

微生物菌剂对夏玉米产量及农艺性状的影响

刘双¹ 李永斌¹ 李云龙¹ 王民洋¹ 张浩炜¹ 钟增明² 王亚君³ 陈三凤^{1*}

(1. 中国农业大学 生物学院, 北京 100193;

2. 北京启高生物科技有限公司, 北京 100193;

3. 东莞市保得生物工程有限公司, 广东 东莞 523073)

摘要 为探究微生物菌剂对夏玉米产量及农艺性状的影响,以玉米品种‘先玉 335’为试验材料,采用随机区组试验设计,2016—2018 年连续 3 年接种固氮类芽孢杆菌菌剂 1-18、芽孢杆菌菌剂 L-56 以及 1-18 和 L-56 的复合菌剂,以未接种菌剂的植株作为对照,分析不同微生物菌剂对夏玉米产量及农艺性状的影响。结果表明,2016 年接种菌剂 1-18 的增产率 16.06% 高于接种菌剂 L-56 的增产率 7.10%,接种 1-18 和 L-56 复合菌剂的增产率最高为 18.51%;而 2017 年接种菌剂 L-56 的增产率 12.19% 高于接种菌剂 1-18 的增产率 5.05%,接种 1-18 和 L-56 复合菌剂的增产率为 14.53%;2018 年接种菌剂 L-56 的增产率 9.11% 略高于接种菌剂 1-18 的增产率 6.53%,接种 1-18 和 L-56 复合菌剂的增产率为 11.75%,说明不同菌剂在不同年份处理存在差异,但接种菌剂均能提高夏玉米产量。此外,接种菌剂 1-18 和 L-56 还均能显著提高玉米穗长、穗行数、行粒数和百粒重等农艺性状。与对照相比,接种 1-18 和 L-56 这 2 种菌剂均能显著提高夏玉米产量并改善玉米农艺性状,其中接种 1-18 和 L-56 复合菌剂的效果要优于单独接种。

关键词 芽孢杆菌; 类芽孢杆菌; 夏玉米; 产量; 农艺性状

中图分类号 S182

文章编号 1007-4333(2020)06-0020-06

文献标志码 A

Effects of microbial agents on yield and agronomic traits of summer maize

LIU Shuang¹, LI Yongbin¹, LI Yunlong¹, WANG Minyang¹, ZHANG Haowei¹,
ZHONG Zengming², WANG Yajun³, CHEN Sanfeng^{1*}

(1. College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Beijing Qigao Biotechnology Company Limited, Beijing 100193, China;

3. Dongguan Baode Biological Engineering Company Limited, Dongguan 523073, China)

Abstract The effects of microbial agents on summer maize yield and agronomic traits were investigated by taking ‘Xianyu 335’ as study material. The N_2 -fixing *Paenibacillus beijingsensis* 1-18, *Bacillus* sp. L-56 and 1-18 and L-56 compound were inoculated for three consecutive years 2016 – 2018. The yield and the agronomic traits of summer maize inoculated with different microbial agents were investigated and compared with un-inoculated controls. The results showed that: Compared to the control, inoculation of both microbial agents increased maize yield and improved agronomic traits. The effect of inoculation of mixed microbial agents (*P. beijingsensis* 1-18 and *Bacillus* sp. L-56) was better than that of inoculation alone. In 2016, the increase rate of *P. beijingsensis* 1-18 (16.06%) inoculation treatment was higher than that of *Bacillus* sp. L-56 inoculant treatment (7.10%), and the yield of mixed inoculation treatment was increased by 18.51%; In 2017, the yield of *Bacillus* sp. L-56 treatment (12.19%) was higher than that

收稿日期: 2019-09-05

基金项目: 十三五国家重点研发项目(2017YFD0200800);广东省创新团队项目(2013S033)

