

中国甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析

胡建斌¹, 马双武², 简在海¹, 王吉明², 李 琮¹, 苏 艳¹

(¹河南农业大学园艺学院, 郑州 450002; ²中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要:对我国各地 257 份有代表性的甜瓜种质资源的 20 个形态性状进行调查分析, 研究其遗传多样性。结果表明, 7 个质量性状(果实形状、果皮底色、覆纹颜色、覆纹形状、果肉颜色、果肉质地和种子颜色)和 6 个数量性状(果实横径、果实纵径、单果鲜重、果肉厚度、可溶性固形物含量和种子千粒重)差异明显, 其 Shannon's 指数分别大于 1.00 和 1.50。所有种质的 20 个形态性状的平均遗传多样性指数为 1.20, 不同地区种质资源遗传多样性差异明显, 多样性指数高低次序分别为: 西北(1.48)、华中(1.32)、华东(1.22)、华北(1.17)、东北(1.13)和华南(0.89)。主坐标分析(PCO)将所有种质划分为 3 个区域, 即厚皮种质优势区、厚皮和薄皮种质混合分布区、薄皮种质优势区, 不同地区的种质在 PCO 图上的分布差异明显, 西北地区的厚皮甜瓜种质和华中、华东地区的薄皮甜瓜种质广泛分布于 3 个区域中, 其形态遗传多样性比其他地区的种质更加丰富, 支持了新疆地区为厚皮甜瓜次级起源中心、黄淮及长江流域为薄皮甜瓜初级起源中心的观点。

关键词:甜瓜; 种质资源; 形态性状; 遗传多样性

Analysis of Genetic Diversity of Chinese Melon (*Cucumis melo* L.) Germplasm Resources Based on Morphological Characters

HU Jian-bin¹, MA Shuang-wu², JIAN Zai-hai¹, WANG Ji-ming², LI Qiong¹, SU Yan¹

(¹ College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

² Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Zhengzhou 450009)

Abstract: Genetic diversity of 257 representative melon germplasms from various regions in China was studied based on the investigation of 20 morphological characters. The results showed that the obvious difference was observed with the seven qualitative characters (fruit shape, ground color of fruit skin, vein color of fruit skin, vein shape of fruit skin, flesh color, flesh texture, and seed coat color) and the six quantitative characters (fruit diameter, fruit length, fresh weight of single fruit, fruit thickness, soluble solid content, and 1000-seed weight). The Shannon's indices of the seven qualitative characters and the six quantitative characters exceeded 1.00 and 1.50, respectively. The mean Shannon's index of 20 morphological characters of all the melon germplasms reached to 1.20, and the degree of genetic diversity between various regions was distinctly different. The upper-to-lower order of the various regions based on their Shannon's indices was Northwest China (1.48), Central China (1.32), East China (1.22), North China (1.17), Northeast China (1.13), and South China (0.89). Principal coordinate analysis (PCO) divided all the germplasms into three regions, i. e., dominant region for thick-skin germplasms, mixed-distribution region for thick-skin/thin-skin germplasms, and dominant region for thin-skin germplasms. The melon germplasms from various regions distributed differently in the PCO diagram. The thick-skin germplasms from Northwest China widely distributed cross the three regions and revealed higher genetic diversity, so did the thin-skin germplasms from Central China and East China. Our result supported the view that Xinjiang was considered as a second origin center of thick-skin melon, and Huanghuai and Changjiang river zone was considered as a primary origin center of thin-

收稿日期: 2012-10-24 修回日期: 2012-11-29 网络出版日期: 2013-06-07

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20130607.1740.023.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31101544); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目

第一作者研究方向为瓜类蔬菜遗传育种。E-mail: jianbinhu@mail.henau.edu.cn

通信作者: 马双武, 副研究员, 研究方向为西甜瓜种质资源收集、整理和利用。E-mail: mashuangwu@caas.net.cn

skin melon.

