

放线菌剂对南疆沙区枣树生长生理及产量果品的影响

张莹¹, 马沂彩¹, 邓文凯¹, 马娟芳¹, 吕文秀¹, 吐尔逊阿依·达吾提², 韩刚^{1*}

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 新疆林业学校, 新疆 乌鲁木齐 830026)

摘要: 为探究放线菌剂在南疆沙漠土壤条件下对枣树生长生理及产量果品的影响, 选择南疆洛浦县典型沙区枣园, 以嫁接4年生“七月鲜”枣树为研究对象, 设置15、30和45 g·株⁻¹ 3种不同用量放线菌剂处理, 0 g·株⁻¹ 作为对照, 测定了枣树生长、生理、产量及果实品质等相关指标。结果表明, 各放线菌剂处理下, 枣树新发枣头枝基径在8、9月均较对照有所增加, 尤其30 g·株⁻¹ 处理较显著, 而二次枝基径始终与对照无明显差异, 叶面积在30和45 g·株⁻¹ 处理下7、8月均较对照显著增加, 而叶片厚度仅30 g·株⁻¹ 处理在7月有明显增厚; 各放线菌剂处理下, 叶片叶绿素相对含量在8月, 净光合速率在7、8和9月均较对照显著提高, 而叶片相对含水量仅30 g·株⁻¹ 处理表现持续高于对照; 7月各放线菌剂处理下的叶片超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性均较对照显著上升, 而多酚氧化酶(PPO)活性除15 g·株⁻¹ 处理外也都显著上升, 至8月叶片PAL活性均趋于对照, SOD活性除15 g·株⁻¹ 处理外仍显著高于对照, 而PPO活性则全部显著提升; 各放线菌剂处理下枣树单株产量和优果重量均较对照有所提高, 其中15和30 g·株⁻¹ 处理下差异显著, 优果率均明显提高, 而病果率则均无明显差异; 各放线菌剂处理下, 鲜枣可溶性固形物含量在白熟、脆熟和完熟期均较对照有一定提高, 尤其30和45 g·株⁻¹ 处理一直表现显著增加, 而对于干枣, 总糖含量与糖酸比均较对照显著提高, 其中30 g·株⁻¹ 处理还显著降低了可滴定酸含量。综上, 放线菌剂可促进枣树生长, 增强枣树重要生理功能, 并提高产量和改善枣果品质。在南疆沙区枣园实际生产中, 可每株配施30 g放线菌剂, 需结合春季施农家肥为主的基肥施用。

关键词: 放线菌剂; 南疆沙区; 枣树; 生长生理; 产量; 果实品质

在新疆红枣产业快速发展中, 南疆塔里木盆地中围绕塔克拉玛干沙漠边缘区的大量沙荒地开垦和种植红枣(作为生态与经济兼用树种), 成就了“沙漠红枣”的美名^[1-2], 但该区土壤主要为风沙土, 土壤贫瘠、有机质含量低, 长期以来为追求枣树高产, 大量施用化肥, 造成土壤次生盐碱化、肥力下降, 尤其是土壤微生态环境恶化, 导致枣果品质不断下降, 产量也难以提高, 严重阻碍了南疆红枣产业的绿色优质可持续发展^[3-5]。在此背景下, 微生物肥料的合理应用能够为红枣的绿色生产带来有利契机, 对于红枣产业高质量发展及南疆土壤改良具有积极的推动作用。

微生物肥料是一种绿色纯天然的新型肥料, 能

通过微生物复杂的生命活动和代谢产物使植物获得营养物质, 放线菌剂就是其中的一大类, 不仅具备促生、抗病、提质等优异效果, 而且在保证产量的基础上, 能促进生态系统良性循环。放线菌以丰富的次级代谢产物而闻名, 能产生抗生素、酶及酶抑制剂等生物活性物质^[6], 对植物的生长起调控作用; 同时, 参与土壤有机质分解、腐殖质形成、土壤养分转化和循环等过程, 能增加土壤肥力, 促进有益菌繁殖, 使土壤微生物环境维持健康状态^[7-8]。目前关于放线菌在农林上的应用主要集中在果蔬和作物方面, 研究表明, 施用放线菌能减少化肥、农药用量, 达到改善土壤现状, 提高土壤质量的效果^[9-10], 并能充分提高西瓜^[11]、水稻^[12]等抗性, 促进冬小麦^[13]、黄瓜^[14]等生长, 改善草莓^[15]、甜瓜^[16]、番茄^[17]和辣椒^[18]等产量及品质, 在枣树上鲜有报道, 仅见吕文秀等^[19]初步研究了放线菌剂对枣树光合、产量及干枣品质的影响。本研究选择南疆塔克拉玛干沙漠南缘典型沙区枣园, 优化菌剂用量^[19], 并

收稿日期: 2023-08-15; 录用日期: 2024-04-03

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); 西北农林科技大学科技推广重点项目(XTG2019-35)。

作者简介: 张莹(1999-), 硕士研究生, 研究方向为经济林栽培。
E-mail: telwysl@126.com。

通讯作者: 韩刚, E-mail: zxphg@nwsuaf.edu.cn。

较为系统地探讨了放线菌剂对枣树生长状况、生理特性、产量以及鲜干枣品质的影响, 以期为放线菌在南疆枣树上的应用提供理论依据和技术指导。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2019年在新疆和田地区洛浦县北京农业园区进行, 该地属暖温带极端干旱的荒漠气候, 年平均气温7.8 ~ 12℃, 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2226.2 mm, 年日照时数2653.7 h, 无霜期217 d。

试验地土壤为砂土, 土壤基本理化性状为: pH 8.73, 有机质2.27 g·kg⁻¹, 铵态氮+硝态氮24.52 mg·kg⁻¹, 有效磷28.88 mg·kg⁻¹, 速效钾170.44 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

