植物营养与肥料学报 2017, 23(5): 1296–1302
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer
doi: 10.11674/zwyf.17002
http://www.plantnutrifert.org

微生物菌肥促进苹果花脸病植株氮素吸收和果实增产

陈建明，葛顺峰*，沙建川，丰艳广，姜远茂*
（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:【**目的**】探究微生物菌肥对减少苹果花脸病发生，提高产量和果实品质的作用。【**方法**】以 5 年生烟富 3/M26/平邑甜茶苹果为试材，采用 ^{15}N 同位素示踪技术，于 2015～2016 年进行了 2 年田间试验。设 3 个处理：花脸病树施化肥 (CK)、健康树施化肥 (T1)、花脸病树施化肥+微生物菌肥 (T2)。分别于 2015 年 10 月 12 日和 2016 年 10 月 15 日，每个处理随机采集 100 个果实，统计花脸病病情指数，并于 2016 年 10 月 15 日对整树进行破坏性取样，测定 ^{15}N 吸收利用情况。【**结果**】施化肥+微生物菌肥花脸病苹果树 (T2) 根系生物量及新梢长度显著高于施化肥花脸病树 (CK) 和健康树施化肥 (T1) 处理；施加微生物菌肥，花脸病苹果植株粗根干重、细根干重以及新梢长度比未施加的 CK 处理分别提高了 39.4%、157.0% 和 42.0%。无论是否施加微生物肥，花脸病苹果植株各器官的 Ndff 值均显著低于健康苹果树。与 CK 处理相比，T2 处理的果实、新梢、叶片、细根、粗根、多年生枝和中心干的 Ndff 值分别提高了 93.4%、75.6%、63.7%、96.1%、80.2%、103.4% 和 95.0%；T2 处理的 ^{15}N 利用率最高，为 14.4%，显著高于 T1 处理 (10.4%) 和 CK 处理 (6.7%)；T2 处理的叶片、果实和新梢的 ^{15}N 分配率显著高于 CK 和 T1 处理。第一年施用微生物菌肥 (T2) 对花脸病的防控效果仅为 7.1%，第二年显著提高至 20.9%，此时 T2 处理的果实的产量 (6.3 kg/株)、单果质量 (208.2 g)、可溶性糖 (14.3%)、可滴定酸 (0.5%) 及糖酸比 (27.6) 均显著高于 CK，但仍低于 T1 处理。【**结论**】施用微生物菌肥显著促进了花脸病苹果植株根系的生长，增强了根系对氮的吸收和向地上部的运输，从而提高了植株对氮肥的吸收利用，一定程度上减轻了花脸病对产量和品质的影响。

关键词: 苹果；花脸病；微生物菌肥；氮素利用；防控效果

Microbial fertilizer increase nitrogon uptake and fruit yield of apple trees infected with Baikal disease

CHEN Jian-ming, GE Shun-feng*, SHA Jian-chuan, FENG Yan-guang, JIANG Yuan-mao*
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/ State Key Laboratory of Crop Biology, Taian, Shandong 271018, China*)

Abstract:【**Objectives**】This paper studied the effects of microbial fertilizer on alleviating the Baikal disease and growth, nitrogen uptake, yield and quality of apple plant.【**Methods**】Taking the seedlings of the five-year-old *'Yanfu 3'/M26/Malus hupehensis Rehd.* as tested material, a two-years' field trial was conducted using ^{15}N trace technique. Three treatments were designed: sick apple tree (infected with Baikal disease) applied with chemical fertilizer (CK), healthy tree applied with chemical fertilizer (T1) and sick tree applied with both microbial and chemical fertilizer (T2). A hundred of fruits were randomly picked up from each treatment at fruit ripening period. The whole trees were cut down as samples, and the absorption and utilization of the ^{15}N were determined.【**Results**】1) The root biomass and new shoot length of apple trees in T2 were significantly higher than those in CK and T1. The dry biomass of fine roots and thick roots, the branch length in T2 were 39.4%, 157.0% and 42.0% higher than in CK, respectively. The Ndff values in CK and T2 were significantly lower than those in T1 in all the

