

DOI:10.11937/bfyy.201620009

# 接种深色有隔内生真菌对蓝莓果实品质的影响

刘 静<sup>1</sup>, 刘 凤 红<sup>2</sup>, 宿 红 艳<sup>3</sup>, 宋 方 圆<sup>3</sup>, 程 显 好<sup>3</sup>

(1. 鲁东大学 后勤处, 山东 烟台 264025; 2. 齐鲁理工学院 化学与生物工程学院, 山东 济南 250200;

3. 鲁东大学 农学院, 山东 烟台 264025)

**摘 要:**以“蓝丰”和“杜克”蓝莓植株为试材,以深色有隔内生真菌(DSE)M223 为接种剂,通过对比研究了在大田栽培中接种 M223 真菌对 2 个品种蓝莓果实品质的影响。结果表明:接种 M223 真菌显著提高果实的单果质量、纵径和横径,“蓝丰”和“杜克”蓝莓单果质量分别增加 13.00% 和 10.61%,表现出良好的增产效果,提前了果实的成熟期;果实中矿质元素、花色苷、可溶性固形物含量、总糖含量和糖酸比均有不同程度的提高。说明接种 M223 真菌能够提高“蓝丰”和“杜克”蓝莓植株根系的菌根侵染率,改善根系对水和矿质营养元素的吸收与利用,促进蓝莓植株的生长和果实中矿质营养元素的积累,改善了果实的品质。

**关键词:**DSE 真菌;蓝莓;侵染率;果实品质

**中图分类号:**S 663.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)20-0033-04

菌根是植物和微生物建立的互惠共同体,是生物界最重要、最广泛的一类共生现象,在对协调生态系统中各生物之间的物质交换、能量流动、信息传递等方面具

**第一作者简介:**刘静(1969-),女,本科,工程师,研究方向为生物工程。E-mail:642074640@qq.com.

**基金项目:**山东自然科学基金面上资助项目(ZR2014CM004)。

**收稿日期:**2016-07-18

有深远的生态意义<sup>[1]</sup>。有研究表明,蓝莓能与欧石楠菌根真菌(ERM)和深色有隔内生真菌(DSE)形成共生关系<sup>[2-3]</sup>。刘凤红等<sup>[4]</sup>将分离得到的 DSE 真菌(*Zalerion varium*)接种“杜克”蓝莓扦插苗上,发现接种后扦插苗的根系菌根侵染率、地上部鲜质量、根系总长和根系表面积以及叶绿素荧光参数 Fv/Fo 和 Fv/Fm 均有显著提高。程显好等<sup>[5]</sup>将一种 DSE 真菌与蓝莓扦插苗、蓝莓幼

## Influence of Eight Dwarfing Apple Interstocks on Photosynthetic Characteristics of Apple Cultivar ‘Li Quan Fuji’

ZHAO Lin, YANG Feng, FAN Jide, LI Gangbo, LU Xinjuan, LI Yong  
(Xuzhou Research Institute of Agricultural Sciences, Xuzhou, Jiangsu 221121)

**Abstract:** The influence of eight dwarfing apple interstocks on photosynthetic characteristics were studied via apple cultivar ‘Li Quan Fuji’ on eight dwarfing interstocks(‘Pajam2’ ‘Mark’ ‘GM256’ ‘M26’ ‘MM111’ ‘SH6’ ‘SH9’ ‘SH40’) grafted with *M. micromalus* Mak. . The results showed that the content of chlorophyll with different treatments and the rate of chlorophyll a/b were significant difference. The chlorophyll a content of ‘M26’ was the highest, 1.032 mg · g<sup>-1</sup> FW, and the highest of carotenoid content was ‘MM111’, 0.597 mg · g<sup>-1</sup> FW, but the rate of chlorophyll a/b was the highest in the treatment of ‘SH9’, 4.076, different treatments had significant difference with CK(0.651 mg · g<sup>-1</sup> FW, 0.345 mg · g<sup>-1</sup> FW, 2.427). The content of chlorophyll b of ‘GM256’ was the highest(0.286 mg · g<sup>-1</sup> FW), the lowest was ‘SH9’(0.240 mg · g<sup>-1</sup> FW), and there had significant difference between different treatments. The Pn of ‘Mark’ was highest between different treatments(20.552 CO<sub>2</sub> μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>), the highest Ci was ‘SH9’(489.581 CO<sub>2</sub> μmol · mol<sup>-1</sup>), but the Tr had no significant difference between different treatments, and the lowest of Pn, Ci, Tr and Gs were CK, it had significant difference with other treatments. The ‘M26’ and ‘Mark’ had the most significant affection on apple cultivar ‘Li Quan Fuji’.

