DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0285

决明子提取物对番茄种子萌发的影响及与农药配施对番茄主要病害的药效研究

张丽莉[1],曹守军[1],李 涛[1,2],王虹云[1],张瑞清[1],郑世伟[1],
刘安达[1],江文滨[3],田 园[2],于晓勇[2],姚建刚[1]

(1.山东省烟台市农业科学研究院 山东烟台 265500; 2.烟台大学生命科学学院 山东烟台 264005;
3.莱州市农业技术推广中心 山东莱州 261400)

摘 要:为消除传统农药弊端,开发绿色可持续的病害防控技术,利用决明子提取液对番茄种子萌发及主要病害(灰霉病、晚疫病、早疫病)的防控效果进行了研究。结果表明,决明子乙醇提取液 100 倍稀释液可明显缩短番茄种子萌发时间,增加萌发数量,种子发芽势可达 98%,高于清水对照 14 百分点;在病害防控效果方面,决明子乙醇提取液 10 倍稀释液与化学农药复配(Ta2)对灰霉病、晚疫病、早疫病等番茄病害的防治表现出良好的协同效应,对灰霉病、晚疫病、早疫病的抑菌率分别为 77.07%、53.22%和 67.34%,3 种病害的病情指数分别为 3.07、27.78 和 5.56,与单独用药防治病害相比较,可明显提高抑菌率,显著降低病情指数,且在减少 10%~20%化学农药的施用量时仍能保持良好的防治效果,但随着决明子乙醇提取液稀释倍数的增加,病害防治效果呈显著下降的趋势。综上所述,在促进番茄种子萌发方面,决明子乙醇提液 100 倍稀释液可明显提高番茄种子发芽率与发芽势;在番茄主要病害防控层面,可使用决明子乙醇提取液 10 倍稀释液+减少 10%~20%化学农药复配防治灰霉病、晚疫病、早疫病等番茄病害。

关键词:番茄;决明子提取物;萌发;农药配施;药效

中图分类号:S641.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2026)10-207-09

Effects of *Cassia obtusifolia* extract on tomato seed germination and the control efficacy of its combined application with pesticides against major tomato diseases

Zhang Lili[1], Cao Shoujun[1], Li Tao[1,2], Wang Hongyun[1], Zhang Ruiqing[1], Zheng Shiwei[1], Liu Anda[1], Jiang Wenbin[3], Tian Yuan[2], Yu Xiaoyong[2], Yao Jiangang[1]

(*1. Shandong Province Yantai Agriculture Science Institute, Yantai 265500, Shandong, China; 2. College of Life Science, Yantai University, Yantai 264005, Shandong, China; 3. Laizhou Agricultural Technology Extension Center, Laizhou 261400, Shandong, China*)

Abstract: To address the drawbacks of conventional pesticides and develop green and sustainable disease control technologies, this study used *Cassia obtusifolia* seed extract to investigate its effect on tomato seed germination and its control efficacy against major diseases(gray mold, late blight, and early blight). The results showed that the 100-fold diluted ethanol extract of *C. obtusifolia* seeds obviously shortened tomato seed germination time and increased the number of germinated seeds, with germination vigor achieving 98%, 14 percentage points higher than the water control. In terms of disease control, the 10-fold diluted ethanol extract of *C. obtusifolia* seeds combined with chemical pesticides showed good synergistic effects against gray mold, late blight, and early blight, with inhibition rates of 77.07%, 53.22%, and 67.34%, and disease indices of 3.07, 27.78, and 5.56, respectively. Compared with pesticide application alone, the combination significantly increased the inhibition rates and reduced disease indices, and maintained relatively good control efficacy even when chemical pesticide application was reduced by 10%-20%. With increasing dilution of the *C. obtusifolia* seed ethanol extract, disease control efficacy decreased significantly. In conclusion, the ethanol extract of *C. obtusifolia* seed can promote tomato seed germination, and when combined with chemical pesticides, it can reduce pesticide use and enhance

收稿日期:2026-04-08;**修回日期:**2026-06-24

基金项目:山东省重点研发计划项目(2023TZXD026);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21-G11);山东省生态农业技术体系(SDAIT-30)

作者简介:张丽莉,女,高级农艺师,主要从事蔬菜育种与栽培等研究工作。E-mail:zhanglili0604@163.com

通信作者:姚建刚,男,高级农艺师,主要从事蔬菜育种与栽培等研究工作。E-mail:ganggang0526@163.com

efficacy, showing application potential in the green control of major tomato diseases. In summary, regarding the promotion of tomato seed germination, a 100-fold dilution of the ethanol extract of *C. obtusifolia* seeds can significantly increase the germination rate and germination vigor of tomato seeds. In terms of the prevention and control of major tomato diseases, a 10-fold dilution of the ethanol extract of *C. obtusifolia* seeds combined with a 10%-20% reduction in chemical pesticides can be used to control tomato diseases such as gray mold, late blight, and early blight.

Key words: Tomato; *Cassia obtusifolia* extract; Germination; Pesticide combination application; Efficacy

番茄作为全球最重要的蔬菜作物之一，其产量与品质受种子萌发质量及病害防控能力的双重制约。然而，传统化学农药的长期使用导致病原菌抗药性增强、土壤生态失衡及农产品农药残留超标等问题日益突出，亟需开发绿色可持续的病害防控技术[1-2]。近年来，植物源提取物因具有环境友好、资源可再生及多靶点作用机制等优势，成为农业领域的研究热点[3]。决明子（*Cassia obtusifolia* L.）作为传统药食两用植物，其提取物对多种植物病原菌具有显著抑制活性[4]，例如对番茄灰霉病菌的菌丝生长和孢子萌发抑制率分别达到100%和80.55%，且通过破坏细胞膜和细胞壁结构实现高效抑菌[5]。此外，决明子中黄酮类、蒽醌类化合物（如大黄素、芦荟大黄素）及多糖成分还具有调节植物生理代谢、增强抗逆性的潜力[6]。本研究以番茄为试材，通过利用不同浓度的决明子提取物处理番茄种子，研究其对种子萌发状况的影响；同时，通过对峙培养及苗期接菌试验，评估决明子提取物与常用农药（凯泽、银法利、苯醚甲环唑）配施对番茄主要病害的防控效果，旨在为开发基于决明子提取物的绿色种衣剂和病害协同防控技术提供理论依据，推动番茄产业向生态安全、可持续发展方向转型。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为决明子药粉，由青岛德慧海洋生物科技有限公司提供。