Key words: melon; germplasm resource; morphological character; genetic diversity

甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 是葫芦科中遗传多样性最丰富的物种之一, 包含许多的变异类型, 特别是果实性状变异非常大^[1-2]。国内外许多研究者对甜瓜的分类(尤其是关于亚种和变种的划分)均有论述, 但尚无定论^[2-4], 且新发现的甜瓜近缘野生种已有报道^[5-6]。一般根据甜瓜生态学特性, 将其分为厚皮甜瓜和薄皮甜瓜。关于甜瓜的起源中心也存在争论, 但大多数学说认为甜瓜的初级起源中心在非洲, 次生起源中心则包括印度、西亚、中亚、东亚等地区^[2-3, 7]。

中国甜瓜种质资源丰富, 栽培与驯化历史悠久, 据考证至少在 3000 年以上。20 世纪 70 年代末, 我国开展了甜瓜种质资源的收集与保存工作, “九五”计划期间入库甜瓜种质近千余份^[8]。目前国家西瓜甜瓜中期库(中国农业科学院郑州果树研究所)保存的甜瓜种质已达 1200 余份。近几年, 甜瓜种质资源研究主要集中在利用分子标记评价其遗传多样性^[9-10], 而对其表型多样性研究相对较少。张鲁刚等^[11]系统观察了国内外 116 份甜瓜种质的 112 个形态性状, 通过 Q 型聚类分析提出基于亚种、变种和品种群分类的观点。张晓明等^[12]也报道了相似的研究结果。张永兵等^[13]对中国新疆地区的 121

份地方品种的 32 个形态性状进行了统计分析, 发现新疆甜瓜种质遗传多样性丰富, 将其划分为 4 个类群和 7 个亚群。然而, 这些研究只涉及到我国部分地区的甜瓜种质, 而有关全国各地种质的系统研究则未见报道。本研究对我国广泛分布的 257 份甜瓜种质的 20 个形态性状进行了系统分析, 旨在了解我国甜瓜种质资源多样性的分布情况, 为深入探讨甜瓜在我国的传播及种质资源的收集与利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料 257 份, 均取自国家西瓜甜瓜种质资源中期库(表 1), 包括新疆 46 份(南疆 22 份、北疆 24 份)、河南 29 份、黑龙江 24 份、辽宁 18 份、江苏 15 份、山东 13 份、中国台湾 13 份、吉林 11 份、内蒙古 11 份、安徽 10 份、浙江 9 份、山西 8 份、陕西 8 份、北京 7 份、河北 6 份、甘肃 6 份、广东 5 份、江西 4 份、广西 4 份、湖北 4 份、上海 3 份、湖南 1 份、天津 1 份、福建 1 份。上述材料是中国各省(自治区、直辖市)甜瓜种质资源的代表, 其数目的大小基本上按比例反映了该省(自治区、直辖市)拥有甜瓜种质资源的数量。

表 1 试验所用甜瓜种质及来源

Table 1 The melon germplasms and their origins

来源	数量	种质名称及编号
Origin	No.	Germplasm name and code
新疆(北疆)	24	伯克扎德(57), 八一香梨(60), 米籽黄旦子(72), 塔石可洪(73), 黄麻皮(75), 黄金龙(84), 苏白皮(98), 含笑(99), 茉莉(106), 米籽瓜(108), 青皮青肉瓜旦子(110), 芙蓉(112), 醉仙(113), 皇后 644(114), 金辉 232(121), 连木沁白瓜(232), 绿棒子(236), 阿克拉瓦提(240), 牙孜力克焦孜(241), 一包糖(242), 秋黄皮青肉可口奇(260), 网纹黄旦子(811), 雅红(928), 西域 1 号(940)
新疆(南疆)	22	网纹铁皮(89), 且介可洪(90), 乌热可洪(91), 和田赛热可口齐(92), 赛热克可口奇(103), 太热四号(104), 波斯皮牙孜(105), 卡拉克赛(109), 梨瓜(174), 奎可苏依曼(224), 阿克苏依曼(226), 安江可口奇(251), 卡拉可口奇(252), 奎瑞克(253), 青皮红肉可口奇(290), 赛热克泰热(291), 其干吐木休克阿合奇(292), 波斯皮牙孜(293), 泰热(375), 93A4(862), 野生甜瓜(867), 艾孜(58)
河南	29	王海(3), 黄金坠(10), 娄瓜(24), 水瓜(123), 黄蜜宝(128), 马泡瓜(173), 谢花甜(347), M-3(788), 青玉甜菜瓜(895), 凤凰选-2(906), 郑 96C42(909), 刘 9501(910), 选安 3(911), 赵庆-1(963), 玉林-1(964), 玉林-2(965), 刘 98C85(982), 白面瓜(983), 金凤 2301(984), 银选黄籽(1008), 伊丽莎白大果(1018), ZQK-3(1021), 白梅(1022), 金皇冠(1027), 新玉芝麻脆(1028), 红透皮面瓜(1029), 青龙菜瓜(1030), 水瓜(123), 白皮酥菜瓜(1032)
黑龙江	24	台湾蜜(8), 五楼供(33), 大香水(42), 喇嘛黄(120), 黑皮瓜(130), 花皮懒瓜(131), 红太(352), 黑桃(353), 白桃(354), 花老虎(355), 黄沙蜜(357), 蓝宝石(638), 最佳(639), 登 3 号(649), 平歧 2 号(670), 九油石(812), 337(814), 340(815), Cautor(816), 新冠(817), 青香蕉(604), 齐甜 1 号(893), 福民早生(949), 齐甜 2 号(961)

