

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2022.60801

李黎, 潘慧, 李文艺, 汪祖鹏, 钟彩虹. 中国野生猕猴桃资源的溃疡病抗性种质筛选[J]. 植物科学学报, 2022, 40(6): 801~809

Li L, Pan H, Li WY, Wang ZP, Zhong CH. Screening of wild *Actinidia* germplasms resistant to bacterial canker disease in China[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(6): 801~809

中国野生猕猴桃资源的溃疡病抗性种质筛选

李黎, 潘慧, 李文艺, 汪祖鹏, 钟彩虹*

(中国科学院猕猴桃产业技术工程实验室, 中国科学院武汉植物园植物种质创新与特色农业重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 细菌性溃疡病严重威胁猕猴桃(*Actinidia*)产业发展, 本研究对国家猕猴桃资源圃中29个种82份种质资源进行了离体枝条的溃疡病菌接种, 以病斑长度评价其抗病能力, 将种质划分为高抗至高感7个抗性等级。结果显示: 不同种间材料抗性差异显著, 大部分种内材料存在明显的抗性分化。82份种质中含高抗种质5份(6.09%)、中抗种质9份(10.98%)、低抗种质18份(21.95%)、耐病种质21份(25.61%)、低感种质11份(13.41%)、中感种质9份(10.98%)及高感种质9份(10.98%)。32份抗病种质包括软枣(*A. arguta* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel)6份, 异色(*A. callosa* var. *discolor* C. F. Liang)5份, 黑蕊(*A. melanandra* Franchet)4份, 京梨(*A. callosa* var. *henryi* Maximowicz)及毛花(*A. eriantha* Bentham)各3份, 葡萄叶(*A. vitifolia* C. Y. Wu)、安息香(*A. styracifolia* C. F. Liang)及紫果(*A. arguta* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. *purpurea* (Rehd.) C. F. Liang)各2份, 阔叶(*A. latifolia* (Gardner & Champion) Merrill)、红茎(*A. rubricaulis* Dunn)、山梨(*A. rufa* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel)、湖北(*A. hubeiensis* H. M. Sun and R. H. Huang)及黄毛(*A. fulvicoma* Hance)各1份。本研究结果为猕猴桃抗病品种的杂交选育与创制奠定了基础。

关键词: 猕猴桃; 溃疡病; 种质资源; 离体分析; 抗性评价

中图分类号: S663.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)06-0801-09

Screening of wild *Actinidia* germplasms resistant to bacterial canker disease in China

Li Li, Pan Hui, Li Wen-Yi, Wang Zu-Peng, Zhong Cai-Hong*

(Engineering Laboratory for Kiwifruit Industrial Technology, Key Laboratory of Plant Germplasm Enhancement and Specialty Agriculture, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Bacterial canker disease is a serious threat to the development of the kiwifruit industry. Based on the abundant wild *Actinidia* germplasm resources in China, screening highly resistant germplasms and breeding resistant varieties with great fruit characters is a primary task for the development of the kiwifruit industry. In this paper, we inoculated isolated branches of 82 germplasms of 29 *Actinidia* species from the national kiwifruit germplasm nursery with *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. Disease resistance was evaluated based on lesion length, divided into seven categories from highly resistant to highly susceptible.

收稿日期: 2022-05-05, 修回日期: 2022-07-21。

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1000201); 湖北省重点研发计划(2022BBA0076); 植物基因组学国家重点实验室开放课题(SKLPG2016A-18); 长江猕猴桃产业技术研究项目(CJZX20210102); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-26)。

This work was supported by grants from the National Key Research and Development Project of China (2019YFD1000201), Key Research and Development Project of Hubei Province (2022BBA0076), Open Project of State Key Laboratory of Plant Genomics (SKLPG2016A-18), Yangtze River Kiwifruit Industrial Technology Research Project (CJZX20210102), and Earmarked Fund for CARS (CARS-26).

作者简介: 李黎(1985-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为猕猴桃病害致病机理及抗性种质创制(E-mail: lili@wbgcas.cn)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zhongch@wbgcas.cn)。

Results showed distinct differences in resistance among the different species, as well as intraspecific resistance differentiation. Among the 82 germplasms, five were highly resistant (6.09%), nine were moderately resistant (10.98%), 18 were lowly resistant (21.95%), 21 were tolerant (25.61%), 11 were lowly susceptible (13.41%), nine were moderately susceptible (10.98%), and nine were highly susceptible (10.98%). The 32 resistant germplasms included six germplasms of *A. arguta* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel, five germplasms of *A. callosa* var. *discolor* C. F. Liang, four germplasms of *A. melanandra* Franchet, three germplasms of *A. callosa* var. *henryi* Maximowicz and *A. eriantha* Bentham, respectively, two germplasms of *A. vitifolia* C. Y. Wu, *A. styracifolia* C. F. Liang, and *A. arguta* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. *purpurea* (Rehd.) C. F. Liang, respectively, and one germplasm of *A. latifolia* (Gardner & Champion) Merrill, *A. rubricaulis* Dunn, *A. rufa* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel, *A. hubeiensis* H. M. Sun and R. H. Huang, and *A. fulvicoma* Hance, respectively. Thus, this study lays a theoretical foundation for the cross-breeding and creation of disease-resistant varieties of kiwifruit.