第一作者: 刘双, 硕士研究生, E-mail: 2660796463@qq.com

通讯作者: 陈三凤, 教授, 主要从事生物固氮和生物能源研究, E-mail: chensf@cau.edu.cn

of the *P. beijingensis* 1-18 treatment (5.05%), and the yield of the mixed treatment was 14.53% higher; In 2018, the yield of *Bacillus* sp. L-56 (9.11%) was slightly higher than that of *P. beijingensis* 1-18 (6.53%), and the yield of the mixed treatment was increased by 11.75%. These results indicated that there were differences in the treatment of the agents in different years, but all inoculation treatments significantly increased the yield of summer maize. In addition, inoculating agents 1-18 and L-56 also significantly improved agronomic traits such as corn ear length, ear rows, per row and 100-grain weight. Compared with the control, the inoculation of 1-18 and L-56 significantly increased summer maize yield and improved agronomic traits, and the effect of combined inoculation of 1-18 and L-56 was better than inoculation alone.

Keywords *Bacillus*; *Paenibacillus*; summer maize; yield; agronomic trait

玉米是我国重要的粮食作物,施用化肥是提高玉米产量和改善玉米品质的重要措施^[1],但是长期施肥造成了土壤酸化、肥力下降、氮素利用率降低以及环境污染^[2-3]。因此,以植物促生菌为主的微生物肥料受到了广泛的重视,施用微生物肥料可以缓解施用化肥带来的负面影响,还能促进植物生长、提高作物产量,有利于农业的可持续性发展^[4-7]。

近年来微生物菌剂的研究与应用备受关注。研究表明,微生物菌剂在提高土壤肥力、刺激植物生长、提高作物产量以及改善土壤微生物群落结构方面具有重要意义^[8-9]。芽孢杆菌是一类重要的植物促生菌,具有繁殖快、抗逆性强和存活时间长等特点,同时还能够产生一些促进植物生长的物质或抗菌物质,有些还具有溶磷、解钾和固氮等能力,从而促进植物生长^[10-12]。

类芽孢杆菌属(*Paenibacillus*)是从芽孢杆菌属(*Bacillus*)中独立出来的一个新属^[13]。目前,类芽孢杆菌属有 130 个种,其中 10 个固氮类芽孢杆菌新种是由本实验室分离鉴定的^[14-21]。类芽孢杆菌具有抗逆性强和促生长等特性,在微生物菌剂制备方面具有潜在的应用价值,但是目前关于微生物菌剂在大田应用中的研究鲜有报道。本试验通过在夏玉米生产过程中施用不同的微生物菌剂,研究其对玉米产量以及果穗性状的影响并进行比较分析,旨在获得能够有效提高玉米产量的微生物菌剂,以期微生物菌剂在农业生产中应用奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况

试验于 2016、2017 和 2018 年在河北省吴桥县中国农业大学实验站进行。试验区属海河平原黑龙港流域中部,暖温带季风气候,海拔 14~22 m,历年平均降水量 562 mm,主要分布在 6—8 月。试验地

自 2013—2018 年连续 5 年为冬小麦-夏玉米一年两熟制,土壤为冲积型盐化潮土,壤质底粘,按华北平原分类标准,土壤肥力属于中等,主要基肥为磷酸二铵、尿素、硫酸钾和硫酸锌。

1.1.2 供试玉米品种和微生物菌株

‘先玉 335’为普通玉米品种,幼苗绿色,籽粒黄色,果穗筒形,穗长约 18.5 cm 左右,穗行数约 15.8 行,适于河北省、河南省、山西省和陕西省等地种植。

固氮类芽孢杆菌菌株 1-18^[20]、芽孢杆菌菌株 L-56 均为本实验室分离和保存。菌株 1-18 分离自小麦根际,菌株 L-56 分离自玉米根际。液体发酵培养基:蛋白胨 10 g,酵母粉 5 g,氯化钠 5 g,葡萄糖 10 g,水 1 L,pH 7.0。发酵 48 h 后用稻壳粉(200 目)吸附,放置阴凉处至形成干燥粉末,菌剂浓度为 5.0×10^8 cfu/g,随基肥直接撒入。