表 1(续)

来源 Origin	数量 No.	种质名称及编号 Germplasm name and code
辽宁	18	青羊头(19),谢花甜(34),蜂蜜罐(132),灰鼠子(133),蛤蟆青(137),蛤蟆酥(138),甜沙蜜(140),金道子(141),白瓜(142),沈阳1号(143),花道(144),三铃甜瓜(145),花道子(196),南朝鲜(599),金香柳(602),皇后(644),王子(672),蛤蟆酥-2(958)
江苏	15	金令瓜(20),黄香瓜(166),红籽马蹄酥(167),花皮甜瓜(209),麦瓜(211),老来嫩香瓜(212),水色芝麻籽(872),青皮绿瓢(875),青皮甜肉(878),镇江黄金瓜(880),维多利亚(921),刘9601(923),看瓜(1009),江苏三叶瓜(1023),三叶花酥瓜(1031)
山东	13	白银瓜(127),淄博甜瓜(210),十棱黄金瓜(345),益都白银(607),闻喜白瓜(631),刘金瓜(785),白籽马蹄酥(877),铁籽绿(879),益都黄银瓜-1(882),益都黄银瓜-3(884),鲁甜3号(934),棉瓜(953),鲁甜2号(997)
中国台湾	13	PI-438529(436),黄玉(610),青玉(611),PI-321004-S2(770),PI-321004-S1(847),秀芳(919),新世纪-1(924),农友香兰(929),农友2号(941),玉露(970),天女(927),翠芳(936),雪里华(938)
吉林	11	白丰(15),白沙蜜(43),云南白(44),四平1号(152),黄十棱瓜(153),小金道(154),黄蛤蟆酥(194),洋水(200),甜似蜜(356),青哈蟆酥(955),新白娘子(979)
内蒙古	11	八里香(155),呼和1号(157),金巴齿(180),白莲脆(191),九台1号(202),呼和4号(205),呼和8号(343),河套蜜瓜(654),河套冬瓜(810),大八里香(891),红城脆(892)
安徽	10	香面瓜(162),九道青(163),三棱红(164),白冻(165),花蛤蟆皮(195),面瓜(207),合肥面瓜(871),小麦酥(873),铁巴齿(954),丰选-1(1004)
浙江	9	平湖白梨瓜(6),甜菜瓜(17),杭州黄金(21),蜜汁瓜(23),太阳红(178),十棱黄金瓜(179),大青瓜(183),九里香(609),温州白啄瓜(618)
陕西	8	白兔娃(1),白线瓜(2),西甜1号(634),N02691(646),墨-95(647),许金一号(648),北京梨(857),北京梨-1(951)
山西	8	梨儿脆(31),一窝猴(39),白流沙(222),盛开花(349),虎皮脆(623),十道筋-1(948),山白选(1025),子蔓白甜瓜(1026)
北京	7	大键优(643),兰纯26(653),兰旁1902(655),83091(657),凤梨(818),依戈红色格布匹奥德(821),花仙子(859)
河北	6	小窝瓜(124),河北甜瓜(176),马蹄黄(216),小翠瓜(870),黄妃(952),雪蜜王(1016)
甘肃	6	金塔寺(28),35号(父)(645),碎抗27(664),卡沙巴4号(665),绿蜜露(666),金玛丽(991)
广东	5	广州蜜瓜(16),花鸡(630),金满地-1(899),伊选-3(904),凤凰选-1(905)
江西	4	江西梨瓜(4),平果青(9),南昌雪梨(175),上饶甜瓜(187)
广西	4	广西梨瓜(29),南宁甜瓜(217),华南108(616),Tm-1(861)
湖北	4	荆州八方(5),荆农4号(171),八方(612),白梨瓜(942)
上海	3	黄金瓜(18),海冬青(27),上海瓜(361)
湖南	1	黄香瓜(996)
天津	1	十棱沟金瓜(876)
福建	1	蒲田1号(186)