Key words: *Actinidia*; Bacterial canker; Germplasm resources; *In vitro* bioassay; Resistance evaluation

猕猴桃是 20 世纪由野生到商业栽培最成功的植物驯化范例之一，因其富含多种维生素和矿质元素，被誉为“水果之王”。猕猴桃隶属猕猴桃科、猕猴桃属(*Actinidia*)，分为 54 个种，21 个变种。我国是猕猴桃属植物的原产地，分布有除尼泊尔猕猴桃(*A. strigosa* Hooker f. and Thomas)和白背叶猕猴桃(*A. hypoleuca* Nakai)外的其他 52 个种。目前，世界猕猴桃商业化栽培种主要是中华/美味复合系猕猴桃(包括 *A. chinensis* Planch var. *chinensis* 及 *A. chinensis* var. *deliciosa* A. Chevalier)，及少量毛花猕猴桃(*A. eriantha* Bentham)和软枣猕猴桃(*A. arguta* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. *purpurea* (Rehd.) C. F. Liang)^[1]。

我国作为猕猴桃栽培种的发源地，栽培面积已超过意大利、新西兰及智利等国的总和，结果面积占全球总面积的 68.24%，为世界最大的猕猴桃生产国^[2]。然而，近年来，由丁香假单胞杆菌猕猴桃致病变种 *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (Psa)引起的细菌性溃疡病在各主产区爆发，累计感病面积超过百万亩，平均病株率超过 40%，特别是商品价值高、栽培面积最大的中华黄肉和红肉品种受害严重，死树、毁园情况频发，给我国猕猴桃产业造成了重大经济损失。解决溃疡病对产业的威胁已成为当前国内外猕猴桃研究的首要命题^[3, 4]。

开发利用可遗传的抗性品种一直以来被视为最

经济、高效、持久和环境友好的病害防治策略。目前主栽的中华及美味系品种商品性状优异，但抗性均较差，因此直接从中华杂交群体中筛选抗病材料很难实现^[5, 6]。中国野生猕猴桃资源种类、储量及遗传多样性均非常丰富，不同猕猴桃物种存在着明显不同的抗性；通过长期的自然选择，野生资源一般含有大量抗性(抗病、抗涝和抗旱等)基因，为猕猴桃抗病基因改良提供了良好的材料。因此，尽快对猕猴桃野生种质资源进行溃疡病抗性评价十分重要。

基于野生资源的抗性评价结果，短期内可用作砧木进行嫁接，适当提高中华及美味主栽品种的抗性，譬如使用阔叶砧木证实可增加‘红阳’的抗病性^[6]；从长期的角度而言，可用高抗种质与中华/美味种质进行杂交选育抗性更强的品种或砧木，如软枣、黑蕊(*A. melanandra* Franchet)、对萼(*A. valvata* Dunn)与中华 F1 代及回交杂交后代的抗性明显增强^[7]；运用美味品种‘秦美’及毛花进行杂交，获得了一株抗性较好的砧木^[8]。此外，可进一步进行抗性基因 QTL 定位^[9]或发掘关键抗性基因，借助分子育种手段从根本上解决猕猴桃溃疡病这一关键难题，从而促进猕猴桃产业绿色、健康和可持续发展。本研究对国家猕猴桃资源圃中 29 个种 82 份种质资源进行了离体溃疡病抗性评价，鉴定猕猴桃属不同种间及种内材料的抗性差异，筛选出 32 份抗病种质，为进一步进行杂交

育种或挖掘抗病基因用于抗性新种质的创制奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 溃疡病菌株

溃疡病菌株为采集自我国湖南省常德市东山峰农场(中国猕猴桃溃疡病最早感病园区, $29^{\circ}55' 1.56''$ N, $110^{\circ} 41' 42.36''$ E)的 C48 菌株, 经 McCann 等鉴定为目前全球流行的 Psa3 型强致病力菌株^[3]。

