

· 热带作物 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rds wxb.20220126



主持人: 徐 冉

海南荔枝资源叶片性状多样性分析

林祺英^{1,2}, 李 芳², 蔡汝鹏², 张 蕾³, 黎 瑶², 李焕苓², 王家保²

(1. 海南大学 植物保护学院/热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海口, 570228; 2. 中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所, 海口, 571101; 3. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海口, 571101)

摘 要: 为了给评价海南荔枝资源多样性提供更多基础资料, 对 193 份海南荔枝资源叶片的 6 个质量性状、9 个数量性状的变异进行了分析。结果显示, 6 个质量性状的多样性指数均大于 1, 说明品种间变异较大, 仅叶基形状与小叶形状、叶尖形状有显著相关关系。9 个数量性状中变异系数最大的为叶面积(21.74%), 变异系数最小的为比叶重(11.31%); 除叶形指数与个别性状之间无显著相关关系外, 各指标间均有显著或极显著相关关系。聚类分析结果显示 193 份荔枝资源可分为 4 大类, 第 I 类有 7 份, 是所有分类中叶片最为厚实宽大的种质。第 II 类有 40 份, 比叶重最低, 其余指标大小仅次于第 I 类。第 III 类有 10 份, 是属于叶片窄小且薄的种质, 其比叶重最高。第 IV 类有 136 份, 是处于中间态的资源, 性状间变异的范围较大。上述结果表明, 海南荔枝叶片性状多样性丰富, 可以用于评价资源的多样性。本研究为进一步研究利用海南荔枝资源提供了基础。

关键词: 荔枝; 叶片; 多样性; 相关分析; 聚类分析

中图分类号: S667.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054(2023)06-0628-08

林祺英, 李芳, 蔡汝鹏, 等. 海南荔枝资源叶片性状多样性分析 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(6): 628-635. doi: 10.15886/j.cnki.rds wxb.20220126

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)为无患子科荔枝属果树, 海南是荔枝起源地之一, 具有丰富的种质资源, 栽培品种以妃子笑、三月红、白糖罂等早熟品种为主, 辅以紫娘喜、无核荔枝、桂早荔等品种^[1-2]。近年来对海南荔枝种质资源鉴定评价的研究已见多项报道, 如李松刚等对海南实生野生荔枝品种果实的主要性状进行了鉴定评价^[3], 发现海南荔枝品种的果实性状上存在丰富的遗传多样性。庄光辉等对 60 份海南原生荔枝种质资源的多个花果性状进行评价^[4], 发现 11 份种质综合表现较好, 具有推广应用前景。李焕苓等^[5]依据获得的荔枝 EST 序列和基因组序列开发了一批 SSR 和 In Del 标记, 利用这些标记对 232 份荔枝种质资源进行了遗传多样性研究, 并将这些资源分为 15 类, 海南 11 份野生荔枝资源分别聚类在 5 个类群

中。但已有的研究中对荔枝叶片表型性状分析的相关研究鲜有报道。

近年来, 海南省省级荔枝种质资源(儋州)收集了 300 余份海南荔枝种质资源, 本研究拟以其中的多份资源为材料, 从部分叶片性状的变异出发, 探讨海南荔枝资源的多样性特点及叶片特征, 分析这些荔枝种质之间的变异类型, 以期为进一步鉴定评价海南荔枝资源提供基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料 供试材料选自位于儋州市宝岛新村的海南省省级荔枝种质资源圃(儋州)(19°31'N, 109°34'E)。资源圃管理水平中等。资源清单见表 1、2。

收稿日期: 2022-12-27

修回日期: 2023-04-07

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2021XDNY156); 海南省种质资源保护项目: 海南省荔枝种质资源补充收集、整理与评价; 国家荔枝龙眼产业技术体系(CARS-32-01)