以嫁接4年生‘七月鲜’枣树为试材; 供试放线菌剂由西北农林科技大学研发, 陕西博秦生物工程有限公司生产, 成分为密旋链霉菌(Act12)及萎彻氏链霉菌(D74)活性孢子, 活菌数≥20亿个·g⁻¹。参考前期研究结果^[19], 试验设置15、30和45 g·株⁻¹ 3个不同用量放线菌剂处理, 0 g·株⁻¹作为对照。采用随机区组设计, 设5个小区, 每个小区内各处理均为6株枣树, 共计120株, 株行距1.0 m×2.0 m。

为了保证放线菌成功存活和扩繁, 按当地春季施腐熟羊粪, 作为基肥, 生产常规用量每公顷60 m³计, 将菌剂和羊粪充分混合均匀, 于枣树萌芽前期, 在距树干至去年树冠垂直投影的1/3 ~ 2/3处, 树行两侧挖深25 cm、长50 cm条沟, 分株一次性施入。整个试验期间保证树体大小与结构基本一致, 统一修剪。不同处理田间管理严格保持一致。

1.3 测定方法

1.3.1 新发枣头枝基径及其二次枝基径、叶片厚度和叶面积

分别于2019年7、8、9月的下旬, 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)测量枣树主干顶部新发枣头枝(新主干, n=5)及其3个二次枝(枣头枝着生的侧枝, n=15)基径; 每株选择9片阳面中上部完全受光的健康成

熟叶片测量其厚度(避开主脉测叶缘, n=45), 并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), 参照陈宗礼等^[20]建立的枣叶面积回归方程计算叶面积。

1.3.2 光合作用与叶绿素相对含量(SPAD值)

使用美国Li-6400便携式光合仪(Licor Inc., Lincoln, USA)于7、8、9月的下旬选晴天10:00—13:00测定光合作用, 每处理测定5株, 每株选择3片阳面中上部完全受光健康的成熟叶片(n=15), 测定光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)与细胞间隙CO₂浓度(Ci)。SPAD值使用叶绿素仪(SPAD 502便携式叶绿素仪, 日本)原位测定, 与光合测定同步进行。

1.3.3 叶片相对含水量(LRWC)与叶片酶活性

与光合测定同期进行, 叶片选择亦同(叶片酶活性仅测定了7、8月)。每个处理以3株叶样为一个混合样, 共5个混合样(n=5), 一部分叶样用于叶片含水量测定, 另一部分用冰盒迅速带回实验室, 用液氮速冻研磨, -80℃超低温冰箱保存, 用于测定叶片酶活性。

LRWC采用饱和吸水法^[21]测定; 超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性测定参照高俊凤^[22]的方法, 多酚氧化酶(PPO)活性测定参照曹建康等^[23]的方法。

1.3.4 枣果产量、优果重、优果率及病果率

果实产量统计于10月上旬果实采收期进行, 每处理随机选取10株树, 将单株果实全部采回, 并依据《干制红枣》(GB/T 5835—2009)标准挑出病果, 统计单株果实、优果及病果个数和重量, 并计算优果和病果率[优果(病果)个数/单株果数×100%]。

1.3.5 鲜枣可溶性固形物与干枣总糖、可滴定酸

鲜枣可溶性固形物用数显糖度计(atago PAL-1, 日本), 分别于枣果白熟期、脆熟期和完熟期, 每处理测5株, 每株树随机选择3个成熟度一致的果实(n=15)进行测定。

枣果产量调查结束后, 每处理以2株果实(每株随机选取5个优果)为一个混合样, 共5个混合样(n=5)。将样品去核后用液氮研磨置于-40℃冰箱保存, 用于总糖和可滴定酸测定。参照高俊凤^[22]的方法, 总糖采用蒽酮比色法测定; 可滴定酸采用酸碱滴定法测定; 并计算糖酸比(总糖/可滴

定酸)。

1.4 数据处理与分析

数据使用Excel 2010进行整理;不同处理之间的生长、生理、产量及品质数据分析应用SPSS 26.0进行单因素ANOVA分析,多重比较采用DUNCAN法检验($P<0.05$)。Origin 2017作图。

2 结果与分析

2.1 新发枣头枝基径及其二次枝基径

不同用量放线菌剂处理下,枣树新发枣头枝基径在8和9月均较对照有所增加,尤其 $30\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理较显著,分别增加了6.2%和9.0%(图1A);而二次枝基径始终与对照无明显差异(图1B)。