收稿日期：2017–01–05　　**接受日期**：2017–04–30
基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0201100）；国家自然科学基金项目（31501713）；国家现代农业产业技术体系建设资金项目（CARS-27）资助。
作者简介：陈建明（1991—），男，山东德州人，硕士研究生，主要从事苹果氮素营养研究。E-mail：18854803562@163.com
* 通信作者 E-mail：geshunfeng210@126.com；ymjiang@sdau.edu.cn

tested organs. The Ndff of fruit, new shoot, leaf, fine root, thick root, perennial shoot and trunk in T2 were increased by 93.4%, 75.6%, 63.7%, 96.1%, 80.2%, 103.4% and 95.0%, compared to those of CK. The ^{15}N utilization rate of T2 treatment was 14.4%, significantly higher than those of T1 treatment (10.4%) and CK (6.7%). The ^{15}N partitioning rates in the leaf, fruit and new shoot in T2 treatment were all significantly higher than those of CK and T1 treatment. The disease control effect of microbial fertilizer (T2) was only 7.1% in the first year, and increased significantly to 20.9% in the second year. In the second year of T2, the individual tree fruit yield was 6.3 kg, single fruit weight was 208.2 g, soluble sugar content was 14.3%, titratable acid was 0.5% and the sugar acid ratio was 27.6, which were significantly higher than those in CK, but still not as high as in T1. 【**Conclusions**】Microbial fertilizer can promote the root growth of apple plant infected with baikal disease, enhance the uptake and transport of nitrogen, and alleviate the effects of baikal disease on yield and quality of apple to a certain extent.

Key words: apple; baikal disease; microbial fertilizer; N utilization; control effect

苹果病毒病在我国广泛发生，已成为限制我国苹果优质高产的关键因素[1−2]。花脸病是苹果病毒病中锈果病的一种，为系统性侵染病害，主要表现症状是果面出现近圆形的黄绿色斑块，不着色，出现红黄相间的“花脸”状，不着色部分凹陷[3]，主要通过嫁接、自然根接与机械接触传播。苹果花脸病一般在果实开始着色时发病，严重时整个果实表面呈现皱缩状，果实变小、硬度增加、表面有锈斑、风味变劣，失去商品价值，经济损失严重[4]，在根系、叶片、枝条和主干上表现为须根减少，生长减弱，逐渐削弱树势[5]。因此，优化根际环境、促进根系生长对减轻花脸病对苹果植株生长、产量及品质的影响具有重要意义。

长期以来，中国农业增产主要依赖于化学农药及无机肥料的大量施用，不合理施肥造成农业生态环境问题日益严重，土壤有害微生物大量繁殖、酶活性降低、理化性质非均衡性恶化，是导致近年来苹果花脸病大量发生的重要原因之一[6−7]。研究发现，微生物菌肥是多种有益微生物菌群与有机肥结合形成的新型、高效、安全的微生物–有机复合肥料[8]，可降低病原菌数量、改善土壤环境、促进植株根系生长、增加生物量，从而达到防控病毒病的目的[9−10]。施用微生物菌肥，既可改善作物品质[11]，还能显著防控如西瓜、黄瓜、香蕉、辣椒等作物的土传病害[12−15]。

研究表明，微生物菌肥对果实花脸病的防控效果极为显著[4]，但很难在果实表观上及时表现出来，目前，前人对微生物菌肥的研究效果主要集中在果实外观，较少研究改善花脸病植株的机理。生产上花脸病植株的生物量显著低于正常植株，这可能与花脸病发生后影响了根系的生长及功能的发挥，影响了对矿质养分的吸收有关。因此，本研究采用 ^{15}N 同位素示踪技术，从氮素营养吸收利用的角度来研究微生物菌肥对苹果花脸病植株生长发育和氮素利用的影响，为提高微生物菌肥的施用效果提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地点和材料

试验于 2015 年 3 月～2016 年 10 月在山东烟台市莱山镇官庄村果园进行。供试苹果树品种为 5 年生‘烟富 3’/M26/平邑甜茶。

供试微生物菌肥由木美土里集团 (陕西枫丹百丽生物科技有限公司) 提供。微生物菌肥含有地衣芽孢杆菌、角质芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、耐高温菌、链霉菌、稀有放线菌和真菌等菌种，载体为畜禽粪便的高温腐熟发酵物。其理化性质为 N 0.18%、P_2O_5 0.78%、K_2O 0.97%、有机质 35.1%；有效活菌数每克 ≥ 0.2 亿个。

