



# 接种摩西管柄囊霉 (*Funneliformis mosseae*) 对大豆净光合速率及产量和品质的影响

冯宇涵, 高翔, 宋丛威, 宋福强

(黑龙江大学 生命科学学院/农业微生物技术教育部工程研究中心/黑龙江省寒地生态修复与资源利用重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:**为研究接种丛枝菌根真菌摩西管柄囊霉 (*Funneliformis mosseae*) 对大豆植株生长、产量和籽粒品质的影响, 采用大田小区试验, 以龙豆二号大豆为宿主, 研究接种 *F. mosseae* 菌剂后大豆叶片净光合速率、产量及籽粒品质的变化情况。结果表明:所选用的 *F. mosseae* 菌剂能够与大豆根系形成良好的菌根共生体, 侵染率最高可达 89.9%; 接种 *F. mosseae* 菌剂可以提高大豆不同发育时期的叶片净光合速率, 常规施加化肥处理和接种处理的大豆产量分别可达 2 121.2 和 2 126.9 kg·hm<sup>-2</sup>, 二者之间差异不显著, 但显著高于不施肥对照处理, 表明常规施肥和接种 *F. mosseae* 菌剂处理均可提高大豆产量, 但接种处理效果更好; 此外, 接种 *F. mosseae* 菌剂还可显著提高大豆籽粒的蛋白质含量, 但对油脂含量影响并不显著。因此, *F. mosseae* 菌剂可作为一种新型大豆生产专用生物肥。

**关键词:**摩西管柄囊霉; 光合速率; 侵染率; 大豆; 生长; 品质

## Effects of Inoculation with *Funneliformis mosseae* on Net Photosynthetic Rate, Yield and Quality of Soybean

FENG Yu-han, GAO Xiang, SONG Cong-wei, SONG Fu-qiang

(Engineering Research Center of Agricultural Microbiology Technology Ministry of Education/Key Laboratory of Ecological Restoration and Resource Utilization in the Cold Region of Heilongjiang Province/School of Life Sciences, Heilongjiang University, Harbin 150500, China)

**Abstract:** In order to study the effect of inoculation with Arbuscular mycorrhiza (AM) fungi (*Funneliformis mosseae*) on the growth, yield and seed quality of soybean plants, the field experiment was conducted using Longdou 2 soybean as the host to study the inoculation of the *F. mosseae* changes in net photosynthetic rate, yield and seed quality of soybean leaves after inoculation. The results showed that the selected *F. mosseae* inoculum could form a good mycorrhizal symbiosis with the soybean root system, and the infection rate was up to 89.9%. Inoculation with *F. mosseae* inoculum increased the net photosynthetic rate of soybean leaves at different development stages, which is usually applied the yields of soybeans treated with chemical fertilizers and it could reach 2 121.2 and 2 126.9 kg·ha<sup>-1</sup> treated with inoculation. The difference between the two treatments was not significant, but the yields were significantly higher than the control treatment without fertilization, indicated that both conventional field treatment and *F. mosseae* treatment could increase soybean yield, but the effect of inoculation treatment was better. In addition, inoculation of *F. mosseae* inoculum could also significantly increased the protein content of soybean seeds, but the effect on the oil content was not significant. Therefore, *F. mosseae* inoculum can be used as a new type of special fertilizer for soybean production.

**Keywords:** *Funneliformis mosseae*; Photosynthetic rate; Infection rate; Soybean; Growth; Quality

大豆含有丰富的蛋白质和氨基酸等营养物质, 在国家粮食安全中占有重要地位<sup>[1]</sup>。但现阶段由于大豆种植面积减少、生产模式老化、技术落后、优质品种少等一系列问题导致我国的大豆产业发展低靡。同时由于化肥的长期过量使用, 造成土地酸化、土壤板结、土壤次生盐渍化等问题<sup>[2]</sup>, 也会造成土壤肥力下降, 地下水污染、各种病害日益严重, 更不利于农业生产。

丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhizal, AM) 真菌是土壤中广泛分布的一类微生物, 能够与陆地上绝大多数的植物根系形成共生结构<sup>[3]</sup>, 且豆科和禾本科植物是形成丛枝菌根最普遍的植物<sup>[4]</sup>。AM 真菌侵染宿主植物根系后会影其根系生长以及养分的吸收<sup>[5]</sup>, 增强植物抗逆性<sup>[6]</sup>; AM 真菌还可以促进植物生长, 增强其对微量元素的吸收<sup>[7]</sup>, 提高对病虫害、干旱<sup>[8]</sup>和盐碱环境<sup>[9]</sup>的抗性。同时 AM 真菌能

收稿日期: 2020-03-22

基金项目: 黑龙江省自然科学基金团队项目 (TD2019C002)。

第一作者简介: 冯宇涵 (1996-), 硕士, 主要从事微生物生态学研究。E-mail: 731285434@qq.com。

通讯作者: 宋福强 (1969-), 博士, 教授, 主要从事微生物生态学研究。E-mail: 0431sfq@163.com。

与豆科植物形成协同作用,促进根瘤的形成<sup>[10-11]</sup>,提高豆科植物的固氮能力<sup>[12]</sup>,因此 AM 真菌在农业中的应用备受关注。

关于 AM 真菌与大豆的共生体系已经开展了一些相关研究,证明接种 AM 真菌摩西管柄囊霉(*Funneliformis mosseae*)可以增加大豆总异黄酮含量,降低脂肪酸含量,促使植物分泌保护性物质,增强抗病性<sup>[13]</sup>。大豆接种 *F. mosseae* 后,也能有效地改善根际土壤的细菌多样性和物种丰富度<sup>[14]</sup>。但现有研究多集中在 AM 真菌对大豆抗病能力的影响,而对大豆生长的影响还鲜有报道。因此,本研究针对黑龙江省区域特点,以实验室优选的 *F. mosseae* 为研究对象,探究 *F. mosseae* 对大豆不同生长时期的光合速率、成熟大豆籽粒的产量及品质的影响,以期进一步揭示 AM 真菌对大豆生长的促进效果,同时也为开发大豆菌根专用生物肥奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为龙豆二号,来自黑龙江省农业科学院。

供试 AM 真菌为摩西管柄囊霉(*Funneliformis mosseae*),由黑龙江大学寒地生态修复与资源利用重点实验室制备并保存。

1.2 试验设计

试验在黑龙江省植物园科研试验田进行,前茬作物为高粱。土壤 pH6.75,有机质含量 10.25 g·kg<sup>-1</sup>、速效磷 36.9 mg·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 31.3 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 58.6 mg·kg<sup>-1</sup>、全氮 2.69 g·kg<sup>-1</sup>、全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 3.32 g·kg<sup>-1</sup>、全钾 25.8 g·kg<sup>-1</sup>。

大豆种植期为 2017 年 5 月初,收获期为 9 月下旬。试验设置 3 个处理:接种 AM 真菌菌剂处理(FM);常规施肥处理(F);既不接种 AM 真菌菌剂也不施肥的对照处理(CK)。每个处理 3 次重复,共计 9 个小区,各小区面积为 10 m×2 m,随机排列,周围设保护带。将菌剂与大豆种子混合后播种,AM 真菌菌剂施加量为 599.7 kg·hm<sup>-2</sup>,常规化肥处理的磷酸二铵施加量也为 599.7 kg·hm<sup>-2</sup>。大豆生长过程中不追肥,常规管理。

在大豆出苗期、分枝期、开花期、结荚期 4 个时期分别随机选取不同处理的大豆植株各 5 株,测定根系的菌根侵染率。在大豆生长的出苗期、分枝期、开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期 6 个时期测定叶片净光合速率(*Pn*)。成熟期测定大豆产量和千粒重。

1.3 方法

1.3.1 AM 菌剂扩繁 以高粱为宿主植物进行菌

剂扩繁,待生长期达 120 d、菌根侵染率达到 90% 以上时,收获孢子、菌丝、侵染根段的混合物,调整至孢子数量为 65 个·mL<sup>-1</sup>,作为接种剂备用。

1.3.2 菌根侵染率测定 采用 Phillip 和 Hayman 的酸性品红染色方法<sup>[15]</sup>测定菌根侵染率。

1.3.3 叶片净光合速率测定 采用 LI-6400 光合作用仪(美国)测定不同处理的大豆叶片净光合速率(*Pn*),测定时间为 8:00–18:00,每隔 2 h 测定 1 次,测定部位为大豆植株上数第 3 片全展叶,每个处理测定 5 次。