**Keywords:** apple; interstock; photosynthetic characteristics

苗和1年生蓝莓苗共生栽培,试验表明DSE真菌与蓝莓共生可促进扦插苗生根,幼苗的发育以及1年生蓝莓植株的生长,提高植株的抗逆性。DSE真菌可通过促进宿主对营养物质的吸收,间接改变宿主对营养物质的利用<sup>[6-7]</sup>。

蓝莓和菌根真菌共生可以有效促进植株的生长并提高果实产量。在新西兰已经有商品化蓝莓菌根真菌制剂,使用后可提高蓝莓根系真菌的侵染率,改善根系周围营养物质的吸收利用,提高植株产量。我国蓝莓产业发展较晚,尚缺少蓝莓菌根真菌的深入研究,也没有商业化菌根真菌制剂产品。以往的大部分研究侧重在菌根真菌对蓝莓根、茎、叶等植株“源”器官的影响,对蓝莓花、果实等“库”器官的研究少有报道。该试验以“蓝丰”和“杜克”蓝莓为试验材料,研究DSE真菌对果实质量、矿质元素、花色苷、可溶性固形物含量以及糖酸比的影响,以期丰富植物的“源-库”关系以及蓝莓菌根真菌制剂的开发应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于山东半岛东部乳山日胜农业投资有限公司蓝莓基地,地处北纬37°31′47″,东经122°07′51″。昼夜温差小、无霜期长和湿度大的温带海洋性季风气候,年平均气温11.9℃,平均降水量730.2mm,平均日照时数2538.2h。

### 1.2 试验材料

供试菌种DSE真菌M223,中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心(CGMCC)保藏(编号CGMCC NO.8260),由鲁东大学农学院实验室提供。参照程显好等<sup>[8]</sup>DSE真菌的培养方法进行M223菌液的制备。供试材料为2年生且长势均一的蓝莓品种“蓝丰”和“杜克”。

### 1.3 试验方法

2014年3月在蓝莓基地中选取栽培位置和土壤条件相同的“蓝丰”和“杜克”蓝莓植株,每品种各60株。设接种M223菌液的CV处理组和未接种菌液的CK对照组。

接种菌液的CV处理组:除去植株根际周围土壤表层的枯枝落叶等杂物,将培养的M223菌液分别接种在植株根际周围东南西北4个方位,接种菌液量为100mL,每

品种处理30株,接种后覆土遮盖植株根系,局部浇灌处理。未接种菌液的CK对照组:将灭菌后的M223菌液分别接种在植株根际周围,接种方法与CV处理组相同。间隔1个月后,对CV处理组和CK对照组重复处理1次。按照当地常规管理方式进行蓝莓田间管理。

以30%左右的蓝莓果呈蓝紫色的时间为成熟期。在2014年6—7月蓝莓果实成熟期进行采样,采用随机取样的方式,每隔4d在CV处理组和CK对照组的植株树冠外围不同位置采集10粒大小均一,成熟度高的蓝莓果,共采集10次。标记封装后带回实验室对果实进行称量、测量以及营养成分的测定。

### 1.4 项目测定

1.4.1 果实品质参数及侵染率的测定 果实的质量采用电子天平称量,果实的横径和纵径采用数显游标卡尺测量。每个植株采集的10粒为一组进行测量后取平均值,每个品种按照CV处理组和CK对照组统计测量数据。蓝莓根系菌根侵染率采用方格交叉法测定<sup>[8]</sup>。

1.4.2 矿质元素及营养物质的测定 矿质元素中K、Ca、Mg、Fe的测定采用火焰原子吸收分光光度法<sup>[9]</sup>,P的测定采用分光光度法<sup>[10]</sup>;总糖含量的测定采用直接滴定法<sup>[11]</sup>和酸水解法<sup>[12]</sup>;总酸含量的测定采用指示剂法<sup>[13]</sup>;可溶性固形物含量采用手持折光仪进行测定;花色苷含量采用高效液相色谱法进行测定<sup>[14]</sup>。

### 1.5 数据分析

采用SPSS 17.0软件和Excel 2010软件对试验数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 接种M223真菌对蓝莓根系侵染和果实发育的影响