1.2　试验设计

供试土壤为壤土，土壤含有机质 14.88 g/kg、硝态氮 28.54 mg/kg、铵态氮 17.29 mg/kg、有效磷 38.19 mg/kg、速效钾 261.8 mg/kg。选取生长势基本一致，有花脸病害的植株 6 株，另外选取 3 株健康树。分别于 2015 年 3 月 27 日和 2016 年 3 月 27 日进行施肥处理，施肥方法是距中心干 30 cm 处挖深和宽均为 20 cm 左右的环状沟，在沟内每株均匀施 ^{15}N-尿素 (上海化工研究院生产，丰度 10.14%)10 g。设 3 个处理：1）CK 处理，花脸病树 + 普通化肥 (尿素 280 g、硫酸钾 300 g、过磷酸钙 440 g)；2）T1 处理，健康树 + 普通化肥 (尿素 280 g、硫酸钾 300 g、过磷酸钙 440 g)；3）T2 处理，花脸病树 + 普通化肥

(尿素 240 g、硫酸钾 106 g，不施过磷酸钙) + 微生物菌肥 10 kg，减少的化肥用量由微生物菌肥中所含氮、磷、钾的量补齐。

1.3 样品测定项目及方法

于 2016 年 10 月 15 日 (果实成熟期) 对整株植株进行破坏性取样，测定 ^{15}N 吸收利用情况。分别于 2015 年 10 月 15 日和 2016 年 10 月 15 日，每个处理随机选取 100 个果实分别记录其发病情况，最后按照以下感病指数的计算方法记录各个处理果实的病情指数。因果实花脸病很难根除，很难做到在表观上根除果实花脸，故采用分级统计果实花脸的方法来反映微生物菌肥对花脸病果实的作用效果。苹果花脸病的分级标准是依据果实花脸面积占果实总面积的比例来划分，果实表面全部花脸者为 4 级；花脸面积占果实总面积 2/3 以上者为 3 级；介于 1/3 至 2/3 之间者为 2 级；1/3 以下者为 1 级；无花脸者为 0 级[4]。整株解析样品分为叶片、新梢、多年生枝、中心干、粗根、细根、果实，分别称取各部分的鲜样质量计算平均单株产量、平均单果质量。样品经清水、洗涤剂、清水、1% 盐酸、3 次去离子水冲洗后，80℃ 下烘干，粉碎后过 0.25 mm 筛，混匀后装袋备用。样品全氮用凯氏定氮法测定。^{15}N 丰度用 ZHT-03(北京分析仪器厂) 质谱计 (中国农业科学院农产品加工研究所) 测定。

Ndff = (植物样品中 ^{15}N 丰度 – ^{15}N 自然丰度)/(肥料中 ^{15}N 丰度 – ^{15}N 自然丰度) × 100%；

单株全氮量 (g) = ∑[各器官干物质量 (g) × 该器官的含氮量 (%)]

^{15}N 分配率 = 各器官吸收的 ^{15}N(g)/植株总吸收 ^{15}N(g) × 100%

^{15}N 利用率 = [Ndff × 植株全 ^{15}N(g)]/施入 ^{15}N 量 (g) × 100%

感病指数 = ∑(各级果数 × 级数)/最高级数 × 调查的总果数 × 100%

防控效果 = (对照病情指数 – 处理病情指数)/对照病情指数 × 100%

1.4 数据处理

所有数据均利用 DPS7.05 统计软件进行方差分析和 LSD 多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下苹果根系和新梢长度

由表 1 可知，不同处理之间苹果植株的根系重量、新梢长度差异显著，且均以 T2 处理最高，其次为 T1 处理；T2 处理的粗根干重、细根干重及新梢长度分别比 CK 提高了 39.4%、157.0% 和 42.0%，T1 处理则分别比 CK 提高了 12.8%、53.9% 和 17.0%。可见，花脸病显著影响了苹果植株生长，通过施加微生物菌肥显著改善花脸病苹果植株的根系以及新梢生长状况，尤其显著促进苹果细根的发生。

表 1 不同处理苹果根系生物量和新梢长度

Table 1 Biomass of roots and length of new branches of apple trees under different treatments

处理 Treatment	粗根干重 Thick root (kg/tree)	细根干重 Fine root (g/tree)	新梢长度 New shoot (cm)
CK	1.09 ± 0.07 c	41.78 ± 2.85 c	37.33 ± 3.04 c
T1	1.23 ± 0.07 b	64.30 ± 6.43 b	43.67 ± 2.52 b
T2	1.52 ± 0.03 a	107.40 ± 6.64 a	53.00 ± 2.65 a

注（Note）：同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平 Values followed by different lowercase indicate significant differences within the same column at the 0.05 level among treatments.