括号内数字为国家西瓜甜瓜种质资源中期库中甜瓜种质编号

The number in bracket means the code of melon in National Mid-term Genebank for watermelon and melon

1.2 田间试验及表型性状考察

试验于2009-2011年在中国农业科学院郑州果树研究所试验基地进行。保护地育苗,塑料大棚定植。采取随机区组种植,单行区,株距0.4 m,行距3.0 m,2次重复,常规管理。

在果实成熟期对所有甜瓜种质的表型性状进行调查和统计,每小区随机取5~7株进行调查。所调查的性状包括14个质量性状(果实形状、果皮底色、覆纹颜色、覆纹形状、果面沟、果面棱、网纹密度、网纹粗度、果肉颜色、果肉质度、瓜瓢水分、果肉香味、种子形状和种子颜色)和6个数量

性状(果实横径、果实纵径、果肉厚度、单果鲜重、可溶性固形物含量和种子千粒重)。长度用直尺或游标卡尺测量,质量用电子秤(型号ACS-30)测量,可溶性固形物含量用手持测糖仪(型号PX-B32T)测量。

1.3 数据分析

所有性状参照《甜瓜种质资源描述规范和数据标准》^[14]和A. Stepansky等^[1]的方法进行统计和赋值,质量性状以3~7级进行记录(表2)。参照尚建立等^[15]方法,数量性状根据平均值(X)和标准差(δ)分为10级,1级<X-2δ,10级≥X+2δ,中间每

级相差 0.5δ。各性状的遗传多样性采用 Shannon’s 信息指数(H')进行评价, $H' = -\sum P_i \ln P_i$, P_i 表示第 i 种变异类型出现频率,用所有相应的各个性状 H' 的平均值表示一组或所有种质的遗传多样性程度。采用 Excell 计算各性状的最大值、最小值、平均

值、极差和变异系数,采用 DPS 6.50 进行方差分析和显著性测验,采用 NTSYS-pc 进行主坐标分析(PCO,principal coordinates analysis),种质间距离为 Euclidean 距离,聚类方法为 UPGMA (unweighted pair group method arithmetic average)法。

表 2 甜瓜种质资源质量性状描述分级

Table 2 Description and grouping of qualitative characters of melon germplasms

代号 Code	性状 Trait	分级 Group						
		1	2	3	4	5	6	7
A	果实形状 Fruit shape	圆形	梨形	卵形	椭圆形	圆柱形	棒形	
B	果皮底色 Ground color of fruit skin	白	绿白	黄	绿	墨绿	红褐	灰褐
C	覆纹颜色 Vein color of fruit skin	无	白	黄	橘	绿	墨绿	褐
D	覆纹形状 Vein shape of fruit skin	无	斑点	斑块	斑条	条带		
E	果面沟 Grooves	无	浅	深				
F	果面棱 Ridges	无	低	高				
G	网纹密度 Density of net	无	稀	中	密			
H	网纹粗度 Thickness of net	无	细	中	粗			
I	果肉颜色 Flesh color	白	黄	浅绿	绿	橙	橙红	
J	果肉质地 Flesh texture	软	面	脆	绵	硬		
K	瓜瓢水分 Water in flesh	少	中	多				
L	果肉香味 Aroma	无	香	异香				
M	种子形状 Seed shape	椭圆	卵圆	梨形				
N	种子颜色 Seed coat color	白	粉白	黄白	黄	黄褐	红褐	

2 结果与分析

2.1 质量性状遗传多样性

14 个甜瓜质量性状按照表 2 进行赋值,并统计各性状的频率分布及其多样性指数,统计结果见表 3。多样性指数变化范围为 0.20 ~ 1.63,平均值 1.04,7 个性状(果实形状、果皮底色、覆纹颜色、覆纹形状、果肉颜色、果肉质地和种子颜色)的多样性指数大于 1.00。果实形状的多样性指数最高,主要以圆形、卵形、椭圆形为主,三者共占有种质的 74.7%。果皮底色主要是绿色(34.6%)和黄色(29.2%)。38.9%的种质的果实没有覆纹,有覆纹的果实其覆纹颜色主要是绿色(29.2%),覆纹形状以条带为主(25.8%)。大部分种质(>70%)的果实没有沟、棱、网纹等性状,这些稀有性状的多样性指数较低(<1.00)。果肉颜色主要以白色(46.7%)为主,浅绿色(22.2%)次之。50%以上的种质果肉质地脆(55.6%),软果肉的种质占 25.3%。大部分种质瓜瓢水分中等(78.2%)、无香味(70.7%),种子呈椭圆状(65.8%)。种子的颜色主要是黄色(40.1%)和白色(25.3%)。

