果 树 学 报 2026,43(1):110-121
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250236

放线菌发酵液肥对骏枣生长生理和产量品质的影响

张 莹,李文倩,靳永安,韩 刚*

(西北农林科技大学林学院,陕西杨凌 712100)

摘 要:【目的】探究不同浓度放线菌发酵液肥对骏枣生长和结果的影响。**【方法】**以4年生骏枣为试材,分别于展叶期、幼果期和白熟期叶面喷施3次不同浓度放线菌发酵液肥(原液稀释50倍、100倍、200倍),测定枣树生长生理及产量品质等相关指标。**【结果】**骏枣新发枣头枝基径在5月和7月YF100处理下较对照(喷清水)显著提高;二次枝基径在5月和8月YF100处理和7月YF50处理下均较对照有所增加;叶片厚度在5、7和8月YF100处理下分别较对照显著增加了7.05%、13.27%和9.19%;叶面积在7月、8月YF50和YF100处理下较对照显著增加;叶片净光合速率(P_n)均较对照有所提升,YF50和YF200处理较对照显著提高,但发酵液处理之间差异不显著;蒸腾速率(T_r)在3个处理下均显著提高,而胞间CO_2浓度(C_i)在YF50、YF100处理下显著降低,气孔导度(G_s)无显著差异;叶片绿色度(SPAD)在6、7月YF50和YF100处理下均较对照有所提升;叶片相对含水量(LRWC)在YF100处理下较对照显著提高;SOD和PPO活性在YF50和YF100处理下均较对照显著提升,PAL活性在各处理下均较对照有所提高;各处理下优果质量、每公顷产量和优果率均较对照有所提高,非商品果质量有所降低,尤其在YF50和YF100处理下差异显著;此外,总糖含量在3个处理下均较对照有所提升,糖酸比和可滴定酸含量在YF50处理下较对照也有所差异,但各处理之间差异不显著。**【结论】**放线菌发酵液肥可促进枣树生长,改善生理功能,并提高果实的产量和品质。其中,以放线菌发酵原液稀释100倍的效果最佳。建议可在南疆沙区骏枣园实际生产中,单独或者结合保花保果及病虫害防治喷施3~5次。

关键词:骏枣;放线菌;发酵液;叶面肥;生长;生理;产量;品质

中图分类号:S665.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)01-0110-12

Effects of actinomycetes fermentation liquid fertilizer on growth, physiology, yield and quality of *Ziziphus jujuba* 'Junzao'

ZHANG Ying, LI Wenqian, JIN Yong'an, HAN Gang*

(College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract:【Objective】Xinjiang has become the most important high-quality jujube production area in China due to its unique climatic conditions, of which the jujube is particularly outstanding due to its excellent quality in the desert fringe areas such as Hotan. However, there are some problems in that area such as low organic matter content, poor water retention and imbalance of fertilizer micro-ecology in the soil directly caused by jujube trees, resulting in decline of fruit quality and yield. Actinomycetes fermentation liquid fertilizer can produce a variety of small molecules of organic matter and other metabolites, and even antibiotics and hormones, etc. through the decomposition of organic matter. This study aimed to investigate the effects of different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer on the growth and fruiting of *Ziziphus jujuba* 'Junzao'.【Methods】The experiment was carried out in Beijing Agricultural Park, Lopu County, Hotan Region, Xinjiang. The actinomycetes fermented liquid fertilizer at three concentrations (the original solution diluted 50 times, 100 times, 200 times) were sprayed on 4-year-old Junzao trees in the leaf spreading stage, the young fruiting stage, and the white

收稿日期:2025-04-30 **接受日期:**2025-06-25

基金项目:国家重点研发计划课题(2019YFD1001605);新疆红枣产业技术体系专项资金项目(XJCYTX-01);西北农林科技大学推广专项(TGZX2021-27、TGZX2022-19)

作者简介:张莹,女,硕士,主要从事枣树生理与栽培研究。E-mail:tclwysl@126.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:zxphg@nwsuaf.edu.cn

ripening stage, respectively, water was used as the control (CK). The sampling was carried out 3−5 d after each spraying to determine the basal diameter of the first branch, basal diameter of the second branch, leaf thickness, leaf area, P_n, G_s, T_r, C_i, SPAD, LRWC, SOD, PAL, PPO, weight of non-merchantable fruit, weight of superior fruit, yield of a single plant, weight of a single fruit of superior fruit, rate of superior fruit, total sugar, titratable acid, and sugar-acid ratio of jujube. The data were analyzed using Excel 2019, and SPSS 27 was used to perform ANOVA, Pearson correlation analysis and principal component analysis (PCA). Origin 2025 was used for mapping.【Results】The basal diameter of the first branch of the new jujube significantly increased by 7.42% and 5.94%, respectively, in May and July under treatment with YF100, compared with that of the control; the basal diameter of the second branch was significantly increased by 8.21% and 7.16%, respectively, in May and August under treatment with YF100, compared with that of the control, and it significantly increased by 7.14% compared with that of the control under the treatment of YF50 in July, while the differences between the other treatments and the control were not significant. The thickness of the leaf blade significantly increased by 7.05%, 13.27% and 9.19% under YF100 treatment in May, July and August, respectively, compared with that of the control, and leaf area significantly increased in July and August under YF50 and YF100 treatments compared with that of the control. The net photosynthetic rate (P_n) of the leaves increased significantly by 5.38% and 6.50% under the treatments of YF50 and YF200, compared with that of the CK, respectively. The transpiration rate (T_r) significantly increased by 5.51%, 4.09% and 6.92% under the three treatments respectively, whereas the interstitial CO_2 concentration (C_i) was significantly lower under the treatments of YF50 and YF100.There was no significant difference in stomatal conductance (G_s) under the three treatments. The leaf greenness (SPAD) increased under YF50 and YF100 treatments compared with the control in June and July. The leaf relative water content (LRWC) also significantly increased by 12.71% under the YF100 treatment compared with the control; at the same time, SOD and PPO significantly increased under the YF50 and YF100 treatments compared with that of the control and PAL increased under all treatments compared with that of the control, with a significant increase under YF200 treatment. The weight of superior fruit, yield per hectare and superior fruit rate increased under each treatment compared with those of the control, and the weight of non-commercial fruit was reduced, especially the differences were significant under the YF50 and YF100 treatments. Moreover, the total sugar increased under the three treatments compared with that of the control, and the sugar-acid ratio and titratable acid also increased compared with those of the control, but the differences were not significant among treatments, the difference was only significant under the YF50 treatment compared with the control.【Conclusion】The actinomyces fermentation liquid fertilizer can promote the growth and physiological function of jujube tree, and improve the yield and quality of jujube fruit. 100 times dilution of the original solution seems to be mostly beneficial. 3−5 times of stand-alone spraying or combined spraying with pest control or flower and fruit management would be suggested in jujube plantations in the sandy area of Southern part of Xinjiang.