1.1.2 野生猕猴桃种质资源

本研究所用猕猴桃种质共 29 个种 82 份野生材料, 均为国家猕猴桃种质资源圃收集保存。其中包括: 软枣 11 份、大籽(*A. macrosperma* C. F. Liang)9 份、黑蕊 8 份、毛花 7 份、异色(*A. callosa* var. *discolor* C. F. Liang)6 份、安息香(*A. styracifolia* C. F. Liang)2 份、紫果(*A. arguta* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. *purpurea* (Rehd.) C. F. Liang)5 份、对萼 3 份、京梨(*A. callosa* var. *henryi* Maximowicz)3 份、葡萄叶(*A. vitifolia* C. Y. Wu)3 份、陕西(*A. arguta* var. *giraldii* (Diels) Voroshilov)2 份、阔叶(*A. latifolia* (Gardner & Champion) Merrill)2 份、红茎(*A. rubricaulis* Dunn)2 份、长叶(*A. hemsleyana* Dunn)2 份、临桂(*A. linguiensis* R. G. Li and X. G. Wang)2 份、山梨(*A. rufa* (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel)2 份, 及湖北(*A. hubeiensis* H. M. Sun and R. H. Huang)、黄毛(*A. fulvicoma* Hance)、中越(*A. indochinensis* Merrill)、浙江(*A. zhejiangensis* C. F. Liang)、融水(*A. rongshuiensis* R. G. Li and X. G. Wang)、粉毛(*A. farinosa* C. F. Liang)、小叶(*A. lanceolata* Dunn)、葛枣(*A. polygama* (Siebold & Zuccarini) Maximowicz)、网脉(*A. cylindrica* var. *reticulata* C. F. Liang)、白背叶(*A. hypoleuca* Nakai)、簇花(*A. fasciculoides* C. F. Liang)、桂林(*A. guilinensis* C. F. Liang)、漓江(*A. lijiangensis* C. F. Liang and Y. X. Lu)各 1 份(表 1)。

1.2 实验方法

1.2.1 菌株培养

活化培养菌株, 挑取单菌落加入 1 mL 液体 KB

培养基, 28°C , 180 rpm 振荡培养 12 h, 8000 rpm 离心 5 min, 取沉淀, 用无菌水将病菌悬浮液稀释至 $\text{OD}_{600} = 1$, 对应浓度为 10^9 CFU/mL 。

1.2.2 离体枝条接种

样本采集: 于猕猴桃落叶休眠期(11~12月), 取待鉴定种质的直径约为 0.8 cm 的一年生、健康且长势一致的枝条, 剪成长 10 cm 的小枝条, 用封口膜封住枝条两端, 减少水分流失, 并做好标记。每种材料设置 6 个重复。

样本接菌: 用 75% 乙醇对枝条进行表面消毒, 再用无菌水清洗两遍, 晾干。随后, 用无菌刀片在枝条上等间隔切割伤口, 切口 2 mm 宽, 深至韧皮部, 切口上各滴 10 μL 的菌液。

接菌枝条培养: 待菌液渗透进枝条后, 伤口朝上置于底部铺有湿滤纸的托盘中, 再用薄膜覆盖枝条保湿, 托盘内湿度保持在 80%, 置于 16°C 、16 h 光照/8 h 黑暗条件下培养。

抗性评价: 枝条培养 27 d 后用无菌刀削去枝条皮层, 观察病菌侵染后形成的褐色病斑。

1.2.3 抗性等级评价

根据枝条病斑长度进行种质抗性等级划分^[5, 6]: 高抗(Highly resistant, HR): 病斑长度 $\leq 3.0 \text{ cm}$; 中抗(Moderately resistant, MR): $3.0 \text{ cm} < \text{病斑长度} \leq 4.0 \text{ cm}$; 低抗(Lowly resistant, LR): $4.0 \text{ cm} < \text{病斑长度} \leq 5.0 \text{ cm}$; 耐病(Tolerant, T): $5.0 \text{ cm} < \text{病斑长度} \leq 6.0 \text{ cm}$; 低感(Lowly susceptible, LS): $6.0 \text{ cm} < \text{病斑长度} \leq 7.0 \text{ cm}$; 中感(Moderately susceptible, MS): $7.0 \text{ cm} < \text{病斑长度} \leq 8.0 \text{ cm}$; 高感(Highly susceptible, HS): 病斑长度 $> 8.0 \text{ cm}$ 。

2 结果与分析

本研究对 29 个种共 82 份种质资源进行抗性评价, 基于枝条上的病斑长度进行抗性等级划分(表 1, 图 1)。结果显示, 高抗、中抗、低抗和耐病种质各有 5、9、18 和 21 份, 分别占总数的 6.09%、10.98%、21.95% 和 25.61%, 而低感、中感及高感种质各有 11、9 和 9 份, 分别占 13.41%、10.98% 和 10.98%。整体抗病比率种质为 39.02%, 耐病比率种质为 25.61%, 感病种质比率为 35.37%。

从抗病等级角度而言, 5 份高抗种质含黑蕊、

表 1 82 份野生猕猴桃种质的病斑长度及抗性等级分析
Table 1 Lesion length and resistance categories of 82 wild *Actinidia* germplasms