供试番茄病原菌为番茄灰霉病菌、番茄晚疫病菌、番茄早疫病菌，采集于山东省烟台市农业科学研究院蔬菜花卉研究所日光温室。

供试番茄品种为烟粉210，由山东省烟台市农业科学研究院选育。

供试农药：商品名“凯泽”，有效成分为50%啶酰菌胺；商品名“银法利”，有效成分为氟吡菌胺和霜霉威盐酸盐；商品名“苯醚甲环唑”，有效成分为苯醚甲环唑。

1.2 方法

试验于2025年7－10月在山东省烟台市农业科学研究院蔬菜实验室进行决明子的提取、催芽试验及对峙试验，在研究院内蔬菜基地进行番茄的育苗、接菌及试验处理。

1.2.1 *决明子的提取* 将决明子药粉分别进行水提取和乙醇提取。水提取方法：取决明子粉末200 g，加蒸馏水2000 mL，浸泡过夜，煮沸回流提取，提取液称为水提液。乙醇提取方法：取决明子粉末200 g，加无水乙醇2000 mL，80 ℃回流提取，提取液称为醇提液。之后将水提液及醇提液过滤，提取3次，合并滤液，减压浓缩至200 mL（即1 mL相当于1 g决明子原粉）。

1.2.2 *番茄种子萌发处理* 试验共设6个处理，对照CK1为蒸馏水。T1：醇提液10倍稀释液；T2：醇提液50倍稀释液；T3：醇提液100倍稀释液；T4：水提液10倍稀释液；T5：水提液50倍稀释液；T6：水提液100倍稀释液。

1.2.3 *番茄病原菌的分离、提纯、培养* 将采集的番茄病叶洗净，选取病健交界处剪成小片在培养基上进行培养，番茄灰霉病菌和早疫病菌用PDA培养基，晚疫病菌用黑麦培养基。培养2~3 d后进行单孢分离、提纯。

1.2.4 *番茄病原菌的扩繁及孢子悬浮液的制备* 番茄灰霉病菌：采用PDA培养基，于恒温培养箱中28 ℃培养14 d，待产孢后用无菌水洗脱孢子，双层纱布过滤，得到分生孢子悬浮液并稀释成5×10^7个•mL^{-1}待用。

番茄早疫病菌：采用PDA培养基，25 ℃下培养1周后，培养皿内注入4 ℃冷水，刮除气生菌丝，紫外线照射2 min，20~22 ℃下培养基缓慢干燥，6 h后培养皿内即可形成大量分生孢子。孢子以无菌水洗脱，加2% Tween20配成悬浮液。

番茄晚疫病菌：采用黑麦培养基，18 ℃下培养1周后，孢子以无菌水洗脱，接种浓度为5×10^4孢子囊•mL^{-1}。

1.2.5 *对峙培养* 将决明子水提液和醇提液于121 ℃高压灭菌20 min备用。在培养皿中加20 mL灭菌培养基，再加入复配药液1 mL，对照加蒸馏水1 mL，混匀后放在一边冷凝。复配药液由决明子水

提液及醇提液分别稀释 10、50、100 倍的稀释液及不同浓度的防治灰霉病（凯泽）、晚疫病（银法利）、早疫病（苯醚甲环唑）的农药复配而成，设正常浓度及减少 10%、20%、30%共 4 个浓度梯度。将各病菌用打孔器在边缘打孔，打取直径为 5 mm 的菌丝块，待培养基冷凝后每个培养皿中心放入一个菌丝块，倒置放入培养箱培养。

对峙培养试验，每种病害均设置 30 个处理，对照（CK）为只接种病原菌；Ta0：正常浓度农药；Ta1：决明子醇提液 10 倍稀释液；Ta2：决明子醇提液 10 倍稀释液+正常浓度农药；Ta3：决明子醇提液 10 倍稀释液+减 10%浓度农药；Ta4：决明子醇提液 10 倍稀释液+减 20%浓度农药；Ta5：决明子醇提液 10 倍稀释液+减 30%浓度农药；Ta6：决明子醇提液 50 倍稀释液；Ta7：决明子醇提液 50 倍稀释液+正常浓度农药；Ta8：决明子醇提液 50 倍稀释液+减 10%浓度农药；Ta9：决明子醇提液 50 倍稀释液+减 20%浓度农药；Ta10：决明子醇提液 50 倍稀释液+减 30%浓度农药；Ta11：决明子醇提液 100 倍稀释液；Ta12：决明子醇提液 100 倍稀释液+正常浓度农药；Ta13：决明子醇提液 100 倍稀释液+减 10%浓度农药；Ta14：决明子醇提液 100 倍稀释液+减 20%浓度农药；Ta15：决明子醇提液 100 倍稀释液+减 30%浓度农药；Ta16：决明子水提液 10 倍稀释液；Ta17：决明子水提液 10 倍稀释液+正常浓度农药；Ta18：决明子水提液 10 倍稀释液+减 10%浓度农药；Ta19：决明子水提液 10 倍稀释液+减 20%浓度农药；Ta20：决明子水提液 10 倍稀释液+减 30%浓度农药；Ta21：决明子水提液 50 倍稀释液；Ta22：决明子水提液 50 倍稀释液+正常浓度农药；Ta23：决明子水提液 50 倍稀释液+减 10%浓度农药；Ta24：决明子水提液 50 倍稀释液+减 20%浓度农药；Ta25：决明子水提液 50 倍稀释液+减 30%浓度农药；Ta26：决明子水提液 100 倍稀释液；Ta27：决明子水提液 100 倍稀释液+正常浓度农药；Ta28：决明子水提液 100 倍稀释液+减 10%浓度农药；Ta29：决明子水提液 100 倍稀释液+减 20%浓度农药；Ta30：决明子水提液 100 倍稀释液+减 30%浓度农药。