表 3 甜瓜种质资源质量性状频率分布及多样性

Table 3 Frequency distribution and diversity index of melon qualitative characters

代号 Code	性状 Trait	频率(%) Frequency							多样性 指数 H'
		1	2	3	4	5	6	7	
A	果实形状 Fruit shape	28.8	11.7	27.2	18.7	3.9	9.7		1.63
B	果皮底色 Ground color of fruit skin	17.5	8.2	29.2	34.6	8.9	0.8	0.8	1.53
C	覆纹颜色 Vein color of fruit skin	38.9	4.7	14.8	3.8	29.2	7.0	1.6	1.53
D	覆纹形状 Vein shape of fruit skin	38.9	14.8	10.9	9.6	25.8			1.38
E	果面沟 Grooves	84.8	14.4	0.8					0.46
F	果面棱 Ridges	95.7	3.5	0.8					0.20
G	网纹密度 Density of net	73.9	6.3	10.1	9.7				0.85

表 3(续)

代号 Code	性状 Trait	频率(%) Frequency							多样性 指数 H'
		1	2	3	4	5	6	7	
H	网纹粗度 Thickness of net	73.9	7.0	6.6	12.5				0.85
I	果肉颜色 Flesh color	46.7	6.6	22.2	11.7	8.6	4.3		1.47
J	果肉质地 Fesh texture	25.3	15.2	55.6	1.2	2.7			1.11
K	瓜瓢水分 Water in flesh	4.3	78.2	17.5					0.63
L	果肉香味 Aroma	70.7	24.0	5.3					0.67
M	种子形状 Seed shape	65.8	30.0	4.2					0.77
N	种子颜色 Seed coat color	25.3	10.1	19.1	40.1	2.3	3.1		1.46

2.2 数量性状遗传多样性

甜瓜种质数量性状的多样性指数变化范围为 1.57~2.08(表 4),平均值 1.83,普遍高于质量性状的多样性指数,说明甜瓜果实数量性状多样性更丰富。6 个果实数量性状的变异系数均超过 30%,单果鲜重的变异系数最大,达 90.29%,种子千粒重次之,其变异系数为 70.26%,果实纵径(49.38%)、果实横径(38.89%)、果肉厚度(35.37%)和可溶性固形物含量(32.34%)的变异系数相对较小。除了可

溶性固形物含量外,其他 5 个数量性状的变异均达到显著性水平,说明这 5 个数量性状呈现出明显的遗传差异。可溶性固形物含量差异不显著,说明受到更复杂的遗传因素的影响。

2.3 不同地区种质资源遗传多样性

根据试验所选取的甜瓜种质资源的地理分布,将其划分为 6 个生态区域,即西北(新疆、甘肃、内蒙古(西))、东北(黑龙江、吉林、辽宁)、华北(内蒙古(南)、陕西(北)、河北、山西、北京、天津)、华中(陕西(南)、河南、湖北、湖南)、华东(山东、江苏、安徽、浙江、台湾、福建、江西、上海)和华南(广东、广西)。由表 5 可知,不同地区甜瓜果实数量性状差异明显,除了可溶性固形物含量外,其他 5 个数量性状的差异均达到显著水平。从不同地区各性状变异系数的累加值来看,其大小次序分别为:西北、华北、华中、东北、华东和华南。从田间调查结果来看,西北地区(特别是新疆地区)甜瓜种质资源极为丰富,以大中型厚皮甜瓜为主,平均单果鲜重 2.71 kg,平均果肉厚度 2.85 cm,6 个数量性状均有较大变异。华北和华中地区是厚皮甜瓜和薄皮甜瓜混合分布区,果实形状差异明显,单果重变异极大。东北地区主要以中小型厚皮甜瓜为主,平均单果鲜重 0.94 kg,平均果肉厚度 2.40 cm,该地区种质的果实性状变异不如上述 3 个地区的种质丰富。华东和华南地区主要以薄皮甜瓜为主,单果鲜重 0.50 kg 左右,果肉厚度 2.00 cm 左右,数量性状的变异相对较小。