Key words: Junzao jujube; Actinomyces; Fermentation broth; Foliar fertilizer; Growth; Physiology; Yield; Quality

骏枣是新疆重要的栽培果树之一，在和田等沙漠边缘地带表现出优异的品质[1]。然而在阿克苏、喀什等地，骏枣易出现裂果[2]和黑头病[3]。南疆土壤的有机质含量低、保水保肥能力差、长期高密度种植和化肥滥用[4-5]，导致土壤板结、肥力衰退、微生态失衡[6-7]，引起枣树果实品质和产量的下降，严重制约了南疆骏枣产业的可持续发展。施用有机肥可以提高土壤有机质，改善土壤条件，但由于施用不便和投入

过高，导致枣农很少施用。放线菌剂作为一种绿色纯天然的新型肥料，因南疆土壤有机质匮乏，直接施用的效果也有限[8-9]。然而，放线菌发酵液肥是通过人为创造发酵条件，使放线菌分解有机质，产生各种小分子有机质等代谢产物，甚至抗生素、激素等，可直接用于叶面喷施，促使植物直接吸收，在树体生长关键时期迅速补充养分，可以减轻或避免植物缺素[10-11]。

关于放线菌发酵液肥在农林上的应用主要集中在果蔬和粮食作物方面[12-13]。例如，盆栽和穴施放线菌发酵滤液可显著提高甜瓜种子的发芽率、胚轴和胚根长度[14]。皿内试验证实，放线菌JXJ-0136在特定剂量范围内可促进白菜和豇豆生长[15]。利用放线菌发酵液在丹参[16]和茄苗[17]上进行蘸根和浇灌处理也表现出不同作用效果。叶表喷施OsiLf-2内生放线菌悬浮液能显著提高水稻的株高、干质量和鲜质量[18]。张东旭等[9]对小麦的研究也发现，在拔节期和灌浆期叶面喷施的效果最佳。不同的施用方式对作物表现出不同程度的作用。相较于其他途径，叶面喷施能够使作物直接吸收，避免土壤的抑制，从而充分发挥其促生、抗逆等功效。然而，目前关于放线菌发酵液肥在枣树上的应用鲜见报道。

因此，本研究通过叶面喷施不同浓度放线菌发酵液肥，初步探讨其对新疆和田地区骏枣生长状况、生理特性、产量以及果实品质的影响，以明确放线菌发酵液肥的作用效果及最佳施用浓度，旨在为枣树栽培中的配套技术应用提供理论依据，为南疆红枣产业的可持续发展提供支持。

1　材料和方法

1.1　试验地概况

试验骏枣园位于新疆和田地区洛浦县北京农业园区，该地属暖温带极端干旱的荒漠气候，年平均气温9.9 ℃，极端最低气温-24.6 ℃，极端最高气温40.1 ℃，年均降水量35.2 mm，年蒸发量2 226.2 mm，年日照时数2 653.7 h，无霜期217 d。园地土壤为砂土，基本理化性状为：pH 8.73，有机质含量（w，后同）2.27 g·kg^{-1}，无机氮含量24.52 mg·kg^{-1}，有效磷含量28.88 mg·kg^{-1}，速效钾含量170.44 mg·kg^{-1}。

1.2　试验材料

供试枣树为以酸枣为砧木嫁接4年生的骏枣树（株行距为1.0 m×2.0 m）。供试叶面喷施的放线菌发酵原液由陕西博秦生物工程有限公司提供，成分为密旋链霉菌（*Streptomyces pactum* Act12）及娄彻氏链霉菌（*Streptomycete rochei* D74）活性孢子，活菌数≥20亿个•g^{-1}；利用放线菌液态发酵产物及后续特定工艺制备，内含促生、抗菌活性物质及氨基酸、细胞壁多糖水解产物、核苷酸等多种成分（其属于营养液）。pH值为7.16，有机碳含量为16.2 g·kg^{-1}，全氮含量为0.27 g·kg^{-1}。

1.3　试验设计

根据放线菌发酵原液产品的施用基本浓度，设置高、中、低3个浓度值，分别为放线菌发酵原液稀释50倍液（YF50）、100倍液（YF100）、200倍液（YF200）3种不同浓度的放线菌发酵液肥处理，以清水作为对照（CK）。选择树体大小与结构基本一致的枣树，采用随机区组设计，设5个小区，每小区内各处理均为6株枣树，共计120株。分别于枣树展叶期、幼果期与白熟期对叶面喷施3次，均匀喷施叶片上下面直至叶片滴水为止[19]，每次喷施3~5 d后进行采样测定。整个试验期间各处理其他的田间管理保持一致。

1.4　指标测定

1.4.1　生长指标测定　每处理随机选择长势均匀的5株树，用数字游标卡尺（标康SL01-22）测量每株枣树主干顶部5个新发枣头枝（新主干）及其3个二次枝（新发枣头枝着生的侧枝）的基径；每株选择9片阳面中上部完全受光的健康叶片，用数字游标卡尺测量厚度（避开主脉测叶缘），用通用标准卷尺测叶长（叶片基部至叶尖的距离）和叶宽（叶片上部肩宽），并参照陈宗礼等[20]建立的枣叶面积方程计算叶面积。以上均以每株平均值作为1次重复（n=5）。

1.4.2　生理指标测定　叶片绿色度（SPAD）使用便携式叶绿素仪（SPAD-502Plus，日本）测定，叶片选择与叶片长宽测定时的方法一致（n=5）。

于第3次叶片生长指标测定时同步进行光合参数测定，使用Li-6400便携式光合仪（Licor Inc. Lincoln，USA），选晴天10:00—13:00进行测定，每株选择5枚阳面中上部完全受光健康的叶片，每个叶片测定读数3次重复，单株平均值作为1次重复（n=5）。测定的光合参数为：净光合速率（P_n）、气孔导度（G_s）、蒸腾速率（T_r）与胞间CO_2浓度（C_i）。

叶片相对含水量（LRWC）和叶片相关酶活性测定与光合参数测定同步进行，叶片选择亦同。采样

后一部分叶样采用饱和吸水法进行叶片相对含水量测定[21]，计算公式如(1)。剩余用液氮速冻带回实验室研磨，于-80 ℃超低温冰箱保存，并参照高俊凤[22]的方法测定叶片超氧化物歧化酶（SOD）和苯丙氨酸解氨酶（PAL）活性，参照曹建康等[23]的方法测定叶片多酚氧化酶（PPO）活性。

$$LRWC/\% =(Wf-Wd)/(Wt-Wd)\times 100 \qquad (1)$$

式中，Wf为鲜质量(g)，Wt为饱和质量(g)，Wd为干质量(g)。

1.4.3　*产量及品质指标测定*　于果实采收期(10月底)进行果实产量统计。每个处理选取长势较为一致的10株树，将单株果实全部采回，准确称量单株产量后，根据株行距折算成每公顷产量(n=10)；并依据GB/T 5835—2009《干制红枣》标准挑出浆烂、破头、病果及虫果等非商品果，称量非商品果质量(g)、优果质量(g)、优果单果质量(g)，计算优果率(%)等(n=10)。

枣果产量调查结束后，放置室内晾晒，待含水量降至23%~25%后，每处理以两株果实（每株随机选取5个优果）为1个混合样，共5个混合样(n=5)。将样品去核，剪碎，利用液氮对其进行处理后用研磨机粉碎成细粉，于-80 ℃冰箱中保存，用于总糖和可滴定酸含量测定。总糖含量采用蒽酮比色法[22]测定，可滴定酸含量采用酸碱滴定法[23]测定，并计算糖酸比。