2.2 不同处理下植株各器官 Ndff 和 ^{15}N 分配率

Ndff(%) 指植株器官从肥料中吸收分配到的 ^{15}N 量对该器官全氮量的贡献率，反映了植株器官对肥料 ^{15}N 的吸收征调能力。由表 2 可知，果实成熟期，不同处理之间各器官的 Ndff 值表现一致，均为果实 > 新梢 > 叶片 > 细根 > 粗根 > 多年生枝 > 中心干。各器官的 Ndff 值均以 T2 处理最大，其次为 T1 处理，CK 处理最低。各器官中 ^{15}N 占全株 ^{15}N 总量的百分率反映了肥料氮在树体内的分配及在各器官中的迁移规律[16]。在果实成熟期，T2 处理的叶片、果实和一年生枝的 ^{15}N 分配率显著高于 CK 和 T1 处理。

2.3 微生物肥对植株全 N 量及 ^{15}N 利用率的影响

由表 3 可知，不同处理之间植株全 N 量、^{15}N 吸收量和 ^{15}N 利用率均存在显著差异，且均以 T2 处理最高，其次为 T1 处理，CK 处理最小。

2.4 不同处理对果实花脸病防控效果的影响

由表 4 可知，CK 处理果实花脸病发病严重，2015 年和 2016 年果实花脸病情指数分别达到了 32.5% 和 36.4%；而 T2 处理 2015 年和 2016 年果实的病情指数分别为 30.2% 和 28.8%。可见，施用微生物菌肥一年后，防控效果仅为 7.1%，但由于是分级统计果实花脸病的方法，在果实表观上表现并不明

表 2　果实成熟期不同处理植株各器官 Ndff 和 ^{15}N 分配率

Table 2　Ndff and proportion of ^{15}N in different organs under different treatments at fruit mature stage

器官 Organ	Ndff (%)			^{15}N分配率 (%) ^{15}N partitioning rate		
	CK	T1	T2	CK	T1	T2
果实 Fruit	1.36 ± 0.18 c	1.81 ± 0.11 b	2.63 ± 0.44 a	17.51 ± 1.02 b	15.71 ± 0.98 c	19.32 ± 1.24 a
新梢 New shoot	1.27 ± 0.17 c	1.65 ± 0.13b	2.23 ± 0.16 a	2.24 ± 0.01 b	3.87 ± 0.02 b	8.84 ± 0.04 a
叶片 Leaf	1.24 ± 0.13 c	1.49 ± 0.07 b	2.03 ± 0.17 a	9.62 ± 0.06 c	18.16 ± 1.13 b	22.54 ± 1.97 a
细根 Fine root	1.02 ± 0.09 c	1.46 ± 0.13b	2.00 ± 0.22 a	0.81 ± 0.05 a	0.64 ± 0.03 b	0.34 ± 0.01 c
粗根 Thick root	1.01 ± 0.08 c	1.38 ± 0.11 b	1.82 ± 0.09 a	42.91 ± 2.88 a	35.44 ± 2.54 a	14.33 ± 1.32 b
多年生枝 Perennial shoot	0.87 ± 0.06 c	1.36 ± 0.06 b	1.77 ± 0.49 a	4.24 ± 0.02 b	3.87 ± 0.03 c	8.84 ± 0.05 a
中心干 Trunk	0.80 ± 0.06 c	1.17 ± 0.24 b	1.56 ± 0.05 a	22.67 ± 2.05 b	22.31 ± 1.95 b	25.79 ± 1.98 a

注（Note）：同行数据后不同小写字母表示处理间差异达0.05显著水平 Values followed by different lowercase within the same row indicate significant differences among treatments at the 0.05 level.