由表1可知,接种M223菌液4个月后,CV组蓝莓根系菌根侵染率显著高于对照组,其中“蓝丰”蓝莓根系的菌根侵染率为83.14%，“杜克”蓝莓的根系菌根侵染率为73.72%。接种后蓝莓平均单果质量增加明显,“蓝丰”和“杜克”蓝莓单果质量分别增加了13.00%和10.61%,表现出良好的增产效果;果实外观呈扁圆形,横径和纵径明显增加。采样时发现2个品种接种后果实成熟期分别提前5~7d。说明接种M223真菌存在促进“蓝丰”和“杜克”蓝莓果实生长发育的趋势。

表1 接种M223真菌对根系侵染率和果实发育的影响

项目	“蓝丰”		“杜克”	
	CK	CV	CK	CV
根系侵染率/%	37.30±0.43c	83.14±0.32a	28.68±1.19c	73.72±3.48a
平均单果质量/g	2.23±0.04c	2.52±0.05a	1.79±0.06b	1.98±0.13a
横径/mm	15.10±0.66b	16.28±0.60a	14.62±0.74b	15.66±0.61a
纵径/mm	10.62±0.48a	11.34±0.61a	10.28±0.35b	11.30±0.66a

注:同组数据后的不同字母表示处理间差异达5%显著水平。下同。

2.2 接种 M223 真菌对蓝莓果实中矿质元素含量的影响

由表 2 可知,接种 M223 真菌后 CV 组“蓝丰”蓝莓果实中矿质元素 K、Ca、P、Mg 的含量显著高于对照组,分别提高 13.51%、12.81%、21.11%、21.10%。Fe 元素

的含量稍有下降,但差异不显著。接种后,“杜克”蓝莓果实中矿质元素 K、P、Fe、Ca 的含量显著提高,Mg 元素的含量稍有提高,但差异不显著。说明接种 M223 真菌不同程度的增加“蓝丰”和“杜克”蓝莓果实中 P、K、Ca、Mg 矿质元素的含量。

表 2 接种 M223 真菌对果实中矿质元素含量的影响

$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

元素	“蓝丰”		“杜克”	
	CK	CV	CK	CV
K	892.12±11.69c	1 012.64±9.84a	765.06±11.18c	893.94±9.61a
Ca	200.46±4.35c	226.14±7.97a	189.34±1.49b	192.82±1.93a
P	98.72±0.92c	119.56±2.06a	118.88±1.60c	127.18±1.63a
Mg	103.50±2.29c	125.34±3.57a	96.16±1.62a	98.22±1.48a
Fe	2.46±0.06a	2.40±0.04a	3.10±0.04c	3.20±0.04a

2.3 接种 M223 真菌对蓝莓果实品质的影响

由表 3 可知,接种后 CV 组“蓝丰”蓝莓果实中花色苷含量、可溶性固形物含量和糖酸比增加显著,与对照组相比分别提高 14.86%、21.13%、29.77%,果实中总糖含量变化差异不明显。然而,接种 M223 真菌明显降低

“蓝丰”蓝莓果实的总酸含量,其含量是对照组的 79.37%。接种后“杜克”蓝莓果实品质变化与“蓝丰”蓝莓果实的变化趋势一致。以上结果表明,接种 M223 真菌能够显著改善蓝莓果实品质,能够在一定程度上提高蓝莓果实的风味。

表 3 接种 M223 真菌对果实品质的影响

项目	“蓝丰”		“杜克”	
	CK	CV	CK	CV
花色苷含量/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	1.75±0.04c	2.01±0.11a	4.84±0.03c	5.43±0.03a
可溶性固形物含量/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	12.02±0.31c	14.56±0.42a	11.42±0.51c	13.98±0.41a
总糖含量/%	11.30±0.31a	11.71±0.26a	10.34±0.12a	10.83±0.55a
总酸含量/%	0.63±0.03a	0.50±0.04c	0.34±0.09a	0.32±0.11c
糖酸比	18.04±0.12c	23.41±0.16a	30.51±0.16c	34.35±0.19a