1.5　数据处理与分析

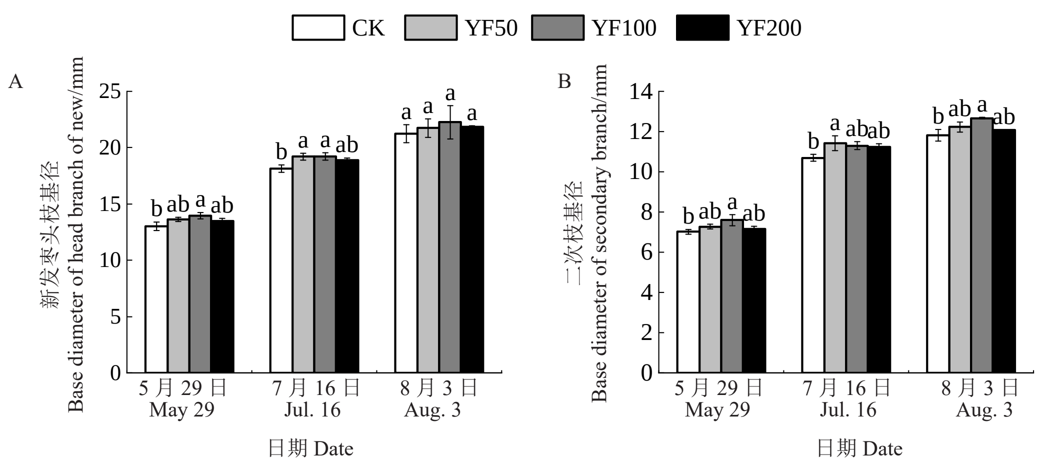
使用Excel 2019对测定数据进行整理，应用SPSS.27进行ANOVA单因素方差分析（差异显著水平$P<0.05$）和主成分分析（PCA），使用Origin 2025绘图。

2　结果与分析

2.1　不同浓度放线菌发酵液肥对枣树生长的影响

2.1.1　*新发枣头枝基径及其二次枝基径*　由图1所示，不同浓度放线菌发酵液肥的新发枣头枝基径在5月和7月YF100处理下显著提高，二次枝基径在5月和8月YF100处理下和7月YF50处理下显著提高。与CK相比，新发枣头枝基径仅在5月YF100处理下显著增加7.42%，YF50和YF200处理与CK差异不显著；在7月YF50和YF100处理分别较CK显著提高5.83%和5.94%；8月的3个处理与CK相比差异均不显著（图1-A）。在5、8月，YF100处理二次枝基径分别较CK显著提高8.21%和7.16%，YF50和YF200二次枝基径与CK差异均不显著；在7月，YF50处理较CK显著提高7.14%，其他处理与CK的差异均不显著（图1-B）。

2.1.2　*叶片厚度和叶面积*　由图2所示，不同浓度放线菌发酵液肥处理下骏枣的叶片厚度和叶面积也有显著提高。在5月YF100、YF200处理下，叶片厚度较CK分别显著增加了7.05%和4.02%；在7月YF100处理的叶片厚度较CK显著增加13.27%，其他处理与CK差异不显著；在8月YF50和YF100处理下，叶片厚度分别较CK显著增加了5.14%和



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Different small letters among treatments indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.

图1　不同浓度放线菌发酵液肥处理下新发枣头枝的基径及其二次枝基径的变化

Fig. 1　Changes of base diameter of head branch of new jujube and base diameter of secondary branch under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

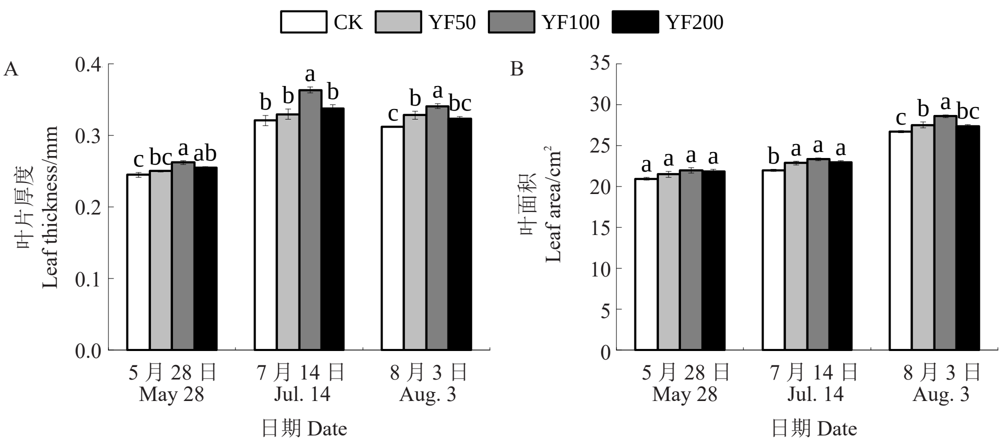


图 2 不同浓度放线菌发酵液肥处理下叶片厚度和叶面积的变化

Fig. 2 Changes of leaf thickness and leaf area under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

9.19%(图2-A)。在5月的各处理下，叶面积与对照相比差异均不显著；在7月的不同浓度处理下，叶面积较CK显著增加了4.03%~6.21%；在8月YF50和YF100处理下，叶面积较CK分别显著提高了3.01%和7.05%(图2-B)。

2.2 不同浓度放线菌发酵液肥对叶片生理的影响

2.2.1 不同浓度放线菌发酵液肥对叶片光合特性的影响 如图3所示，施用不同浓度放线菌发酵液肥显著提高了骏枣的净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)，显著降低了胞间CO_2浓度(C_i)。在YF50和YF200处理下，P_n分别较CK显著提高了5.38%和6.50%；YF50、YF100和YF200处理下的T_r均显著高于CK，分别增加了5.51%、4.09%和6.92%；与CK相比，气孔导度(G_s)均无显著差异；在YF50和YF100处理下，C_i较CK相比显著降低了10.41%和10.12%，而在YF200处理下差异不显著。

2.2.2 不同浓度放线菌发酵液肥对叶片相对叶绿素含量和相对含水量的影响 如图4所示，在6月YF50、YF100处理下，叶片绿色度较CK显著增加9.83%和7.84%，在YF200处理下差异不显著；在7月的3个处理下较CK均显著提升，分别增加了4.87%、4.02%和2.84%；8月仅在YF200处理下，叶片

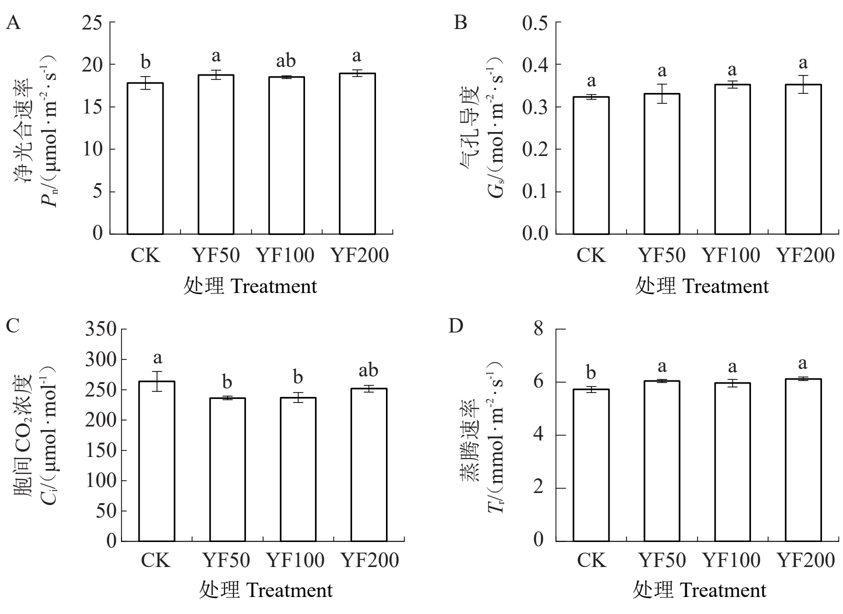


图 3 不同浓度放线菌发酵液肥处理下叶片净光合速率(A)、气孔导度(B)、胞间二氧化碳浓度(C)、蒸腾速率(D)的变化

Fig. 3 Changes of leaf P_n(A), G_s(B), C_i(C) and T_r(D) under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