1.2.6　*病原菌的接种*　以被番茄主要病害侵染后的番茄植株为研究对象，通过决明子提取物与农药配施研究其减药效果，主要的番茄病害为：番茄灰霉病、番茄晚疫病、番茄早疫病。番茄幼苗播种于 72 孔穴盘中，每行为 1 个处理，共 3 次重复。

早疫病、灰霉病接种方法：采用喷雾法，喷雾时先用纱布将菌液过滤一下，4~6 叶期将菌液喷于番茄真叶的表面及背面，每株大约 1 mL 菌液，菌液的孢子浓度为 5×10^7 个•mL^{-1}。接种前保湿 12 h，使室内空气相对湿度达 90%~100%，接种后相对湿度保持在 85%以上，保湿 48 h。

晚疫病接种方法：于 7 叶期喷雾接种，接种菌液孢子浓度为 5×10^4 个•mL^{-1}，接种后 24 h 内，温度保持在（20±2）℃，相对湿度 100%，保持黑暗，以后保持相对湿度 60%~90%，光照 12 h。

各病原菌接种浓度均为番茄苗期抗病性鉴定通用接种浓度。

1.3　指标测定

1.3.1　*番茄种子萌发数量测定*　每个处理 50 粒番茄种子，将番茄种子放入 55 ℃水中进行温汤浸种，消毒 15~20 min，然后取出种子分别用各处理液 20 mL 浸泡 7 h，浸泡后在培养皿中铺设滤纸，将种子摆放到滤纸上，注入少量蒸馏水以保持种子湿润，盖好培养皿盖，放入温度为 29 ℃培养箱中进行催芽。在 7、46、79、103 h 统计种子发芽数量，并在催芽后 103 h 计算发芽势[7]。

1.3.2　*决明子提取液与农药复配液对病原菌的抑菌效果*　对峙培养 5~7 d 后，通过接菌中心点测量菌落的直径。

1.3.3　*决明子提取液与农药配施对番茄病害的防治效果*　基于 1.3.2 的结果选取抑菌效果较好的决明子提取液，在决明子提取液与农药复配液对接种病原菌的番茄植株处理 10 d 后，调查各处理的病情指数。各处理与对峙培养时的处理相同，增加 CK0 作为阴性对照，为正常生长植株。

灰霉病分级标准及病情指数参照农业农村部农药检定所生测室[8]的方法，病情指数=[∑（各级病叶数×相对级数值）/（调查总叶数×9）]×100。晚疫病分级标准及病情指数参照冯兰香等[9]的方法，病情指数=[∑（各级病叶数×相对级数值）/（调查总叶数×最高级数）]×100。早疫病分级标准及病情指数参照王发科等[10]的方法，病情指数=[∑（各级病叶数×相对级数值）/（调查总叶数×最高级数）]×100。

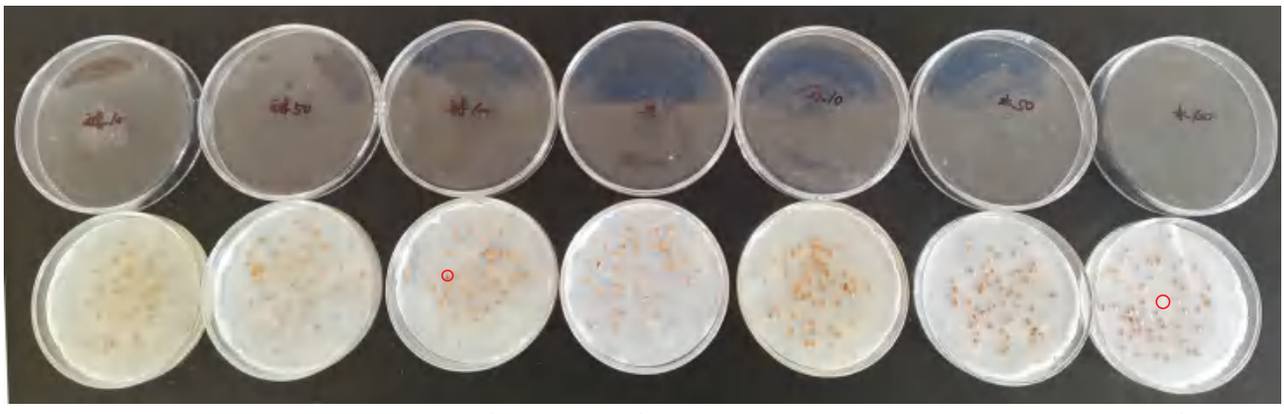
1.4　数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 软件进行统计整理，计算相关数据的平均值及制作图表；用 DPS 7.05 进行处理和统计分析；对各处理平均值采用 Duncan’s 多重比较进行差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　决明子提取液对种子发芽的影响

由图1可见，经过7 h的浸泡后，T3、T6处理各有1粒种子萌发。由表1可见，催芽46 h后T3处理的种子萌发数量为8粒，高于CK1及其他处理，T6处理与CK1一致，T1、T2、T4处理明显低于CK1；催芽103 h后，番茄种子发芽基本出齐，T3处理的种子萌发数已明显高于其他处理，T2、T6处理次之。不同处理的发芽势不同，除T4处理发芽势略低于CK1，其余5个利用决明子提取液处理的种子发芽势均高于对照CK1，其中T3处理最高。综上，T3处理对种子萌发的影响最大，可使种子在最短时间内萌发，说明决明子醇提液稀释100倍可明显促进番茄种子萌发，缩短萌发时间，增加萌发数量。