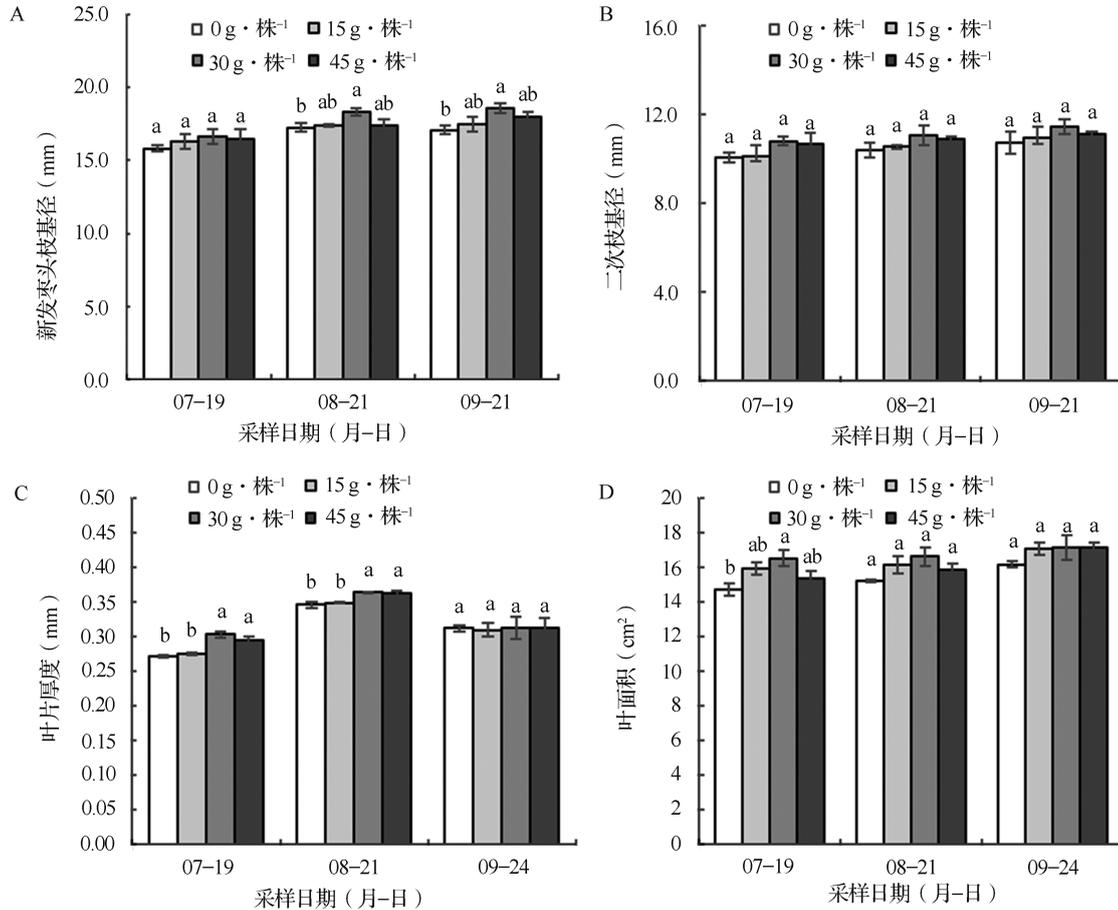


图1 不同用量放线菌剂处理下新发枣头枝基径及其二次枝基径、叶片厚度、叶面积变化

注:小写字母不同表示相同日期不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 叶片厚度与叶面积

由图1C可知,与对照相比, $15\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理对叶片厚度在各个时期均无显著影响,而30和 $45\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理叶片厚度在7月分别显著增加11.7%和8.3%,8月仍达5.1%和4.6%,至9月则均无显著差异;叶面积仅 $30\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理下在7月较对照有显著差异,增加了12.3%(图1D)。

2.3 叶片光合特性

不同用量放线菌剂处理下, P_n 在各个时期均较对照显著提高(图2A),最低增幅10.5%,最

高可达87.8%; G_s 在 $15\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理下在各个时期均与对照无明显差异,而30和 $45\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理在7与8月均较对照显著提高27.4%~103.0%,9月则显著降低并保持在对照水平(图2B); T_r 在 $15\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理下始终与对照无显著差异,30和 $45\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理在7月亦无显著差异,但8月分别显著提高了44.5%和33.4%;至9月明显降低并与对照持平(图2C);不同用量放线菌剂处理下, C_i 除 $15\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 处理在9月降低不显著以外,均表现为较对照显著降低,达4.5%~45.0%(图2D)。

