

刘婉, 庞夫花, 许林林, 等. 不同草莓品种对二斑叶螨的抗性评价[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(23): 129–134.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.23.018

# 不同草莓品种对二斑叶螨的抗性评价

刘婉<sup>1,2</sup>, 庞夫花<sup>1</sup>, 许林林<sup>1</sup>, 袁华招<sup>1</sup>, 王琬静<sup>1</sup>, 熊劲松<sup>2</sup>, 王庆莲<sup>1</sup>, 赵密珍<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏南京 210014; 2. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**为充分挖掘和利用草莓种质资源, 筛选抗二斑叶螨的优质品种, 为品种改良奠定基础, 以 188 份草莓品种为试材, 采用目测调查法调查田间自然条件下二斑叶螨危害情况及重要园艺性状, 并进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明, 188 份草莓品种对二斑叶螨的抗性可划分为 5 个等级, 抗性品种占 32.45%, 其中欧美、中国、日本抗性品种分别占 16.49%、12.77%、3.19%; 不同草莓品种二斑叶螨危害等级与重要园艺性状相关性分析结果表明, 188 份草莓品种的二斑叶螨危害等级与果实含糖量、果实风味呈极显著正相关, 与品种来源、株高呈显著正相关, 与果肉颜色、叶片茸毛数量、叶片质地呈极显著负相关; 12 个性状可转化为 5 个主成分, 5 个主成分的累计贡献率达 68.524%; 聚类分析将 188 份草莓品种分为 2 个大类、4 个簇, 4 个簇的特点不同, 育种上可选择合适的亲本加以利用, 从 II A、II B 亚群中筛选出火花、因都卡、甜心、宁玉、越丰、紫金红、公四莓、柘木少女等抗二斑叶螨的优异品种, 可为后期抗性品种的选育提供一定参考。

**关键词:**草莓; 品种; 二斑叶螨; 抗性; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

**中图分类号:**S436.68<sup>+</sup>4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)23-0129-05

草莓 (*Fragaria × ananassa* Duch.) 为蔷薇科 (Rosaceae) 草莓属 (*Fragaria*) 多年生草本植物<sup>[1]</sup>, 果实鲜美红嫩, 果肉多汁, 含有丰富的维生素和矿物质<sup>[2]</sup>, 深受消费者喜爱。我国在 20 世纪 90 年代开始发展设施草莓, 且栽培面积不断扩大。设施草莓栽培促使草莓鲜果供应期大大延长, 带动区域经济发展, 已成为高效农业的主导产业<sup>[3]</sup>。设施栽培通风透气性差, 为草莓病虫害的发生创造了有利条件。二斑叶螨是侵染草莓的主要害虫之一, 具有体形小、繁殖力强、年发生代数多且世代重叠严重等特点, 可通过刺穿草莓叶片细胞以植物组织汁液为食, 引起叶片产生失绿斑点, 最终导致叶片坏死, 植株生长受到抑制, 进而阻碍草莓产业的健康持续发展<sup>[4-5]</sup>。目前, 时有各地草莓种植户反映杀螨剂对二斑叶螨的防治效果不太理想, 这可能与莓农长期使用单一杀螨剂而使害螨产生耐药性或抗药性等有关<sup>[6]</sup>。通过不同抗性品种间的杂交, 筛选抗性优异的后代是目前应用最为广泛的育种手段<sup>[7]</sup>, 但高抗二斑叶螨且优质的亲本资源较少。本试验以国家草莓资源圃中的 188 份草莓品种为试材, 在田间自然条件下, 调查各品种对二斑叶螨的抗性情况以及重要园艺性状, 筛选表现优异的草莓品种, 旨在为优良栽培品种的创制提供丰富的物质基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试栽培草莓品种为欧美品种 (77 份, 40.96%)、中国品种 (80 份, 42.55%)、日系品种 (31 份, 16.49%), 共 188 份, 于 2022 年 9 月 15 日栽种于江苏省南京市江苏省农业科学院草莓种植基地, 双行定植, 株距 20 cm, 每个品种 40 株。采用塑料大棚设施栽培, 双层塑料膜覆盖保温, 温度和湿度按常规管理。