表 3　不同处理植株全氮量、^{15}N 吸收量和 ^{15}N 利用率

Table 3　Total N content of plant, ^{15}N absorbed from ^{15}N-urea and ^{15}N utilization rate under different treatments

处理 Treatment	植株全氮量(g) Total N content of plant	^{15}N 吸收量(g) ^{15}N absorbed from ^{15}N-urea	^{15}N 利用率(%) ^{15}N utilization rate
CK	58.19 ± 4.65 c	0.61 ± 0.05 c	6.7 ± 0.6 c
T1	71.77 ± 6.54 b	0.96 ± 0.07 b	10.4 ± 1.3 b
T2	84.63 ± 6.98 a	1.23 ± 0.1 a	14.4 ± 1.8 a

注（Note）：同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平 Values followed by different lowercase indicate significant differences within the same column at the 0.05 level among treatments.

显，而连续施用微生物菌肥两年后，防控效果达到了 20.9%，效果显著。T1 处理无花脸病情，病情指数为 0。比较 2 个处理的净收益可以看出，CK 处理净收益逐年递减，而 T2 处理的净收益逐年增高。

2.5　不同处理下果实的产量和品质

由表 5 可知，2015 年和 2016 年果实的产量、单果质量、可溶性糖、可滴定酸及糖酸比均以 T1 处理最高，T2 次之，CK 处理最小。2015 年 T1 处理果实的产量、单果质量、可溶性糖、可滴定酸及糖酸比分别比 CK 提高了 16.2%、15.3%、14.1%、0 和 8.4%；2016 年 T1 处理分别比 CK 提高了 37.7%、19.5%、28.9%、19.6% 和 8.1%。2015 年 T2 处理分别比 CK 提高了 7.2%、6.2%、1.2%、0 和 1.2%；2016 年 T2 处理分别比 CK 提高了 29.1%、27.9%、17.4%、13.0% 和 4.9%。和健康树相比，花脸病显著降低了苹果的果实产量及品质，连续 2 年施加微生物菌肥可提高花脸病果实的产量、单果质量以及糖酸比，显著改善花脸病植株的果实品质，而施加一年微生物菌肥对果实品质的提高效果虽已部分达到显著水平，但是在表观上不明显。可见，随微生物菌肥施入年限的增加，改善效果也在增加。

3　讨论

受病毒侵染后，花脸病的苹果植株终生带毒，病毒在树体内增殖，干扰、破坏树体的正常生理机能，导致长势减退，产量下降，甚至整株死亡[1]。本研究也发现，花脸病苹果植株粗根量、细根量、新梢长度和产量均显著低于正常苹果植株。施入微生物菌肥后，花脸病苹果树根系重量、新梢长度和产

表 4　不同处理果实花脸病防控效果

Table 4　Control effect of baikal plant under different treatments

处理 Treatment	病情指数 Disease index (%)		防控效果 Control rate (%)		净收益 Net benefit (yuan/tree)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
CK	32.47 ± 0.566 a	36.43 ± 2.890 a			8.46	6.76
T2	30.17 ± 0.301 b	28.83 ± 1.380 b	7.1	20.9	–10.98	12.40

注（Note）：同列数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平 Values followed by different lowercase are significantly different within the same column at the 0.05 level.

表5 2015和2016年不同处理果树产量和品质

Table 5 Fruit yield and quality under different treatments in 2015 and 2016

处理 Treatment	年 Year	单株产量 (kg) Yield	单果质量 (g) Fruit weight	可溶性糖 (%) Soluble sugar	可滴定酸 (%) Titratable acid	糖酸比 Acid/sugar
CK	2015	5.73 ± 0.05 c	179.00 ± 3.97 c	12.88 ± 0.87 c	0.49 ± 0.03 a	26.55 ± 0.11 c
	2016	4.88 ± 0.24 c	174.33 ± 8.69 b	12.22 ± 0.61 c	0.46 ± 0.02 b	26.28 ± 0.32 c
T1	2015	6.66 ± 0.11 a	206.43 ± 4.76 a	14.70 ± 0.88 a	0.49 ± 0.04 a	28.79 ± 0.57 a
	2016	6.72 ± 0.21 a	222.96 ± 9.05 a	15.75 ± 0.59 a	0.55 ± 0.04 a	28.42 ± 0.21 a
T2	2015	6.14 ± 0.11 b	190.07 ± 0.51 b	13.04 ± 0.66 b	0.49 ± 0.01 a	26.87 ± 0.14 b
	2016	6.30 ± 0.10 b	208.23 ± 7.10 a	14.34 ± 0.66 b	0.52 ± 0.01 a	27.57 ± 0.47 b

注（Note）：同列数据后不同小写字母表示相同年份不同处理间差异达 0.05 显著水平 Values followed by different lowercase are significantly different within the same column at the 0.05 level among different treatments in the same year.