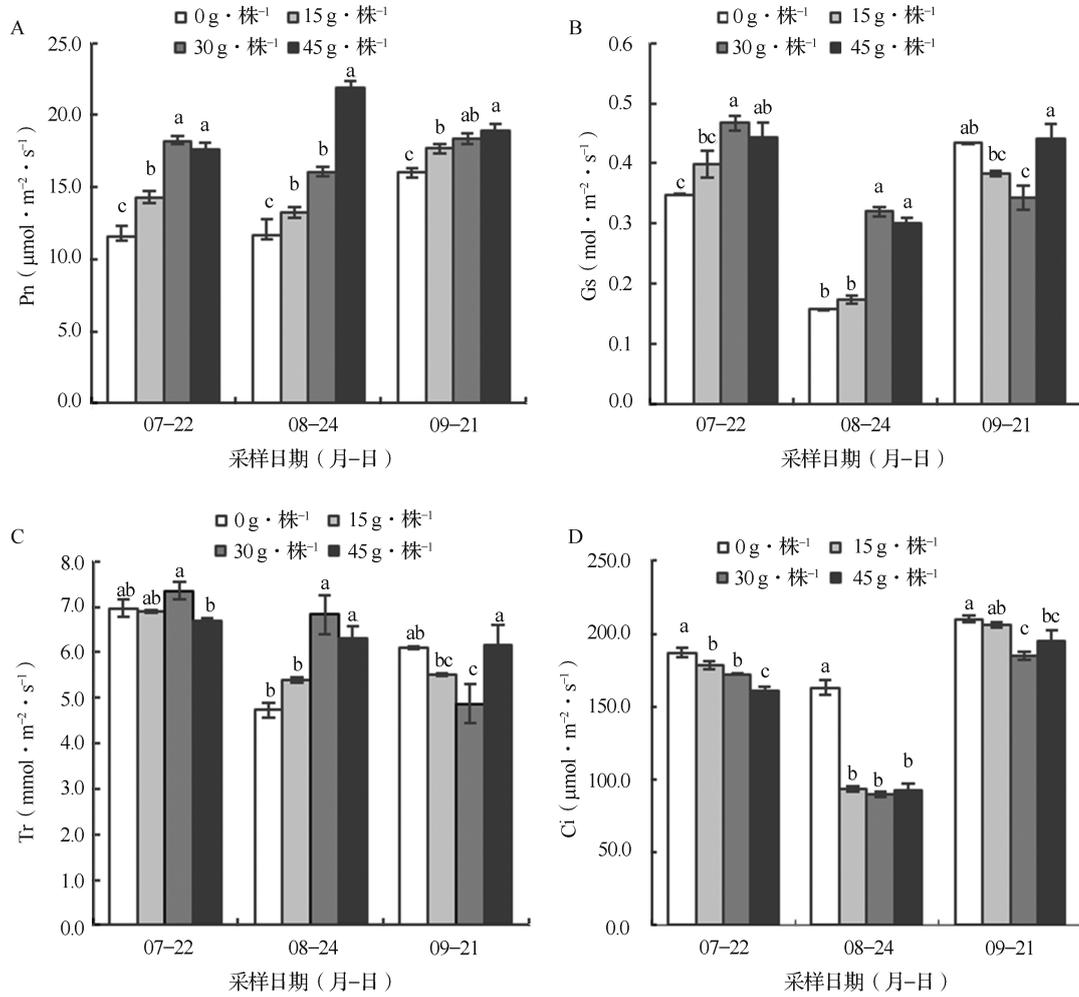


图2 不同用量放线菌剂处理下叶片 Pn、Gs、Tr 和 Ci 变化

注: Pn 为光合速率, Gs 为气孔导度, Tr 为蒸腾速率, Ci 为细胞间隙 CO₂ 浓度。

2.4 叶片 SPAD 值与 LRWC

叶片 SPAD 值在 8 月时 15、30 和 45 g·株⁻¹ 处理下分别较对照显著提高 3.1%、10.1% 和 4.4%，7 和 9 月均略有提高但不显著（图 3A）；LRWC 在

30 g·株⁻¹ 处理下 7、8 和 9 月分别较对照显著增加 2.5%、2.8% 和 4.8%，45 g·株⁻¹ 处理仅在 8 月增加较明显，而 15 g·株⁻¹ 处理则始终有增加但不明显（图 3B）。

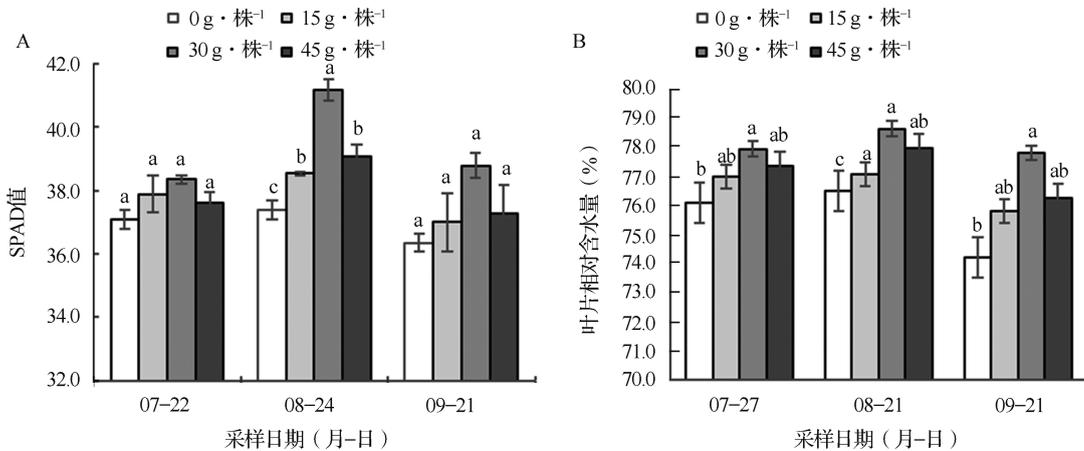


图3 不同用量放线菌剂处理下叶片 SPAD 值和叶片相对含水量变化

2.5 叶片 SOD、PAL、PPO 活性

叶片 SOD 活性在 7 月时 15、30 和 45 g · 株⁻¹ 处理分别较对照显著提高 4.9%、7.6% 和 6.3%，至 8 月时 15 g · 株⁻¹ 处理下与对照差异不显著，而 30 和 45 g · 株⁻¹ 处理分别较对照显著提高了 22.2% 和 16.1% (图 4A)；叶片 PAL 活性在 7 月时 15、

30 和 45 g · 株⁻¹ 处理分别较对照显著提高 11.2%、12.3% 和 11.5%，8 月则普遍降至对照水平 (图 4B)；叶片 PPO 活性在 7 月时除了 15 g · 株⁻¹ 处理与对照无明显差异，30 和 45 g · 株⁻¹ 处理较对照显著提高 41.6% 和 45.2%，8 月则普遍显著提高约 23.2% (图 4C)。