1.2 田间试验设计

试验设置 4 个处理(表 1),每个处理 4 次重复,随机排列,每个小区面积 88.4 m²。

表 1 试验处理
Table 1 Test treatment

处理 Treatment	处理方法 Treatment method	菌剂处理 Bactericide treatment
处理 1(CK) Treatment 1	不施菌剂	0
处理 2 Treatment 2	施 1-18	60 kg/hm ²
处理 3 Treatment 3	施 L-56	60 kg/hm ²
处理 4 Treatment 4	施 1-18+ 施 L-56	60 kg/hm ²

1.3 栽培管理

施基肥磷酸二铵 225 kg/hm², 尿素 225 kg/hm², 硫酸钾 225 kg/hm² 和硫酸锌 15 kg/hm²。播种期分别为 2016 年 6 月 10 日播种(10 月 13 日收获)、2017 年 6 月 1 日播种(10 月 4 日收获)和 2018 年 6 月 5 日播种(10 月 8 日收获)。采用 60 cm 等行距, 株距 20 cm, 点播器播种, 施入基肥并根据试验设计(表 1)撒入菌剂。留苗 60 000 株/hm²。全生育期不追肥。按常规进行其他栽培管理。

1.4 玉米产量测定和经济性状考查

玉米收获时每个小区去除边行, 挑取长势一致的三行进行测产, 并从中随机挑选 10 穗果穗进行考种, 测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重, 结果取平均值。大田产量由每个小区所收取的果穗籽粒计算, 烘干称量, 最后再按 14% 含水量折算产量^[22-23]。

1.5 数据处理与分析

运用 Excel 2003 对数据进行整理, 并用 IBM SPSS Statistics 22 软件进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 2016 年不同菌剂处理对玉米产量和农艺性状的影响

由表 2 可知, 2016 年与对照组相比接种 2 种菌剂均能提高玉米产量, 接种菌剂 1-18 的产量为 10 588 kg/hm², 相对于不接种菌剂增产 16.06%; 接种菌剂 L-56 的产量为 9 771 kg/hm², 相对于不接种菌剂增产 7.10%, 接种菌剂 1-18 增产率明显高于菌剂 L-56, 接种 1-18 和 L-56 复合菌剂比单独施用效果更好, 产量为 10 812 kg/hm², 增产率可达 18.51%。

施用菌剂 1-18 的玉米百粒重最高为 40.33 g, 显著高于施用菌剂 L-56 的百粒重 36.31 g, 2 种菌剂混合施用百粒重也达 39.75 g。玉米果穗的穗粗、行粒数和穗行数在 2 种菌剂处理中无显著差异, 但都高于对照组, 说明 2 种菌剂不仅能提高玉米产量, 对果穗性状也产生一定影响。施用菌剂 L-56 的玉米果穗的穗粗、行粒数和穗长略高于施用菌剂 1-18, 说明玉米穗部性状与产量不一定成正比例。

表 2 2016 年不同菌剂处理对玉米产量和农艺性状的影响

Table 2 Effect of different microbial agents treatment on maize yield and agronomic traits in 2016

处理组 Treatment	菌剂类型 Bactericide type	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear thickness	穗行数 Ear rows	行粒数 Per row	百粒重/g 100-grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield	增产率/% Increase rate
处理 1	CK	20.62 c	49.02 c	15.78 b	33.84 b	35.40 c	9 123 c	0.00
处理 2	1-18	21.80 b	50.23 b	16.67 a	37.33 a	40.33 a	10 588 a	16.06
处理 3	L-56	22.02 a	50.47 b	16.44 a	38.00 a	36.31 b	9 771 b	7.10
处理 4	1-18 和 L-56	22.46 a	51.06 a	16.35 a	37.94 a	39.75 a	10 812 a	18.51

注: 同列小写字母 a, b, c 表示不同处理间的差异, 相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Lowercase letters a, b, and c in the same column indicate differences between different treatments, the same letter indicates that the difference is not significant, and different letters indicate that the difference is significant ($P < 0.05$). The same below.