| 种质 Germplasm | 抗性等级 Resistance category | 平均病斑长度 Average lesion length / cm | 种质 Germplasm | 抗性等级 Resistance category | 平均病斑长度 Average lesion length / cm |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------------|
| 大籽 8262 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | T | 5.494 ± 0.351 | 阔叶 8121 <i>A. latifolia</i> (Gardner & Champion) Merrill | LR | 4.695 ± 0.563 |
| 大籽 81033 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | T | 5.846 ± 0.245 | 阔叶 81061 <i>A. latifolia</i> (Gardner & Champion) Merrill | MS | 7.325 ± 0.965 |
| 大籽 6181 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | T | 5.869 ± 0.225 | 红茎 81252 <i>A. rubricaulis</i> Dunn | MR | 3.272 ± 0.160 |
| 大籽 81183 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | T | 5.950 ± 0.412 | 红茎 81621 <i>A. rubricaulis</i> Dunn | MS | 7.301 ± 0.475 |
| 大籽 81473 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | T | 5.992 ± 0.379 | 长叶 B2622 <i>A. hemsleyana</i> Dunn | MS | 7.623 ± 0.172 |
| 大籽 8732 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | LS | 6.662 ± 0.231 | 长叶 8111 <i>A. hemsleyana</i> Dunn | HS | 14.654 ± 1.034 |
| 大籽 6184 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | LS | 6.743 ± 0.424 | 山梨 6355 <i>A. rufa</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | HR | 2.920 ± 0.261 |
| 大籽 81034 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | LS | 6.866 ± 0.291 | 山梨 81072 <i>A. rufa</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | T | 5.245 ± 0.800 |
| 大籽 1983 <i>A. macroisperma</i> C. F. Liang | HS | 9.019 ± 0.584 | 毛花 6169 <i>A. eriantha</i> Benthem | HR | 2.840 ± 0.273 |
| 对萼 81522 <i>A. valvata</i> Dunn | T | 5.776 ± 0.396 | 毛花 61615 <i>A. eriantha</i> Benthem | MR | 3.985 ± 0.149 |
| 对萼 8461 <i>A. valvata</i> Dunn | T | 5.927 ± 0.432 | 毛花 6149 <i>A. eriantha</i> Benthem | LR | 4.724 ± 0.209 |
| 对萼 81173 <i>A. valvata</i> Dunn | LS | 6.400 ± 0.077 | 毛花 B2343 <i>A. eriantha</i> Benthem | T | 5.806 ± 0.395 |
| 黑蕊 8371 <i>A. melanandra</i> Franchet | HR | 2.659 ± 0.090 | 毛花 B2374 <i>A. eriantha</i> Benthem | LS | 6.977 ± 0.220 |
| 黑蕊 11362 <i>A. melanandra</i> Franchet | MR | 3.624 ± 0.582 | 毛花 6371 <i>A. eriantha</i> Benthem | MS | 7.083 ± 0.790 |
| 黑蕊 11374 <i>A. melanandra</i> Franchet | MR | 3.939 ± 0.438 | 毛花 61513 <i>A. eriantha</i> Benthem | HS | 8.972 ± 0.438 |
| 黑蕊 11663 <i>A. melanandra</i> Franchet | LR | 4.244 ± 0.114 | 软枣 15161 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | HR | 2.859 ± 0.521 |
| 黑蕊 11352 <i>A. melanandra</i> Franchet | T | 5.078 ± 0.388 | 软枣 11275 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | MR | 3.956 ± 0.164 |
| 黑蕊 11383 <i>A. melanandra</i> Franchet | T | 5.414 ± 0.311 | 软枣 1341 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | MR | 3.920 ± 0.329 |