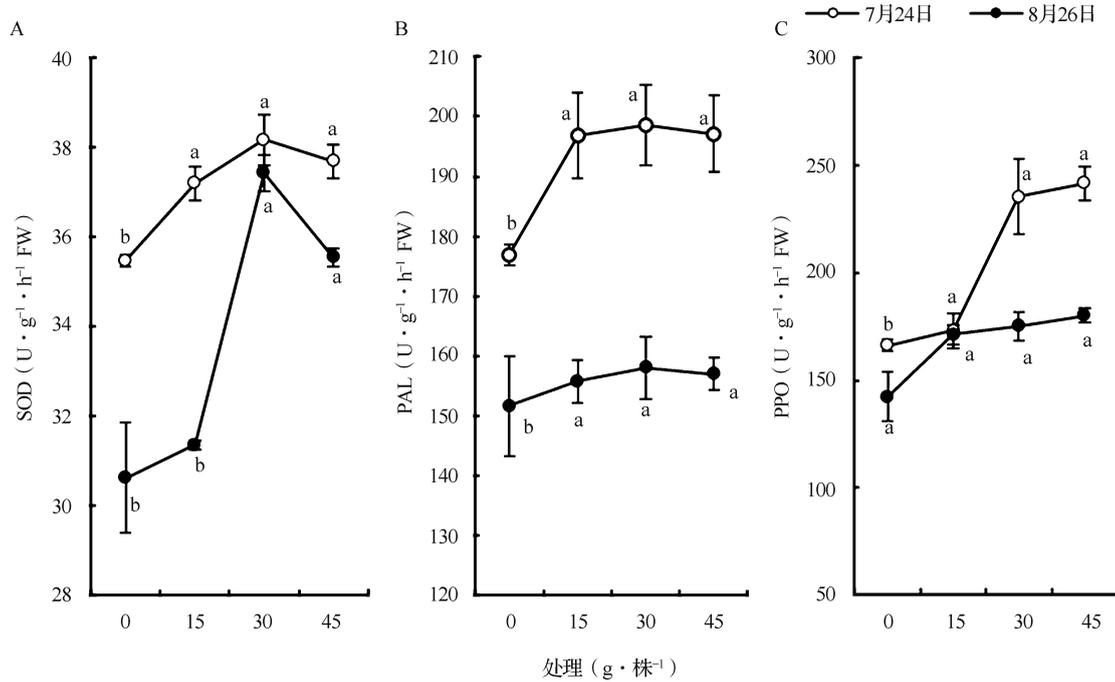


图 4 不同用量放线菌剂处理下叶片 SOD、PAL 和 PPO 活性变化

注: SOD 为超氧化物歧化酶, PAL 为苯丙氨酸解氨酶, PPO 为多酚氧化酶。

2.6 枣果产量、优果重、优果率及病果率

如表 1 所示, 15 和 30 g · 株⁻¹ 处理下的枣果单株产量、优果重和优果率分别较对照显著提高了 11.46%、12.08%、8.66% 和 10.45%、11.46%、

9.15%, 病果率则无显著差异; 而 45 g · 株⁻¹ 处理下仅优果率较对照显著提高了 11.7%, 单株产量、优果重及病果率均无显著差异; 此外, 上述各指标在不同用量放线菌剂处理之间均显示差异不显著。

表 1 不同用量放线菌剂处理下枣果单株产量、优果重、优果率及病果率

放线菌剂处理用量 (g · 株 ⁻¹)	单株产量 (g)	优果重 (g)	优果率 (%)	病果率 (%)
0	753.00 ± 3.06b	727.00 ± 11.00b	87.61 ± 1.92b	4.77 ± 3.04a
15	839.33 ± 20.00a	814.83 ± 12.13a	95.20 ± 1.12a	2.47 ± 0.74a
30	831.67 ± 17.75a	810.33 ± 15.84a	95.63 ± 1.07a	0.37 ± 0.36a
45	785.00 ± 22.37ab	761.67 ± 30.80ab	97.84 ± 0.94a	0.13 ± 0.10a

注: 数据为平均值 ± 标准差。同列不同小写字母表示处理间差异显著 (P < 0.05)。

2.7 果实品质

2.7.1 鲜枣可溶性固形物含量

如图 5 所示, 随枣果经历白熟、脆熟和完熟 3 个时期, 鲜枣可溶性固形物含量呈明显的递增趋势。施用放线菌剂的 3 个处理在各时

期, 鲜枣可溶性固形物含量均较对照有一定的提高, 其中 30 和 45 g · 株⁻¹ 处理均与对照达显著水平, 增幅在 13.8% ~ 30.5%, 而 15 g · 株⁻¹ 处理则仅在脆熟期与对照有显著差异, 提高了 17.6%。

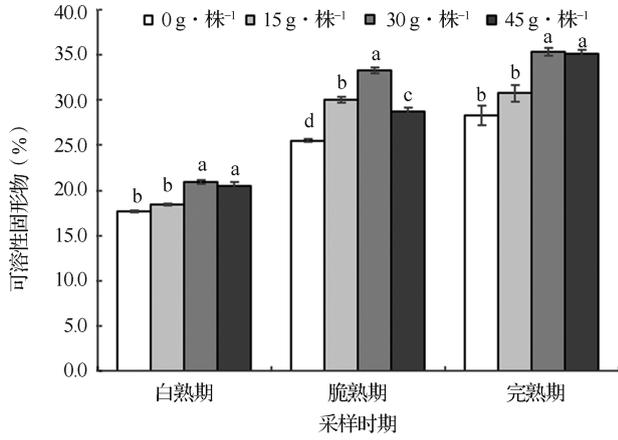


图5 不同用量放线菌剂处理下鲜枣可溶性固形物含量变化

2.7.2 干枣总糖、可滴定酸及糖酸比

干枣总糖含量 (图 6A) 与糖酸比 (图 6C) 在 15、30 和 45 g·株⁻¹ 处理下分别较对照显著提高了 3.2%、15.5%、12.4% 和 15.9%、31.6%、17.8%;

而可滴定酸含量 (图 6B) 均较对照有所下降, 但仅在 30 g·株⁻¹ 处理下较明显, 降低了 19.0%。

2.8 部分典型指标间的相关性分析

按照生理、生长、产量及品质 4 类指标区分, 从各类中考虑变异系数大的指标, 并依据重要性和代表性, 选择部分典型指标 (9 项) 进行了相关性分析。从表 2 可知, 选取的 SPAD、LRWC、SOD、Pn、叶片厚度、优果率及总糖等 7 项指标之间均呈显著正相关, 说明这些指标代表的生长、生理过程的增强与枣果品质的提升都有着密切的关系; 可滴定酸与其他指标均呈负相关, 尤其与 SPAD、LRWC 呈极显著相关, 可见, 受叶片生理特性的影响相对较大; 值得注意的是, 各指标与单株产量之间均无明显相关性, 反映出对产量的影响应该是更加复杂的综合因素及其调控过程。