T1　T2　T3　CK1　T4　T5　T6

图1　不同处理液浸泡番茄种子7 h后催芽

Fig. 1　Tomato seeds soaked 7 h in different solutions for germination

表1　不同处理不同时间的发芽情况

Table 1　Germination conditions at different times under different treatments

处理 Treatment	发芽粒数 Germinated grains number				发芽势 Germination energy/%
	7 h	46 h	79 h	103 h	
T1	0	1	23	44	88
T2	0	4	34	46	92
T3	1	8	31	49	98
T4	0	4	30	41	82
T5	0	5	29	43	86
T6	1	6	35	46	92
CK1	0	6	35	42	84

2.2　决明子提取液与农药复配对番茄灰霉病的防治效果

2.2.1　*决明子提取液与农药复配对番茄灰霉病菌的抑菌效果*　由图2及表2可知，灰霉菌（CK）处理经过7 d的培养后，菌丝已布满培养皿表面，培养基中Ta0处理的菌丝直径为54.02 mm，抑菌率为36.45%，Ta2处理抑菌效果最好，菌丝直径为19.49 mm，抑菌率达77.07%；其次为Ta3、Ta4、Ta5，均优于CK，决明子醇提液50倍稀释液Ta7、Ta8的抑菌效果与Ta0处理相当。决明子水提液10倍稀释液与凯泽复配的Ta17~Ta19处理的抑菌效果与Ta0处理相当，其他处理虽有些菌丝直径小于CK处理，但抑菌效果不明显。仅用决明子醇提液及水提液的处理，无论多大浓度对灰霉菌的抑制作用均不明显，菌丝直径与CK处理相当，基本布满培养皿。由此表明，决明子醇提液与农药复配对番茄灰霉菌的抑菌效果整体上优于决明子水提液与农药复配。

2.2.2　*决明子提取液与农药配施对番茄灰霉病的防治效果*　根据决明子提取液与农药复配对番茄灰霉菌的抑菌效果，选取决明子醇提液与农药复配进一步验证对番茄发病植株的防治效果。从整体试验结果来看，不同决明子醇提液与凯泽的复配组合对番茄灰霉病的防治效果不同。由表3可知，只接种番茄灰霉病菌的处理（CK）发病严重，病情指数达到了51.85；而不同稀释浓度决明子醇提液+凯泽处理（Ta2、Ta7、Ta12）的病情指数低于Ta0处理，且醇提取液10倍稀释液+凯泽处理（Ta2）显著低于Ta0，说明决明子醇提液对防治番茄灰霉病有一定的辅助增强作用。而随着决明子稀释液倍数的增加以及凯泽用量的减少，病情指数总体呈现上升趋势，防治效果逐渐变差。其中，醇提取液10倍稀释

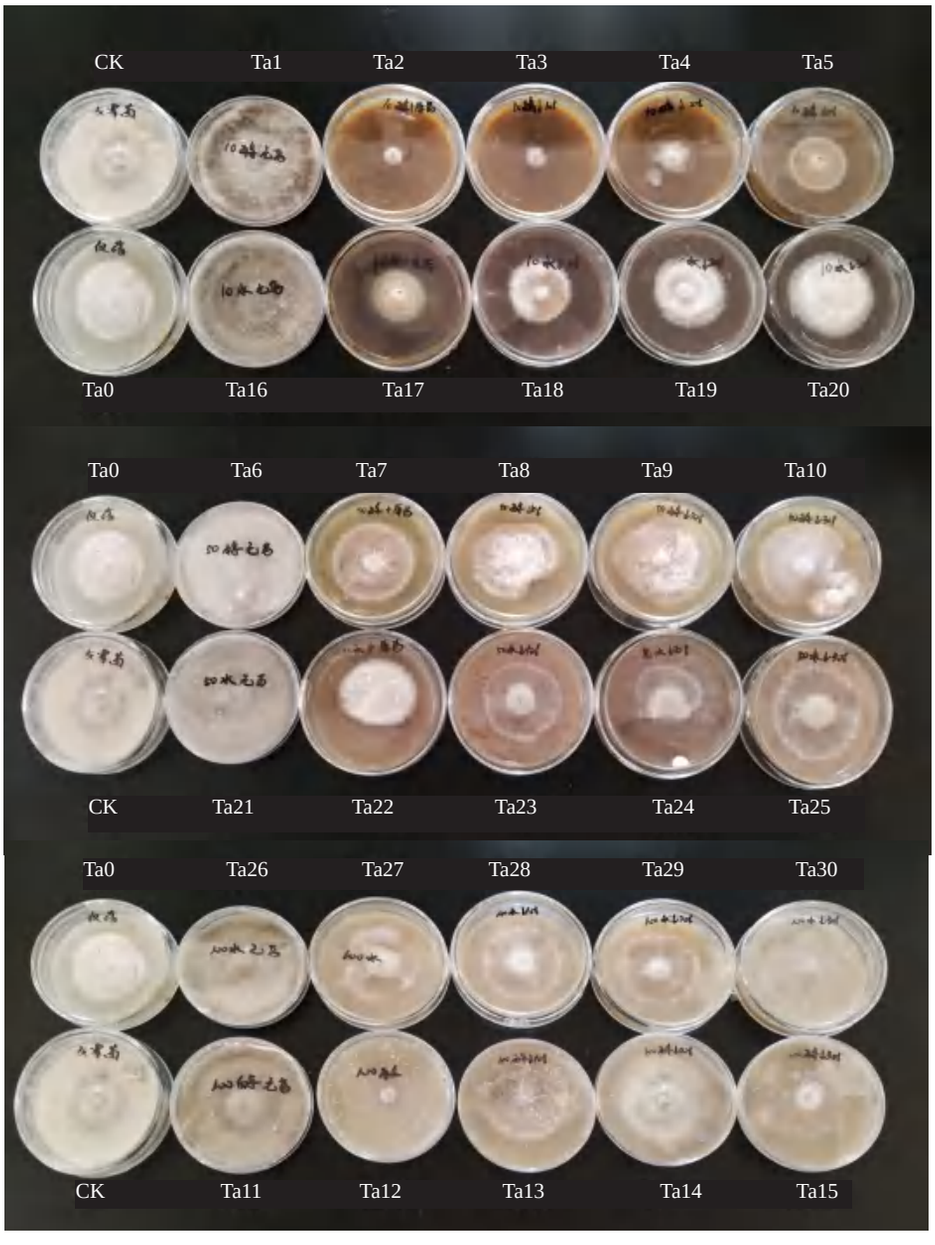


图 2　不同处理与番茄灰霉菌对峙培养后的菌丝生长情况

Fig. 2　Mycelial growth conditions of different treatments after confrontation culture with *Botrytis cinerea*