3 讨论与结论

3.1 M223 真菌对菌根侵染率的影响

该试验中未接种处理的“蓝丰”和“杜克”蓝莓根系存在菌根侵染现象,说明大田栽培土壤中含有与蓝莓根系共生的菌根真菌,但根系的菌根侵染率低于野生蓝莓植株<sup>[3]</sup>。接种 M223 真菌后蓝莓根系菌根侵染率明显提高,其中“蓝丰”蓝莓植株的菌根侵染率达到 83.14%，“杜克”蓝莓植株的菌根侵染率为 73.72%。表明接种外源 M223 真菌直接影响根系周围土壤中原有真菌群落,M223 真菌并没有因蓝莓品种的不同而表现出侵染差异。

3.2 M223 真菌对果实中矿质元素含量促进作用的分析

曾理等<sup>[15]</sup>研究在自然条件下接种 AM 真菌,接种后柑橘果实不同组织部位中 N、P、Ca、Mg、Cu 等矿质元素的含量明显提高。袁军<sup>[16]</sup>研究表明,大田中越桔植株接种杜鹃花类菌根真菌后,不同品种的 2 年生越桔植株内 N、P、K、Mg、Fe 元素含量均有不同程度的增加。该试验在大田生态环境下接种 M223 真菌,“蓝丰”和“杜克”蓝莓品种果实内 P、K、Ca、Mg 矿质元素的含量均有不同程度的增加,这与前人的研究结果一致。M223 真菌通过与蓝莓根系共生,一方面在根表层细胞内形成共生结

构“菌根”;另一方面,菌根结构扩大蓝莓根系的吸收范围,克服根系因没有根毛而造成对水分及营养物质吸收的困难,改善植株的营养状况,提高土壤中肥效的利用率。

蓝莓生长过程中,矿质元素由根吸收后经过茎运输至叶片,叶片再向果实及其它结构分配运输<sup>[17]</sup>。6 月中旬至 7 月下旬,随着蓝莓新梢和茎段生长进入缓慢期以及叶片的成熟,叶片利用从根吸收运输至叶片的矿质元素提高自身的光合效率,促进果实中矿质元素及其它营养物质的积累,表现出“源”的吸收促进植株“库”的积累。

3.3 M223 真菌对蓝莓果实发育和品质的影响分析

有关蓝莓的试验证明,矿质营养元素可以增强叶片的光合作用,促进根、茎、叶等营养器官的生长、花芽的分化以及果实的成熟。其中,钾元素能够提升植株内糖的转化和运输,促进果实中花色苷、总酚的生成,改善果实的成熟期,提高果实的口感品质<sup>[18]</sup>。该试验中,接种 M223 真菌促进“蓝丰”和“杜克”蓝莓植株的生长和矿物质元素的吸收积累,蓝莓果实的平均单果质量、横径、纵径均明显提高,“蓝丰”和“杜克”蓝莓单果质量分别增加 13.00%和 10.61%,表现出良好的增产效果,接种后果实成熟期提前。该研究与前人利用真菌接种草莓、柑橘、甜瓜、西瓜的研究结果一致<sup>[19-22]</sup>。

经 M223 真菌接种处理后的果实内总糖含量、糖酸

比和可溶性固形物含量均高于对照组。蓝莓果实中糖的积累为花色苷的合成提供了前体物质,可促进花色苷的合成<sup>[22]</sup>。接种组“蓝丰”和“杜克”蓝莓果实中花色苷的含量分别提高 14.86%和 12.19%。该试验表明 M223 真菌对蓝莓果实中总糖、花色素及可溶性固形物的积累有较为显著的促进作用,可以降低果实中总酸的含量,改善果实的口感,但其作用机理还有待于进一步研究,同一菌种对不同品种蓝莓果实影响造成差异可能和菌根结构与宿主根系营养交换能力、菌根侵染率以及根系周围的土壤微环境等因素差异有关。

大田蓝莓种植中接种 DSE 真菌,提高了蓝莓根系的菌根侵染率,改善根系对水和矿质营养元素的吸收与利用,进而促进植株的生长和果实营养元素的积累,提高果实中花色苷的含量和糖酸比,改善果实的品质。在蓝莓种植中接种 M223 真菌可以提高土壤中肥效的利用率,减少田间施肥的使用量,节约种植成本的同时提高蓝莓的产量,这为 M223 真菌菌剂的研究及开发应用提供了一定的理论基础。