续表1

| 种质 Germplasm | 抗性等级 Resistance category | 平均病斑长度 Average lesion length / cm | 种质 Germplasm | 抗性等级 Resistance category | 平均病斑长度 Average lesion length / cm |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| 黑蕊 8272 <i>A. melanandra</i> Franchet | T | 5.573 ± 0.189 | 软枣 1744 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | LR | 4.389 ± 0.244 |
| 黑蕊 11382 <i>A. melanandra</i> Franchet | HS | 11.640 ± 0.828 | 软枣 1543 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | LR | 4.740 ± 0.409 |
| 京梨 81196 <i>A. callosa</i> var. <i>henryi</i> Maximowicz | LR | 4.363 ± 0.397 | 软枣 1332 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | LR | 4.959 ± 0.295 |
| 京梨 8343 <i>A. callosa</i> var. <i>henryi</i> Maximowicz | LR | 4.428 ± 0.160 | 软枣 1782 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | T | 5.511 ± 0.187 |
| 京梨 8372 <i>A. callosa</i> var. <i>henryi</i> Maximowicz | LR | 4.708 ± 0.244 | 软枣 1251 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | T | 5.435 ± 0.222 |
| 葡萄叶 8141 <i>A. vitifolia</i> C. Y. Wu | LR | 4.193 ± 0.539 | 软枣 11172 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | LS | 6.175 ± 0.235 |
| 葡萄叶 8171 <i>A. vitifolia</i> C. Y. Wu | LR | 4.624 ± 0.426 | 软枣 1243 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | MS | 7.443 ± 0.372 |
| 葡萄叶 8172 <i>A. vitifolia</i> C. Y. Wu | T | 5.490 ± 0.188 | 软枣 1664 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel | HS | 8.130 ± 0.358 |
| 安息香 6331 <i>A. styracifolia</i> C. F. Liang | HR | 2.757 ± 0.312 | 临桂 8853 <i>A. linguiensis</i> R. G. Li and X. G. Wang | T | 5.600 ± 0.253 |
| 安息香 6333 <i>A. styracifolia</i> C. F. Liang | LR | 4.410 ± 0.304 | 临桂 8752 <i>A. linguiensis</i> R. G. Li and X. G. Wang | LS | 6.360 ± 0.473 |
| 异色 8531 <i>A. callosa</i> var. <i>discolor</i> C. F. Liang | MR | 3.193 ± 0.311 | 湖北 81383 <i>A. hubeiensis</i> H. M. Sun and R. H. Huang | LR | 4.160 ± 0.471 |
| 异色 8514 <i>A. callosa</i> var. <i>discolor</i> C. F. Liang | MR | 3.849 ± 0.220 | 黄毛 815122 <i>A. fulvicoma</i> Hance | LR | 4.924 ± 0.321 |
| 异色 8544 <i>A. callosa</i> var. <i>discolor</i> C. F. Liang | LR | 4.184 ± 0.448 | 中越 8362 <i>A. indochinensis</i> Merrill | T | 5.191 ± 0.691 |
| 异色 8511 <i>A. callosa</i> var. <i>discolor</i> C. F. Liang | LR | 4.363 ± 0.499 | 浙江 6241 <i>A. zhejiangensis</i> C. F. Liang | T | 5.805 ± 0.267 |
| 异色 8532 <i>A. callosa</i> var. <i>discolor</i> C. F. Liang | LR | 4.594 ± 0.342 | 融水 81083 <i>A. rongshuiensis</i> R. G. Li and X. G. Wang | T | 5.995 ± 0.905 |
| 异色 81134 <i>A. callosa</i> var. <i>discolor</i> C. F. Liang | MS | 7.766 ± 0.545 | 粉毛 8212 <i>A. farinosa</i> C. F. Liang | LS | 6.712 ± 0.233 |

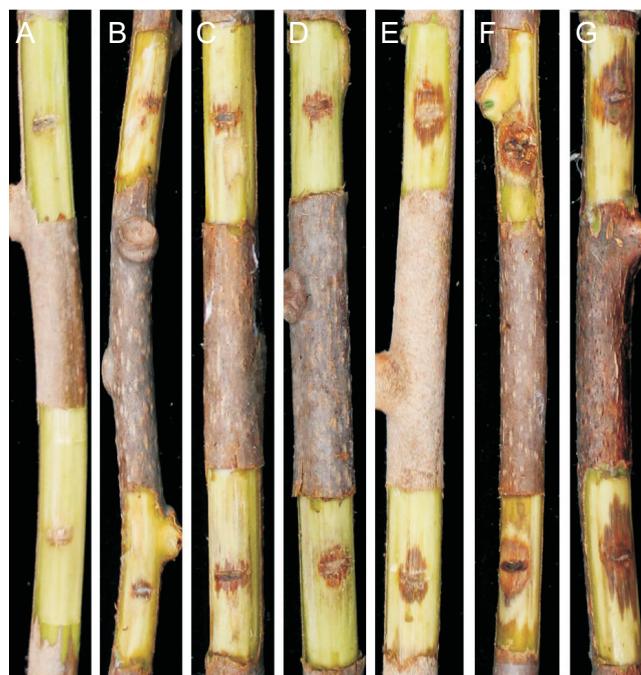
续表 1

| 种质 Germplasm | 抗性等级 Resistance category | 平均病斑长度 Average lesion length / cm | 种质 Germplasm | 抗性等级 Resistance category | 平均病斑长度 Average lesion length / cm |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------------|
| 紫果 15141 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. <i>purpurea</i> (Rehd.) C. F. Liang | MR | 3.922 ± 0.255 | 小叶 6122 <i>A. lanceolata</i> Dunn | LS | 6.866 ± 0.470 |
| 紫果 1621 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. <i>purpurea</i> (Rehd.) C. F. Liang | LR | 4.788 ± 0.208 | 葛枣 21433 <i>A. polygama</i> (Siebold & Zuccarini) Maximowicz | MS | 7.380 ± 0.215 |
| 紫果 1562 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. <i>purpurea</i> (Rehd.) C. F. Liang | T | 5.573 ± 0.189 | 网脉 6313 <i>A. cylindrica</i> var. <i>reticulata</i> C. F. Liang | MS | 7.593 ± 0.901 |
| 紫果 15131 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. <i>purpurea</i> (Rehd.) C. F. Liang | LS | 6.437 ± 0.289 | 白背叶 11611 <i>A. hypoleuca</i> Nakai | HS | 8.130 ± 0.358 |
| 紫果 1645 <i>A. arguta</i> (Siebold & Zuccarini) Planchon ex Miquel var. <i>purpurea</i> (Rehd.) C. F. Liang | MS | 7.165 ± 0.612 | 簇花 8273 <i>A. fasciculoides</i> C. F. Liang | HS | 9.934 ± 0.912 |
| 陕西 1462 <i>A. arguta</i> var. <i>giraldii</i> (Diels) Voroshilov | T | 5.435 ± 0.222 | 桂林 6322 <i>A. guilinensis</i> C. F. Liang | HS | 9.934 ± 0.912 |
| 陕西 1521 <i>A. arguta</i> var. <i>giraldii</i> (Diels) Voroshilov | LS | 6.379 ± 0.383 | 漓江 6113 <i>A. lijiangensis</i> C. F. Liang and Y. X. Lu | HS | 12.228 ± 0.622 |