### 1.2 试验方法

2023 年 4—5 月进行叶片性状和果实性状调查, 并于 5 月果实采收结束后, 田间调查二斑叶螨对草莓植株的危害情况。草莓相关性状调查和二斑

收稿日期: 2024-02-29

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 [编号: CX(22)2024]; 国家园艺种质资源库项目 (编号: NHGRC2023-NH16); 农业农村部作物种质资源保护项目 (编号: 19230824); 国家自然科学基金 (编号: 32072533); 江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目 (编号: JBGS[2021]083); 江苏现代农业产业技术体系建设项目 (编号: JATS[2023]386)。

作者简介: 刘婉 (1999—), 女, 安徽宣城人, 硕士研究生, 研究方向为草莓种质资源。E-mail: 18792249557@139.com。

通信作者: 赵密珍, 硕士, 研究员, 研究方向为草莓种质资源创新与新品种选育。E-mail: njzhaomz@163.com。

叶螨抗性等级田间分级标准参照赵密珍的方法<sup>[8]</sup> (表 1、图 1 和表 2)。

表 1 草莓二斑叶螨抗性等级田间分级标准

二斑叶螨危害等级	调查标准	抗性评价
1	无二斑叶螨	高抗 (HR)
3	二斑叶螨少 (叶片危害程度≤10%)	抗虫 (R)
5	二斑叶螨多 (10% < 叶片危害程度≤50%)	中抗 (MR)
7	二斑叶螨多且部分结网 (50% < 叶片危害程度≤80%)	感虫 (S)
9	二斑叶螨更多且全部结网 (80% < 叶片危害程度≤100%)	高感 (HS)



A—二斑叶螨危害 1 级; B—二斑叶螨危害 3 级; C—二斑叶螨危害 5 级; D—二斑叶螨危害 7 级; E—二斑叶螨危害 9 级

图1 不同抗性等级草莓叶片二斑叶螨受害症状

表 2 重要园艺性状赋值

性状	赋值
来源	1 = 欧美; 2 = 国内; 3 = 日本
株高	1 = < 10 cm; 2 = 10 ~ 25 cm; 3 = > 25 cm
果面 (肉) 颜色	1 = 白; 2 = 橙黄; 3 = 橙红; 4 = 红; 5 = 深红
果实风味	1 = 酸; 2 = 甜酸; 3 = 适中; 4 = 酸甜; 5 = 甜
叶片茸毛数量	1 = 无; 2 = 稀; 3 = 中; 4 = 密
叶片茸毛着生状态	1 = 紧贴; 2 = 斜立; 3 = 直立
叶片质地	1 = 柔软; 2 = 革质平滑; 3 = 革质粗糙

1.3 数据分析

对调查数据进行统计整理,采用 Excel 2021 和 SPSS 27 软件进行数据处理及相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同草莓品种二斑叶螨的发病程度

在调查的 188 份草莓品种中,高抗品种占 3.72%,抗虫品种占 28.72%,中抗品种占 35.11%,感虫品种占 28.19%,高感品种占 4.26%。高抗品种有西 5、火花、波兰 6 号、新屯 1 号、宁玉、秋丰、杂交 3 号;抗虫品种有因都卡、希利亚、圣星、莱森、甜心、宁露、紫金红、大连四季、公四莓、越丰、奈良 2 号、栃木少女等;高感品种有欧美系、贺肯、红衣、安

阳草莓、美珠、高良 5 号、梦香、香 (图 2)。

2.2 不同来源的草莓品种对二斑叶螨的抗性表现

通过田间调查二斑叶螨对 188 份草莓品种的危害情况发现,欧美、中国、日本的抗性品种 (高抗、抗虫) 各占 16.49%、12.77%、3.19%;在欧美品种中,抗性品种占 40.26%;在中国品种中,抗性品种占 30.00%;在日本品种中,抗性品种占 19.35% (高抗品种占比为 0)。不同来源的草莓品种对二斑叶螨的抗性存在一定差异,总体表现为来源于欧美的品种抗性较强,中国品种次之,而来源于日本的品种相对易感 (图 3)。