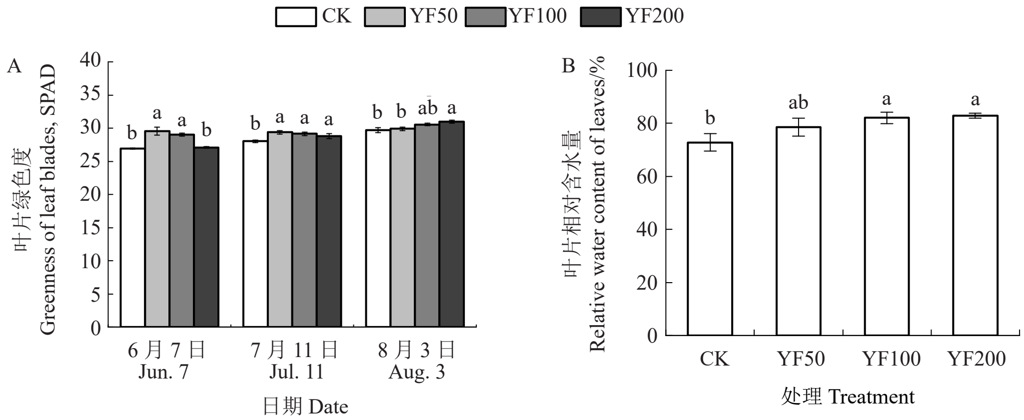


图4　不同浓度放线菌发酵液肥处理下叶片绿色度SPAD（A）和叶片相对含水量（B）的变化

Fig. 4　Changes of SPAD (A) and LRWC (B) under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

绿色度较CK显著提高4.37%（图4-A）。在YF100和YF200处理下叶片相对含水量分别较CK显著提高了12.71%和13.93%，在YF50处理下与CK差异不显著（图4-B）。

2.2.3　*不同浓度放线菌发酵液肥对叶片抗氧化酶活性的影响*　如图5所示，施用不同浓度放线菌发酵液肥后不同程度地提高了骏枣叶片的超氧化物歧化酶（SOD）、苯丙氨酸解氨酶（PAL）和多酚氧化酶（PPO）活性。与CK相比，在YF50和YF100处理下，叶片SOD和PPO活性分别显著提高120.44%、101.38%和68.06%、53.0%，在YF200处理下差异均不显著；在YF200处理下，叶片PAL活性显著提高25.96%，其他处理与CK差异不显著。

2.3　不同浓度放线菌发酵液肥对枣树产量构成指标的影响

由表1可知，喷施不同浓度放线菌发酵液肥有效促进了光合产物的积累与分配，从而在不同处理下显著提升了每公顷产量、优果质量和优果率。与CK相比，在YF50和YF100处理下，非商品果质量分别显著降低了47.41%和61.58%，优果质量分别显著提高了23.66%和22.41%，每公顷产量较对照分别增加了15.17%和12.39%，优果率分别显著提高了14.84%和17.81%；在YF200处理下，各指标差异均不显著。

2.4　不同浓度放线菌发酵液肥对枣果品质的影响

如图6所示，喷施放线菌发酵液肥在不同处理下能够显著提高枣果总糖含量和糖酸比，降低可滴定酸含量。在YF50、YF100和YF200处理下，总糖含量较CK分别显著增加了16.67%、7.51%和14.16%；在YF50处理下，可滴定酸含量相比CK显著降低18.60%，糖酸比显著提高了44.63%；其他处理下差异均不显著。

2.5　经济效益分析

各处理按喷施用水250 g•株$^{-1}$，株行距1.0 m×

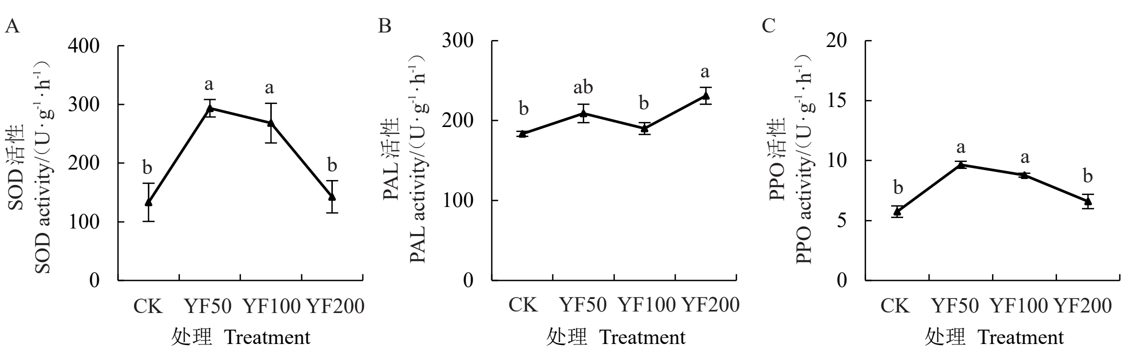


图5　不同浓度放线菌发酵液肥处理下超氧化物歧化酶（A）、苯丙氨酸解氨酶（B）和多酚氧化酶（C）活性的变化

Fig. 5　Changes of the activity of SOD (A), PAL (B) and PPO (C) activity under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

表1 不同浓度放线菌发酵液肥处理下枣树产量构成指标的变化

Table 1 Changes in compositional indicators of jujube yield under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

处理 Treatment	非商品果质量 Non-commercial fruit mass/g	优果质量 Excellent fruit mass/g	产量 Yield/(kg·hm^{-2})	优果单果质量 Single fruit mass of superior fruit/g	优果率 Efficient fruit rate/%
CK	135.33±5.49 a	999.67±34.35 b	5 675.00±35.13 b	9.16±0.96 a	77.49±2.48 b
YF50	71.17±3.02 b	1 236.17±7.02 a	6 535.85±6.86 a	11.50±0.62 a	88.99±0.12 a
YF100	52.00±0.58 c	1 223.67±10.73 a	6 378.35±10.81 a	11.53±0.61 a	91.29±0.76 a
YF200	131.83±3.94 a	1 036.17±8.37 b	5 840.00±8.69 b	10.40±1.28 a	78.91±0.58 b

注：此表中非商品枣包括病果、皮果、虫果，数据为平均值±标准误。同列不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

Note: Non-commercial fruits in this table include diseased fruits, peeled fruits and insect fruits. Different small letters in the same column indicate significant differences among treatments (P<0.05).