1.3.4 产量和千粒重测定 从每个处理中随机取 10 m<sup>2</sup>全部收获,称重测产并换算成单位面积产量,每个处理 3 次重复;从每个处理中随机取 1 000 粒大豆,称重得出千粒重,每个处理 3 次重复。

1.3.5 籽粒脂肪和蛋白含量测定 采用索氏抽提法<sup>[16]</sup>测定籽粒油脂含量;采用凯氏定氮法<sup>[17]</sup>测定籽粒粗蛋白含量。

1.4 数据分析

试验数据采用 Origin 85 软件和 Duncan 单因素方差分析法进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下大豆菌根侵染率

本试验中 3 种处理下的出苗期、分枝期、开花期、结荚期都观察到了大豆根系被 AM 真菌侵染的现象,说明试验田中有部分土著的 AM 真菌可与大豆形成菌根共生体。且各处理下的菌根侵染率均随培养时间的延长而增加,不同处理下的侵染率均在大豆结荚期达到最高。其中,接种 FM 的大豆在出苗期菌根侵染率为 29.9%,到结荚期后升至 89.9%;F 和 CK 处理下的大豆在各个时期的侵染率均未超过 23%,虽然土著 AM 真菌对大豆根系也具有一定的侵染能力,但是显著低于 FM 处理(图 1)。

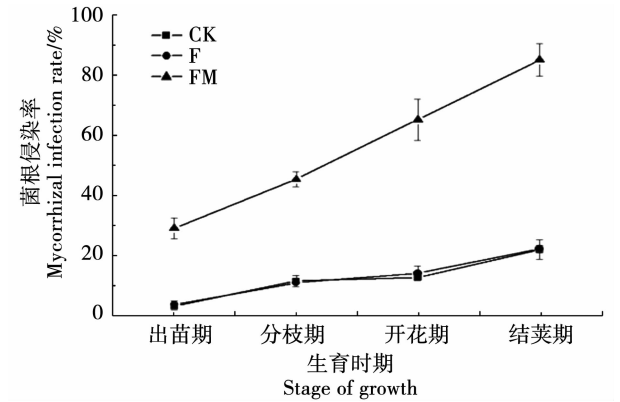


图 1 不同处理下各生长时期大豆植株菌根侵染率  
Fig. 1 Infection rate of soybean plants under different treatments in different growth periods