2.3 不同草莓品种二斑叶螨抗性等级与重要园艺性状的相关性分析

对 188 份草莓品种二斑叶螨危害等级与重要园艺性状进行相关性分析,结果 (表 3) 表明,188 份草莓品种二斑叶螨危害等级与果实含糖量、风味呈极显著正相关,与品种来源、株高呈显著正相关,与果肉颜色、叶片茸毛数量、叶片质地呈极显著负相关。其他性状之间存在一定的相关性。

2.4 不同草莓品种二斑叶螨危害等级与重要园艺性状的主成分分析

对 188 份草莓品种的 12 个性状进行主成分分



A—宁玉; B—新电 1 号; C—莱森; D—大连四季; E—越丰; F—红衣; G—欧美系; H—香; I—美珠  
图2 不同草莓品种二斑叶螨发病情况

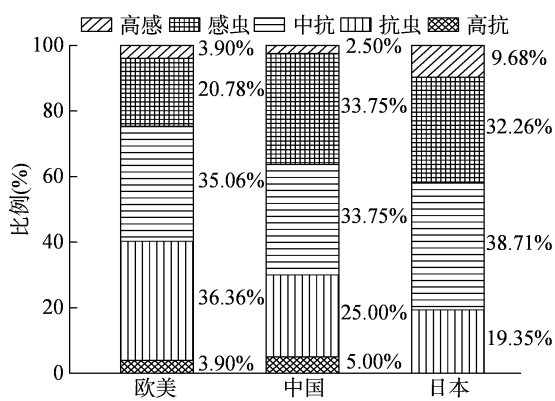


图3 不同来源草莓品种抗性等级占比

析,结果(表4)显示,前5个主成分累计贡献率达到68.524%,可基本反映12个性状的主要信息。第1个主成分的特征值为2.907,贡献率达24.225%,以果实含糖量、叶片正面茸毛数量为主要指标;第2个主成分的特征值为1.722,贡献率为14.350%,以株高、叶片背面茸毛数量特征向量值最大;第3个主成分的特征值为1.541,贡献率为12.839%,其中果面颜色和果肉颜色具有较高的因子荷载;第4个主成分的特征值为1.040,贡献率为8.663%,以叶片背面茸毛着生状态为主要指标;第5个主成分的特征值为1.014,贡献率为8.447%,以叶片正面茸毛着生状态为主要指标。

## 2.5 188份草莓品种重要园艺性状聚类分析

采用SPSS 27.0对188份草莓品种的重要园艺性状进行聚类分析,结果(图4)表明,在欧氏距离20处,将188份草莓品种分为2类(I和II)。第I类群含有5份草莓品种,其中4份为日本品种,1份为国内通过红颜复壮品种脱毒组培获得的芽变品种(小白),5份品种都感二斑叶螨(高感、感虫),且植株偏高,果面颜色偏橙红,果肉颜色偏白,含糖量高,风味甜,叶片茸毛数量少,叶片革质平滑。第II类群在欧氏距离13处又分为3个亚群(II A、II B和II C)。II A亚群包含72份草莓品种,均抗二斑叶螨,植株偏矮,含糖量大多偏低,风味多偏酸,叶片革质较为粗糙,其中火花、紫金红2份品种的含糖量较高,风味酸甜可口;II B亚群包含78份草莓品种,为抗性、中抗、感虫资源,性状不统一,其中因都卡、甜心、宁玉、越丰、公四莓、栃木少女等16份草莓品种不仅抗二斑叶螨,还具有果实含糖量高、风味香甜等优良性状;II C亚群包含33份草莓品种,其中大多为感二斑叶螨的品种,植株偏矮,果面颜色偏橙红,含糖量较高,风味偏甜,叶片正面茸毛偏少。综上,4个类群的特点不同,在育种上可选择合适的亲本加以利用;从II A、II B亚群中共筛选出18份抗二斑叶螨的优异品种,可为后期抗性品种的选