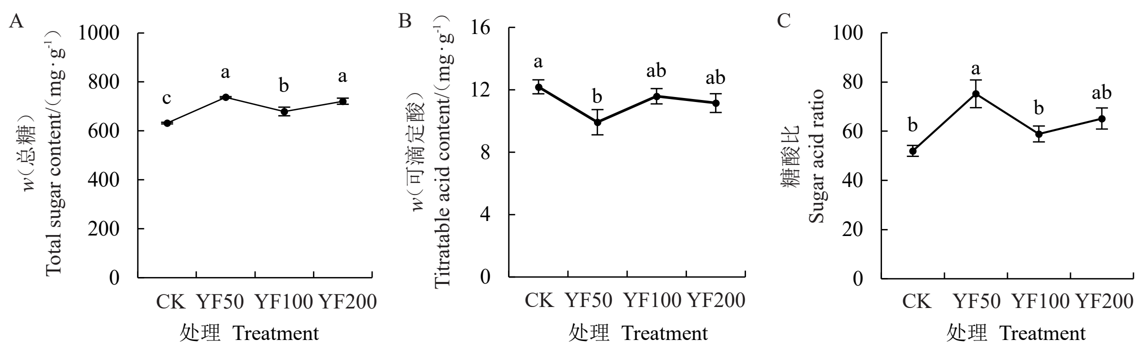


图6 不同浓度放线菌发酵液肥处理下总糖含量(A)、可滴定酸含量(B)和糖酸比(C)的变化

Fig. 6 Changes of total sugar content (A), titratable acid content (B) and sugar-acid ratio (C) under different concentrations of actinomycetes fermented liquid fertilizer treatments

2.0 m，计算出每666.7 m^2 333株枣树的用水量，并按照稀释倍数、喷施次数和每升40元液肥用量的价格计算出每666.7 m^{2}原液总用量及肥料成本。如表2所示。放线菌发酵液肥成本随稀释倍数增加呈递减趋势，YF50处理因每666.7 m^{2}原液用量最高为5.04 L，肥料成本达201.60元·666.7 m^{-2}；YF100处理原液用量降至2.52 L，成本减半为100.80元·666.7 m^{-2}；YF200处理原液用量仅1.26 L，成本最低为50.40元·666.7 m^{-2}，仅为YF50处理的25%。

表2 不同浓度处理肥料成本分析

Table 2 Cost analysis of fertilizers treated at different concentrations

处理 Treatment	每666.7 m^{2}单次原液量 Amount of single stock solution per acre/L	每666.7 m^{2}总用量 Total amount per acre/L	肥料成本/元 Fertilizer costs/(Yuan)
CK	–	–	–
YF50	1.68	5.04	201.60
YF100	0.84	2.52	100.80
YF200	0.42	1.26	50.40

各处理每666.7 m^{2}产量根据每公顷产量除以15计算。每666.7 m^{2}产值根据调研当地骏枣10元·kg^{-1}的统货价格计算，并得出各处理的每666.7 m^{2}净收益。如表3所示。喷施不同浓度处理后每666.7 m^{2}产量均高于对照。YF50处理每666.7 m^{2}产量最高，较CK提升15.17%；YF100处理次之，为12.40%；YF200处理最低仅为2.91%。结合当地骏枣10元·kg^{-1}的统货价计算，每666.7 m^{2}产值变化趋势与产量一致：

表3 不同浓度处理经济效益评估

Table 3 Evaluation of the economic benefits of treating different concentrations

处理 Treatment	每666.7 m^{2}产量 Yield per 666.7 m^2/kg	每666.7 m^{2}产值/元 Value per 666.7 m^2/Yuan	每666.7 m^{2}净收益/元 Net income per 666.7 m^2/Yuan
CK	378.33	3 026.64	3 026.64
YF50	435.72	3 485.76	3 284.16
YF100	425.22	3 401.76	3 300.96
YF200	389.33	3 114.64	3 064.64

YF50＞YF100＞YF200＞CK。净收益是反映经济效益的关键指标，其变化趋势与产量、产值显著不同：YF100处理净收益最高，较CK增加8.73%；YF50处理虽产值最高，但因成本较高，净收益反而低于YF100，仅较CK增加8.51%；YF200处理因产量增幅较小，净收益仅比CK高1.26%，经济优势不明显。综合成本与收益评估，YF100处理为最优经济方案。

2.6　主成分分析（PCA）

如表4所示，对骏枣21个指标的标准化数据进行主成分分析，得到前3个主成分特征值均大于1，且累计方差贡献率达到92.788%，代表了全部指标绝大部分的综合信息，因此选取前3个成分为各处理影响分析的主成分。可见，第一主成分与蒸腾速率、非商品果质量、可滴定酸含量呈高度负相关，而与其他指标均呈正相关，主要综合了新发枣头枝基径、气孔导度、叶片相对叶绿素含量、优果质量、优果率、总糖含量和糖酸比等的变异信息。第二主成分主要综合了二次枝基径、叶片厚度、叶面积、净光合速率（P_n）、胞间CO_2浓度（C_i）、苯丙氨酸解氨酶（PAL）活性和可滴定酸含量的变异信息；第三主成分主要反映了叶片相对含水量、超氧化物歧化酶（SOD）活性、多酚氧化酶（PPO）活性和优果单果质量的信息。

表4　主成分载荷矩阵、特征值及贡献率

Table 4　Principal component load matrix, eigenvalue and contribution rate

指标 Index	主成分 Principal component, PC 1	2	3	指标 Index	主成分 Principal component, PC 1	2	3
X1：新发枣头枝基径 X1：Base diameter of head branch of new jujube	0.960	−0.179	0.217	X13：多酚氧化酶（PPO）活性 X13：Polyphenol oxidase activity	0.851	−0.228	−0.473
X2：二次枝基径 X2：Basal diameter of secondary branches	0.817	−0.569	0.094	X14：非商品果质量 X14：Weight of non−commercial fruits	−0.962	0.139	−0.233
X3：叶片厚度 X3：Leaf thickness	0.853	−0.474	0.219	X15：优果质量 X15：Weight of superior fruits	0.920	0.296	−0.257
X4：叶面积 X4：Leaf area	0.869	−0.488	−0.083	X16：单株产量 X16：Yield of single plant	0.895	0.332	−0.299
X5：净光合速率（P_n） X5：Net photosynthetic rate	0.770	0.578	0.272	X17：优单单果质量 X17：Superior fruit weight per fruit	0.914	−0.250	0.319
X6：气孔导度（G_s） X6：Stomatal conductance	0.949	0.313	0.022	X18：优果率 X18：Efficient fruit rate	0.978	−0.109	−0.175
X7：蒸腾速率（T_r） X7：Transpiration rate	−0.838	0.487	0.248	X19：总糖含量 X19：Total sugar content	0.926	0.312	0.213
X8：胞间CO_2浓度（C_i） X8：Intercellular CO_2 concentration	0.719	0.638	0.275	X20：可滴定酸含量 X20：Titratable acid content	−0.886	−0.422	0.194
X9：叶片绿色度（SPAD） X9：Leaf greenness	0.969	−0.247	0.030	X21：糖酸比 X21：Sugar-acid ratio	0.905	0.418	−0.076
X10：叶片相对含水量（LRWC） X10：Relative water content of leaves	0.755	−0.386	0.530	特征值 Cigenvalue	16.072	3.413	1.515
X11：超氧化物歧化酶（SOD）活性 X11：Superoxide dismutase activity	0.812	−0.294	−0.504	贡献率 Contribution rate/%	76.535	16.253	7.212
X12：苯丙氨酸解氨酶（PAL）活性 X12：Phenylalanine ammonia-lyase activity	0.755	0.654	−0.050	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	76.535	92.788	100.000