第一作者: 林祺英(1997-), 女, 海南大学植物保护学院 2020 级硕士研究生. E-mail: 1019116929@qq.com

通信作者: 王家保(1974-), 男, 研究员. 研究方向: 果树种质资源. E-mail: fdabo@163.com

表1 质量性状与数量性状聚类分类不同资源对应名称及编号

第I类		第II类		第III类		第VI类	
资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)	资源编号(资源名称)
613(235); 660(海皇2号); 571(苍道8); 688(临高2); 707(日牌3号); 647(润玉); 526(20200423008); 622(大果); 577(甜水荔); 560(苍道6); 631(圆果); 595(玉潭); 639(定安安良); 602(椒攀荔); 632(小青蜜); 712(圆球); 515(E129); 535(S8); 675(海皇5); 692(国相4); 552(丁香); 564(达圆); 651(龙穴); 542(琼海荔枝1); 682(永6); 537(Y19-1); 640(早熟妃子笑); 516(E116); 548(琼海荔枝15); 700(詹五5); 643(春腾); 659(海皇25); 658(岭南39); 669(儒洪1); 530(20200423011); 724(詹五6); 598(218); 637(永25); 615(217); 714(井义)	613(235); 660(海皇2号); 571(苍道8); 688(临高2); 707(日牌3号); 647(润玉); 526(20200423008); 622(大果); 577(甜水荔); 560(苍道6); 631(圆果); 595(玉潭); 639(定安安良); 602(椒攀荔); 632(小青蜜); 712(圆球); 515(E129); 535(S8); 675(海皇5); 692(国相4); 552(丁香); 564(达圆); 651(龙穴); 542(琼海荔枝1); 682(永6); 537(Y19-1); 640(早熟妃子笑); 516(E116); 548(琼海荔枝15); 700(詹五5); 643(春腾); 659(海皇25); 658(岭南39); 669(儒洪1); 530(20200423011); 724(詹五6); 598(218); 637(永25); 615(217); 714(井义)	727(茶山002); 545(20200423007); 528(20200423013); 587(番园1号); 501(63); 635(15); 735(2020定安003); 612(0528LZ05); 502(64); 507(49)	514(新球蜜荔); 592(13Y04); 606(小叶); 716(20); 513(101); 541(遵潭5); 628(胭脂2号); 662(香山); 508(46); 609(扁荔); 558(苍道7); 617(221); 656(国贸6); 599(223); 666(农美12); 504(73); 667(鸭姆笼); 686(大果早熟); 581(紫娘喜); 699(美孝9); 563(杨南4); 701(美柳7); 593(海皇19); 731(那大003); 691(国贸4); 708(黑枝); 718(白皮荔枝); 505(60); 511(69); 719(39); 664(琼山); 715(67); 510(50); 690(57); 506(66); 555(国相5); 614(232); 729(茶山003); 607(詹五12); 709(长果(姑荔)); 546(20200423004); 683(海皇21); 684(海皇24); 627(光圆2号); 573(国相8); 624(海皇13); 633(大红荔); 642(直奉); 732(那大002); 559(詹五1); 618(青皮(农)); 566(儒洪7); 623(琼山6号); 630(裕贞); 663(紫荔); 553(苍道9); 597(229); 500(13); 722(美孝A8); 673(儒洪4); 574(国相); 589(农美3); 710(矮荔); 557(儒洪5); 601(詹五2); 655(A4); 509(74); 580(南岛无核); 550(国贸2); 670(圆核); 704(海皇26); 665(雷岭小丁香); 738(2020定安006); 576(脆肉); 586(义桥蜜荔); 629(龙首); 644(农美9); 554(乒乓球(姑荔)); 702(青皮1); 705(宏俊2号); 549(琼海荔枝17); 605(詹五1); 703(苍道5); 620(澄迈); 713(白皮荔); 698(国相6); 720(詹五3); 676(美孝5); 728(茶山005); 611(儒黄无核); 531(20200423010); 678(詹五7); 561(国相1); 674(屯荔); 512(76); 551(苍道10); 711(海皇12); 556(儒洪2); 649(佳圆蜜荔); 584(玫瑰荔); 695(中山5); 570(东龙丁香); 579(猪血荔); 547(遵潭6); 638(春25); 693(早熟); 538(176); 689(至善黄荔); 534(2020儋州006); 568(生肌蜜糖); 652(浩昌3); 657(琼山14); 569(苍道11); 641(牛心); 677(东龙果球(高产)); 543(2020儋州010); 608(翠叶); 645(海皇15); 604(海皇18); 685(海皇8); 636(凤霜); 661(农美5号); 596(222); 591(海皇10); 594(至善蜜荔); 572(国贸11); 723(鹅蛋); 527(20200423001); 654(鱼鳞荔); 680(农美7); 588(和正); 733(那大004); 503(78); 575(成莲1号); 562(美孝6); 625(厚叶)	514(新球蜜荔); 592(13Y04); 606(小叶); 716(20); 513(101); 541(遵潭5); 628(胭脂2号); 662(香山); 508(46); 609(扁荔); 558(苍道7); 617(221); 656(国贸6); 599(223); 666(农美12); 504(73); 667(鸭姆笼); 686(大果早熟); 581(紫娘喜); 699(美孝9); 563(杨南4); 701(美柳7); 593(海皇19); 731(那大003); 691(国贸4); 708(黑枝); 718(白皮荔枝); 505(60); 511(69); 719(39); 664(琼山); 715(67); 510(50); 690(57); 506(66); 555(国相5); 614(232); 729(茶山003); 607(詹五12); 709(长果(姑荔)); 546(20200423004); 683(海皇21); 684(海皇24); 627(光圆2号); 573(国相8); 624(海皇13); 633(大红荔); 642(直奉); 732(那大002); 559(詹五1); 618(青皮(农)); 566(儒洪7); 623(琼山6号); 630(裕贞); 663(紫荔); 553(苍道9); 597(229); 500(13); 722(美孝A8); 673(儒洪4); 574(国相); 589(农美3); 710(矮荔); 557(儒洪5); 601(詹五2); 655(A4); 509(74); 580(南岛无核); 550(国贸2); 670(圆核); 704(海皇26); 665(雷岭小丁香); 738(2020定安006); 576(脆肉); 586(义桥蜜荔); 629(龙首); 644(农美9); 554(乒乓球(姑荔)); 702(青皮1); 705(宏俊2号); 549(琼海荔枝17); 605(詹五1); 703(苍道5); 620(澄迈); 713(白皮荔); 698(国相6); 720(詹五3); 676(美孝5); 728(茶山005); 611(儒黄无核); 531(20200423010); 678(詹五7); 561(国相1); 674(屯荔); 512(76); 551(苍道10); 711(海皇12); 556(儒洪2); 649(佳圆蜜荔); 584(玫瑰荔); 695(中山5); 570(东龙丁香); 579(猪血荔); 547(遵潭6); 638(春25); 693(早熟); 538(176); 689(至善黄荔); 534(2020儋州006); 568(生肌蜜糖); 652(浩昌3); 657(琼山14); 569(苍道11); 641(牛心); 677(东龙果球(高产)); 543(2020儋州010); 608(翠叶); 645(海皇15); 604(海皇18); 685(海皇8); 636(凤霜); 661(农美5号); 596(222); 591(海皇10); 594(至善蜜荔); 572(国贸11); 723(鹅蛋); 527(20200423001); 654(鱼鳞荔); 680(农美7); 588(和正); 733(那大004); 503(78); 575(成莲1号); 562(美孝6); 625(厚叶)			