安息香、毛花、软枣及山梨各 1 份。9 份中抗种质含异色、软枣及黑蕊各 2 份, 红茎、紫果及毛花种质各 1 份。18 份低抗种质含异色、软枣及京梨各 3 份, 葡萄叶 2 份, 安息香、湖北、黑蕊、阔叶、毛花、紫果、黄毛种质各 1 份。21 份耐病种质含大籽 5 份、黑蕊 3 份、软枣 2 份, 中越、山梨、陕西、葡萄叶、紫果、宛田、对萼、浙江、毛花、对萼、融水各 1 份。11 份低感种质含大籽 3 份, 软枣、临桂、陕西、对萼、紫果、粉毛、小叶、毛花各 1 份。9 份中感种质含毛花、紫果、红茎、阔叶、葛枣、软枣、网脉、长叶及异色各 1 份。9 份高感种质含软枣、白背叶、毛花、大籽、簇花、桂林、黑蕊、漓江及长叶各 1 份。

对于包含多份种质的 17 个种的材料而言, 其中 16 个种内存在抗性分化。如 11 份软枣各抗性

等级均有分布。9 份大籽中 5 份为耐病, 3 份为低感, 1 份为高感。8 份黑蕊中 1 份为高抗, 2 份为中抗, 1 份为低抗, 3 份耐病, 1 份为高感。7 份毛花材料从高抗到高感均有分布。6 份异色中 2 份为中抗, 3 份为低抗, 1 份为中感。5 份紫果中包含中抗、低抗、耐病、低感及中感各 1 份。3 份对萼中含 2 份耐病, 1 份低感。3 份葡萄叶中 2 份为低抗, 1 份为耐病。2 份安息香中高抗及低抗各 1 份。2 份陕西中耐病和低感各 1 份。2 份阔叶中低抗和中感各 1 份。2 份红茎中中抗和中感各 1 份。2 份长叶中中感和高感各 1 份。2 份山梨中高抗和耐病各 1 份。2 份临桂中耐病及低感各 1 份。3 份京梨种质均为低抗, 暂无抗性分化, 但不排除是样本量少的原因。有 14 个种仅存 1 份种质, 无法分析种内抗性差异。



A: 高抗; B: 中抗; C: 低抗; D: 耐病; E: 低感; F: 中感; G: 高感。

A: Highly resistant; B: Moderately resistant; C: Lowly resistant; D: Tolerant; E: Lowly susceptible; F: Moderately susceptible; G: Highly susceptible.

图 1 7个抗性等级对应的野生猕猴桃病斑症状

Fig. 1 Lesions of *in vitro* branches related to seven resistance categories of wild *Actinidia*

3 讨论

猕猴桃溃疡病全面爆发后,新西兰植物与食品研究所最早展开了抗性种质的筛选工作。2015年,Daston 等^[10]及 Nardozza 等^[11]对 Te Puke 基地24个种3500份资源的溃疡病抗性进行了定期田间观察,并对活体实生苗的茎干及叶片接种病菌后的感病症状和菌量进行了分析,结果发现不同种的抗病性差异显著。中华/美味复合系及其杂交材料、长叶和中越等被毛组的抗性较弱;净果组抗性整体较强,包括:软枣、大籽、对萼、葛枣、黑蕊及紫果等;所有狗枣、桂林以及部分软枣、葛枣种质感病严重。这些研究证实了猕猴桃野生种质的溃疡病抗性存在显著差异。

然而,由于田间抗性观察易受地理环境、气候、病菌致病程度及管理措施等多种因素的影响,且需要漫长的观察周期,因此,近年来国内外对溃疡病抗性评价方法进行了进一步的摸索。Hoyte 等^[7]运用离体木质化枝条及嫩枝接种的方法,分析了75个商业品系及中华/软枣、中华/黑蕊、中华/对萼3个类型的2000余份杂交群体实生苗的

抗性,认为两种方法均可有效用于抗性评价。有研究发现离体木质化枝条接种后的病斑长度、活体苗木接种后的感病表型与组织菌量浓度、田间感病情况之间呈显著正相关,且不同年份离体枝条接种的感病情况基本一致,并达到极显著相关水平^[12-14]。上述研究表明,离体枝条接种病菌的方法可用于猕猴桃种质的溃疡病抗性评价。