表 2　不同处理与番茄灰霉菌对峙培养的菌丝直径

Table 2　Mycelial diameter of different treatments after confrontation culture with *Botrytis cinerea*　mm

处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter
Ta0	54.02±1.04	Ta7	57.66±2.01	Ta15	67.98±0.96	Ta23	78.36±1.42
CK	85.00±2.85	Ta8	58.67±1.67	Ta16	86.97±2.34	Ta24	78.83±1.06
Ta1	86.00±2.24	Ta9	60.45±1.84	Ta17	51.08±0.86	Ta25	79.22±2.13
Ta2	19.49±0.59	Ta10	62.84±1.99	Ta18	52.33±1.25	Ta26	88.84±2.08
Ta3	23.21±0.61	Ta11	87.40±1.68	Ta19	55.96±1.37	Ta27	69.81±1.60
Ta4	38.96±1.10	Ta12	66.23±1.53	Ta20	64.78±1.81	Ta28	79.60±1.82
Ta5	44.40±1.94	Ta13	67.02±2.07	Ta21	88.33±2.05	Ta29	79.94±1.58
Ta6	87.95±3.11	Ta14	67.11±1.73	Ta22	73.90±1.88	Ta30	81.70±1.77

表 3　不同处理对番茄灰霉病防治的病情指数

Table 3　Disease index of different treatments in the control of tomato gray mold

处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index
Ta0	4.91±0.12 gh	Ta5	9.26±0.37 f	Ta10	48.15±1.85 b	Ta15	51.85±2.04 a
Ta2	3.07±0.13 i	Ta7	4.28±0.14 h	Ta12	4.84±0.09 g	CK	51.85±1.95 a
Ta3	4.28±0.18 h	Ta8	14.8±0.55 e	Ta13	44.44±2.01 c	CK0	0.00
Ta4	4.91±0.21 gh	Ta9	17.90±0.49 d	Ta14	48.15±1.76 b		

注：同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

液+减 10%凯泽（Ta3）、醇提取液 10 倍稀释液+减 20%凯泽（Ta4）与仅用凯泽防治的处理（Ta0）相当；醇提取液 10 倍稀释液+减 30%凯泽（Ta5）、醇提取液 50 倍稀释液+减 10%凯泽（Ta8）、醇提取液 50 倍稀释液+减 20%凯泽（Ta9）虽病情指数高于凯泽处理 Ta0，但显著低于灰霉病处理（CK），表明决明子醇提液稀释 10 倍时可以达到减少凯泽用量的目的，而醇提取液稀释 50 倍时无法有效弥补凯泽用量减少带来的防治效果下降。当用决明子醇提液 100 倍稀释液与凯泽复配时，每个组合的防治效果均不理想，无法有效抑制番茄灰霉病。

2.3　决明子提取液与农药复配对番茄晚疫病的防治效果

2.3.1　*决明子提取液与农药复配对番茄晚疫病菌的抑菌效果*　从图 3 及表 4 可知，晚疫病菌处理经过 7 d 的培养后，菌丝已布满培养皿表面，培养基中 Ta0 处理菌丝直径为 56.51 mm，抑菌率为 34.29%，决明子醇提液 10 倍稀释液+银法利（Ta2）处理的抑菌效果最好，抑菌率可达 53.22%，其次为决明子醇提液 10 倍稀释液+减药 10%、20%（Ta3、Ta4）处理，均优于仅用银法利（Ta0）处理，决明子醇提液 50 倍稀释液、决明子水提液 10 倍稀释液与银法利复配的（Ta7、Ta17~Ta19）处理与仅用银法利的（Ta0）处理相当，其他处理虽有些菌丝直径小于晚疫病菌处理，但抑菌效果不明显。仅用决明子醇提液及水提液的处理，无论多高浓度对晚疫菌的抑制作用均不明显，菌丝直径与晚疫病菌处理相当，基本布满培养皿。由此可见，决明子醇提液与农药复配对晚疫病菌的抑菌效果优于决明子水提液与农药复配。