表 3 二斑叶螨危害程度与重要园艺性状的相关性分析

性状	相关系数											
	来源	二斑叶 螨危害 等级	株高	果面 颜色	果肉 颜色	果实 含糖量	果实 风味	叶片背 面茸毛 数量	叶片背 面茸毛 着生状态	叶片正 面茸毛 数量	叶片正 面茸毛 着生状态	叶片 质地
来源	1.000											
二斑叶螨危害等级	0.175 *	1.000										
株高	0.332 **	0.181 *	1.000									
果面颜色	0.032	-0.084	0.108	1.000								
果肉颜色	-0.198 **	-0.246 **	0.217 **	0.543 **	1.000							
果实含糖量	0.454 **	0.326 **	0.411 **	0.014	-0.222 **	1.000						
果实风味	0.361 **	0.269 **	0.490 **	0.028	-0.224 **	0.403 **	1.000					
叶片背面茸毛数量	-0.123	-0.195 **	0.011	-0.012	0.118	-0.205 **	-0.146 *	1.000				
叶片背面茸毛着生状态	-0.096	0.077	-0.038	-0.031	-0.081	-0.015	0.103	0.153 *	1.000			
叶片正面茸毛数量	-0.243 **	-0.297 **	-0.102	0.044	0.158 *	-0.293 **	-0.160 *	0.540 **	0.147 *	1.000		
叶片正面茸毛着生状态	-0.073	-0.056	0.000	0.086	0.053	-0.121	-0.033	0.000	0.000	0.079	1.000	
叶片质地	-0.132	-0.256 **	-0.049	0.081	0.165 *	-0.247 **	-0.171 *	0.425 **	0.089	0.518 **	0.191 **	1.000

注：\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 级别(双尾)相关性显著。

表 4 不同草莓品种二斑叶螨危害等级与重要园艺性状的主成分分析

性状	载荷				
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
来源	0.584	0.291	0.181	-0.291	-0.075
二斑叶螨危害等级	0.539	0.001	-0.136	0.400	0.126
株高	0.480	0.595	0.186	-0.152	0.032
果面颜色	-0.151	0.121	0.856	0.247	-0.044
果肉颜色	-0.444	-0.115	0.729	0.197	-0.143
果实含糖量	0.699	0.258	0.139	-0.012	-0.098
果实风味	0.599	0.454	0.096	0.139	0.075
叶片背面茸毛数量	-0.476	0.585	-0.181	-0.051	-0.239
叶片背面茸毛着生状态	-0.076	0.295	-0.302	0.790	0.024
叶片正面茸毛数量	-0.613	0.530	-0.137	-0.031	-0.089
叶片正面茸毛着生状态	-0.195	0.106	0.136	-0.060	0.934
叶片质地	-0.576	0.511	-0.017	-0.144	0.123
特征值	2.907	1.722	1.541	1.040	1.014
贡献率(%)	24.225	14.350	12.839	8.663	8.447
累计贡献率(%)	24.225	38.575	51.414	60.077	68.524

育提供一定参考。

3 讨论与结论

3.1 不同来源草莓品种与二斑叶螨抗性的关系

本研究以来自于世界三大主要草莓生产区欧美、中国和日本的 188 份草莓种品种为试材,采用目测调查法调查田间自然发病规律,结果表明,188 份草莓品种可划分为 5 个抗性等级,其中来源于欧美