#### 参考文献

- [1] 刘润进,陈应龙. 菌根学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 袁继鑫,侯霞霞,孙莹. 大兴安岭地区野生蓝莓菌根真菌着生状态的初步观察[J]. 甘肃农业大学学报,2012,47(5):105-108.
- [3] 刘凤红,程显好,顾亮,等. 长白山野生笃斯越橘根系内生菌资源调查[J]. 山东农业科学,2015(1):41-46.
- [4] 刘凤红,程显好,顾亮. *Zalerion varium* 接种对蓝莓扦插苗生根及生长的影响[J]. 北方园艺,2014(20):100-104.
- [5] 程显好,刘凤红,刘静,等. 一种应用 DSE 真菌进行蓝莓育苗及大面积栽培的方法:CN103828722A[P]. 2014-06-04.
- [6] WU L, GUO S. Interaction between an isolate of dark-septate fungi and its host plant *Saussurea involucreata*[J]. Mycorrhiza, 2008, 18(2):79-85.
- [7] WU L Q, LV Y L, MENG Z X, et al. The promoting role of an isolate of dark-septate fungus on its host plant *Saussurea involucreata* Kar. et Kir. [J]. Mycorrhiza, 2009, 20(2):127-35.
- [8] 盛萍萍,刘润进,李敏. 丛枝菌根观察与侵染率测定方法的比较[J]. 菌物学报,2011,30(4):519-525.
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准婴幼儿食品和乳品中钙、铁、锌、钠、钾、镁、铜和锰的测定:GB/T5413. 21-2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [10] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准婴幼儿食品和乳品中磷的测定:GB/T5413. 22-2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [11] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. 食品中还原糖的测定:GB/T5009. 7-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [12] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. 食品中蔗糖的测定:GB/T5009. 8-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定:GB/T12456-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [14] 林丽,李进,丁成丽. 高效液相色谱法测定黑果枸杞果实中花色苷的含量[J]. 食品科学,2013,34(6):164-166.
- [15] 曾理,李建福,刘建福,等. 自然条件下接种 AM 真菌对柑橘果实品质的影响[J]. 西南农业学报,2014,27(5):2101-2105.
- [16] 袁军. 越橘菌根真菌分离及其对越橘生长结果的影响[D]. 重庆:西南农业大学,2005.
- [17] 王培培. 蓝莓新梢与果实发育及矿质变化特性研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [18] 庞薇. 土壤管理对蓝莓生长产量及果实品质的影响[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [19] 全雅娜,杨小玲,宋兰芳,等. 两种 AM 真菌对草莓产量和根系的影响[J]. 河北农业大学学报,2015,38(6):36-39.
- [20] 王锐竹. AM 真菌基质栽培与肥水耦合影响甜瓜生长和营养品质的研究[D]. 北京:中国农业科学院,2009.
- [21] 周进,李东方,王静静,等. 丛枝菌根菌在大田西瓜上的应用试验[J]. 农村科技,2015(3):29-30.
- [22] 华星,侯霞霞,苏淑钰. 蓝莓果实关键品质的形成特性[J]. 经济林研究,2012,30(1):108-113.

## Effect of Inoculation DSE Fungi on Blueberry Fruit Quality

LIU Jing<sup>1</sup>, LIU Fenghong<sup>2</sup>, SU Hongyan<sup>3</sup>, SONG Fangyuan<sup>3</sup>, CHENG Xianhao<sup>3</sup>

(1. Logistics Department, Ludong University, Yantai, Shandong 264025; 2. College of Chemical and Biomedical Engineering, Qilu Institute of Technology, Jinan, Shandong 250200; 3. Agricultural College, Ludong University, Yantai, Shandong 264025)

**Abstract:** Taking ‘Bluecrop’ and ‘Duke’ blueberry as materials, and the DSE fungi M223 as the inoculum, the effects of M223 fungi on fruit quality of two blueberry cultivars were investigated. The results showed that the weight, longitudinal and transverse diameter of each fruit significantly increased by inoculating the M223 fungi. The average fruit weight of ‘Bluecrop’ and ‘Duke’ blueberry respectively increased by 13.00% and 10.61%. And the fruit yield was increased, and fruit maturation period was promoted. Meanwhile, the mineral element content, anthocyanin, soluble solids, total sugar content and sugar-acid ratio significantly increased. So the root infection rate of ‘Bluecrop’ and ‘Duke’ blueberry increased by inoculating of M223 fungi, and the absorption and utilization of water and mineral nutrients were improved, the accumulation of mineral elements in the blueberry plant and fruit were promoted, and then the quality of fruit was improved.

**Keywords:** DSE fungi; blueberry; infection rate; fruit quality