by 5.62% and 3.40%, the hardness and content of soluble solid and vitamin C increased by 11.7%, 5.49% and 3.89%, respectively, by applying plant immune proteins, and there were significant difference ( $P<0.05$ ) in soluble solid content. [ **Conclusion** ] Applying plant immune protein can improve the fruit quality of strawberry and increase the yield, and be popularized and applied in strawberry production.

**Keywords:** plant immune protein; strawberry; photosynthetic characteristics; quality; yield

草莓属蔷薇科草莓属多年生草本植物，是一种经济价值很高的小浆果，深受人们的喜爱，其果实鲜美可口，营养丰富且外观漂亮，是人们生活中不可缺少的大众化果品，在世界各地广泛栽种。目前，草莓正向着提高产量、降低成本、更新品种以及提高品质的方向发展<sup>[1]</sup>。农药、化肥等化学制剂的使用在一定程度上可提高草莓产量及品质，但也带来一些负面影响，如环境问题、食品安全问题等。随着社会经济的发展和人民生活水平的提高，生态环境和食品安全问题越来越受到人们的关注和重视。因此，寻找经济高效、与环境相容性好的植物生产新方法、新技术是解决当前环境污染、食品安全危机的迫切需求。

植物免疫蛋白是利用生物技术从微生物中分离提取的一种新型结构蛋白。它能激活植物体内分子免疫和代谢调控系统，提高植物抗病性的同时，促进植物根茎叶生长和叶绿素含量提高，提高作物产量<sup>[2]</sup>。已有研究报道植物免疫蛋白在水稻、蔬菜、烟草、茶叶上使用能显著促进作物植株生长，改善作物品质，提高作物的抗病能力和产量<sup>[3-6]</sup>。目前植物免疫蛋白在草莓栽培上的应用效果未见报道，该试验旨在探讨植物免疫蛋白对草莓叶片的 SPAD 值、光合作用、果实品质和产量的影响，以期草莓高效优质生产提供一种新的生物制剂。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 8 月—2015 年 5 月在昆明市农业科学研究院成果转化中心进行，该中心位于宜良县北古城镇大薛营村委会小薛营村 (E 103°17', N 24°98')，海拔 1 535 m。供试土壤为潯育型水稻土，前茬撂荒，其基本理化性状为：pH 6.8，有机质 18.49 g/kg，碱解氮 240.7 mg/kg，速效磷 68.2 mg/kg，速效钾 169.3 mg/kg。供试草莓品种为‘章姬’。试验药剂普绿通植物激活蛋白由北京普绿通生物科技有限公司生产。

1.2 试验设计

试验设 2 个处理，采用随机区组设计，每处理重复 3 次，共计 6 个小区。依据昆明市草莓栽培习惯，起垄双行栽培，垄高 30 cm，畦面宽 40 cm，畦底宽 60 cm，每 1 个小区面积 (0.9×10 ) m<sup>2</sup>，株行距为 20 cm×20 cm，每小区 100 株苗，小区间留 30 cm 隔离带 (沟底宽)。移栽 7 d 后第 1 次叶面喷施和灌根，以后间隔 25 d 施 1 次，共施 4 次，具体试验处理见表 1。试验区周围设保护行，保护行采用同品种延伸。为保证草莓果实的清洁，结果后进行覆膜。小区管理措施一致，即露地覆膜栽培管理措施。

表 1 试验处理  
Tab. 1 Experimental treatments

处理 treatments	处理方法 treatment methods
P1	对照 (CK)，在 P2 处理施用普绿通植物激活蛋白时，使用等量清水叶面喷施、灌根。
P2	普绿通植物免疫蛋白粉剂和水按照 1:1 000 的比例，混匀后叶面喷施、然后灌根 (根部周围半径 5 cm 范围内)，保证每株草莓的喷施和灌根量基本一致。

1.3 测定项目

SPAD 值测定：在营养生长初期、开花坐果期、盛果期，每小区中随机选取具有代表性的 6 棵植株，取心叶向外的第 3 片展平的功能叶 (倒三叶中间一裂)，采用 SPAD-502 叶绿素仪测定叶

绿素相对含量。

光合速率测定：使用 LI-6400 便携式光合作用测定系统，随机选取大小、长势一致的 6 棵植株，于晴朗的上午 9:00—11:00 取光合功能叶片 (倒三叶中间一裂) 进行测定，测定的光合生理指

标为净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ )。

果实品质测定: 在盛果期取全红期的果实鲜样带回实验室测定果实品质。外观品质中纵径、横径用游标卡尺测量; 采用手持折光仪 (PAL-1) 测定可溶性固形物含量; 采用数显果实硬度计 (GY-4) 测定其果实硬度; 维生素 C 含量采用 2,6—二氯酚酚滴定法 (GB 6195-1986) 测定。

产量调查: 每个小区选取具有代表性的 10 棵植株, 采收期 (即开始采收到采收结束的时间) 调查最大单果重、平均单果重、单株产量等数量性状。

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2007 进行试验数据处理, 采用 SAS 统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对草莓叶片 SPAD 值的影响