2.3.2　*决明子提取液与农药配施对番茄晚疫病的防治效果*　基于决明子提取液与农药复配对番茄

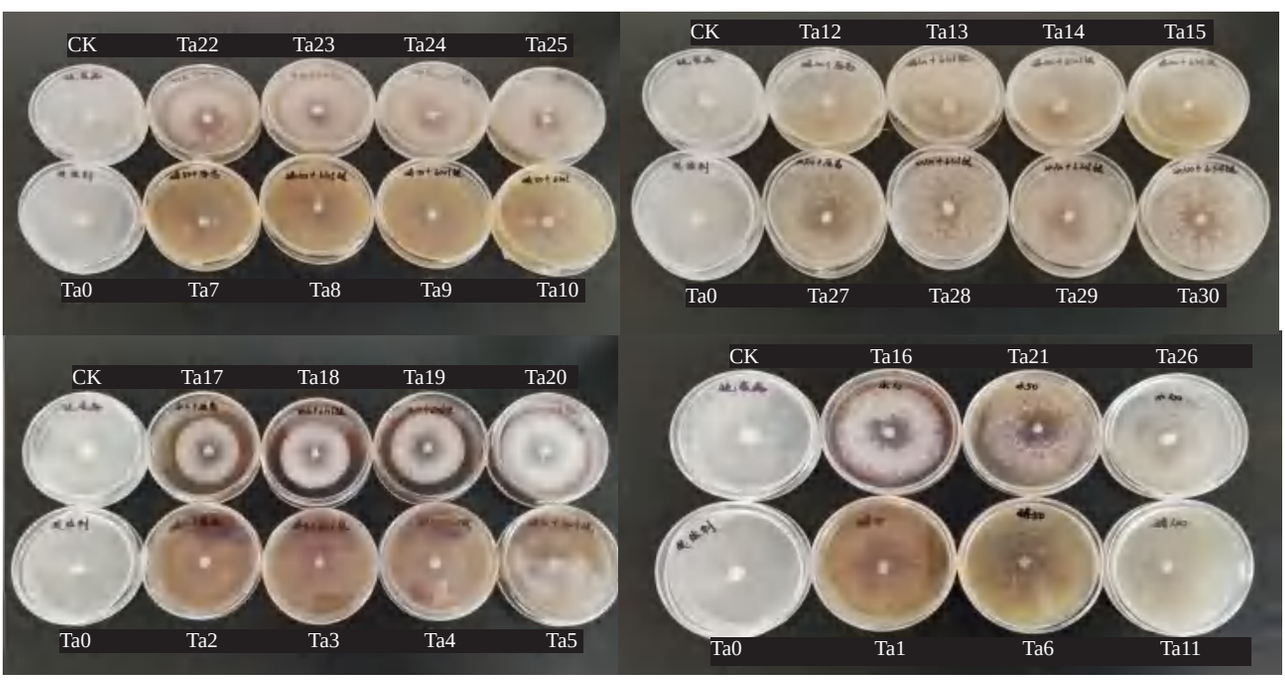


图 3　不同处理与番茄晚疫菌对峙培养后的菌丝生长情况

Fig. 3　Mycelial growth conditions of different treatments after confrontation culture with *Phytophthora infestans*

表 4　不同处理与番茄晚疫菌对峙培养的菌丝直径

Table 4　Mycelial diameter of different treatments after confrontation culture with *Phytophthora infestans* mm

处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter
Ta0	56.51±1.21	Ta7	57.66±0.89	Ta15	85.39±3.21	Ta23	81.46±2.21
CK	86.00±1.79	Ta8	86.34±1.67	Ta16	86.32±2.18	Ta24	78.3±2.07
Ta1	85.24±2.11	Ta9	85.95±1.93	Ta17	55.93±1.50	Ta25	82.98±2.81
Ta2	40.23±0.67	Ta10	86.72±1.46	Ta18	57.68±1.32	Ta26	86.07±1.85
Ta3	41.56±1.03	Ta11	86.06±2.18	Ta19	60.50±1.58	Ta27	80.02±1.69
Ta4	52.38±0.86	Ta12	76.78±1.09	Ta20	79.80±1.80	Ta28	85.64±1.27
Ta5	63.29±1.13	Ta13	87.93±1.63	Ta21	86.15±2.05	Ta29	85.73±1.58
Ta6	86.95±1.49	Ta14	84.85±1.82	Ta22	72.12±2.16	Ta30	86.58±2.37

晚疫病菌的抑菌效果，选用决明子醇提液与农药复配来进一步验证其对番茄发病植株的防治效果。试验结果如表 5 所示，接菌 10 d 后，只接种晚疫病菌的处理（CK）已发病严重，多数叶片有暗绿色、暗褐色的不规则水渍状病斑，严重的变黑后干枯，病情指数为 86.11；而不同稀释浓度决明子醇提液+银法利处理（Ta2、Ta7、Ta12）的病情指数均低于 Ta0 处理，且醇提液 10 倍稀释液+银法利处理（Ta2）和醇提液 50 倍稀释液+银法利（Ta7）显著低于 Ta0，说明决明子醇提液对防治番茄晚疫病有一定的辅助增强作用。在相同稀释浓度决明子醇提液的各处理中，病情指数均表现为随着银法利用量的减少而增大。因此，决明子醇提液稀释倍数与银法利复配的组合对番茄晚疫病的防治效果有显著影响，决明子醇提液稀释倍数越低，银法利用量相对充足时，防治效果越好；随着决明子醇提液稀释倍数升高或银法利用量减少，防治效果逐渐下降。

表 5　不同处理对番茄晚疫病防治的病情指数

Table 5　Disease index of different treatments in the control of tomato late blight

处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index
Ta0	36.11±1.21 f	Ta5	78.89±2.84 b	Ta10	78.89±3.15 b	Ta15	81.67±3.04 b
Ta2	27.78±0.68 h	Ta7	33.33±1.11 g	Ta12	36.04±1.41 f	CK	86.11±2.88 a
Ta3	36.11±1.34 f	Ta8	63.89±2.54 e	Ta13	63.88±2.28 e	CK0	0.00
Ta4	77.77±2.58 bc	Ta9	75.00±3.04 bc	Ta14	69.44±2.95 d		

2.4　决明子提取液与农药复配对番茄早疫病的防治效果

2.4.1　*决明子提取液与农药复配对番茄早疫病菌的抑菌效果*　从图 4 及表 6 可知，早疫病菌的生长速度较灰霉病菌及晚疫病菌慢，早疫病菌处理经过 7 d 的培养后，菌丝直径为 53.07 mm，培养基中加入苯醚甲环唑的处理（Ta0）菌丝直径为 20.36 mm，抑菌率为 61.64%。决明子醇提液与苯醚甲环唑复配的处理（Ta2、Ta3、Ta4、Ta5、Ta7、Ta8）和决明子水提液与苯醚甲环唑配施的处理（Ta17、Ta18、Ta19、Ta22）的抑菌效果均好于仅用苯醚甲环唑防治的处理 Ta0，说明决明子醇提液及水提液与农药复配对番茄早疫病菌均有一定的抑菌作用，且抑菌效果优于单独施用农药处理，但从整体抑菌效果看，决明子醇提液与苯醚甲环唑复配要优于决明子水提液与苯醚甲环唑复配。