2.2 不同处理对大豆植株净光合速率的影响

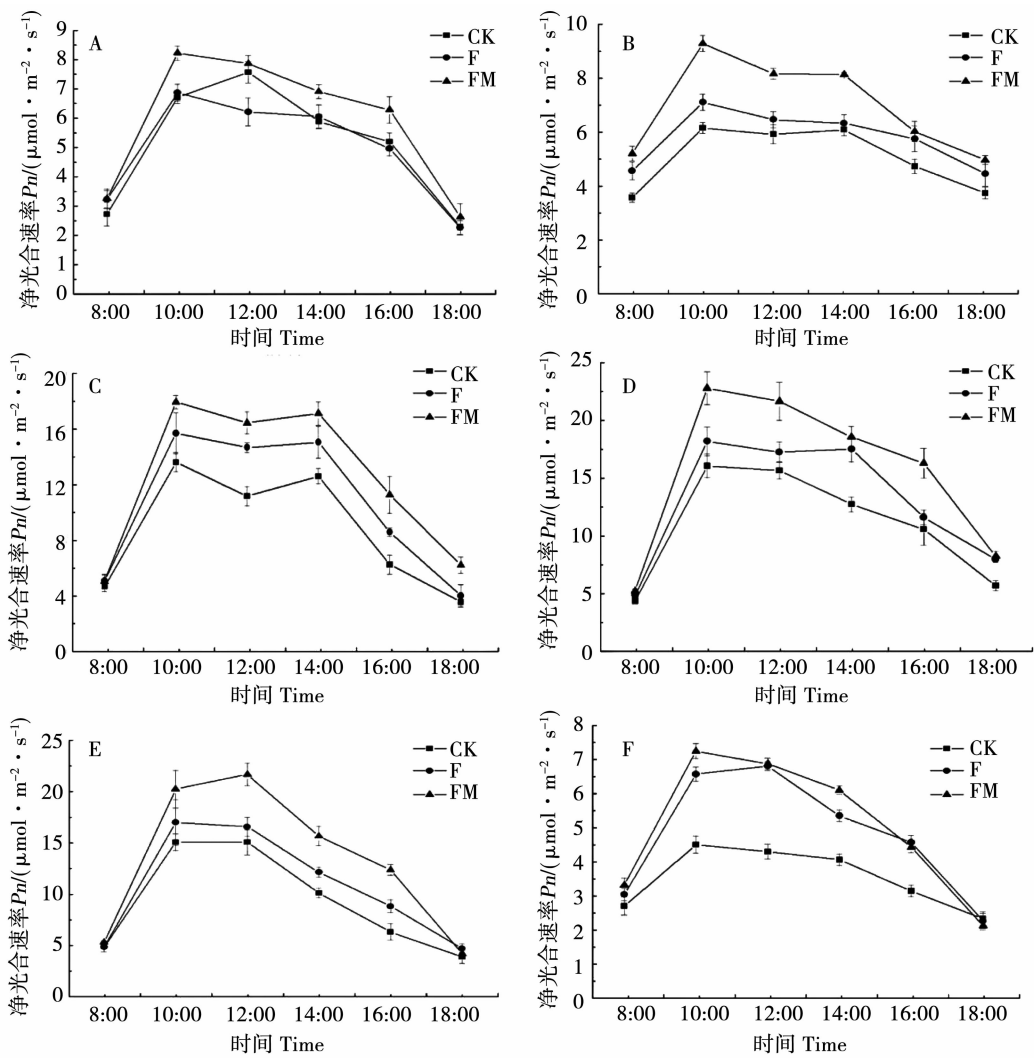
在大豆出苗期,不同处理下大豆净光合速率随时间变化的趋势相同。且在 10:00 - 12:00 净光合速率达到一天中的最高值,然后缓慢下降,在18:00达到最低值。FM 处理下大豆净光合速率均高于 F 和 CK 处理,但三者差异不显著(图 2A)。

在大豆分枝期,随着时间的变化,各处理下的大豆净光合速率变化依然较平缓。在 10:00 净光合速率出现最大值,FM 处理下大豆净光合速率在各时间内均高于 F 和 CK。3 种处理下大豆净光合速率存在明显差异(图 2B)。

开花期和结荚期是大豆整个生长发育中最为重要的两个时期,是大豆营养生长和生殖生长并进

的时期。在开花期和结荚期,大豆净光合速率较之前两时期有明显增加,在 10:00 出现峰值。在结荚期,3 种处理下的大豆叶片净光合速率在整个发育过程中均达到最大,大豆发育进入最关键时期(图 2C 和 D)。

大豆鼓粒期和成熟期各处理大豆净光合速率都呈先升高后降低的趋势。鼓粒期与结荚期相比,各时间的净光合速率并无明显下降,3 种处理的净光合速率表现为 FM > F > CK,且差异显著。在成熟期,各处理的大豆净光合速率急剧下降,大豆进入生长末期。在鼓粒期、成熟期 FM 和 F 处理的净光合速率均大于 CK,但两者之间差异并不显著(图 2E 和 F)。



A: 出苗期;B:分枝期;C:开花期;D:结荚期;E:鼓粒期;F:成熟期。

A: Emergence stage; B: Branching stage; C: Flowering stage; D: Podding stage; E: Seed filling stage; F: Ripening stage.

图2 不同处理下各生长期大豆叶片净光合速率

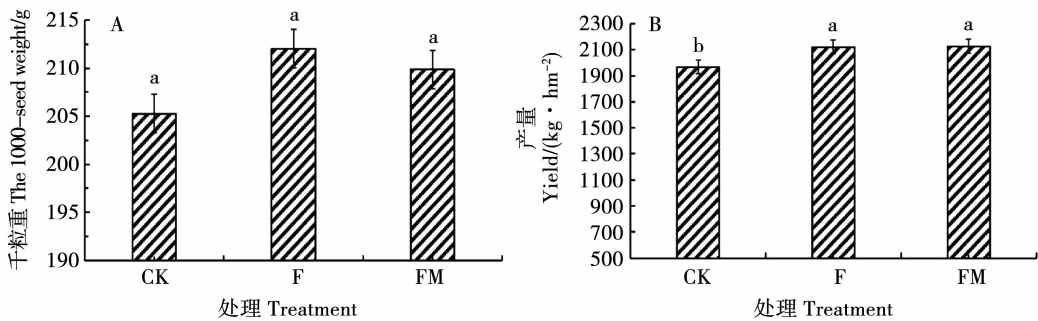
Fig. 2 The net photosynthetic rate of soybean plants in different growth stages under different treatments