2.2 2017 年不同菌剂处理对玉米产量和农艺性状的影响

由表 3 可知, 2017 年接种 2 种菌剂均能提高玉米产量, 但与 2016 年效果不同, 接种菌剂 L-56 的增产率高于接种菌剂 1-18。玉米接种菌剂 1-18 的产量为 10 115 kg/hm², 相对于不接种菌剂增产 5.05%; 玉米接种菌剂 L-56 的产量为 10 803 kg/hm², 相对于不接种菌剂增产 12.19%; 玉米接种 1-18 和 L-56 复合菌剂效果最好, 产量为 11 028 kg/hm², 增

产率为 14.53%。

不同菌剂处理玉米百粒重和穗长的增长趋势与产量增长趋势一致, 在施用 1-18 和 L-56 复合菌剂中百粒重最重为 36.11 g, 穗长最长为 21.74 cm。穗粗和行粒数在不同菌剂处理中无显著性差异, 但都高于对照组, 与对照组相比差异显著。而穗行数在不同菌剂处理中有显著差异, 说明玉米穗部性状在不同菌剂处理中可能效果不一致。

表 3 2017 年不同菌剂处理对玉米产量和农艺性状的影响

Table 3 Effect of different microbial treatments on maize yield and agronomic traits in 2017

处理组 Treatment	菌剂类型 Bactericide type	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear thickness	穗行数 Ear rows	行粒数 Per row	百粒重/g 100-grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield	增产率/% Increase rate
处理 1	CK	19.78 c	49.56 b	16.56 c	36.56 b	34.56 c	9 629 c	0.00
处理 2	1-18	20.85 b	51.08 a	17.22 b	39.89 a	35.07 b	10 115 b	5.05
处理 3	L-56	21.51 a	50.71 a	18.78 a	39.83 a	35.64 a	10 803 a	12.19
处理 4	1-18 和 L-56	21.74 a	51.34 a	17.64 a	40.08 a	36.11 a	11 028 a	14.53

2.3 2018 年不同菌剂处理对玉米产量和农艺性状的影响

由表 4 可知,2018 年产量变化与 2017 年相近,均是接种菌剂 L-56 的增产率高于接种菌剂 1-18 的增产率但差异不显著。接种菌剂 L-56 的产量为 8 936 kg/hm²,相对于未接种菌剂增产 9.11%,接种菌剂 1-18 的产量为 8 725 kg/hm²,相对于未接种菌剂增产

6.53%,接种 1-18 和 L-56 复合菌剂产量最高为 9 150 kg/hm²,与未接种菌剂相比增产率达 11.75%。

玉米分别接种菌剂 1-18 和菌剂 L-56,其穗长与行粒数差异都达显著水平,说明这些可能是构成产量变化的因素。而在不同菌剂处理中穗粗、百粒重以及穗行数之间无显著差异,说明这些因素可能不是引起产量差异的主要原因。

表 4 2018 年不同菌剂处理对玉米产量和农艺性状的影响

Table 4 Effect of different microbial agents treatment on maize yield and agronomic traits in 2018

处理组 Treatment	菌剂类型 Bactericide type	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear thickness	穗行数 Ear rows	行粒数 Per row	百粒重/g 100-grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield	增产率/% Increase rate
处理 1	CK	20.17 c	48.43 a	15.65 b	36.65 c	33.34 b	8 190 c	0.00
处理 2	1-18	21.23 b	49.87 a	16.54 a	37.97 a	34.71 a	8 725 b	6.53
处理 3	L-56	21.88 a	50.14 a	16.79 a	37.47 b	35.23 a	8 936 b	9.11
处理 4	1-18 和 L-56	20.78 a	50.16 a	16.33 a	38.22 a	35.40 a	9 150 a	11.75