2.4.2　*决明子提取液与农药配施对番茄早疫病的防治效果*　基于决明子提取液与农药复配对番茄早疫病菌的抑菌效果，选用决明子醇提液与农药复配的方法进一步验证其对番茄发病植株的防治效果。试验结果如表 7 所示，对番茄幼苗接种番茄早疫病菌 10 d 后，番茄多数叶片出现深褐色或黑色圆形、椭圆形的小斑点，病害由植株下部叶片开始，渐次向上蔓延，严重的出现叶片干枯，病情指数为 54.17；经过苯醚甲环唑防治的处理（Ta0）仅有少数叶片有斑点，显著少于接种早疫病菌处理，无干枯叶片，病情指数为 12.5，防治效果显著；而不同稀释浓度决明子醇提液+苯醚甲环唑处理（Ta2、Ta7、Ta12）的病情指数显著小于 Ta0 处理，说明决明子醇提液对防治番茄早疫病有一定的辅助增强作用。在相同稀释浓度决明子醇提液的各处理中，早

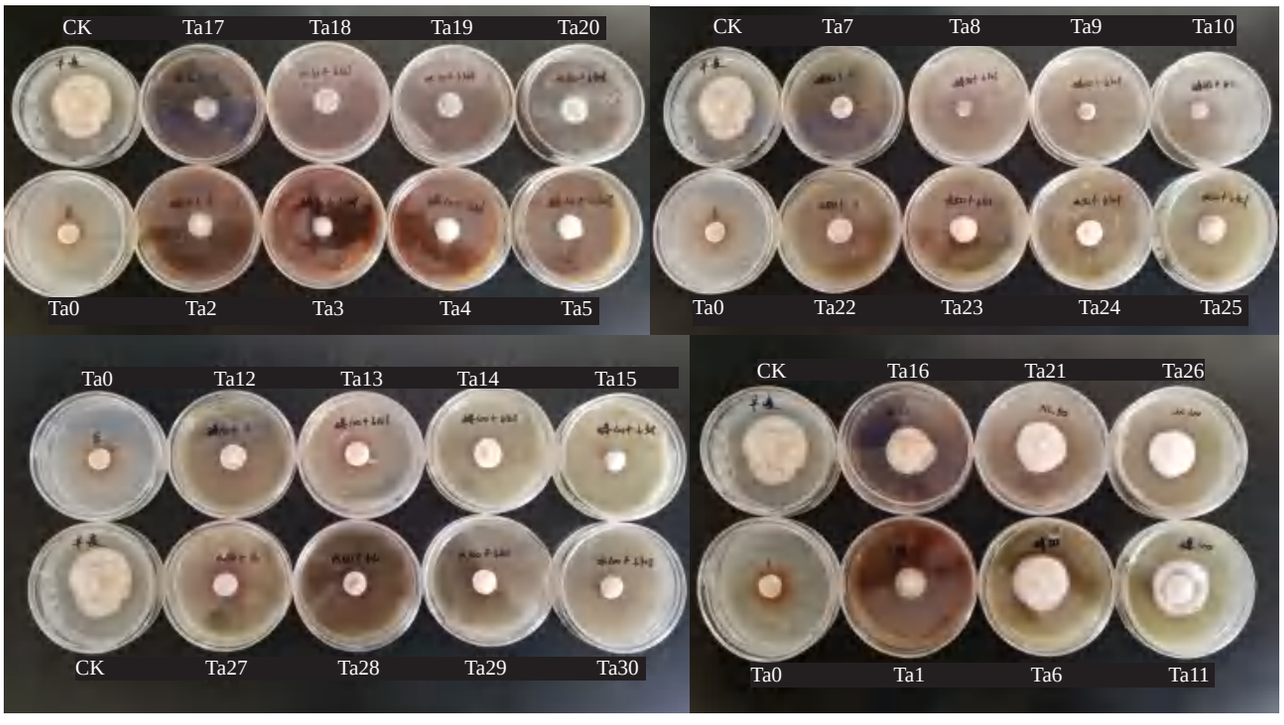


图 4　不同处理与番茄早疫菌对峙培养后的菌丝生长情况

Fig. 4　Mycelial growth conditions of different treatments after confrontation culture with *Alternaria solani*

表 6　不同处理与番茄早疫病菌对峙培养的菌丝直径

Table 6　Mycelial diameter of different treatments after confrontation culture with *Alternaria solani*　mm

处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter	处理 Treatment	菌丝直径 Mycelial diameter
Ta0	20.36±0.51	Ta7	18.29±0.35	Ta15	21.82±0.39	Ta23	21.33±0.37
CK	53.07±1.33	Ta8	20.34±0.67	Ta16	37.33±0.46	Ta24	20.97±0.41
Ta1	25.67±0.84	Ta9	20.68±0.36	Ta17	18.67±0.41	Ta25	23.33±0.62
Ta2	17.33±0.21	Ta10	24.57±0.28	Ta18	19.67±0.62	Ta26	38.96±0.75
Ta3	20.34±0.35	Ta11	40.67±0.95	Ta19	20.33±0.74	Ta27	21.78±0.82
Ta4	19.67±0.20	Ta12	21.76±0.44	Ta20	21.08±0.90	Ta28	20.96±0.67
Ta5	20.00±0.35	Ta13	20.91±0.38	Ta21	37.33±1.16	Ta29	20.95±0.38
Ta6	40.33±0.98	Ta14	23.67±0.61	Ta22	18.96±0.82	Ta30	23.54±0.43

表 7　不同处理对番茄早疫病防治的病情指数

Table 7　Disease index of different treatments in the control of tomato early blight

处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index	处理 Treatment	病情指数 Disease index
Ta0	12.50±0.38 f	Ta5	37.50±0.97 c	Ta10	40.28±1.73 b	Ta15	41.67±1.36 b
Ta2	5.56±0.19 h	Ta7	9.72±0.37 g	Ta12	11.11±0.36 g	CK	54.17±1.81 a
Ta3	8.33±0.22 g	Ta8	18.38±0.73 e	Ta13	27.78±1.04 d	CK0	0.00
Ta4	12.50±0.42 f	Ta9	16.67±0.66 e	Ta14	37.50±1.12 c		