表2 抗病性数据聚类分类不同资源对应名称及编号

第I类		第II类		第III类		第IV类	
资源编号	资源编号	资源编号	资源编号	资源编号	资源编号	资源编号	资源编号
653; 501; 592; 641; 719; 719; 588; 702; 715; 596; 577; 612	566; 582; 543; 571; 513; 533; 643; 722; 508; 630; 661; 505; 626; 542; 574; 509; 657; 658; 594; 586; 726; 640; 565; 532; 549; 530; 632; 589; 682; 691; 507; 627; 561; 584; 709; 559; 681; 662; 704; 721; 710; 580; 664; 555; 572; 711; 609; 599; 573; 619; 638; 500; 512; 697; 634; 647; 690; 714; 567; 560; 593	539; 769; 735; 576; 675; 693; 569; 590; 600; 707; 663; 602; 514; 563; 556; 579; 679; 708; 575; 511; 621; 685; 522; 557; 544; 642; 705; 668; 548; 654; 550; 712; 731; 526; 611; 660; 665; 601; 687; 516; 597	541; 652; 659; 729; 625; 680; 622; 564; 552; 581; 615; 678; 639; 613; 645; 713; 673; 570; 667; 502; 633; 649; 694; 551; 646; 692; 695; 538; 701; 603; 562; 674; 686; 587; 631; 623; 676; 677; 607; 636; 656; 700; 637; 591; 595; 689; 720; 703; 723; 608; 624; 635; 506; 546; 620; 644; 553; 568; 651; 503; 670; 738; 558; 655; 604; 666				

1.2 方法

1.2.1 叶片质量性状评价 根据中华人民共和国农业行业标准 NY/T2329-2013^[6] 中的方法, 评价入圃资源小叶着生方向、小叶形状、叶基形状、叶尖形状、叶姿、叶缘姿态(表 3); 某一特定资源的性

状特征以该性状最高比例的类型来描述。统计不同性状各种类型的资源分布比例。依据不同性状的分级分布频率计算 Shannon-Wiener 多样性指数(H)^[7]。

表 3 荔枝叶片质量性状描述与赋值

赋值	小叶着生方向	小叶形状	叶基形状	叶尖形状	叶姿	叶缘姿态
1	立面对生	椭圆形	偏斜形	长尾尖	平展	平直
3	立面互生	长椭圆形	阔楔形	渐尖	浅内卷	微波浪
5	平面对生	披针形	楔形	突尖	深内卷	波浪明显
7	平面互生	侧卵圆形	近圆形	短尖	外翻	
9		卵圆形				

1.2.2 叶片数量性状评价 取末次秋梢中部健康复叶和单叶, 按照中华人民共和国农业行业标准 NY/T2329-2013^[6] 和文献中的方法^[8], 测量叶片的复叶主轴长、叶柄长、叶面积、叶长、叶宽、叶片鲜重和叶片干重, 计算叶形指数和比叶重。

用毫米刻度游标卡尺测量复叶主轴长和叶柄长, 每 20 个复叶或单叶为一个重复, 重复 3 次, 取平均值。

用植物图像分析仪系统(杭州万深检测科技有限公司, LA-S)测量叶长、叶宽和叶面积, 每 20 张单叶为一重复, 重复 3 次, 取平均值。

用千分之一天平测量单叶鲜质量, 相应叶片放置在恒温烘箱中 105 °C 进行杀青 30 min, 之后 75 °C 烘干至恒重后测量单叶干质量。每 20 张单叶为一重复, 重复 3 次, 取平均值。