3 结论与讨论

本研究通过连续 3 年对夏玉米施用不同菌剂处理来探究其对玉米果穗性状和产量的影响,结果表明,施用不同菌剂处理均能增加玉米产量,并且施用复合菌剂比单独施用增产效果更好。2016 年施用菌剂 1-18 的增产效果优于菌剂 L-56,而 2017 和 2018 年结果相反,施用菌剂 L-56 的增产率均高于施用菌剂 1-18 的增产率,增产效果的差异可能与每年发酵菌剂的发酵情况有关,有效活菌数存在差异;也可能受大田环境不稳定因素的影响,例如,每年土壤 pH、温度以及水分含量存在差异,但整体来看,

施用菌剂与未施用菌剂相比玉米产量均有所提高。施用菌剂不仅能提高玉米产量,还能改善玉米果穗的性状如穗长、穗粗、行粒数和穗行数等,与未接种菌剂相比存在显著性差异。该结果与施用微生物菌剂对小麦等作物产量方面影响的报道相一致^[8,24]。这可能是由于芽孢杆菌和类芽孢杆菌改善了土壤的理化性质,提高了土壤肥力或者产生了促进作物生长的代谢产物,具体作用机制还有待进一步研究。

致谢

感谢十三五国家重点研发项目(2017YFD0200800)