量均显著提高，一方面可能是因为微生物菌肥中的有益微生物能够迅速扩大繁殖，成为作物根际的优势菌群，限制其他病原微生物的生长与繁殖，同时可以分泌多种抗生素、杀虫物质及植物生长激素等，抑制植物病原微生物的活动，防治植物病害，刺激作物生长，使其根系发达[17–19]；另一方面可能是因为微生物菌肥基质通过提供大量有机物质和丰富的营养元素，改善土壤的理化性状，提高了土壤透气性，优化了根际环境，从而改善植株根系的生长环境，促进果树生长发育[20–21]。同时，微生物菌肥含有多种活性微生物，它不仅可加速土壤中有机质的分解，使迟效养分速效化，还能够刺激根系尤其是细根的发生，提高了土壤养分的生物有效性[22–23]。

氮素是果树必需矿质元素中的核心元素，对果树的生长、花芽分化和抗逆性等方面均发挥着重要作用[24–27]。本研究发现，花脸病植株各器官的 Ndff 值、总 ^{15}N 吸收量和 ^{15}N 利用率均显著低于正常植株，花脸病毒显著影响了根系对氮素的吸收。使用微生物菌肥后，苹果根系 Ndff 值显著升高，而其 ^{15}N 分配率最低，表明微生物菌肥促进了根系对氮的吸收及向地上部的运输，从而提高了地上部的生长和营养水平。比较不同处理果实的 ^{15}N 分配率发现，正常植株果实的 ^{15}N 分配率较低，产量却最高，究其原因可能与树体本身的贮藏营养水平高低以及花脸病毒可能影响了树体正常的养分调运有关。

花脸病苹果果实散生许多近圆形的黄白色斑块，病果着色部分稍凸起，病斑部分稍凹陷，病果变小，糖度降低，品质变劣[28]，这与本试验结果一致。两年的试验结果发现，施用普通化肥的花脸病植株病情逐年恶化，果实品质下降，而施用微生物菌肥两年后，果实产量显著提高，果实品质改善，这与前人在苹果和桃上的研究结果一致[29]。其原因一方面是由于微生物菌肥促进苹果植株氮素的吸收利用效率，提高了地上部各器官对氮素的征调能力，促进养分向果实的转运；另一方面是由于微生物菌肥中解钾、解磷菌提高了土壤中磷和钾的有效性，促进了果实中碳水化合物的转化和积累[8]。统计果实花脸病的发病状况发现，施用 1 年微生物菌肥对果实花脸病情控制效果 (7.1%) 不明显，而施用两年后果实花脸病情显著降低，防控效果达到 20.9%。虽然微生物菌肥对于花脸病具有一定的防控效果，但对于果实外观的改善效果并不明显。从投入和产出来看，虽然微生物菌肥处理两年的净收入低于对照处理，但是其两年的产值是递增的，而对照处理为递减，且本试验为追求效果快速明显，微生物菌肥的施加量远远高于生产中微生物菌肥用量，致使成本偏高。但是与正常植株相比，微生物菌肥虽然显著增加了树体生长量、提高了氮素水平，但其对果实外观和内在品质的改善仍无法达到理想的效果。因此，生产上对于花脸病的防控，仅仅依靠施用微生物菌肥是不够的，还需要进一步深入研究。

4 结论

施用微生物菌肥显著促进了花脸病苹果植株根系的生长，增强了根系对氮的吸收和向地上部的运输，从而提高了植株对氮肥的吸收利用，一定程度上减轻了花脸病对产量和品质的影响。

参 考 文 献：

[1] 郝璐, 叶婷, 陈善义, 等. 我国北方部分苹果主产区病毒病的发生与检测[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 158–161.
Hao L, Ye T, Chen S Y, *et al*. Occurrence and detection of virus diseases in some major apple-producing regions in northern China[J].