为了进一步选择对骏枣有效的放线菌发酵液肥浓度处理，根据主成分分析结果计算不同浓度处理的综合评价得分（表5）。综合得分（Dn）越高表示该处理红枣生理、生长、产量和品质综合信息越好。由表5数据可知，在不同浓度放线菌发酵原液YF100处理得分最高，即以稀释100倍的放线菌发酵原液效果最佳。

3　讨　论

本研究发现喷施放线菌发酵液肥枣树的新发枣头枝基径在5月和7月YF100处理较对照显著提高；二次枝基径在5月、8月YF100处理及7月YF50处

表5 不同浓度放线菌发酵液肥处理下主成分得分及排序

Table 5 Principal component score and ranking under different concentrations of actinomycetes liquid fertilizer treatments

处理 Treatment	F1	F2	Dn	综合排名 Comprehensive Rankings
CK	−3.497	0.418	−2.607	4
YF50	1.696	0.696	1.008	2
YF100	3.370	1.316	2.793	1
YF200	0.962	0.603	0.834	3

理均较对照提高；叶片厚度5、7、8月YF100处理分别显著增加7.05%、13.27%、9.19%；叶面积则在7、8月YF50与YF100处理下显著增加，且在施用放线菌液发酵液后YF100和YF200处理下叶片相对含水量较CK显著增加，说明喷施放线菌发酵液肥能促进枣树枝条的增粗和叶片面积、厚度的增加，而叶片厚度的增加使叶片能够储存更多的水分，增强叶片的保水能力。叶片是植物进行光合作用和蒸腾作用的主要器官[24]，而叶绿素是植物吸收太阳光能进行光合作用的重要物质，它的含量高低可以直接反映出植物叶片的生理活性、营养状况[25]。本试验在施用不同浓度放线菌发酵液肥后，叶片绿色度(SPAD)在6、7月YF50和YF100处理下均较对照有所提升且叶片净光合速率(P_n)在YF50和YF200处理下较对照显著提高，蒸腾速率(T_r)在3个处理下均显著提高，胞间CO_2浓度(C_i)在YF50、YF100处理下显著降低。叶玉等[26]研究表明，活性微生物菌剂稀释液可促进食用玫瑰的光合作用，明显提高叶片净光合速率和蒸腾速率，降低胞间CO_2浓度，与本研究结果较为一致。说明叶面喷施放线菌发酵液肥对提高枣树光合作用效率、促进光合物质积累具有重要作用。气孔导度是指植物通过气孔传导CO_2和水蒸气的能力，直接影响光合作用[27]。本研究中气孔导度虽然变化不明显，但气孔导度的微小变化仍与净光合速率、蒸腾速率紧密关联，凸显它们之间存在更为密切的内在联系。

植物通过光合作用形成的碳水化合物是果实产量和品质形成的主要物质基础[28]。本研究中，施用不同浓度放线菌发酵液肥后，优果质量、单株产量和优果率在YF50处理和YF100处理均有不同程度的提升，且与光合表现出密切联系。刘玉涛[29]研究发现娄彻氏链霉菌和密旋链霉菌的发酵液浸种均能对叶片光合作用及产量起到一定的促进作用。冯翠等[30]的结果表明，喷施生物菌剂宁盾后可提高植株的叶绿素含量、甜瓜的光合效率，促进作物产量与可溶性糖的提升。杨琳等[31]研究表明经菌株SW20发酵液处理的小区产量明显高于清水对照。与本研究的施用途径不同，但是作用机制可能是一致的，说明了叶片光合能力的增强是产量提高的直接原因。光合产物经过一系列的代谢转化，生成代谢产物，同化物从光合器官主要输出形式是可溶性糖，可溶性糖不仅是合成大分子的初始物质，同时也是作物主要的碳素营养物质之一[32]。赵娟[33]研究发现，生防放线菌A12和C13发酵液处理均能够不同程度地提高甜瓜植株叶片净光合速率，有利于甜瓜干物质累积，提高果实品质。本研究中，喷施不同浓度放线菌发酵液肥后，总糖含量在3个处理下均较对照有所提升，糖酸比和可滴定酸含量在YF50处理下较对照也有所差异，与上述研究结果较一致，说明了放线菌发酵液肥与叶片光合效率、果实品质的提升相关，通过光合作用可以增加碳源供应，提高总糖含量，从而更多地积累并储存代谢产物和营养物质，改善养分供应，从而实现增糖降酸和改善品质。

关于放线菌对植物防御酶系活性的影响，早在水稻上就已经得到了证实。施用769菌株发酵液可通过诱导防御酶系(CAT、POD、PAL)活性增强植物的抗病性[34]。李堆淑等[35]研究表明，放线菌MI2菌株发酵液能诱导黄芩防御酶系活性变化；谢玉琴等[36]研究发现娄彻氏链霉菌ZZ-9菌株发酵液处理过的小麦幼苗PPO和PAL活性显著增强。放线菌M527发酵液中抗真菌物质龟裂杀菌素能显著抑制尖孢镰刀菌孢子萌发，提高抗氧化酶活性，缓解膜脂过氧化，从而诱导植物产生系统抗性来抵御黄瓜枯萎病[37]。本研究发现，施用不同浓度放线菌发酵液肥后能够增强SOD、PAL和PPO等抗性相关酶的活性，与前人研究结果一致。说明放线菌发酵液肥可以通过增强抗性相关酶的活性，增强植株的抗病性和抗逆性，间接促进产量和品质的提高。

4 结 论

施用放线菌发酵液肥可不同程度地促进枣树地上部生长，增强枣树光合作用和促进营养物质的积累，提高枣树抗性，从而提升枣果产量与品质。其中

YF100处理的效果最为显著，即以原液稀释100倍效果最佳。建议在南疆沙区骏枣园单独或者结合保花保果及病虫害防治喷施3~5次。

参考文献 References：

[1] 刘运超，余国新，闫艳燕 . 新疆红枣产业发展现状与对策研究[J]. 北方园艺，2013(18)：165-169.
LIU Yunchao，YU Guoxin，YAN Yanyan. Study on the development status and countermeasure of Xinjiang jujube industry[J]. Northern Horticulture，2013(18)：165-169.

[2] 陈辉惶 . 阿克苏地区骏枣裂果机理及防治措施初步研究[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学，2013.
CHEN Huihuang. Primary study on mechanism of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit cracking and control techniques in Aksu region[D]. Urumqi：Xinjiang Agricultural University，2013.

[3] 王兰，冯宏祖，熊仁次，杨明禄，董红强 . 新疆红枣病虫害发生现状及对策[J]. 中国植保导刊，2014，34(6)：73-75.
WANG Lan，FENG Hongzu，XIONG Renci，YANG Minglu，DONG Hongqiang. Current status and countermeasures of jujube pests and diseases in Xinjiang[J]. China Plant Protection，2014，34(6)：73-75.