叶形指数=叶片长度/叶片宽度, 计算每一张单叶的叶形指数, 每 20 张单叶为一重复, 重复 3 次, 取平均值。

比叶重($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$)=叶片干质量/叶片面积, 计算每一张单叶的比叶重, 20 张单叶为一重复, 重复 3 次, 取平均值。

1.3 数据处理 利用 Excel2007 软件对原始数据进行初步处理, 计算出平均值、变异系数、极小值、极大值、极差、中位数。使用 DPS 软件^[9] 进行性状间的相关性分析。使用 R 语言对 193 份资源的 9 个叶片数量性状与 6 个质量性状的数据进行聚类, 聚类采用的遗传距离为欧式距离, 聚类方法为最长距离法。

2 结果与分析

2.1 质量性状评价 从表 4 数据中可以看出, 193 份荔枝叶片质量性状多样性指数介于 1.32 ~ 2.09 之间, 平均值为 1.66。所有质量性状的多样性指数均大于 1, 说明资源间叶片质量性状变异较大。

表 4 荔枝叶片质量性状分布频率及其多样性指数

性状	不同质量性状分级					多样性指数(H)
	分布频率/%					
	1	2	3	4	5	
小叶着生方向	47.15	1.55	46.63	4.66		1.32
小叶形状	29.02	35.23	18.13	5.18	12.44	2.09
叶基形状	29.02	24.87	31.09	14.51		1.95
叶尖形状	46.11	31.61	19.17	3.11		1.65
叶姿	29.53	46.11	23.32	1.04		1.59
叶缘姿态	47.67	43.01	8.81			1.34

对 6 个叶片质量性状进行比例分析, 发现在测定的资源中, 小叶形状以长椭圆形最多, 卵圆形最少; 小叶着生方向占比较高的主要为立面对生和平面对生的资源; 叶基形状以楔形为主; 叶尖形状以长尾尖为主; 叶姿以浅内卷为主; 叶缘姿态主要为平直和微波浪的资源(表 4)。

2.2 数量性状评价 193 份荔枝资源的 9 个叶片数量性状中叶面积变异系数最大为 21.74%, 变化幅度为 8.56 ~ 0.41 cm^2 , 极差 21.85 cm^2 , 中位数

19.39 cm²; 紧接着为复叶主轴长, 变异系数 21.58%, 变化幅度为 35.56 ~ 110.58 cm, 极差 75.02 cm, 中位数 57.84 cm; 再次为叶片鲜质量, 变异系数 21.24%, 变化幅度 0.20 ~ 0.74 g。变异系数最小的是比叶重, 仅为 11.31%, 变化幅度 7.01 ~ 14.48

mg·cm⁻²。变异系数越高, 资源的离散程度越高, 多样性也越丰富。从数据中可以得出, 9 个数量性状的变异系数均值为 16.43%(表 5), 说明本研究所选资源群体具有较高度度的变异, 具有较丰富的多样性。

表 5 193 份荔枝资源 9 个叶片数量性状的统计分析

性状	数目	均值	变异系数/%	极小值	极大值	极差	中位数	偏度	峰度
复叶主轴长/mm	193	59.40	21.58	35.56	110.58	75.02	57.84	0.77	0.86
叶柄长/mm	193	5.61	15.35	3.78	9.00	5.22	5.53	0.67	1.01
叶长/mm	193	96.39	12.17	57.76	129.52	71.76	94.61	0.31	0.19
叶宽/mm	193	31.77	11.91	20.60	43.93	23.33	31.57	0.02	0.16
叶形指数	193	3.06	11.66	2.30	4.03	1.73	3.05	0.21	-0.28
叶片鲜质量/g	193	0.46	21.24	0.20	0.74	0.54	0.45	0.34	0.08
叶片干质量/g	193	0.20	20.92	0.09	0.35	0.26	0.20	0.36	0.55
叶面积/cm ²	193	19.74	21.74	8.56	30.41	21.85	19.39	0.17	-0.30
比叶重/(mg·cm ⁻²)	193	10.55	11.31	7.01	14.48	7.47	10.46	0.58	0.92

2.3 叶片性状的相关分析 对 193 份资源的质量性状与数量性状进行相关性分析(表 6), 结果显示叶基形状与小叶形状、叶尖形状呈显著正相关关系; 叶缘姿态、复叶主轴长、叶柄长、叶长、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积之间两两呈显著正相关

关系; 叶宽与复叶主轴长、叶柄长、叶长、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积之间成显著正相关; 叶形指数与复叶主轴长、叶柄长、叶长呈显著正相关关系, 与叶宽呈显著负相关关系; 比叶重与叶片干质量呈显著正相关关系, 与复叶主轴长、叶宽、叶