和广东省创新团队项目(2013S033)资助。

参考文献 References

- [1] 姜涛. 氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 559-565
Jiang T. Effects of nitrogen application regime on yield, quality and plant nutrient contents of summer maize[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(3): 559-565 (in Chinese)
- [2] Tayefeh M, Sadeghi S M, Noorhosseini S A, Bacenetti J, Damalas C A. Environmental impact of rice production based on nitrogen fertilizer use [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(16): 15885-15895
- [3] Ahmed M, Rauf M, Mukhtar Z, Saeed N A. Excessive use of nitrogenous fertilizers: An unawareness causing serious threats to environment and human health[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(35): 26983-26987
- [4] Vejan P, Abdullah R, Khadiran T, Ismail S, Nasrulhaq B A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability: A review[J]. *Molecules*, 2016, 21(5): 1-17
- [5] Abdul M, Zahir M, Habib A. Plant growth promoting bacteria: Role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops[J]. *Plant Cell Reports*, 2018, 37(12): 1599-1609
- [6] Gouda S, Kerry R G, Das G, Paramithiotis S, Shin H S, Patra J K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture[J]. *Microbiological Research*, 2017, 206: 131-140
- [7] Singh M, Awasthi A, Soni S K, Singh R, Verma R K, Kalra A. Complementarity among plant growth promoting traits in rhizospheric bacterial communities promotes plant growth[J]. *Scientific Reports*, (2019-01-12). DOI: 10.1038/srep15500
- [8] Assainar S K, Abbott L K, Mickan B S, Whiteley A S, Siddique K H M, Solaiman Z M. Response of wheat to a multiple species microbial inoculant compared to fertilizer application[J]. *Frontiers in Plant Science*, (2019-01-04). DOI: 10.3389/fpls.2018.01601
- [9] Wang L, Li J, Yang F, E Y, Raza W, Huang Q, Shen Q. Application of bioorganic fertilizer significantly increased apple yields and shaped bacterial community structure in orchard soil [J]. *Microbial Ecology*, 2016, 73(2): 1-13
- [10] Jayakumar A, Krishna A, Mohan M, Nair I C, Radhakrishnan E K. Plant growth enhancement, disease resistance, and elemental modulatory effects of plant probiotic endophytic *Bacillus* sp Fcl1[J]. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2019, 11(2): 526-534
- [11] Asari S, Tarkowská D, Rolčik J, Novák O, Palmero D V, Bejai S, Meijer J. Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant[J]. *Planta*, 2017, 245(1): 15-30
- [12] Xu M, Sheng J, Chen L, Men Y, Gan L, Guo S, Shen L. Bacterial community compositions of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) seeds and plant growth promoting activity of ACC deaminase producing *Bacillus subtilis* (HYT-12-1) on tomato seedlings [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2014, 30(3): 835-845
- [13] Ash C, Priest F G, Collins M D. Molecular identification of rRNA group 3 bacilli (Ash, Farrow, Wallbanks and Collins) using a PCR probe test. Proposal for the creation of a new genus *Paenibacillus*[J]. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 1993, 64(3-4): 253-260
- [14] Ma Y, Xia Z, Liu X, Chen S. *Paenibacillus sabiniae* sp nov, a nitrogen-fixing species isolated from the rhizosphere soils of shrubs[J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2007, 57(1): 6-11
- [15] Ma Y, Zhang J, Chen S. *Paenibacillus zanthoxyli* sp nov, a novel nitrogen-fixing species isolated from the rhizosphere of *Zanthoxylum simulans* [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2007, 57(4): 873-877
- [16] Ma Y, Chen S. *Paenibacillus forsythiae* sp nov, a nitrogen-fixing species isolated from rhizosphere soil of *Forsythia mira* [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2008, 58(2): 319-323
- [17] Jin H, Lv J, Chen S. *Paenibacillus sophorae* sp nov, a nitrogen-fixing species isolated from the rhizosphere of *Sophora japonica* [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, 61(4): 767-771
- [18] Hong Y, Ma Y, Zhou Y, Gao F, Liu H, Chen S. *Paenibacillus sonchi* sp nov, a nitrogen-fixing species isolated from the rhizosphere of *Sonchus oleraceus* [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59(11): 2656-2661
- [19] Jin H, Zhou Y, Liu H, Chen S. *Paenibacillus jilunlii* sp nov, a nitrogen-fixing species isolated from the rhizosphere of *Begonia semperflorens* [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, 61(6): 1350-1355
- [20] Wang L Y, Li J, Li Q X, Chen S. *Paenibacillus beijingsensis* sp nov, a nitrogen-fixing species isolated from wheat

- rhizosphere soil[J]. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2013, 105(2): 675-683
- [21] Xie J, Zhang L, Zhou Y, Liu H, Chen S. *Paenibacillus taohuashanense* sp. nov, a nitrogen-fixing species isolated from rhizosphere soil of the root of *Caragana kansuensis* Pojark[J]. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2012, 102(4): 735-741
- [22] 安治良. 夏玉米杂交种农艺性状与产量的相关与通径分析[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(17): 34-35, 43
- An Z L. Genetic correlation and path analysis of yield and agronomic characteristics of summer maize hybrids[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2018, 24(17): 34-35, 43 (in Chinese)
- [23] 肖万欣, 赵海岩, 刘晶, 史磊, 常程, 张书萍, 汪经宏, 赵勐. 不同氮、磷、钾肥料组合对玉米杂交种‘辽单 527’产量和农艺性状的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(12): 196-200
- Xiao W X, Zhao H Y, Liu J, Shi L, Chang C, Zhang S P, Wang J H, Zhao W. Effects of different N, P and K fertilizer combinations on yield and agronomic characters of maize hybrid ‘Liaodan 527’ [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(12): 196-200 (in Chinese)
- [24] 石皓文, 李永斌, 李朋飞, 王志敏, 陈三凤. 田间接种固氮类芽孢杆菌对小麦的增产效应[J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(6): 52-55
- Shi H W, Li Y B, Li P F, Wang Z M, Chen S F. Effect of nitrogen-fixing *Paenibacillus* spp on wheat yield[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(6): 52-55 (in Chinese)

责任编辑：吕晓梅