表 4 甜瓜种质资源数量性状变异统计

Table 4 Variation analysis of quantitative characters for melon germplasms

性状 Trait	均值 Mean	标准差 s	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	变异系数 (%) CV	多样性指数 H'	F
果实横径(cm) Fruit diameter	10.72	4.17	33.51	1.06	32.45	38.89	1.89	3.65*
果实纵径(cm) Fruit length	13.85	6.84	50.42	1.15	49.27	49.38	1.85	6.22*
单果鲜重(kg) Fresh weight of single fruit	1.05	0.99	7.06	0.02	7.04	90.29	1.57	14.12*
果肉厚度(cm) Flesh thickness	2.29	0.81	4.66	0.50	4.16	35.37	1.97	3.11*
可溶性固形物含量(%) TSSC	9.43	3.05	17.70	2.00	15.70	32.34	2.08	1.56
种子千粒重(g) 1000-seed weight	24.30	17.08	90.02	5.00	85.02	70.26	1.61	3.27*

*表示在 0.05 水平上的显著性。下同 * means significance at 0.05 level. The same as below

TSSC ;total soluble solid content

14 个质量性状中,果实形状、果皮底色、果肉颜色 3 个性状的分布在不同地区差异明显,其他 11 个性状在各个地区的分布基本一致(数据未列出)。例如,西北地区约有 63% 种质果实呈椭圆或卵圆形,约 55% 的种质果皮呈绿白或黄色,约 46% 的种质果肉呈黄色或橙色。异香味、果肉橙

红、瓜瓢多水等稀有性状的种质也出现在西北地区,果面沟、棱、皱纹等稀有性状主要出现在华中、华东和华南地区的种质(特别是梨瓜 var. chinensis 和越瓜 var. conomon)中。综合评价所有种质的 14 个质量性状和 6 个数量性状的多样性水平,其平均多样性指数为 1.20,不同地区的种质的多样性

表 5 不同地区甜瓜数量性状的差异

Table 5 Difference of melon quantitative characters in various regions of China

性状 Trait	西北地区 Northwest China		东北地区 Northeast China		华北地区 North China		华中地区 Central China		华东地区 East China		华南地区 South China		F
	均值	变异	均值	变异	均值	变异	均值	变异	均值	变异	均值	变异	
	Mean	系数	Mean	系数	Mean	系数	Mean	系数	Mean	系数	Mean	系数	
		(%) CV		(%) CV		(%) CV		(%) CV		(%) CV		(%) CV	
果实横径 (cm)	12.75	41.30	9.23	29.45	10.29	26.91	9.85	30.93	8.80	22.92	8.72	20.09	2.44 *
Fruit diameter													
果实纵径 (cm)	19.31	44.45	13.08	22.59	12.47	22.82	13.45	24.64	12.31	25.28	11.02	13.10	3.25 *
Fruit length													
单果鲜重 (kg) Fresh weight of single fruit	2.71	77.19	0.94	58.54	0.90	72.72	0.75	58.81	0.63	48.09	0.49	31.47	5.67 *
果肉厚度 (cm) Flesh thickness	2.85	30.56	2.40	37.03	2.10	27.93	2.17	38.50	1.98	25.25	2.00	12.47	2.61 *
可溶性固形物含量 (%) TSSC	10.92	24.71	9.57	27.99	9.47	29.19	8.19	42.01	8.21	35.76	10.65	18.59	1.82
种子千粒重 (g) 1000-seed weight	43.73	49.83	17.95	32.31	22.05	57.25	17.76	47.13	15.82	39.85	13.24	34.43	3.04 *

指数高低次序为:西北(1.48)、华中(1.32)、华东(1.22)、华北(1.17)、东北(1.13)和华南地区(0.89)(图1)。这与基于数量性状变异系数的排序有一定的差异。