表 6 叶片性状间相关性分析

	小叶着生方向	小叶形状	叶基形状	叶尖形状	叶姿	叶缘姿态	复叶主轴长	叶柄长	叶长	叶宽	叶形指数	叶片鲜质量	叶片干质量	叶面积	比叶重
小叶着生方向															
小叶形状	0.018														
叶基形状	0.076	0.203*													
叶尖形状	0.014	0.027	-0.152*												
叶姿	-0.106	0.117	0.006	0.115											
叶缘姿态	-0.119	0.047	-0.014	-0.064	0.210*										
复叶主轴长	0.094	-0.018	0.062	-0.061	-0.049	0.169*									
叶柄长	-0.017	-0.109	0.079	-0.175*	-0.103	0.132	0.364*								
叶长	0.04	0.033	0.065	-0.162*	-0.085	0.254*	0.697*	0.458*							
叶宽	0.04	-0.123	0.040	0.065	0.083	0.101	0.430*	0.280*	0.492*						
叶形指数	-0.035	0.138	0.018	-0.203*	-0.143*	0.159*	0.271*	0.195*	0.509*	-0.480*					
叶片鲜质量	-0.004	-0.109	0.042	-0.069	0.031	0.187*	0.498*	0.406*	0.699*	0.797*	-0.075				
叶片干质量	0.02	-0.126	0.036	-0.106	0.043	0.175*	0.529*	0.409*	0.683*	0.774*	-0.066	0.900*			
叶面积	0.075	-0.099	0.048	-0.029	0.006	0.164*	0.647*	0.361*	0.755*	0.897*	-0.12	0.877*	0.849*		
比叶重	-0.032	-0.048	0.027	-0.141	0.005	0.015	-0.297*	0.105	-0.132	-0.216*	0.087	0.04	0.149*	-0.285*	

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

面积呈显著负相关关系。

对叶片性状间相关系数进行分析发现,叶基形状与小叶形状、叶尖形状,叶尖形状与叶柄长,叶缘姿态与叶姿、复叶主轴长、叶柄长、叶长、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积,复叶主轴长与叶缘姿态、叶柄长、叶形指数、比叶重,叶柄长与叶尖形状、叶缘姿态、复叶主轴长、叶宽、叶形指数、叶面积,比叶重与复叶主轴长、叶宽、叶片干质量、叶面积、均属弱相关,因为相关性虽然显著,

但相关系数较小;叶宽与叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积,叶长与叶面积,叶片鲜质量与叶片干质量、叶面积,叶面积与叶长、叶宽、叶片鲜质量、叶片干质量,均属强相关(表6)。

2.4 基于叶片性状的聚类分析 通过最长距离法进行聚类之后,193份资源被分为了4大类。第1大类有7份资源聚为一类,第2大类有40份资源,第3大类有10份资源,第4大类有136份资源(图1)。