我国猕猴桃野生种质最为丰富,近年来国内科研机构也开展了系列抗性评价工作。基于木质化离体枝条接种病菌方法,有研究者针对四川及湖南湘西的野生种质进行了抗性分析,认为京梨、对萼、四萼、软枣及葛枣较抗病,中华、美味、革叶、阔叶易感病,而毛花种内变异较大^[15-17]。温欣等^[14]分析了51份软枣猕猴桃的抗性,发现其中含高抗种质33份,中抗种质18份,中抗材料抗性与中华品种‘徐香’近似。王鹏^[18]及裴艳刚等^[5]认为软枣及毛花品种抗性优于美味及中华。Wang 等^[19,20]和王发明等^[21,22]对除中华外的57份野生种质进行抗性评价,发现毛花、桂林、阔叶、桃花及长果等种内抗性存在明显分化。

本文基于木质化离体枝条接种病菌的方法对猕

猕猴桃 29 个种 82 份种质进行了抗性分析, 发现野生种质整体抗性较强, 抗性种质比率为 39.02%。大籽、对萼、黑蕊、葡萄叶、安息香、异色、紫果、陕西、阔叶、红茎、长叶、临桂、山梨、毛花及软枣均存在种内分化, 其他种因材料有限, 暂未明确其抗性分化情况。部分种存在高抗/中抗种质, 如黑蕊、软枣、异色、毛花、安息香、山梨、红茎及紫果。前人研究证实软枣、黑蕊、对萼与中华杂交后代(包括 F1 代及回交后代)的抗性存在明显分化, 部分后代抗性显著增强, 优于中华种内杂交子代^[7]。因此, 后续可以本研究筛选到的 32 份抗病种质为亲本, 与中华/美味种质进行杂交, 选育抗性更强的种质; 或构建抗感群体, 挖掘关键抗病基因, 对现有中华/美味品种进行改良。

新西兰植物与食品研究所和中国科学院广西植物所对野生猕猴桃资源的抗性评价相对系统^[6, 7, 9–11, 19–22], 因此将本研究与上述研究进行对比, 发现结果存在一定共同点, 即软枣、毛花及阔叶等种内材料分化明显, 软枣、毛花及安息香等种存在高抗种质。但由于材料差异, 评价标准不统一, 故结果间也存在一定差异。如新西兰研究的 26 株紫果均鉴定为高感, 而广西植物所研究的 1 株紫果鉴定为高抗。但本研究中 5 份紫果的抗性从中抗跨越至中感, 存在抗性分化。同时, 我们发现, 国内外对溃疡病抗性种质的评价研究也存在一些不足: (1)猕猴桃属材料丰富, 许多种内种质间存在明显的抗性分化, 因此不能仅以某份种质的抗性代表整个种的抗性。如需进行抗病机理分析或抗病杂交育种, 还应明确某份特定种质材料的抗性; (2)虽然室内分析可在统一条件下评价不同材料的抗病性, 但抗性评价的终极目标是为了选育在田间抗性好的品种, 因此仍需基于室内评价结果, 对优良种质进行多区域的田间抗性评价, 进一步确定其在各种条件下均具有显著且稳定的抗性。

参考文献:

- [1] 黄宏文. 猕猴桃属: 分类 资源 驯化 栽培 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 2.
- [2] 钟彩虹, 黄文俊, 李大卫, 张琼, 李黎. 世界猕猴桃产业发展及鲜果贸易动态分析 [J]. 中国果树, 2021(7): 101–108.
Zhong CH, Huang WJ, Li DW, Zhang Q, Li L. Dynamic analysis of global kiwifruit industry development and fresh fruit trade [J]. *China Fruits*, 2021(7): 101–108.
- [3] McCann HC, Li L, Liu YF, Li DW, Pan H, et al. Origin and evolution of the kiwifruit canker pandemic [J]. *Genome Biol Evol*, 2017, 9(4): 932–944.
- [4] 钟彩虹, 李黎, 潘慧, 邓蕾, 陈美艳. 猕猴桃细菌性溃疡病的发生规律及综合防治技术 [J]. 中国果树, 2020(1): 9–13.
Zhong CH, Li L, Pan H, Deng L, Chen MY. Occurrence rule and comprehensive control of kiwifruit bacterial canker disease [J]. *China Fruits*, 2020(1): 9–13.
- [5] 裴艳刚, 马利, 岁立云, 崔永亮, 刘晓敏, 龚国淑. 不同猕猴桃品种对溃疡病菌的抗性评价及其利用 [J]. 果树学报, 2021, 38(7): 1153–1162.
Pei YG, Ma L, Sui LY, Cui YL, Liu XM, Gong GS. Resistance evaluation and utilization of different kiwifruit cultivars to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* [J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(7): 1153–1162.
- [6] Wang FM, Li JW, Ye KY, Gong HJ, Liu PP, et al. Preliminary report on the improved resistance towards *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* of cultivated kiwifruit (*Actinidia chinensis*) when grafted onto wild *Actinidia guilinensis* rootstock in vitro [J]. *J Plant Pathol*, 2021, 103(1): 51–54.
- [7] Hoyte S, Reglinski T, Elmer P, Mauchline N, Stannard K, et al. Developing and using bioassays to screen for Psa resistance in New Zealand kiwifruit [J]. *Acta Hortic*, 2015 (1095): 171–180.
- [8] Lei YH, Jing ZB, Li L. Selection and evaluation of a new kiwifruit rootstock hybrid for bacterial canker resistance [J]. *Acta Hortic*, 2015 (1096): 413–420.
- [9] Tahir J, Gardiner SE, Bassett H, Chagné D, Deng CH, Gea L. Tolerance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* in a kiwifruit breeding parent is conferred by multiple loci [J]. *Acta Hortic*, 2018 (1203): 67–70.
- [10] Datson P, Nardozza S, Barrett-Manako K, Herrick J, Martinez-Sanchez M, et al. Monitoring the *Actinidia* germplasm for resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* [J]. *Acta Hortic*, 2015 (1095): 181–184.
- [11] Nardozza S, Martinez-Sanchez M, Curtis C, Datson PM, Montefiori M. Screening *Actinidia* germplasm for different levels of tolerance, or resistance, to Psa (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) [J]. *Acta Hortic*, 2015 (1096): 351–355.
- [12] 石志军, 张慧琴, 肖金平, 杨鲁琼, 孙志伟, 等. 不同猕猴桃品种对溃疡病抗性的评价 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26 (3): 752–759.
Shi ZJ, Zhang HQ, Xiao JP, Yang LQ, Sun ZW, et al. The resistance evaluation of different kiwifruit varieties to canker [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2014, 26 (3): 752–759.
- [13] 宋雅林, 林苗苗, 钟云鹏, 陈锦永, 齐秀娟, 等. 猕猴桃品种(系)溃疡病抗性鉴定及不同评价指标的相关性分析 [J]. 果 http://www.plantscience.cn