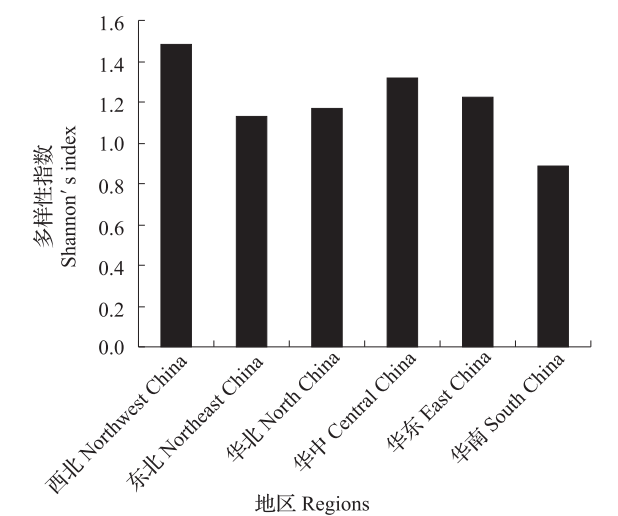
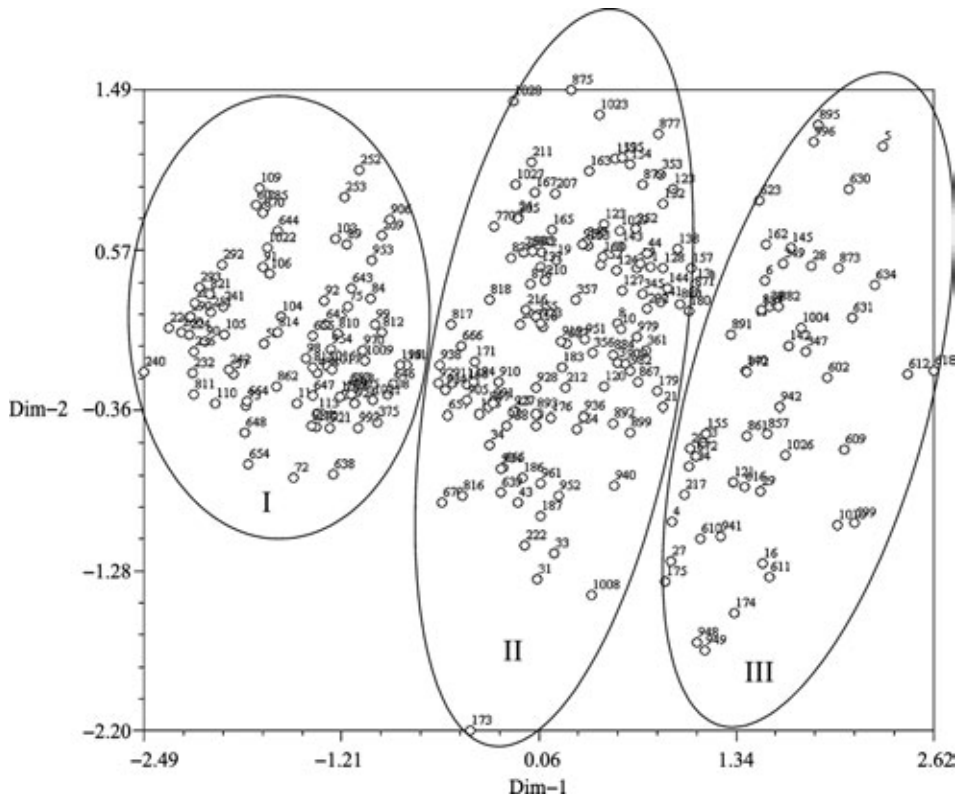


图 1 不同地区甜瓜种质的多样性指数
Fig. 1 Shannon's index of melon germplasm in various regions of China

2.4 形态性状的主坐标分析

所有甜瓜种质的平均 Euclidean 遗传距离为 0.73。黑龙江种质齐甜 1 号与齐甜 2 号、河南种质玉林-1 与玉林-2 的遗传距离最小,均为 0.03,河南种质马泡瓜与新疆种质卡拉可口奇的遗传距离最大,高达 1.00。马泡瓜为野生甜瓜,与其他种质的表型差异较大,平均遗传距离为 0.84。