[4] 关法春，陈宏波，李忠和，祝延立，陈大勇，解娇，任清丹，郗登宝，王鑫 . 再论农家肥当代生产生态价值[J]. 农业与技术，2024，44(4)：82-85.
GUAN Fachun，CHEN Hongbo，LI Zhonghe，ZHU Yanli，CHEN Dayong，XIE Jiao，REN Qingdan，XI Dengbao，WANG Xin. Revisiting the ecological value of contemporary production of farmyard manure[J]. Agriculture and Technology，2024，44(4)：82-85.

[5] 李尝君，曾凡江，郭京衡，热甫开提，刘波 . 植被恢复程度与沙地土壤性质：以塔克拉玛干沙漠南缘为例[J]. 干旱区研究，2015，32(6)：1061-1067.
LI Changjun，ZENG Fanjiang，GUO Jingheng，RE Fukaiti，LIU Bo. Soil properties of different sandy lands under different vegetation recovering levels：A case in southern Taklimakan Desert[J]. Arid Zone Research，2015，32(6)：1061-1067.

[6] 吕文秀，韩刚 . 放线菌剂对枣树光合及产量品质的影响[J]. 北方园艺，2021(23)：38-44.
LÜ Wenxiu，HAN Gang. Effects of root-killing strains on physiology，yield and quality of jujube[J]. Northern Horticulture，2021(23)：38-44.

[7] 周小杰，吕廷波，邢猛，宋仁友，付鑫法 . 水肥耦合对南疆滴灌骏枣生长生理及产量的影响[J]. 华中农业大学学报，2023，42(5)：195-205.
ZHOU Xiaojie，LÜ Tingbo，XING Meng，SONG Renyou，FU Xinfa. Effects of water and fertilizer coupling on growth physiology and yield of Jun jujube under drip irrigation in Southern Xinjiang[J]. Journal of Huazhong Agricultural University，2023，42(5)：195-205.

[8] 张萍，赵建华，鞠召彬，罗洮峰，来航线，薛泉宏 . 放线菌肥对新疆加工番茄促生、防病增产及列当的防控效果[J]. 中国蔬菜，2019(2)：49-52.
ZHANG Ping，ZHAO Jianhua，JU Zhaobin，LUO Taofeng，LAI Hangxian，XUE Quanhong. Effect of actinomycete fertilizer on growth promotion，disease prevention，yield increase and broomrape control of processing tomato in Xinjiang[J]. China Vegetables，2019(2)：49-52.

[9] 张东旭，胡丹珠，闫金龙，冯丽云，邬志远，杨斌，李岩华，张俊灵 . 放线菌剂使用方法对晚播冬小麦生长及光合性状的影响[J]. 麦类作物学报，2023，43(11)：1457-1466.
ZHANG Dongxu，HU Danzhu，YAN Jinlong，FENG Liyun，WU Zhiyuan，YANG Bin，LI Yanhua，ZHANG Junling. Effects of different application methods of actinomycetes on growth and photosynthetic characteristics of late-sown winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops，2023，43(11)：1457-1466.

[10] 陈雯舒，曹远银，孙仲桂，程艳辉 . 放线菌C-2发酵产物对草莓和黄瓜白粉病的生防效果[J]. 江苏农业科学，2010，38(3)：137-138.
CHEN Wenshu，CAO Yuanyin，SUN Zhonggui，CHENG Yanhui. Biocontrol effect of fermentation products of actinomycete strain C-2 on powdery mildew of strawberry and cucumber[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2010，38(3)：137-138.

[11] 李增波，薛泉宏，梁军峰，石国亮，李文斌 . 一株生防放线菌AL-04的防病促生作用[J]. 农药，2009，48(1)：74-76.
LI Zengbo，XUE Quanhong，LIANG Junfeng，SHI Guoliang，LI Wenbin. An actinomycete on antidisease and growth-promoting effect[J]. Agrochemicals，2009，48(1)：74-76.

[12] DA CRUZ SILVA G，KITANO I T，DE FIGUEIREDO R I A，LACAVA P T. The potential use of actinomycetes as microbial inoculants and biopesticides in agriculture[J]. Frontiers in Soil Science，2022，2：833181.

[13] XU W W，LI H B，MA Q Q，MU S M，ZHAO Z J，GAO J X，ZHANG F B，XIE H. Exploring the mitigation effect of microbial inoculants on the continuous cropping obstacle of capsicum[J]. Scientia Horticulturae，2024，338：113507.

[14] 何斐，张忠良，崔鸣，薛泉宏，王东胜 . 放线菌‘D74’对魔芋的防病促生作用[J]. 园艺学报，2015，42(2)：367-376.
HE Fei，ZHANG Zhongliang，CUI Ming，XUE Quanhong，WANG Dongsheng. Disease prevention and growth promotion effects of actinomycete strain D74 on *Amorphophallus konjac*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2015，42(2)：367-376.

[15] 张炳火，李汉全，罗娟艳，杨建远，石红璆，孙凤珍 . 放线菌JXJ-0136对白菜和豇豆生长的影响及其解磷作用[J]. 中国农业科学，2016，49(16)：3152-3161.
ZHANG Binghuo，LI Hanquan，LUO Juanyan，YANG Jianyuan，SHI Hongqiu，SUN Fengzhen. Influences of actinomycete strain JXJ-0136 on the growth of *Brassica chinensis* and *Vigna unguiculata* and its phosphate solubilization[J]. Scientia Agricultura Si-

nica，2016，49(16)：3152-3161.

[16] 段佳丽，舒志明，孙群，魏良柱，傅亮亮，薛泉宏，于妍华 . 放线菌剂对丹参生长及有效成分的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2012，40(2)：195-200.
DUAN Jiali，SHU Zhiming，SUN Qun，WEI Liangzhu，FU Liangliang，XUE Quanhong，YU Yanhua. Effect of antimicrobial actinomycetes on growth and medicine quality of *Salvia miltiorrhiza* Bge[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)，2012，40(2)：195-200.

[17] 李威，肖熙鸥，李可，高晓敏，吕玲玲 . 娄彻氏链霉菌 XL-6 的抑菌活性及对茄子幼苗的防病促生效应[J]. 中国生物防治学报，2017，33(4)：531-536.
LI Wei，XIAO Xiou，LI Ke，GAO Xiaomin，LÜ Lingling. The antibiotic activity of fermentation broth produced from *Streptomyces rochei* XL-6 and its influence on bacterial wilt control and plant growth in eggplant seedling[J]. Chinese Journal of Biological Control，2017，33(4)：531-536.

[18] 高艳 . 水稻内生放线菌 OsiSh-2 和 OsiLf-2 的抗病促生特性及作用机制分析[D]. 长沙：湖南大学，2020.
GAO Yan. The disease-resistance and growth-promoting characteristics and reacting mechanisms of rice endophytic actinomycetes OsiSh-2 and OsiLf-2[D]. Changsha：Hunan University，2020.

[19] 司美茹，薛泉宏，陈占全，余博，蔡艳 . 青海高原土壤拮抗性放线菌的生态分布[J]. 应用与环境生物学报，2005，11(1)：104-111.
SI Meiru，XUE Quanhong，CHEN Zhanquan，YU Bo，CAI Yan. Ecological distribution of soil antimicrobial actinomycetes of the Qinghai plateau[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology，2005，11(1)：104-111.