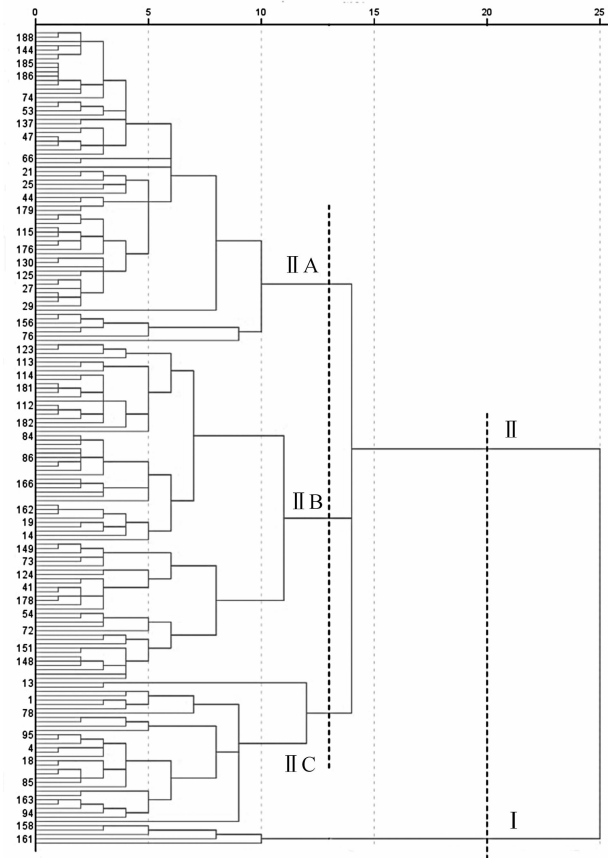


图4 188 份草莓品种重要园艺性状聚类分析

的草莓品种对二斑叶螨表现出较强的抗性,来源于我国的品种次之,来源于日本的品种抗性较差。这与侯丽媛等的研究结果<sup>[9]</sup>一致。有研究表明,欧美地区以增强适应性和对不同病虫害的抗性以及改

善风味为草莓品种主要育种目标<sup>[10-11]</sup>。日本地区的草莓选育目标为生长势强、糖度高、风味浓<sup>[12]</sup>。因此,欧美品种主要表现为植株矮、抗性强、风味偏酸;日本品种主要表现为植株高、抗性差、风味香甜<sup>[13]</sup>。我国则主要利用欧美品种和日本品种的优势,选育适合我国生长条件和消费者需求的品种。相关性分析结果表明,二斑叶螨危害等级越高的品种,其果实含糖量越高,果实风味越甜。糖类为二斑叶螨摄取的主要养分之一<sup>[14-15]</sup>,不仅对许多昆虫的取食有助长作用,还对它们的发育和繁殖有重要影响<sup>[16]</sup>。因此,含糖量高低可能是草莓品种是否易感二斑叶螨的重要因素。

### 3.2 重要园艺性状与二斑叶螨抗性的关系

了解和掌握不同品种的多样性水平,对于挖掘优异资源、创制新品种等具有重要意义<sup>[17]</sup>。通过对不同草莓品种的重要园艺性状进行研究发现,株高、果肉颜色、叶片茸毛数量和叶片质地都是影响植株对二斑叶螨抗性的重要因素。果肉颜色与果实含糖量呈极显著相关,结合生产中果肉偏橙偏白的果实,风味更甜,得出果肉颜色对于植株对二斑叶螨抗性的影响可能归根于果实含糖量的影响。

植物固有的物理特性对植食性昆虫有明显的防御作用,叶片的质地、颜色、茸毛着生情况、气孔密度等直接影响昆虫的寄主选择情况<sup>[18-19]</sup>。何菁等报道了辣椒叶片物理性状对烟粉虱寄主选择的影响,结果发现,叶片茸毛密度越高的品种,对烟粉虱的抗性越强<sup>[20]</sup>。辣椒体表茸毛也与抗蚜性有关,茸毛不利于蚜虫附着,能有效降低蚜虫的侵染<sup>[21]</sup>。王雨等也发现,叶毛长度和密度越高的小麦品种,抗蚜性越强<sup>[22]</sup>。在草莓方面,叶片茸毛多的形态特征可能起着机械性避蚜作用,可阻碍蚜虫取食<sup>[23]</sup>。二斑叶螨同样作为小体积的刺吸式害虫,在取食茸毛密集的草莓叶片时,也可能存在机械性阻碍,不利于附着,因此茸毛浓密的草莓品种具有较强的抗二斑叶螨能力。这与谭济才等在植物抗病虫机制和茶树良种的研究中得出的植物叶片表面附属物易影响螨类取食活动、叶片茸毛多而密的茶树品种螨类发生较少的结果<sup>[24]</sup>相似。因此,在进行草莓品种抗性评价时,可以采用叶片茸毛等作为抗二斑叶螨的指标。