Plant Protection, 2015, 41(2): 158–161.

[2] 王亚南, 刘淑香, 曹克强. 我国苹果病毒病的研究现状[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 7933–7936.
Wang Y N, Liu S X, Cao K Q. Research on apple virus in China[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2010, 38(15): 7933–7936.

[3] 吴然, 李君英, 邵建柱, 等. 苹果锈果类病毒实时荧光PCR检测方法的建立[J]. 果树学报, 2015, 32(1): 150–155.
Wu R, Li J Y, Shao J Z, *et al*. Establishment of detection method for apple scar skin viroid (ASSVd) by Real-Time PCR[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(1): 150–155.

[4] 王洋娟. 微生物菌肥对苹果树体生长及病害防控的研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2014.
Wang Y J. Study on microbial fertilizer on apple trees' growth and disease prevention [D]. Yangling, Shaanxi: MS Thesis of Northwest Agriculture and Forestry University, 2014.

[5] 赵玲玲, 宋来庆, 刘美英, 等. 苹果病毒病的主要症状、危害及传播途径分析[J]. 烟台果树, 2013, (3): 5–6.
Zhao L L, Song L Q, Liu M Y, *et al*. Analysis of the main symptoms, damage and transmission of apple virus disease[J]. Yantai Fruits, 2013, (3): 5–6.

[6] 战光华, 李逢江. 微生物菌肥在农业中的主要应用分析[J]. 吉林农业, 2011, (10): 82.
Zhan G H, Li F J. Application of microbial fertilizer in agriculture[J]. Jilin Agricultural Sciences , 2011, (10): 82.

[7] 肖新成, 何丙辉, 倪九派. 农业面源污染视角下的三峡库区重庆段水资源的安全性评价——基于DPSIR框架的分析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(8): 2324–2331.
Xiao X C, He B H, Ni J P. Safety assessment of water resources in Chongqing Section of the Three Gorges Reservoir Area based on DPSIR model from the perspective of agricultural non-point pollution source[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(8): 2324–2331.

[8] 张余莽, 周海军, 张景野, 等. 生物有机肥的研究进展[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(3): 37–40.
Zhang Y M, Zhou H J, Zhang J Y, *et al*. Progress of studies of bio-organic fertilizer[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2010, 35(3): 37–40.

[9] Hameeda B, Harini G, Rupela O P, Reddy G. Effect of composts or vermicomposts on sorghum growth and mycorrhizal colonization[J]. African Journal of Biotechnology, 2007, 6(1): 9–12.

[10] 唐艳领. 微生物肥在设施辣椒连作障碍克服中的应用研究[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2014
Tang Y L. The application research on microbial fertilizer to overcome continuous cropping obstacle of pepper in protected production [D]. Zhengzhou: MS Thesis of Henan Agricultural University, 2014.

[11] 李庆康, 张永春, 杨其飞, 等. 生物有机肥肥效机理及应用前景展望[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 78–80.
Li Q K, Zhang Y C, Yang Q F, *et al*. The concept, mechanism, affecting factors and prospect of applying bio-organic fertilizer[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(2): 78–80.

[12] 何欣, 郝文雅, 杨兴明, 等. 生物有机肥对香蕉植株生长和香蕉枯萎病防治的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 978–985.
He X, Hao W Y, Yang X M, *et al*. Effects of bioorganic fertilization on growth and controlling fusarium-wilt disease of banana[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(4): 978–985.

[13] 郝文雅. 西瓜、水稻根系分泌物中的化感物质对西瓜连作枯萎病的影响[D]. 南京：南京农业大学硕士学位论文, 2010.
Hao W Y. Effects of allelochemicals from rice root exudates on fusarium wilt of watermelon [D]. Nanjing: MS Thesis of Nanjing Agricultural University, 2010.

[14] 耿广东, 张素勤, 程智慧. 辣椒根系分泌物的化感作用及其化感物质分析[J]. 园艺学报, 2009, 36(6): 873–878.
Geng G D, Zhang S Q, Cheng Z H. Allelopathy and allelochemicals of root exudates in hot pepper[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(6): 873–878.

[15] 马云华, 魏珉, 王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1005–1008.
Ma Y H, Wei M, Wang X F. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(6): 1005–1008.