- 树学报, 2020, 37(6): 900–908.
- Song YL, Lin MM, Zhong YP, Chen JY, Qi XJ, et al. Evaluation of resistance of kiwifruit varieties (line) against bacterial canker disease and correlation analysis among evaluation indexes[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(6): 900–908.
- [14] 温欣, 秦红艳, 艾军, 王月, 韩先焱, 李昌禹. 软枣猕猴桃种质资源溃疡病抗性鉴定方法的建立与评价[J]. 植物保护, 2021, 47(2): 193–199.
- Wen X, Qin HY, Ai J, Wang Y, Han XY, Li CY. Establishment and evaluation of resistance identification method for *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* disease in *Actinidia arguta* germplasm resources[J]. *Plant Protection*, 2021, 47(2): 193–199.
- [15] 刘娟. 猕猴桃溃疡病抗性材料评价及其亲缘关系的ISSR聚类分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015: 16–26.
- [16] 崔丽红, 高小宁, 张迪, 黄丽丽, 黄蔚, 陈继富. 湘西地区猕猴桃细菌性溃疡病抗性资源筛选及其抗性机理研究[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 158–164.
- Cui LH, Gao XN, Zhang D, Huang LL, Huang W, Chen JF. Screening of resistance resource and resistance mechanism of kiwifruit to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* in Xiangxi area[J]. *Plant Protection*, 2019, 45(3): 158–164.
- [17] 彭小列, 高建有, 向小奇, 周强, 王发明, 刘世彪. 湘西6种猕猴桃属植物的溃疡病抗性检测与评价[J]. 江西农业, 2021(16): 100–102.
- [18] 王鹏. 猕猴桃抗溃疡病资源的离体筛选及主要类型的分子细胞遗传学分析[D]. 重庆: 西南大学, 2019: 49.
- [19] Wang FM, Mo QH, Ye KY, Gong HJ, Qi BB, et al. Evaluation of the wild *Actinidia* germplasm for resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*[J]. *Plant Pathol*, 2020, 69(6): 979–989.
- [20] Wang FM, Li JW, Ye KY, Liu PP, Gong HJ, et al. An *in vitro* *Actinidia* bioassay to evaluate the resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*[J]. *Plant Pathol J*, 2019, 35(4): 372–380.
- [21] 王发明, 莫权辉, 叶开玉, 龚弘娟, 蒋桥生, 等. 猕猴桃溃疡病抗性育种研究进展[J]. 广西植物, 2019, 39(12): 1729–1738.
- Wang FM, Mo QH, Ye KY, Gong HJ, Jiang QS, et al. Research progress on kiwifruit resistance breeding to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*[J]. *Guizhou Botany*, 2019, 39(12): 1729–1738.
- [22] 王发明, 齐贝贝, 叶开玉, 龚弘娟, 莫权辉, 等. 九个中华类红肉猕猴桃品种的亲缘关系及其溃疡病抗性分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(1): 193–199.
- Wang FM, Qi BB, Ye KY, Gong HJ, Mo QH, et al. The genetic relationship of nine red-fleshed kiwifruit cultivars (*Actinidia chinensis*) and their resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2021, 19(1): 193–199.

(责任编辑: 李惠英)