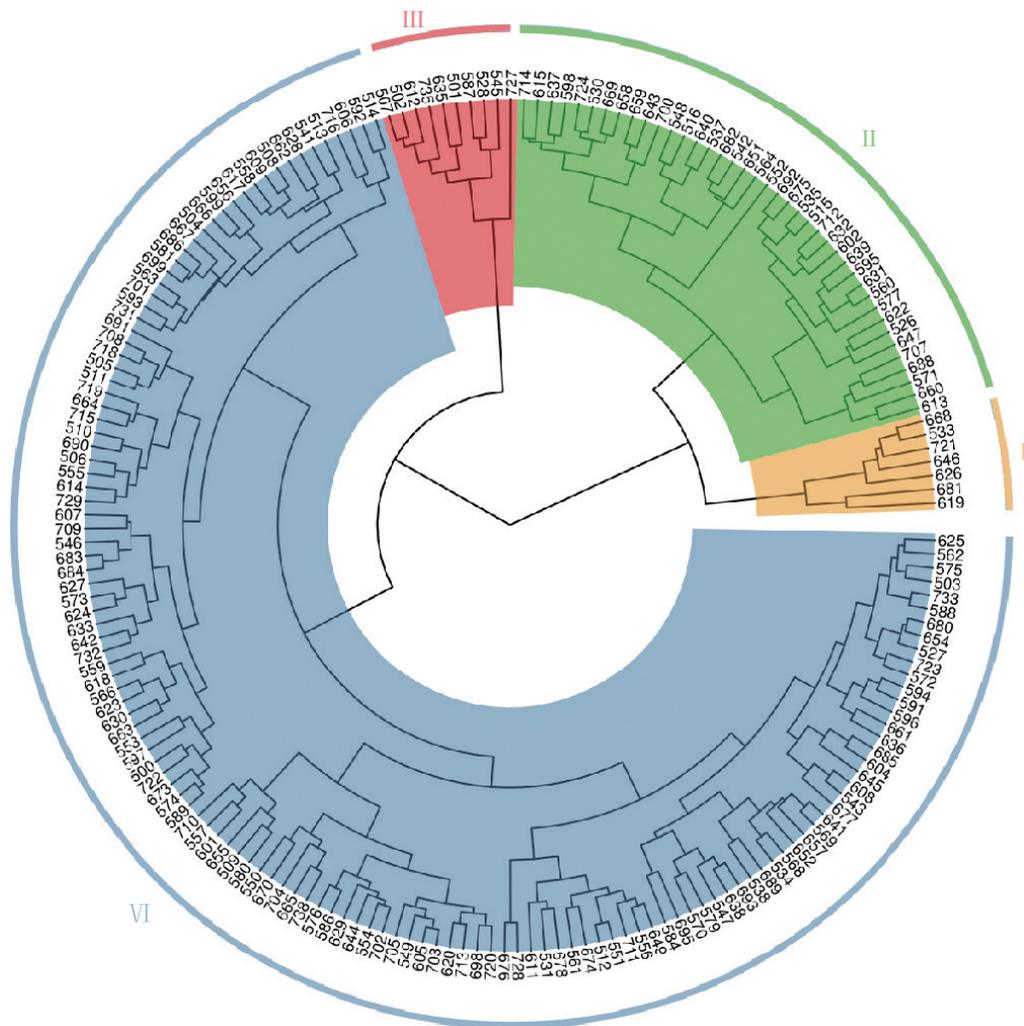


图1 193份荔枝资源品种聚类分析图

第1类资源的复叶主轴长、叶柄长、叶宽、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积在几大类中是最高的指标,其叶长同样也是所有大类中最高的指标,故而第1大类是属于叶片较厚实宽大的资源。同时其叶缘姿态区别于其他资源,呈深内卷形态的占多数(表7、表8)。第2类资源的指标中比叶重最低,其余指标大小仅次于第1类指标。同时其叶

基形状、叶姿、叶缘姿态区别于其他资源,分别为楔形、平展、微波浪占多数(表7、表8)。第3类资源的复叶主轴长、叶柄长、叶长、叶宽、叶形指数、叶片鲜质量、叶片干质量、叶面积是几大类中最低的指标,而比叶重是最高的指标,这说明,该类资源是属于叶片薄且窄小的指标。其小叶着生方向是以立面对生和平面对生各占比50%,区别

表 7 193 份资源 5 类别 9 数量性状统计分析

性状	均值				变异系数/%				极小值				极大值			
	1类	2类	3类	4类	1类	2类	3类	4类	1类	2类	3类	4类	1类	2类	3类	4类
复叶主轴长/mm	93.6	72.8	42.3	54.9	9.2	7.9	12.9	14.5	85.6	62.5	35.6	39.5	110.6	84.6	49.4	75.0
叶柄长/mm	6.6	6.0	4.9	5.5	12.1	14.5	16.9	14.3	5.3	4.5	3.8	3.9	7.6	9.0	6.0	7.8
叶长/mm	117.6	110.6	74.3	92.7	7.0	5.7	8.5	7.3	103.3	99.7	57.8	78.9	126.0	129.5	80.8	115.0
叶宽/mm	34.1	33.5	25.4	31.6	6.6	10.0	10.7	11.1	30.4	27.8	20.6	24.3	36.4	43.9	29.2	40.8
叶形指数	3.5	3.3	3.0	3.0	10.7	10.2	11.8	10.3	2.9	2.4	2.5	2.3	4.0	4.0	3.6	3.7
叶片鲜质量/g	0.6	0.5	0.3	0.4	13.8	16.4	23.2	18.5	0.5	0.4	0.2	0.3	0.7	0.7	0.4	0.7
叶片干质量/g	0.3	0.2	0.2	0.2	18.0	16.9	25.8	17.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.3
叶面积/cm ²	25.3	23.5	12.3	18.9	7.2	14.4	16.3	18.2	22.7	18.5	8.6	11.5	27.5	30.4	14.4	28.1
比叶重/(mg·cm ⁻²)	10.5	10.2	11.7	10.6	7.4	12.6	14.1	10.4	9.4	8.4	9.1	7.0	11.5	13.7	14.5	14.0

表 8 193 份资源 5 类别 6 质量性状统计分析

性状	赋值	分类比例/%			
		第1类	第2类	第3类	第4类
小叶着生方向	1	28.57	47.50	50.00	47.79
	3	0.00	0.00	0.00	2.21
	5	71.43	50.00	50.00	44.12
	7	0.00	2.50	0.00	5.88
小叶形状	1	14.29	12.50	30.00	34.56
	3	57.14	40.00	40.00	32.35
	5	14.29	35.00	10.00	13.97
	7	0.00	7.50	0.00	5.15
叶基形状	9	14.29	5.00	20.00	13.97
	1	14.29	15.00	10.00	36.03
	3	42.86	20.00	60.00	22.06
	5	28.57	60.00	20.00	23.53
叶尖形状	7	14.29	5.00	10.00	17.65
	1	42.86	55.00	40.00	44.12
	3	42.86	30.00	40.00	30.88
	5	0.00	15.00	20.00	21.32
叶姿	7	14.29	0.00	0.00	3.68
	1	28.57	42.50	20.00	26.47
	3	14.29	35.00	50.00	50.74
	5	42.86	22.50	30.00	22.06
叶缘姿态	7	14.29	0.00	0.00	0.74
	1	42.86	27.50	80.00	51.47
	3	28.57	57.50	20.00	41.18
	5	28.57	15.00	0.00	6.62