由表 2 可知: 增施普绿通植物免疫蛋白增加了草莓叶片的 SPAD 值, 并且随生育期的推进呈上升趋势, 施用普绿通植物免疫蛋白的处理在营养生长期、开花坐果期、盛果期都高出对照, 分别增加 1.06%、3.71%、2.40%, 并且在 2014 年 11 月 26 日 (开花坐果期) 达到显著差异。

表 2 不同处理对草莓叶绿素相对含量 (SPAD) 的影响

Tab. 2 Effects of different treatments on the relative chlorophyll content (SPAD) of strawberry

处理 treatments	调查时间 investigation date		
	2014-10-22	2014-11-26	2015-02-03
P1	52.02±1.90 a	52.78±0.95 b	55.01±0.55 a
P2	52.57±1.08 a	54.74±0.14 a	56.33±0.33 a

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,  $n=6$ ; 下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at 5% level,  $n=6$ ; the same as below.

### 2.2 对草莓光合特性的影响

由表 3 可知: 增施普绿通植物免疫蛋白可增加草莓叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度, 降低胞间  $CO_2$  浓度。与对照相比, 施用普绿通植物免疫蛋白处理的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度, 分别增加 15.56%、7.52%、10.02%, 其中净光合速率和蒸腾速率达到显著差异。而施用普绿通植物免疫蛋白处理的胞间  $CO_2$  浓度低于对照 3.23%, 差异不显著。

### 2.3 对草莓果实品质的影响

由表 4 可知: 施用普绿通植物免疫蛋白可增加

草莓果实的横径、纵径、硬度、可溶性固形物和维生素 C 含量。其中, 果实的横径和纵径增幅为 5.62% 和 3.40%, 均达到显著差异; 果实的硬度、可溶性固形物和维生素 C 含量增幅分别为 11.71%、5.49%、3.89%, 且仅可溶性固形物含量的变化达到显著差异。由以上结果表明: 施用普绿通植物免疫蛋白可以很好地改善草莓的果实品质。

### 2.4 对草莓产量的影响

由表 5 可以看出: 施用普绿通植物免疫蛋白可以提高草莓的最大单果重、平均单果重和单株产量, 从而提高草莓的单位面积产量。与对照相

表 3 不同处理对草莓光合特性的影响

Tab. 3 Effects of different treatments on photosynthetic characteristics of strawberry

处理 treatments	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$
P1	9.74±0.41 b	2.15±0.02 b	161.27±2.48 a	291.04±4.60 a
P2	11.26±0.43 a	2.31±0.10 a	177.42±9.75 a	281.95±4.61 b

表 4 不同处理对草莓果实品质的影响

Tab. 4 Effects of different treatments on fruit quality of strawberry

处理 treatments	横径/mm horizontal diameter	纵径/mm vertical diameter	硬度/(kg·cm <sup>-2</sup> ) hardness	可溶性固形物/% soluble solid content	w(Vc)×10 <sup>-2</sup> / (mg·g <sup>-1</sup> )
P1	34.14±0.83 b	55.80±1.03 b	0.57±0.01 a	11.96±0.53 b	85.67±9.22 a
P2	36.06±0.88 a	58.03±1.02 a	0.60±0.03 a	13.3±0.21 a	89.00±12.62 a

比, 施用普绿通植物免疫蛋白处理的最大单果重、平均单果重和单株产量, 分别增加 4.63%、12.72%、24.45%, 并且平均单果重和单株产量达到显著差异。

表 5 不同处理对草莓果实产量的影响  
Tab. 5 Effects of different treatments on fruit yield of strawberry

处理 treatments	最大单果重/g maximum single fruit weight	平均单果重/g mean single fruit weight	单株产量/g yield per plant	产量/[kg·(667 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ] yield
P1	60.73±1.73 a	19.03±1.23 b	372.74±36.44 b	2773.56±271.18 b
P2	63.54±0.58 a	21.45±0.46 a	463.86±18.68 a	3451.61±138.99 a

3 讨论

叶绿素是绿色植物进行光合作用的物质基础, 其含量直接影响叶片的光能利用率高<sup>[7]</sup>。绿色植物通过光合作用积累有机物, 其产量形成取决于其叶片的光能利用率, 光合速率和作物产量成正相关性<sup>[8-9]</sup>。植物叶片的 SPAD 值可以反映叶片的叶绿素含量, 叶片的 SPAD 值与叶绿素含量成正相关<sup>[10-13]</sup>。植物叶片的蒸腾速率、细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、叶片气孔导度也都影响着净光合速率<sup>[14]</sup>, 从而间接地影响光合作用。本研究将植物免疫蛋白采用叶面喷施+灌根的方式应用于‘章姬’草莓生产, 在整个生长过程中草莓的叶绿素相对含量与 CK 相比均呈正增长, 这与陈丽丽等<sup>[4,15]</sup>将普绿通植物免疫蛋白应用于有机番茄、彩椒栽培的研究结果一致; 植物免疫蛋白显著增加草莓叶片的净光合速率, 与前人<sup>[16]</sup>在草莓上应用微生物菌肥对草莓叶片光合特性的影响基本一致。施用植物免疫蛋白能提高植物的叶绿素含量, 改善植株光合作用, 有效促进植株生长发育<sup>[2]</sup>, 与前人研究发现的有机肥<sup>[9]</sup>、复合微生物制剂<sup>[17]</sup>、叶面肥<sup>[18]</sup>可明显提高草莓叶片叶绿素含量和促进光合作用结果基本一致。