从整体趋势来看,在结荚期和鼓粒期大豆叶片净光合速率较高,净光合速率始终表现为 FM > F > CK。结果表明,FM 能显著提高大豆叶片的净光合速率( $P_n$ )。

2.3 不同施肥处理对大豆产量和品质的影响

2.3.1 对大豆产量的影响 与 CK 相比,F 和 FM 处理均能提高大豆的千粒重,3 种处理的大豆千粒重具体表现为 F > FM > CK,分别为 209.86,212.03

和 205.27 g,但差异不显著(图 3A)。F 和 FM 处理均能显著提高大豆产量,且 FM 处理效果最好,产量为 2 126.9 kg·hm<sup>-2</sup>。F 和 CK 处理的大豆产量分别为 2 121.4 和 1 967.9 kg·hm<sup>-2</sup>,FM 和 F 处理的大豆产量显著于 CK 处理,二者之间差异并不显著(图 3B)。由此表明,接种 *F. mosseae* 可以显著提高大豆产量。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

图 3 不同处理下大豆千粒重(A)和产量(B)

Fig. 3 The 1000-seed weight (A) and yield (B) of soybean under different treatments

2.3.2 对大豆籽粒蛋白质和油脂含量的影响 接种 AM 真菌和 F 处理均能提高大豆蛋白的含量。其中 FM 处理的效果最好,蛋白含量达到 39.1%,而 F 处理和 CK 分别为 35.5%、36.9%,FM 与 CK 和 F 处理之间差异显著。与 F、CK 相比,FM 处理的大豆蛋白含量分别提高 10.1 % 和 5.9 % (图 4A)。

通过比较不同处理下大豆油脂含量发现,F 处理的大豆油脂含量最高,为 29.35%,其次是 CK 和 FM 处理,分别为 25.57% 和 24.98%,但三者差异不显著(图 4B)。由此可见,接种 *F. mosseae* 可以改善大豆品质。

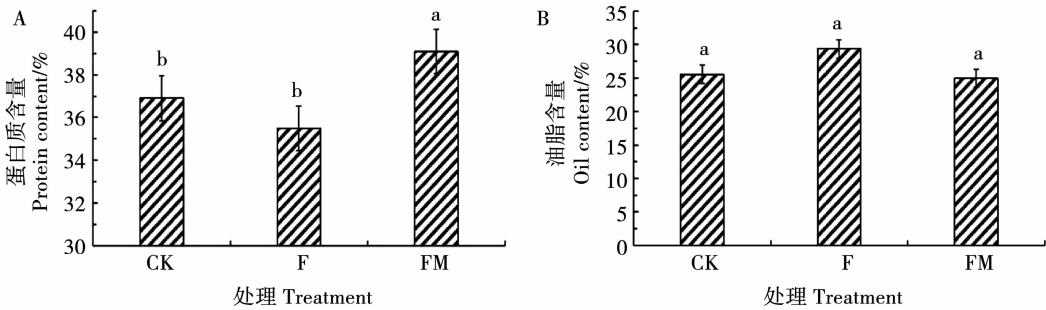


图 4 不同处理下大豆籽粒中蛋白质(A)和油脂含量(B)

Fig. 4 The soybean protein (A) and oil content (B) under different treatments

3 讨论

AM 真菌对宿主植物根系的侵染是建立共生关系的前提,所以侵染率可作为 AM 真菌与宿主植物共生关系的表征。本研究中接种 *F. mosseae* 的大豆侵染率在秋季结荚期达到最大,为 89.9%,高侵染率表明 AM 真菌可以和大豆形成良好的共生关系,该研究结果与赵乾旭等<sup>[18]</sup>、李俊喜等<sup>[19]</sup>、Thioub 等<sup>[20]</sup>的研究结果相同。本研究发现在大豆发育的早期,AM 真菌侵染率变化较缓慢,但菌根侵染率随