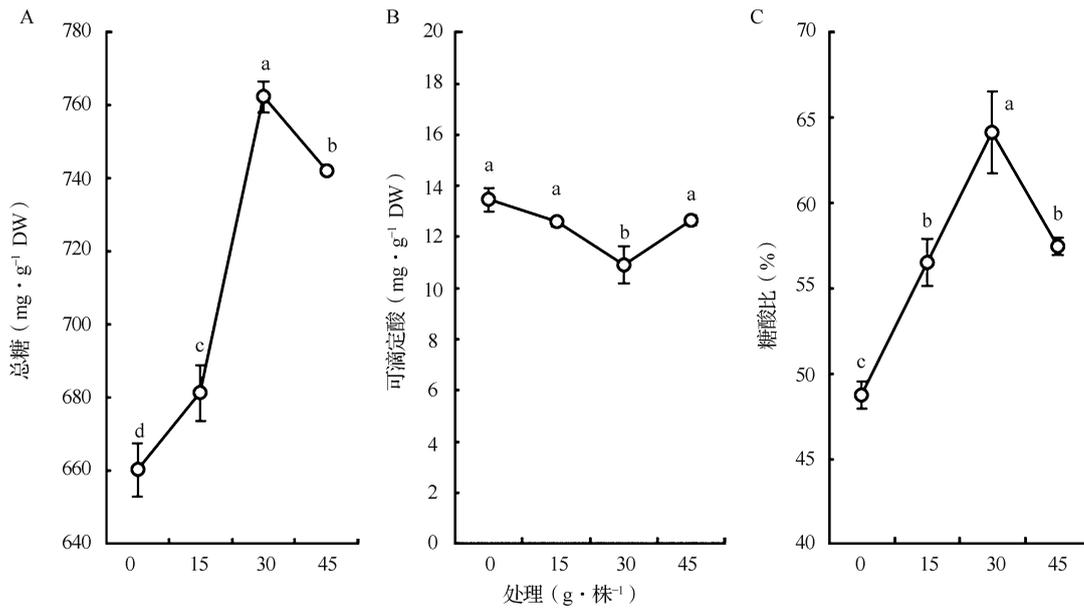


图6 不同放线菌剂处理下干枣总糖、可滴定酸和糖酸比变化

表2 部分典型指标的相关矩阵

指标	SPAD	LRWC	SOD	Pn	叶片厚度	单株产量	优果率	总糖	可滴定酸
SPAD	1								
LRWC	0.833**	1							
SOD	0.930**	0.876**	1						
Pn	0.623*	0.815**	0.788**	1					
叶片厚度	0.690*	0.682*	0.753**	0.622*	1				
单株产量	0.559	0.353	0.360	0.168	0.281	1			
优果率	0.674*	0.737**	0.718**	0.863**	0.380	0.432	1		
总糖	0.895**	0.965**	0.923**	0.791**	0.790**	0.335	0.663*	1	
可滴定酸	-0.724**	-0.722**	-0.616*	-0.328	-0.484	-0.378	-0.380	-0.738**	1

注: SPAD 为叶绿素相对含量, LRWC 为叶片相对含水量, SOD 为超氧化物歧化酶, Pn 为光合速率; * 表示 $P < 0.05$ 显著水平, ** 表示 $P < 0.01$ 显著水平。

3 讨论

3.1 放线菌剂对枣树光合作用的影响

王迪等^[16]研究表明, 增施放线菌剂(由菌株 Act12 经固体发酵制成)后甜瓜品种‘富尔 1 号’和‘永甜 3 号’的叶片叶绿素含量较对照有效提高 8.2% 和 16.8%; 马军妮等^[24]用 Act12 和 D74 放线菌复合菌剂(1:1 质量比)对玉米种子进行包衣处理播种, 在两个参试点玉米叶片绿色度较对照分别提高 1.3% ($P>0.05$) 和 5.3% ($P<0.05$); 此外, 对番茄^[17]、甜瓜^[16]和魔芋^[25]施用放线菌肥也发现叶片 SPAD 值的升高趋势。与本研究的結果是一致的, 经施用放线菌剂枣树叶片的 SPAD 值在 7、8、9 月生长季均呈升高的趋势, 尤其是在枣果进入成熟的 8 月下旬显著提高。叶绿素是植物吸收太阳能进行光合作用的重要物质^[26], 在一定范围内, 叶绿素含量越高, 光合能力越强。在前述的研究中, 随玉米叶片绿色度的提高, 叶片 Pn 分别提高 13.6% ($P<0.05$) 和 6.5% ($P>0.05$)^[24]; 而魔芋叶片随 SPAD 值的升高, Pn 也有所升高 ($P>0.05$)^[25]。在本研究中, 施用放线菌剂后枣树叶片 Pn 在 7、8、9 月均得到显著提高, 并表现出与 SPAD 值显著的相关性, 表明放线菌剂通过影响枣树叶片的叶绿素含量, 间接促进光合作用。实际上, 植物的光合作用受众多因素的影响, 水作为光合作用的直接原料及与光合相关重要代谢活动的原料, 是影响光合作用的主要因素之一^[27]。众多研究已证明, 植物叶片水分充足对光合能力的维持或提升是有利的^[28-30], 冯晓钰等^[31]证实, 一定范围内的夏玉米叶片净光合速率对叶片水分的响应呈显著的二次曲线关系, 叶片水分变化直接影响叶片净光合速率。马军妮等^[24]也发现, 放线菌剂处理灌浆期玉米穗位叶含水量高于对照 11.6% ~ 16.3%, 具有更强的光合能力。本研究中, 枣树叶片 LRWC 在施用放线菌剂后均有所提高, 尤其在 30 g·株⁻¹ 处理下较为明显, 且对应 Pn 的提高也非常突出, 两者的相关性达到极显著水平, 表明放线菌剂同时也通过改善叶片水分状况(叶片更强的持水及保水能力), 进而增强枣树的光合能力, 并显示出更为密切的关系。