本试验结果表明: 施用植物免疫蛋白处理可改善果实的耐储性、增加果实 Vc 含量及可溶性固形物含量, 并能提高果实最大单果重、平均单果重, 增加产量。这与陈丽丽等<sup>[4,15]</sup>在番茄和彩椒栽培上的研究结果一致。这可能由于植物免疫蛋白提高植物光合产物的积累, 而光合产物的多少又对果实的产量、品质有直接的影响, 并且对花芽分化和花芽质量也有重要的影响<sup>[19]</sup>。植物免疫蛋白能改善作物品质和提高产量<sup>[2]</sup>, 与陈丽丽等<sup>[4]</sup>、邱德文等<sup>[5]</sup>和葛智文等<sup>[6]</sup>在番茄、烟草、茶叶栽培上施用的结果类似。

植物免疫蛋白可提高草莓品质和产量, 增加草莓的生产效益, 有利于草莓高效可持续发展, 具有较好的推广应用前景。有关植物免疫蛋白对草莓抗病性的影响和对草莓叶片光合特性的作用机理尚需进一步研究。

[ 参考文献 ]

[1] 张雯丽. 中国草莓产业发展现状与前景思考[J]. 农业展望, 2012(2): 30.

[2] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(1): 42.

[3] 黄志农, 于耀平, 刘小玲, 等. 新型生物农药——植物激活蛋白的应用效果研究[J]. 湖南农业科学, 2007(3): 121.

[4] 陈丽丽, 古燕翔, 谷培云, 等. 植物免疫蛋白对有机栽培番茄生长、产量、品质及抗病性的影响[J]. 中国蔬菜, 2015(9): 44.

[5] 邱德文, 杨秀芬, 刘峥, 等. 植物激活蛋白对烟草抗病促生和品质的影响[J]. 中国烟草学, 2005, 11(6): 33.

[6] 葛智文, 张征, 罗军武, 等. 植物免疫蛋白对茶叶产量及主要品质成分的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(5): 682.

[7] 张丽光, 李丹, 刘磊, 等. 不同施肥种植模式对玉米光合特性、养分效率及产量性状的影响[J]. 水土保持学报, 2013(2): 117.

[8] 刘铁宁, 徐彩龙, 谷利敏, 等. 高密度种植条件下去叶对不同株型夏玉米群体及单叶光合性能的调控[J]. 作物学报, 2014(1): 143.

[9] 黄亚萍, 海江波, 罗宏博, 等. 不同种植模式及追肥水平对春玉米光合特性和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2015(9): 43. DOI: 10.7606/j.issn.1004-1389.2015.09.007.

[10] 李辉, 白丹, 张卓, 等. 羊草叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 27. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.2011-1865.

[11] 唐恒朋, 钱晓刚, 李莉婕, 等. 不同施氮水平辣椒单叶光谱特征及 SPAD 值与叶绿素含量的相关性[J]. 西南农业学报, 2016, 29(10): 2326. DOI: 10.16213/j.cnki.scjas.2016.10.013.

[12] 宋廷宇, 陈赫楠, 常雪, 等. 2 个薄皮甜瓜叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 129.

[13] 李敏夏, 张林森, 李丙智, 等. 苹果叶片高光谱特性与叶绿素含量和 SPAD 值的关系[J]. 西北林学院学报,

- 2010, 25(2): 36.
- [14] 陈根云, 陈娟, 许大全. 关于净光合速率和胞间  $\text{CO}_2$  浓度关系的思考[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(1): 64. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2010.01.007](https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2010.01.007).
- [15] 陈丽丽, 古燕翔, 谷培云, 等. 普绿通植物免疫蛋白对有机栽培彩椒的影响[J]. 北方园艺, 2015(17): 32.
- [16] 杨爽, 李海鹏, 杨培鑑, 等. 微生物菌肥对草莓光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2014(11): 166.
- [17] 王小琳, 徐明辉, 陈世昌, 等. 复合微生物制剂对温室重茬草莓生长及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 351.
- [18] 成学慧. 三种叶面肥对设施栽培葡萄与草莓植株生长和果实品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 35.
- [19] 程建军, 高照全, 吴晓云, 等. 不同叶龄草莓叶片光合能力比较研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 12793. DOI: [10.3969/j.issn.0517-6611.2012.26.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2012.26.019).