疫病病情指数均表现为随着苯醚甲环唑用量的减少而增大。决明子醇提液 10 倍稀释液与减 10%苯醚甲环唑（Ta3）、减 20%苯醚甲环唑复配（Ta4）在防治效果上优于或与单独使用苯醚甲环唑的处理（Ta0）相当；在决明子醇提液稀释 50 倍时，将苯醚甲环唑减量 10%~20%，也能达到显著的防治效果，病情指数显著高于仅用苯醚甲环唑防治的处理 Ta0；在决明子醇提液稀释 100 倍时，将苯醚甲环唑减量，防治效果显著下降。

3　讨论与结论

本研究结果表明，适宜浓度的决明子提取物可

明显缩短番茄种子萌发周期，将发芽势提升至98%，较清水对照高出14百分点，此结论与现有植物源提取物调控种子萌发的相关研究结论相一致。此前已有研究证实，决明子的主要活性成分包括蒽醌及其苷类[11]、黄酮类物质[12]、萘并吡喃酮类及萘酚类化合物[13]，决明子中含有的这些活性物质可能通过多重机制缓解抑制物质对番茄种子萌发的负面影响。其一，通过调控种子内源激素（如赤霉素与脱落酸）的平衡，打破休眠状态；其二，通过清除萌发过程中产生的过量自由基，减轻氧化损伤；其三，通过促进渗透调节物质（如脯氨酸、可溶性糖）的积累，增强细胞耐逆性。此外，本研究中观察到高浓度决明子提取物处理后，番茄种子萌发初期出现短暂受抑制现象，可能是因为高浓度活性成分引发的临时渗透胁迫效应，该现象也与部分植物源生长调节剂的浓度效应规律保持一致。

在病害防控方面，结果显示决明子乙醇提取液的抑菌活性明显优于水提取液，且其与低剂量化学农药复配后，对番茄灰霉病、早疫病的协同防效明显优于晚疫病，该差异与3种靶标病原菌的菌丝生长速率、细胞膜结构特性及药剂敏感性的种间差异直接相关。这一结果与前人关于决明子提取物对辣椒枯萎病菌、番茄灰霉病菌的抑菌活性研究结果一致[14]，同时进一步拓展了其在早疫病、晚疫病防控领域的应用。同时，本研究结果表明复配方案可在减少10%~20%化学农药施用量的前提下，仍维持稳定的防控效果，这为番茄农药减施增效、绿色生产提供了理论支撑。本研究当前仅完成了粗提物层面的效应验证，尚未明确决明子中调控萌发、发挥抑菌作用的具体活性成分，提取物与化学农药的分子互作机制也需要进一步研究。

综上，在促进番茄种子萌发方面，决明子乙醇提液100倍稀释液可明显提升番茄种子发芽率和发芽势，种子发芽势可达98%，高于清水对照14百分点；在番茄灰霉病、晚疫病、早疫病等番茄主要病害防控方面，决明子提取液与凯泽、银法利、苯醚甲环唑等农药复配后，表现出良好的协同抑菌效果，其中当决明子乙醇提取液稀释10倍时，与供试农药的复配效果最佳。对灰霉病、晚疫病、早疫病的抑菌率分别为77.07%、53.22%和67.34%，三种病害的病情指数分别为3.07、27.78和5.56，且在减少10%~20%化学农药的施用量时仍能保持良好的防治效果，但随着决明子乙醇提取液稀释倍数的增加，病害防治效果呈显著下降的趋势。

参考文献

[1] Rabolle M，Spliid N H，Kristensen K，et al. Determination of fungicide residues in field grown strawberries following different fungicide strategies against gray mold（*Botrytis cinerea*）[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2006，54（3）：900-908.

[2] 尤佳琪，李国庆. 拟康宁木霉T-51菌株发酵液对灰葡萄孢的抑菌活性[J]. 植物保护，2021，47（1）：74-78.

[3] 刘东亮，曾凯，刘春海. 植物源农药活性成分提取方法的研究进展[J]. 中国农学通报，2025，41（17）：126-131.

[4] 程玲铃，孙梅，涂凌. 决明子提取物对植物病原菌的抑菌活性初探[J]. 四川理工学院学报（自然科学版），2005，18（2）：53-55.

[5] 秦楠. 决明子提取物对番茄灰霉病菌的生物活性及作用机理研究[D]. 山西晋中：山西农业大学，2013.

[6] Grayer R J，Harborne J B. A survey of antifungal compounds from higher plants[J]. Phytochemistry，1994，37（1）：19-42.

[7] 张焕焕，张宗杰，苏晓梅，等. 45份番茄材料萌芽期耐盐碱性综合评价[J]. 中国蔬菜，2025（7）：70-82.

[8] 农业部农药检定所生测室. 农药 田间药效试验准则[M]. 北京：中国标准出版社，2004.

[9] 冯兰香，杨宇红，谢丙炎，等. 中国18省市番茄晚疫病生理小种的鉴定[J]. 园艺学报，2004，31（6）：758-761.

[10] 王发科，郑贵彬. 番茄早疫病抗病性鉴定方法[J]. 植物病理学报，1992，22（2）：168.

[11] 丁淑敏，宋国强，曹引梅. 比较生、炒决明子中有效成分的含量[J]. 天津化工，2007，21（2）：53-54.

[12] 丁润梅，田大年. 决明子茶提取物中黄酮含量的测定及抗自由基活性研究[J]. 食品研究与开发，2015，36（6）：86-88.

[13] 骆宜. 决明子化学成分分离制备及对照提取物研究[D]. 北京：北京中医药大学，2016.

[14] 李向花，弓春瑞，曹挥，等. 决明子对两种病原菌抑菌活性初步研究[J]. 山西农业大学学报（自然科学版），2006（4）：348-350.