于其余几类。9 个性状的变异系数相较其他几类普遍较高, 说明该类种质的多样性水平是较高的(表 7、表 6)。第 4 类资源是处于中间态的资源, 9 个性状的极差相较其余几类, 多数具有最大的极差, 说明其变异的范围较大(表 7)。同时其叶基形状以偏斜形占比最高(表 8)。

3 讨论

叶片是植物最重要的器官, 能够反映植物大部分生长发育的状况, 目前对各种作物的叶片表型的研究层出不穷, 如左丝雨等^[10]对 7 个地处蒙陕边界的长柄扁桃天然居群的叶片表型进行研究; 王谢等^[11]研究了在雾化栽培技术控制环境条件下新生桑枝的叶片性状之间的关系; 张莹等^[12]对 548 份梨种质资源的 23 个枝叶表型性状进行表型多样性及变异特点的研究; 胡安华等^[13]对 82 份柚类种质资源的 26 个表型性状进行多样性分析、差异分析及综合评价等。这些研究结果均表明多数种质资源叶片的表型性状变异丰富, 具有遗传差异, 从中可以挖掘出大量的差异遗传信息, 而这些研究结果均可用于种质资源的保护以及优良育种中。本文研究亦发现, 荔枝叶片性状具有丰富的变异, 与上述研究结论相似。

本研究发现, 荔枝质量性状多样性指数均大于 1, 故认为在本群体中的多样性丰富, 变异程度高, 以小叶形状为长椭圆形、小叶着生方向为立面对生和平面对生、叶基形状为楔形、叶尖形状为长尾尖、叶姿为浅内卷、叶缘姿态为平直和微波浪的

资源占比最高。各质量性状之间多不存在相关关系。在郭燕等^[14]对燕山板栗 149 份种质的叶片质量性状多样性分析中的结果显示,燕山板栗种质的 5 个叶片质量性状的平均多样性指数(H')为 1.24,说明燕山板栗叶片质量性状变异丰富,该结果与本研究结果相似,说明本研究中所测量的 193 份荔枝资源具有丰富的遗传信息,可为荔枝的品种选育提供大量的材料。

荔枝叶片数量表型性状分析表明,193 份海南荔枝实生资源品种的叶面积、复叶主轴长、叶片鲜质量、叶片干质量的变异类型较为丰富,变异系数分别为 21.74%、21.58%、21.24%、20.92%;且 9 个性状的变异系数均在 10% 以上,变异系数均值为 16.43%,数量性状之间多存在显著或极显著相关关系,与李昕蔓等^[15]在对新疆野苹果的多样性分析中的结果基本一致,说明这 193 份荔枝资源的叶形变异丰富,为后期选育类型种质提供了理论基础和数据支持。

系统聚类法又称层次聚类,是统计学中聚类分析的一个重要方法,其目的在于尽可能使类簇内对象相似,类簇间对象相异^[16],以此来摸清某些内在规律。本研究采用聚类分析的层次聚类中的最长距离法将 193 份荔枝资源分为了 4 大类。通过数据分析,可以认为该分类是按照叶片大小程度由第 1 大类为叶片最宽大厚实的资源分类,紧接着是第 2 大类,第 3 大类为叶片最为窄小且薄的种质。有研究表明,比叶重与光合速率呈显著正相关关系^[17]。在陈华蕊等^[18]对同为热带果树的芒果的研究中同样显示光合速率与比叶重达到极显著正相关。从而推测,第 3 大类应为光合速率最高的一组分类,在今后的研究中可以沿着该推测进行补充。根据尚帅斌等^[19]对海南青梅的研究可知,叶柄长增大,有助于减少青梅个体内部叶片对光能的相互遮挡,提高其光能利用。由此可以推测第 1 类资源是高光能利用率类型的资源。

总之,本研究系统研究了部分海南荔枝种质资源的叶片表型性状,探讨了这些性状的遗传变异特点及相互关系,研究结果为进一步鉴定评价海南荔枝资源提供了基础,并为进一步研究应用这些资源提供了数据支撑。

参考文献:

[1] 陈业光, 过建春, 何凡, 等. 海南荔枝发展现状及对策

[J]. 中国热带农业, 2008(3): 21 - 23.