3.2 放线菌剂对枣树生长及枣果产量、品质的影响

光合作用是植物发育和产量形成的基础, 植物中 90% ~ 95% 干物质来自光合产物^[32]。通过施

用放线菌剂在提高植物光合作用的同时, 往往对植物生长及果实发育产生积极的促进作用。Hozzein 等^[33]将在沙特阿拉伯焦夫地区土壤中分离筛选出的活性较高的 4 种链霉菌属放线菌应用至谷物(玉米、小麦、大麦、燕麦和高粱)栽培中, 结果显示所选菌株提高了谷物生长和所有受试谷物(尤其是大麦和玉米)的产量和籽粒品质, 这反映在处理组较高的光合速率以及代谢物周转(呼吸)上; 而在其他研究^[24, 34]中, 放线菌剂种子包衣显著改善玉米穗性状和提高籽粒产量, 并对玉米具有明显的促生作用, 主要表现在灌浆期玉米全株茎叶鲜质量及灌浆期穗位叶干质量均显著大于对照, 而株高、地径及叶面积的增加并不明显, 指出叶片光合能力增强(光合色素含量增加)是产量提高的直接原因。本研究中, 反映枣树生长状况的叶片厚度与 Pn 表现出显著的正相关, 表明放线菌剂对光合能力的增强, 促进了叶片的增厚生长, 而叶片厚度的增加使得叶片储存更多的水分, 也被验证但是未见其他生长指标及单株产量与叶片 Pn 明显相关, 毕竟与一年生作物不同, 可能是多年生枣树整体生长和产量形成可能更具复杂性所导致, 如更长的生长周期、更繁杂的冠层结构、伸长与加粗生长的协调、生殖与营养生长的竞争以及更多的影响因素等。不过却发现, 放线菌剂对干枣总糖含量及优果率的提升与叶片 Pn 的增强极为密切 ($P<0.01$), 在吕文秀等^[19]的研究中也有体现, 表明 Pn 与果实品质的关系更为直接, 当然, 可能还有其他原因, 但是增施放线菌剂对果实品质的改善在番茄^[17]、甜瓜^[16]及草莓^[15]上都得到证实, 番茄商品果率显著提高 12% 以上; 甜瓜单果增重 14% 以上、草莓最高达 57% 以上; 甜瓜可溶性糖含量提高 8% 以上; 草莓可溶性固形物提高 11% 以上、糖酸比提高 5% 以上。在本研究中施用放线菌剂后, 鲜枣可溶性固形物含量、干枣总糖含量、糖酸比及优果单果重和优果率均得到提高, 除与 Pn 增强有关外, 可能是放线菌剂使植株能更有效地从土壤中吸收养分, 从而更多更有效地积累并储存代谢产物和营养物质。

3.3 放线菌剂对枣树叶片酶活性的影响

放线菌剂的应用还能提高植物的诱导抗性。刘玉涛等^[35]研究表明, 采用适宜浓度放线菌剂种子包衣可影响小麦叶片内酶活性, 其中 PPO 活性较对照有所提高; 谢玉琴等^[36]研究发现, 姜彻氏

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,增幅分别为 106.67% 和 58.70%;此外,还有研究发现,链霉菌 JD211 固体菌剂栽培的水稻 SOD、PPO 活性较对照显著提高 69.20% 和 16.75%^[37]。本研究中,施用放线菌剂增加了叶片 SOD、PAL、PPO 活性,与前人研究结果一致。但是在调查的病果率上,所有处理并未看到显著的差异,这与试验当年枣果成熟期的天气条件及管理措施有密切的关系,‘七月鲜’枣果主要病害是黑斑病,并主要在枣果完熟期空气湿度较大时发生危害,而当年此时期一方面无降水,另一方面又通过控水,有效地降低了枣园湿度,抑制了病害的发生。

4 结论

使用放线菌剂有利于增强枣树光合作用,促进地上部生长,提高枣树抗性,进而增加营养物质积累、改善果实品质。不同放线菌剂用量间影响程度存在差异。其中以每株施用 30 和 45 g 放线菌剂效果较为显著,但两者之间差异不显著。因此,从经济可行性考虑,在实际生产中,可结合春季施基肥,每株配施 30 g 放线菌剂。

参考文献:

- [1] 李新岗.中国枣产业[M].北京:中国林业出版社,2015.
- [2] 王东健.新疆种植枣树区域类型划分及其栽培技术措施[J].园艺与种苗,2016(4):21-24,31.
- [3] 李尝君,曾凡江,郭京衡,等.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.
- [4] 张计峰,完颜悦,谢香文.生物有机肥对红枣产量结构及效益的影响[J].新疆农业科学,2019,56(11):2090-2095.
- [5] 杨莉,孟阿静,郑科勇,等.增施有机肥减施尿素对库车低肥力地区小白杏产量及品质的影响[J].农业科技通讯,2023(9):75-78.
- [6] Katarzyna J, Aleksandra R, Adam G, et al. Secondary metabolites of actinomycetes and their antibacterial, antifungal and antiviral properties. [J]. Polish Journal of Microbiology, 2018, 67(3): 259-272.
- [7] 陈杰,乔美霞,郭一晓,等.外源放线菌对谷子生长和成熟期根际可培养微生物的影响[J].土壤,2022,54(5):978-985.
- [8] 席娇,徐腾起,刘玉涛,等. Streptomyces rochei D74 菌剂对向日葵、列当及其根际微生物的影响[J].微生物学报,2023,63(2):745-759.
- [9] 郑丹,李鹤鸣,韩力.土壤放线菌资源及其应用[J].绿色科技,2021,23(2):183-187,193.
- [10] Manigundan K, Radhakrishnan M, Kumar K A, et al. Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bioorganic agriculture. [J]. Journal of Applied Microbiology, 2023, 134(2): 1xac047.
- [11] 孙于森,吴慧玲,张涛涛,等.5406放线菌对西瓜的促生作用及对西瓜枯萎病的防控[J].科学技术与工程,2021,21(15):6242-6248.
- [12] 马静静,潘妍妍,杨孙玉悦,等.硫藤黄链霉菌 St-79 对水稻白叶枯病的防效和促生作用[J].中国水稻科学,2022,36(6):623-638.
- [13] 张东旭,胡丹珠,闫金龙,等.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.
- [14] 段春梅,薛泉宏,赵娟,等.放线菌剂对黄瓜幼苗生长及叶片 PPO 活性的影响[J].西北农业学报,2010,19(9):48-54.
- [15] 申光辉,薛泉宏,陈秦,等.硅酸钾与密旋链霉菌 Act12 菌剂配施对连作草莓生长、果实产量及品质的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(3):315-321.
- [16] 王迪,张宏宇,杜志强,等.放线菌剂对连作温室甜瓜生长及产量和品质的影响[J].北方园艺,2015(16):47-49.
- [17] 张萍,赵建华,鞠召彬,等.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,2019,360(2):49-52.
- [18] 石国华,梁银丽,要晓玮,等.不同前茬下放线菌剂对番茄与辣椒产量和品质的影响[J].水土保持通报,2013(1):275-279.
- [19] 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.
- [20] 陈宗礼,雷婷,齐向英,等.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.
- [21] 张以顺,黄霞,陈云凤.植物生理实验教程[M].北京:高等教育出版社,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.
- [23] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].中国轻工业出版社,2007.
- [24] 马军妮,刘玉涛,李玉龙,等.两株链霉菌对玉米的促生增产作用及机理[J].应用生态学报,2017,28(1):315-326.
- [25] 张忠良,何斐,薛泉宏.魔芋专用生防放线菌有机肥对板栗林下魔芋的促生作用[J].西北农业学报,2016,25(7):1056-1061.
- [26] Yulmira Y, Hasmiandy H, Reflin, et al. Screening of indigenous actinobacteria as biological control agents of Colletotrichum capsici and increasing chili production [J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2023, 33(1): 34.
- [27] 杨世杰,汪矛,邵小明,等.植物生物学[M].2版.北京:高等教育出版社,2010.