着大豆生长期的变化增加越来越显著,在秋季结荚期出现陡然上升的趋势。推测原因可能与宿主植物的生长周期有关,结荚期为大豆生长最旺盛时期,宿主植物代谢水平的提高刺激了 AM 真菌的生长发育,也可能与季节的交替变换相关。程蛟等<sup>[21]</sup>认为 AM 真菌侵染宿主植物的能力随着季节的变化而变化,春季 AM 真菌生长缓慢,而秋季土壤中 AM 真菌孢子数量和宿主植物根内胞囊数大大增加,大豆侵染率也显著提高。此外,F 和 CK 两个处理也发现有 AM 真菌侵染,说明试验地存在土著的 AM

真菌。虽然土著 AM 真菌能够对大豆有侵染,但效果不如接种 FM 后大豆的菌根侵染率强。这表明 AMF - 大豆共生系统中不同发育期的侵染程度也不同,且不同 AM 真菌菌株对宿主的侵染具有选择性。

净光合速率反映的是植物有机物的积累即干物质的积累。净光合速率越强说明植物积累物质越多,植物生长发育也越旺盛,对作物的产量和品质都会有影响。贾婷婷等<sup>[22]</sup>证明盐胁迫下接种 *Glomus intraradices* 沙枣苗木的净光合速率显著高于对照处理;刘欢等<sup>[23]</sup>也发现接种 AM 真菌对苜蓿株高、地上生物量、地下生物量、总生物量和光合作用具有显著的促进作用;王志刚等<sup>[24]</sup>也证实接种 AM 真菌对神东矿区采煤沉陷地复垦植物恢复具有促进作用,接种 AM 真菌时矿区植物的生物量、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等均显著提高。董静<sup>[25]</sup>的研究显示接种 *F. mosseae* 和 *R. intraradices* 两种 AM 真菌均可提高美人蕉的净光合速率,但相比之下接种 *F. mosseae* 对光合效能的促进作用更加突出,对美人蕉的促进效果更加明显。本研究获得相同的结论,接种 *F. mosseae* 后的大豆净光合日变化整体趋势以及净光合速率最大值均优于其他两种处理,这可能是由于菌根形成与 AM 真菌自身生长繁殖需要消耗宿主植物部分光合产物,从而改善了植物碳水化合物的输出和形成,促进了接种 AM 真菌的植株净光合速率的提高<sup>[26]</sup>。

油脂含量、蛋白质含量、含水量和含糖量等是反映大豆品质的重要指标<sup>[27]</sup>。全雅娜等<sup>[28]</sup>证实接种 *Glomus mosseae* 显著促进了草莓根系生长,提高了草莓单果重、单株产量及果实的可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量等,使其品质得到改善。王锐竹等<sup>[29]</sup>对两个番茄品种接种了 AM 真菌,结果显示两个参试番茄品种的接菌处理产量分别比对照高 10.69% 和 7.68%;接菌处理果实可溶性固形物、番茄红素和 VC 含量均显著高于各自未接菌对照,也说明接种 AM 真菌能够提高果实品质。本研究结果表明,接种 *F. mosseae* 在提高大豆油脂含量上与 F 处理差异不显著,但接种 *F. mosseae* 显著提高了大豆蛋白质的含量,与正常施加化肥处理相比提高了 10.1%,该结果表明接种 FM 对提高大豆品质有积极作用。

4 结 论

田间接种 *Funneliformis mosseae* 菌剂可与大豆形成良好的菌根共生体,菌根侵染率可达到 89%,同时能显著提高大豆叶片的净光合速率。除此之外,接种 *F. mosseae* 菌剂后大豆的千粒重、产量和蛋

白含量都显著提高,籽粒品质得到改善。该研究结果证实了 *F. mosseae* 菌剂可以提高作物产量与品质,因此可以作为一种新型的大豆生产专用肥在大豆生产中推广应用。

参考文献

[1] 林波,汪春涛.大豆机械化种植发展现状及对策分析[J]. 中国果菜, 2019(5): 62-64. (Lin B, Wang C T. Progress in mechanization and deep processing technology of soybean[J]. Chinese Fruits and Vegetables, 2019(5): 62-64. )