[16] 徐季娥, 林裕益, 吕瑞江, 等. 鸭梨秋施^{15}N-尿素的吸收与分配[J]. 园艺学报, 1993, 20(2): 145–149.
Xu J E, Lin Y Y, Lü R J, *et al*. Study on the absorption and the distribution of ^{15}N-labeled urea to'Yali' pear trees autumn application[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1993, 20(2): 145–149.

[17] 孙玉良, 曹齐卫, 张卫华, 等. 微生物菌肥对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(2): 132–136.
Sun Y L, Cao Q W, Zhang W H, *et al*. Effect of microbial manure on physiological characteristics of cucumber seedlings[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21(2): 132–136.

[18] 王立伟, 王明友. 生物菌肥对番茄连作土壤质量及根结线虫病的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(4): 51–55.
Wang L W, Wang M Y. Effects of microbial manure on soil quality and root knot nematode disease under tomato continuous cropping[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(4): 51–55.

[19] 李丹. 有机微生物菌肥对黄瓜生长发育、产量和品质的影响[J]. 现代园艺, 2017, (3): 21–23.
Li D. Effect of organic microbial fertilizer on growth, yield and quality of cucumber[J]. Modern Horticulture, 2017, (3): 21–23.

[20] 陈伟, 周波, 束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3850–3856.
Chen W, Zhou B, Shu H R. Effects of organic fertilizer and biochar on root system and microbial functional diversity of *Malus hupehensis* Rehd[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(18): 3850–3856.

[21] 杨芳芳. 菌肥不同配比对油茶生长及土壤养分的影响[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文, 2013.
Yang F F. Effects of different proportion fertilizers on the growth and soil nutrient of *Camellia oleifera* [D]. Fuzhou: MS Thesis of Fujian Agricultural University, 2013

[22] 褚义红. 不同微生物菌肥对温室生菜生长、品质、产量及氮素积累的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2014.
Zhu Y H. Effects of different microbial fertilizers on the growth, the quality, the production and nitrogen accumulation of lettuce [D]. Hohhot: MS Thesis of Inner Mongolia Agricultural University, 2014.

[23] 林林, 张琪晓, 范海芬, 等. 几种微生物肥料在甜瓜栽培中的应用试验[J]. 上海农业科技, 2012, (1): 100–101.
Lin L, Zhang Q X, Fan H F, *et al*. Application of several microbial fertilizers in the cultivation of muskmelon[J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2012, (1): 100–101.

[24] 彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 等. 落叶果树氮素营养研究进展[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 54–58.
Peng F T, Jiang Y M, Gu M R, *et al*. Advances in research on nitrogen nutrition of deciduous fruit crops[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(1): 54–58.

[25] Raese J T, Drake S R, Curry E A. Nitrogen fertilizer influences fruit quality, soil nutrients and cover crops, leaf color and nitrogen content, biennial bearing and cold hardiness of 'Golden Delicious'[J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(10): 1585–1604.

[26] 李红波, 姜远茂, 魏绍冲, 等. '嘎啦'苹果对一次和分次施入^{15}N-尿素的吸收、分配和利用[J]. 园艺学报, 2011, 38(9): 1727–1732.
Li H B, Jiang Y M, Wei S C, *et al*. Effect of once and split fertilization on characteristics of absorption, distribution and utilization of ^{15}N-urea for Gala/*Malus hupehensis*[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(9): 1727–1732.

[27] 丁宁, 陈建明, 姜远茂, 等. 矮化苹果负载量对氮素吸收、分配及利用的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(3): 549–556.
Ding N, Chen J M, Jiang Y M, *et al*. Effects of fruit load on absorption, distribution and utilization of N in the dwarf apple[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43(3): 549–556.

[28] 张团委. 苹果锈果病的发生规律与防控方法[J]. 西北园艺（果树专刊）, 2012, (1): 28–29.
Zhang T W. The occurrence law and control method of apple rust disease[J]. Northwest Horticulture (Fruit special issue), 2012, (1): 28–29.

[29] 曹瑞林. 微生物菌肥功效及在果树上的应用[J]. 烟台果树, 2012, (1): 51.
Cao R L. Effect of microbial fertilizer and its application in fruit tree[J]. Yantai Fruits, 2012, (1): 51.