### 3.3 草莓品种对二斑叶螨抗性差异在育种方面的应用

品种之间的差异对于草莓二斑叶螨的发生影

响很大,选育抗虫品种、避免易感品种是防治二斑叶螨的根本途径<sup>[25]</sup>。聚类分析可以对品种目标性状进行聚类,为育种决策的制定提供有益的参考信息<sup>[26]</sup>。本研究通过聚类分析筛选出 18 份抗二斑叶螨且品质优良的品种,可深度挖掘其经济价值。Ⅰ类群和ⅡC 亚群虽然高感二斑叶螨,但具有含糖量高、风味甜等目标性状;ⅡA 亚群抗二斑叶螨能力强,但含糖量偏低、风味酸,不符合中国地区消费者的喜好。可将 2 个系列品种的优势融合,选育品质好、抗性强的国产品种。

### 参考文献:

- [1] 邓明琴,雷家军. 中国果树志:草莓卷[M]. 北京:中国林业出版社,2005.
- [2] Das Khunte S, Kumar A, Ansari N, et al. Effect of different levels of PGRs with organic manure on growth characters and economics of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. chandler in northern region[J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2020, 9(1): 1633 - 1638.
- [3] 梁文卫. 草莓设施栽培研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2014(6): 155 - 158.
- [4] Bergeron P E, Schmidt - Jeffris R A. Spider mite resistance to miticides in South Carolina strawberry and implications for improved integrated pest management[J]. Experimental & Applied Acarology, 2021, 84(2): 407 - 418.
- [5] 陈永华,徐秋营,高会侠. 浅谈设施栽培草莓病虫害发生规律与综合防治[J]. 中国果菜, 2012(1): 8 - 9.
- [6] 赵帅峰,邵美红,柯汉云,等. 几种药剂对草莓红蜘蛛的防效及安全性分析[J]. 浙江农业科学, 2013(1): 70 - 72.
- [7] 关 玲,赵密珍,王庆莲,等. 草莓品种(系)白粉病田间抗性鉴定[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(3): 276 - 284.
- [8] 赵密珍. 草莓种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006.
- [9] 侯丽媛,张春芬,聂园军,等. 草莓品种及其选育方法研究进展[J]. 山西农业科学, 2017, 45(12): 2038 - 2043.
- [10] Mezzetti B, Giampieri F, Zhang Y T, et al. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world[J]. Journal of Berry Research, 2018, 8(3): 205 - 221.
- [11] Olbricht K, Gerischer U, Ludwig A, et al. Hansabred - European strawberry breeding and research [J]. Acta Horticulturae, 2014(1049): 237 - 240.
- [12] 钟需霖. 日本草莓育种及发展战略[J]. 种子, 2005, 24(12): 98 - 100.
- [13] 常琳琳,董 静,钟传飞,等. 中国育成草莓品种的系谱分析[J]. 果树学报, 2018, 35(2): 158 - 167.
- [14] Rodriguez J G, Hampton R E. Essential amino acids determined in the two - spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina, Tetranychidae) with glucose - U - C<sup>14</sup> [J]. Journal of Insect Physiology, 1966, 12(10): 1209 - 1216.

李余先,王雅儒.小檗碱纳米粒制备工艺优化及其对人参黑斑病的防效[J].江苏农业科学,2024,52(23):134-139.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.23.019

# 小檗碱纳米粒制备工艺优化及其对人参黑斑病的防效

李余先<sup>1</sup>,王雅儒<sup>2</sup>

(1.吉林农业科技学院中药学院,吉林吉林 132101;2.中国药科大学中药学院,江苏南京 210098)

**摘要:**人参黑斑病对药用植物人参破坏力极强,小檗碱作为植物源绿色灭菌剂农药,在不影响非目标生物的情况下,具有除草、抑菌、杀虫等农用活性,在植物病害防治领域发挥重要作用。然而其溶解度低、生物利用度差,从而在人参黑斑病防治方面应用受限。为了开辟小檗碱在人参黑斑病防治方面的应用途径,利用离子凝胶法制备小檗碱壳聚糖纳米粒(BRCSNP)并进行处方工艺优化。结果显示,该纳米制剂呈现出良好的分散稳定性,粒径为 $(156.8 \pm 5.8)$  nm,载药量为14.76%。体外释放试验结果表明,原药组于6 h内完全释放而BRCSNP于6 h累计释放率为50.32%,小檗碱缓释效果得以实现。通过高效液相色谱(HPLC)和叶面滞留量研究考察其在紫外光源下的光解稳定性以及叶面黏附性。最后分别采用菌丝生长速率法和离体叶片试验研究了其对人参黑斑病菌的抑制效果,试验结果表明BRCSNP对人参黑斑病有效好的防治效果。研究结果为小檗碱在人参黑斑病防治方面的应用提供了理论基础,降低了人参种植中的化学农药使用量,促进了人参种植业的绿色可持续发展。