[2] 张君,赵沛义,潘志华,等.基于产量及环境友好的玉米氮肥投入阈值确定[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 136-143. (Zhang J, Zhao P Y, Pan Z H, et al. Determination of input threshold of nitrogen fertilizer based on environment-friendly agriculture and maize yield [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2016, 32(12): 136-143. )

[3] 付先恒,岳献荣,夏运生,等.接种 AMF 对间作大豆生长及有机磷利用的影响[J]. 大豆科学, 2016, 35(3): 442-447. (Fu X H, Yue X R, Xia Y S, et al. Influence of *Glomus mosseae* inoculation on plant growth and organic phosphorus utilization in intercropping soybeans[J]. Soybean Science, 2016, 35(3): 442-447. )

[4] 吴强盛,邹英宁,王贵元.丛枝菌根真菌生态学研究进展[J]. 长江大学学报(自科版)农学卷, 2007(2): 76-80. (Wu Q Q, Zou Y N, Wang G Y. Research progress of arbuscular mycorrhizal fungus ecology [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition) Agronomy Science Volume, 2007(2): 76-80. )

[5] Giulia C, Bonasia A, Lazzizzera C, et al. Influence of biochar, mycorrhizal inoculation, and fertilizer rate on growth and flowering of *Pelargonium (Pelargonium zonale L.)* plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 429.

[6] Hashem A, Abd\_Allah E F, Alqarawi A A, et al. Role of calcium in AMF-mediated alleviation of the adverse impacts of cadmium stress in *Bassia indica*[Wight] A. J. Scott[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2016(26): 828-838.

[7] 屈明华,俞元春,李生,等.丛枝菌根真菌对矿质养分活化作用研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(2): 394-405. (Qu M H, Yu Y C, Li S, et al. Advances in research on activation of mineral nutrients by arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Journal of Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2019, 36(2): 394-405. )

[8] 吕海霞.丛枝菌根(真菌)对植物抗病性、抗旱性的影响[J]. 河南农业, 2019(13): 35. (Lyu H X. Effects of arbuscular mycorrhiza (fungi) on plant disease resistance and drought resistance[J]. Henan Agriculture, 2019(13): 35. )

[9] 潘晶,黄翠华,罗君,等.盐胁迫对植物的影响及 AMF 提高植物耐盐性的机制[J]. 地球科学进展, 2018, 33(4): 361-372. (Pan J, Huang C H, Luo L, et al. Effects of salt stress on plants and mechanism of AMF to improve plant salt tolerance [J]. Progress in Earth Science, 2008, 33(4): 361-372. )

[10] 何树斌,郭理想,李菁,等.丛枝菌根真菌与豆科植物共生体研究进展[J]. 草业学报, 2017, 26(1): 187-194. (He S B, Guo L X, Li J, et al. Advances in arbuscular mycorrhizal fungi and

legumes symbiosis research[J]. Acta raticulturae Sinica, 2017, 26(1): 187-194. )

[11] Benbrahim K F, Ismaili M. Interactions in the symbiosis of acacia saligna with glomus mosseae and rhizobium bacteria in fumigated and unfumigated soil[J]. Arid Land Research and Management Journal, 2002, 16(4): 365-376.

[12] 董昌金. 根瘤菌与 AM 真菌双接种对大豆植株生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2004(5): 41-43. (Dong C J. Effects of rhizobia and AM fungi on growth of soybean[J]. Hubei Agricultural Science, 2004(5): 41-43. )

[13] 崔佳琦,魏丽娜,蔡柏岩. 接种摩西管柄囊霉(*Funneliformis mosseae*)对连作大豆异黄酮及脂肪酸含量的影响[J]. 农学学报, 2015, 5(4): 31-35. (Cui J Q, Wei L N, Cai B Y. Effect of inoculated *Funneliformis mosseae* on the content of isoflavone and fatty acid in the continuous cropping of soybean[J]. Journal of Agronomy, 2015, 5(4): 31-35. )

[14] 崔晓莹,白莉,郭娜,等. 摩西管柄囊霉(*Funneliformis mosseae*)对连作大豆根际土壤细菌菌群的影响[J]. 大豆科学, 2020, 39(2):277-287. (Cui X Y, Bai L, Guo N, et al. Effects of *Funneliformis mosseae* on the bacterial flora in the rhizosphere soil of continuous cropping soybean[J]. Soybean Science, 2020, 39(2): 277-287. )

[15] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assement of infection[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970, 55(1): 158-161.