- [2] 胡福初, 陈哲, 吴凤芝, 等. 海南荔枝产业发展现状与对策建议[J]. 中国热带农业, 2020(4): 29 - 33.
- [3] 李松刚, 陈业渊, 何凡, 等. 海南荔枝种质资源果实主要性状多样性分析[J]. 亚热带农业研究, 2007(4): 246 - 249.
- [4] 庄光辉, 胡福初, 何舒, 等. 海南原生荔枝种质资源收集保存及主要性状评价[J]. 热带农业科学, 2011, 31(11): 28 - 35.
- [5] 李焕苓, 田婉莹, 孙进华, 等. 基于 SSR 和 InDel 标记的海南荔枝种质资源遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(4): 1343 - 1356.
- [6] 中华人民共和国农业部. 农作物种质资源鉴定评价技术规范 荔枝 NYT 2329-2013[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [7] SHANNON C E. A Mathematical theory of communications [J]. *Bell System Technical Journal*, 1948, 27(4): 623 - 656.
- [8] 蔡秉宇. 荔枝高密度遗传图谱构建及重要性状的 QTL 定位[D]. 海口: 海南大学, 2019.
- [9] TANG Q Y, ZHANG C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. [J]. *Insect Science*, 2013, 20(2): 254 - 260.
- [10] 左丝雨, 乌云塔娜, 朱绪春, 等. 濒危野生长柄扁桃叶片表型性状的多样性[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(11): 61 - 67.
- [11] 王谢, 张建华, 唐甜, 等. 新生桑枝的枝条和叶片性状关系研究[J]. 蚕业科学, 2017, 43(5): 720 - 728.
- [12] 张莹, 曹玉芬, 霍宏亮, 等. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性[J]. 中国农业科学, 2018, 51(17): 3353 - 3369.
- [13] 胡安华, 窦万福, 祁静静, 等. 柚类种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 分子植物育种, 2020, 18(2): 650 - 664.
- [14] 郭燕, 张树航, 李颖, 等. 燕山板栗种质资源叶片表型性状多样性研究[J]. 园艺学报, 2022, 49(8): 1673 - 1688.
- [15] 李昕蔓, 杨开宇, 柳俊明, 等. 基于形态指标和叶片生理指标对新疆野苹果无性系的综合评价[J]. 林业与生态科学, 2021, 36(4): 418 - 427.
- [16] 苏东海. 基于加权向量提升的多尺度聚类挖掘算法[D]. 石家庄: 河北师范大学.
- [17] KAPPEL F, FLORE J A. Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees [*Prunus persica*]. [J]. *J Amer Soc Hhort Sci*, 1983, 108(4): 541 - 544.
- [18] 陈华蕊, 陈业渊, 高爱平, 等. 芒果叶绿素含量、比叶重与光合速率关系的研究[J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 1848 - 1850.
- [19] 尚帅斌, 郭俊杰, 王春胜, 等. 海南岛青梅天然居群表型变异[J]. 林业科学, 2015, 51(2): 154 - 162.

Diversity analysis of leaf traits of litchi genetic resources in Hainan

LIN Qiyang^{1,2}, LI Fang², CAI Rupeng², ZHANG Lei³, LI Yao², LI Huanling², WANG Jiabao²

(1. School of Plant Protection / Ministry of Education Key Laboratory of Green Prevention and Control of Tropical Plant Diseases and Pests, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 3. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China)

Abstract: To provide more basis and basic data for evaluating the diversity of litchi resources in Hainan, the variation of 6 qualitative traits and 9 quantitative traits in the leaves of 193 accessions of litchi germplasm were analyzed by using correlation analysis and cluster analysis. The results showed that the diversity indexes of 6 qualitative traits, i. e., leaflet orientation, leaflet shape, leaf base shape, leaf tip shape, leaf posture and leaf edge shape, were all greater than 1, indicating that the tested accessions had large variations in these traits. Only the leaf base shape had a significant correlation with the leaflet shape and the leaf tip shape among the 6 qualitative traits. Within the 9 quantitative traits, leaf area had the highest coefficient of variation (21.74%), and specific leaf weight had the lowest one (11.31%). All the indexes had significant or highly significant correlation with each other, except for the leaf shape index, which had no significant correlation with several traits. The cluster analysis showed that the 193 accessions of litchi germplasm could be divided into 4 categories, including 7 accessions in the first category, which had the thickest and broadest leaflets. There were 40 samples in category II, with the lowest specific leaf weight, and the values of the other leaf traits were only inferior to those of category I. Category III contained 10 accessions, which belong to germplasm with narrow and thin leaves, and their specific leaf weight was the highest. Category IV had 136 accessions, which were in the intermediate state of all the resources, and their leaf traits varied greatly. These results indicated that the diversity of leaf traits of litchi in Hainan is abundant, which can be used to evaluate the diversity of litchi germplasm.

Keywords: litchi; leaf; diversity; correlation analysis; cluster analysis

(责任编辑:叶 静)