[20] 陈宗礼，雷婷，齐向英，王晓涧，张向前，刘世鹏，薛皓 . 20 个品种枣树叶面积回归方程的建立[J]. 生物学杂志，2013，30(1)：86-90.
CHEN Zongli，LEI Ting，QI Xiangying，WANG Xiaojian，ZHANG Xiangqian，LIU Shipeng，XUE Hao. Established of regression equation of the leaves area on 20 species jujube trees[J]. Journal of Biology，2013，30(1)：86-90.

[21] 张以顺，黄霞，陈云凤 . 植物生理学实验教程[M]. 北京：高等教育出版社，2009.
ZHANG Yishun，HUANG Xia，CHEN Yunfeng. Experimental course of plant physiology[M]. Beijing：Higher Education Press，2009.

[22] 高俊凤 . 植物生理学实验指导[M]. 北京：高等教育出版社，2006.
GAO Junfeng. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing：Higher Education Press，2006.

[23] 曹建康，姜微波，赵玉梅 . 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京：中国轻工业出版社，2007.
CAO Jiankang，JIANG Weibo，ZHAO Yumei. Experimental guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing：China Light Industry Press，2007.

[24] 乔宝营，黄海帆，张信栓，马彩霞，李道德 . 草莓叶面积简易测定方法[J]. 果树学报，2004，21(6)：621-623.
QIAO Baoying，HUANG Haifan，ZHANG Xinshuan，MA Caixia，LI Daode. Simple methods for measuring the leaf area of strawberry[J]. Journal of Fruit Science，2004，21(6)：621-623.

[25] 许孜萍，韩子颖，袁亚静，彭福田 . 叶面喷施微生物菌肥对桃叶片生理指标及果实品质的影响[J]. 中国果树，2025(3)：28-36.
XU Ziping，HAN Ziying，YUAN Yajing，PENG Futian. Effects of leaf spraying microbial fertilizer on physiological indexes of peach leaves and fruit quality[J]. China Fruits，2025(3)：28-36.

[26] 叶玉，任建青，王艺 . 活性微生物菌剂对食用玫瑰产量及光合作用的影响[J]. 黑龙江农业科学，2016(10)：55-57.
YE Yu，REN Jianqing，WANG Yi. Effects of active microbial inoculants on the yield and photosynthesis of *Rosa rugosa*[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences，2016(10)：55-57.

[27] 梁森苗 . 西瓜、甜瓜高效栽培[M]. 杭州：浙江科学技术出版社，2000.
LIANG Senmiao. Efficient cultivation of watermelon and melon[M]. Hangzhou：Zhejiang Science & Technology Press，2000.

[28] 刘悦萍，郭金丽，张玉兰，张志友，张建宁 . 负载量与金红苹果树生长结果、叶片衰老的关系[J]. 内蒙古农业大学学报，2003，24(1)：39-45.
LIU Yueping，GUO Jinli，ZHANG Yulan，ZHANG Zhiyou，ZHANG Jianning. The relation between fruit load and growth and foliage senescence of Jinhong apple trees[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University，2003，24(1)：39-45.

[29] 刘玉涛 . 两株链霉菌对小麦玉米的促生增产作用及机理研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2017.
LIU Yutao. Study on the promoting and increasing yield effect and mechanism of two *Streptomyces* of strains on wheat and maize[D]. Yangling：Northwest A & F University，2017.

[30] 冯翠，田鹏飞，施菊琴，钱巍，刘慧颖，姚协丰 . 生物菌剂对甜瓜海蜜 8 号生长、光合特性和品质的影响[J]. 浙江农业科学，2022，63(5)：923-927.
FENG Cui，TIAN Pengfei，SHI Juqin，QIAN Wei，LIU Huiying，YAO Xiefeng. Effect of microbial agents on growth，photosynthetic characteristics and quality of melon variety Haimi 8[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences，2022，63(5)：923-927.

[31] 杨琳，闫向楠，王兰英，胡坚 . 一株放线菌 SW20 防病促生效应研究[J]. 江西农业大学学报，2023，45(1)：69-77.
YANG Lin，YAN Xiangnan，WANG Lanying，HU Jian. Effects of actinomycete SW20 on disease prevention and growth promotion[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis，2023，45(1)：69-77.

[32] 关成龙，张治安，窦佳琪，刘浩然，徐晨，陈宝玉，童淑媛，王洪君 . 有机物料还田对玉米根系伤流特性、氮素利用及产量的影响[J/OL]. 中国农业科技导报，2025：1-10. (2025-04-15).

https://link.cnki.net/doi/10.13304/j.nykjdb.2024.0597.
GUAN Chenglong，ZHANG Zhian，DOU Jiaqi，LIU Haoran，XU Chen，CHEN Baoyu，TONG Shuyuan，WANG Hongjun. Effects of returning organic materials to field on root flow characteristics，nitrogen utilization and yield of maize[J/OL]. Journal of Agricultural Science and Technology，2025：1-10. (2025-04-15). https://link.cnki.net/doi/10.13304/j.nykjdb.2024.0597.

[33] 赵娟 . 连作甜瓜蔓根真菌病害发生与放线菌生物防治研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2012.
ZHAO Juan. Occurrence of fungal diseases in tendril and root of continuous cropping melon plants and its management by biocontrol actinomycetes[D]. Yangling：Northwest A & F University，2012.

[34] 隋丽，徐文静，杜茜，陈光，董英山，李启云 . 放线菌 769 发酵液对水稻体内主要防御酶活性的影响[J]. 吉林农业大学学报，2009，31(4)：382-384.
SUI Li，XU Wenjing，DU Qian，CHEN Guang，DONG Yingshan，LI Qiyun. Effect of actinomycetes 769 fermentation products on main defense enzyme activity of rice[J]. Journal of Jilin Agricultural University，2009，31(4)：382-384.

[35] 李堆淑，冀玉良，刘燕 . 生防放线菌发酵液诱导黄芩对其防御酶系的影响[J]. 江西农业学报，2014，26(9)：52-56.
LI Duishu，JI Yuliang，LIU Yan. Effect of actinomycetes fermentation products on defense enzyme system of *Scutdlaria baicalensis*[J]. Acta Agriculturae Jiangxi，2014，26(9)：52-56.

[36] 谢玉琴，马丹丹，杨树，李培，徐秉良，薛应钰 . 娄彻氏链霉菌 ZZ-9 菌株发酵液对小麦幼苗的促生作用[J]. 西北农业学报，2019，28(8)：1335-1343.
XIE Yuqin，MA Dandan，YANG Shu，LI Pei，XU Bingliang，XUE Yingyu. Growth promotion effect of *Streptomyces rochei* strain ZZ-9 on wheat seedlings[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica，2019，28(8)：1335-1343.

[37] 杨倩，薛璐，郭慧，付瑞珂，张涛，申顺善，杜南山，朴凤植 . 植物根际促生菌防治黄瓜枯萎病的研究进展[J]. 中国瓜菜，2022，35(1)：1-8.
YANG Qian，XUE Lu，GUO Hui，FU Ruike，ZHANG Tao，SHEN Shunshan，DU Nanshan，PIAO Fengzhi. Research progress in the control of cucumber *Fusarium* wilt by plant growth-promoting rhinoacteria[J]. China Cucurbits and Vegetables，2022，35(1)：1-8.