[16] 石蕊,刘智龙. 索氏提取法测定大豆中油脂的应用研究[J]. 陕西农业科学, 2009, 55(6): 75-76. (Shi R, Liu Z L. Application of soxhlet extraction method to determine oil in soybean[J]. Shanxi Agricultural Science, 2009, 55(6): 75-76. )

[17] 徐新娟,黄中文,王伟,等. 全自动凯氏定氮仪测定大豆蛋白质方法的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2016(2): 108-110, 121. (Xu X J, Huang Z W, Wang W, et al. Study on the processing conditions of soybean protein sample with automatic kjeldahl nitrogen determination apparatus[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2016(2): 108-110, 121. )

[18] 赵乾旭,岳献荣,夏运生,等. 设施条件接种丛枝菌根真菌对紫色土上玉米/大豆生长及氮素利用的影响[J]. 作物杂志, 2016(5): 94-100. (Zhao Q X, Yue X R, Xia Y S, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on growth and nitrogen utilization of intercropped maize and soybean in purple soil under facilitated condition[J]. Crop Journal, 2016(5): 94-100. )

[19] 李俊喜,李辉,王维华,等. 丛枝菌根真菌丛枝发育对大豆胞囊线虫病的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2010, 27(2): 95-99. (Li J X, Li H, Wang W H, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungal arbuscule development on soybean cyst nematode diseases[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science Edition), 2010, 27(2): 95-99. )

[20] Thioub M, Ewusi-Mensah N, Sarkodie-Addo J, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances phosphorus use efficiency and soybean productivity on a Haplic Acrisol[J]. Soil and Tillage Research, 2019(192): 174-186.

[21] 程蛟. 田间接种 AM 真菌对大豆生长效应的影响[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2012. (Cheng J. Effects of AM fungus inoculation on soybean growth[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2012. )

[22] 贾婷婷,常伟,范晓旭,等. 盐胁迫下 AM 真菌对沙枣苗木光合与叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(4): 1337-1347. (Jia T T, Chang W, Fan X X, et al. Effects of AM fungi on photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of saube seedlings under salt stress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 38(4): 1337-1347. )

[23] 刘欢,姚拓,刘婷,等. 不同丛枝菌根真菌对苜蓿生长的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(4): 61-67, 73. (Liu H, Yao T, Liu T, et al. Effects of different arbuscular mycorrhizal fungi on the growth *Medicago sativa*[J]. Grassland and Lawn, 2017, 37(4): 61-67, 73. )

[24] 王志刚,毕银丽,李强,等. 接种 AM 真菌对采煤沉陷地复垦植物光合作用和抗逆性的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 800-805. (Wang Z G, Bi Y L, Li Q, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on photosynthesis and stress resistance of reclamation plants in coal mining subsidence areas[J]. Southern Agricultural Journal, 2017, 48(5): 800-805. )

[25] 董静. AMF-美人蕉共生系统降解水中阿特拉津特性的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017. (Dong J. AMF-Canna symbiosis system degradation of atrazine in water[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017. )

[26] 马颖,郭绍霞,李想,等. AM 真菌对彩叶草生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 4500-4501. (Ma Y, Guo S X, Li X, et al. Effects of AM fungi on the growth and development of *Coleus blumei*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(11): 4500-4501. )

[27] 孙璐,汪芳,孟骏,等. 大豆加工特性及品质评价的研究进展[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 322-329. (Sun L, Wang F, Meng J, et al. Advances in soybean processing characteristics and quality evaluation research[J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 322-329. )

[28] 全雅娜,杨小玲,宋兰芳,等. 2 种 AM 真菌对草莓产量和品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(3): 447-451. (Tong Y N, Yang X L, Song L F, et al. Effects of *Glomus versiforme* and — on production and qualities of strawberry[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(3): 447-451. )

[29] 王锐竹,张艳玲,于艳洁,等. AM 真菌对番茄产量品质及根区环境的影响[J]. 天津农林科技, 2016(2): 22-23, 26. (Wang R Z, Zhang Y L, Yu Y J, et al. Effects of AM fungi on tomato yield and quality and root environment[J]. Tianjin Agricultural and Forestry Science and Technology, 2016(2): 22-23, 26. )