**关键词:**植物源农药;人参黑斑病;抑菌活性;纳米农药;小檗碱

**中图分类号:**S435.675 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)23-0134-06

人参黑斑病是一种对药用植物人参具有较强破坏力的循环系统疾病,其危害表现为叶片脱落、植株枯萎、人参种子品质下降和人参根产量减少<sup>[1]</sup>。目前,防治人参黑斑病主要利用化学手段,

但农药的频繁使用不仅会破坏生态环境,还会引起人参产品农残超标及病菌产生抗药性等问题<sup>[2-3]</sup>。为了贯彻可持续发展的理念,保证农民收入,研制新型绿色灭菌剂意义重大。

植物作为一种天然抗菌物质,具有无污染、不易产生耐药性等独特优势,并且可以在不影响非目标生物的情况下达到理想的防治效果<sup>[4]</sup>,因此,在植物病害防治方面,植物源农药是近年来的研究热点<sup>[5]</sup>。王彩霞等通过46科87种中药植物乙醇提取物的筛选发现厚朴、麦冬、乌药、麻叶蟛蜞菊等4种

收稿日期:2023-11-29

基金项目:吉林省科技发展计划(编号:20220204086YY)。

作者简介:李余先(1979—),男,吉林德惠人,博士,副教授,从事中药新药开发研究。E-mail:769831847@qq.com。

通信作者:王雅儒,硕士研究生,从事中药纳米制剂研究。E-mail:1033227647@qq.com。

[15] Jonckheere W, Dermauw W, Khalighi M, et al. A gene family coding for salivary proteins (SHOT) of the polyphagous spider mite *Tetranychus urticae* exhibits fast host-dependent transcriptional plasticity[J]. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2018, 31(1):112-124.

[16] 吴坤君,李明辉.棉铃虫营养生态学的研究:食物中糖含量的影响[J].*昆虫学报*,1992,35(1):47-52.

[17] Stepansky A, Kovalski I, Perl-Treves R. Intraspecific classification of melons (*Cucumis melo* L.) in view of their phenotypic and molecular variation[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 1999, 217(3):313-332.

[18] 杨金睿,肖关丽.植物抗虫生理研究进展[J].*中国农学通报*, 2021, 37(6):130-136.

[19] 欧阳玉婷,田森,胡蕾,等.茶叶叶片理化性质对茶蚜取食选择性的影响[J].*植物保护*,2023,49(6):40-46,62.

[20] 何菁,周福才,陈学好,等.辣椒叶片物理性状对烟粉虱寄生选择的影响[J].*生态学杂志*,2016,35(11):3045-3050.

[21] 尚宏芹,刘建萍,戴洪义,等.辣椒体表茸毛与抗蚜虫关系的研究[J].*莱阳农学院学报*,2004,21(4):293-295,298.

[22] 王雨,王舰,吴问其,等.扫描电镜下的小麦叶毛性状与麦长管蚜生物学参数相关性分析[J].*植物保护学报*,2014,41(4):474-481.

[23] 蒋桂华,谢鸣,吕仲贤,等.草莓品种对蚜虫的抗性机制[J].*果树学报*,2006,23(5):728-731.

[24] 谭济才,邓欣.植物抗病虫性机制与茶树良种选育[J].*茶叶通讯*,1994(3):13-16.

[25] 杨爽,李海鹏,杨培鑑,等.不同草莓品种对白粉病的抗性调查[J].*北方园艺*,2014(10):104-106.

[26] 闫世江,张继宁,刘洁.聚类分析在黄瓜育种中的应用[J].*当代生态农业*,2012(增刊1):9-12.