- [28] 王纪华, 赵春江, 黄文江, 等. 土壤水分对小麦叶片含水量及生理功能的影响 [J]. 麦类作物学报, 2001 (4): 42-47.
- [29] 李硕, 李美玄, 刘英卉, 等. 干旱-复水处理对吉林文冠果幼苗生理特性和光合参数的影响 [J]. 江苏农业科学, 2023, 51 (18): 134-143.
- [30] 崔兆韵, 徐祯, 邹俊丽, 等. 干旱及复水对冬小麦叶片生理指标和光合特性的影响 [J]. 节水灌溉, 2023 (10): 36-42.
- [31] 冯晓钰, 周广胜. 夏玉米叶片水分变化与光合作用和土壤水分的关系 [J]. 生态学报, 2018, 38 (1): 177-185.
- [32] 潘瑞焄. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [33] Hozzein N W, Abuelsoud W, Wadaan A M, et al. Exploring the potential of actinomycetes in improving soil fertility and grain quality of economically important cereals [J]. Science of the Total Environment, 2018, 651 (Pt 2): 2787-2798.
- [34] 马军妮. 放线菌对玉米小麦的促生抗旱作用及机理研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [35] 刘玉涛, 杨斌, 张凯, 等. 链霉菌剂种子包衣对小麦幼穗分化及生物学特性的影响 [J]. 麦类作物学报, 2020, 40 (8): 990-1001.
- [36] 谢玉琴, 马丹丹, 杨树, 等. 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.
- [37] 邵正英, 聂丽, 李张, 等. 链霉菌 JD211 对水稻根系形态特征和抗性酶活的影响 [J]. 西南农业学报, 2017, 30 (4): 739-743.

Effects of actinomycetes on growth physiology and fruit yield and quality of jujube tree in sandy area of southern Xinjiang

ZHANG Ying¹, MA Yi-cai¹, DENG Wen-kai¹, MA Juan-fang¹, LV Wen-xiu¹, Tuerxunayi Dawuti², HAN Gang^{1*}
(1. College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling Shaanxi 712100; 2. Xinjiang Forestry School, Urumqi Xinjiang 830026)

Abstract: In order to explore the effects of actinomycetes on the growth physiology, yield and quality of jujube trees under desert soil conditions in southern Xinjiang, jujube orchards in typical sandy areas of Luopu County, southern Xinjiang were selected in this research, and four-year-old 'Qiyuexian' jujube trees were grafted as the research object. Three kinds of actinomycetes with different dosage of 15, 30 and 45 g · plant⁻¹ were treated, and 0 g · plant⁻¹ was taken as the control, and the growth, physiology, yield and fruit quality of jujube trees were measured. The results showed that the basal diameter of the first branch of the new jujube tree increased in August and September compared with the control, especially in the treatment of 30 g · plant⁻¹, but there was no significant difference between the basal diameter of the second branch and the control. The leaf area increased significantly in July and August compared with the control under the treatment of 30 and 45 g · plant⁻¹, but the leaf thickness only increased significantly in July. The relative chlorophyll content (SPAD value) and net photosynthetic rate (Pn) of leaves were significantly higher than those of the control in August, July, August and September, while the relative water content (LRWC) of leaves with only 30 g · plant⁻¹ treatment was higher than that of the control. In July, the activities of superoxide dismutase (SOD) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in leaves treated with actinomycetes were significantly higher than those of the control, while the activities of polyphenol oxidase (PPO) were also significantly higher than those of the control except for 15 g · plant⁻¹ treatment. By August, the PAL activities of leaves tended to the control, and the SOD activities were still significantly higher than those of the control except for 15 g · plant⁻¹, while the PPO activities were all significantly increased. The yield per plant and the weight of superior fruit of jujube under the treatment of actinomycetes were improved compared with the control, among which the difference was significant under the treatment of 15 and 30 g · plant⁻¹, and the rate of superior fruit was significantly improved, but the rate of diseased fruit was not significantly different. The soluble solid content of fresh jujube treated with actinomycetes was higher than that of the control in white, crisp and complete ripening stages, especially in 30 and 45 g · plant⁻¹ treatments, while the total sugar content and sugar-acid ratio of dried jujube were significantly higher than that of the control, and the titratable acid content was significantly reduced in 30 g · plant⁻¹ treatment. To sum up, actinomycetes could promote the growth of jujube trees, enhance some important physiological functions of jujube trees, increase yield and improve jujube fruit quality. In the actual production of jujube orchards in sandy areas of southern Xinjiang, 30 g actinomycetes could be applied to each plant in combination with basal fertilizer application in spring.

Key words: actinomycetes; south Xinjiang sandy area; jujube tree; growth and physiology; yield; fruit quality