对 257 份甜瓜种质的 20 个性状的统计数据进行处理,采用 NTSYS-pc 软件生成主坐标分析(PCO)图(图2)。其中,第一和第二特征向量分别解释了 26.4% 和 17.5% 的变异,前 3 个特征向量共解释了 55.6% 的总变异,说明 PCO 所包含的特征向量代表甜瓜表型总变异中的大部分,PCO 图具有可靠性。PCO 图中大部分区域均有甜瓜种质分布,证明我国甜瓜种质遗传多样性丰富。所有甜瓜种质可根据其分布情况划分为 3 个区域(I、II 和 III),I 区为厚皮甜瓜优势区,由 61 份厚皮、15 份薄皮种质组成,厚皮种质主要来源于西北、华北、东北地区,薄皮种质主要来源于华中、华东地区,此区种质分布相对集中,说明其遗传多样性水平偏低。II 区为厚皮、薄皮甜瓜混合分布区,由 38 份厚皮、96 份薄皮种质组成,厚皮种质大多来自西北、东北地区,少数来自华北和华中地区,薄皮种质主要来自华中、华北、华东、华南地区,此区种质的分布相对分散,多样性水平高于 I 区的种质。III 区为薄皮甜瓜优势区,由 7 份厚皮、40 份薄皮种质组成,厚皮种质均来自西北地区,薄皮种质主要来自华中、华东地区,此区域种质分布较分散,说明其多样性水平较高。综合分析可知,西北地区甜瓜种质(以厚皮种质为主)在 PCO 图中 3 个区域均有分布,华中、华东地区薄皮甜瓜种质也广泛分布于这 3 个区域中,因此,西北地区的厚皮甜瓜和华中、华东地区的薄皮甜瓜的种质类型比其他地区更加丰富。而其他地区的种质,即除西北地区以外的厚皮甜瓜种质和除华中、



图中甜瓜种质的代号与表 1 相同 The codes of melon germplasms in PCO diagram are same as those from Table 1

图 2 基于甜瓜形态性状的主坐标分析图

Fig. 2 A PCO diagram based on morphological characters of melon germplasms

华东地区以外的薄皮甜瓜种质,主要集中在 II 区,其多样性水平相对较低。主坐标分析结果与多样性指数分析结果(图 1)基本一致。

3 讨论

我国是厚皮甜瓜的次级起源中心之一,是薄皮甜瓜的初级和次级起源中心^[16]。我国不同地区生态环境各异,导致甜瓜在驯化过程中形成了丰富多样的种质资源(地方品种),为我国甜瓜育种工作提供了充足的试材。对甜瓜种质资源的形态性状的了解程度,将直接影响其育种的进程。在甜瓜植株形态性状中,果实性状变异最明显,是表型总变异的主要来源^[16]。许多研究者根据甜瓜果实性状的变异,将其分为不同的亚种和变种。M. Pitrat 等^[4]将甜瓜划分为 2 个亚种(厚皮甜瓜 *ssp. melo* 和薄皮甜瓜 *ssp. agrestis*)和 16 个变种,这是目前甜瓜生产和研究中广泛应用的分类方法。

本研究发现,14 个甜瓜质量性状中,果实形状、果皮底色、覆纹颜色、覆纹形状、果肉颜色、果肉质地、种子颜色 7 个性状变异较明显($H' >$

1.00),在同一性状的不同级别均有一定数量种质的分布,而其他 7 个差异不明显的性状,种质的分布主要集中在同一性状的某一个或两个级别。6 个数量性状(果实横径、果实纵径、单果鲜重、果肉厚度、可溶性固形物含量和种子千粒重)的变异更明显($H' > 1.5$),说明数量性状较质量性状更易受到基因型或种质类型的影响,这与前人研究结果一致^[1,17-18]。作物遗传改良的前提是要有丰富的育种材料。上述 13 个形态性状多样性指数较高,说明在不同的性状级别或分级上可选择材料较多,遗传改良潜力较大。这些变异明显的性状包括一些与甜瓜产量和品质紧密相关的性状,也意味着我国目前甜瓜的产量和品质具有很大的提升空间。

我国大部分地区都有甜瓜种质资源的分布,但不同地区种质类型及果实性状差异明显。总体上,黄河以北厚皮甜瓜种质居多,而长江流域和长江以南薄皮甜瓜分布广泛^[16]。尽管本研究分析了大量种质的多个差异明显的形态性状,但 PCO 并不能够根据种质类型(如厚皮或薄皮种质)或来源

地严格将其区分开。张永兵等^[13]在利用 32 个形态性状对新疆地区甜瓜地方品种的遗传多样性进行分析时,也只能将野生种和栽培种分开,而在栽培种中进一步划分亚类时发现,不同来源的种质或不同变种却划为一类。姚国新等^[19]和陈芸等^[20]分别利用 RAPD 和 SRAP 分子标记分析我国甜瓜的遗传多样性时,也无法将甜瓜种质按照已报道的分类方法或来源地加以区分。这充分说明甜瓜表型性状的变异和 DNA 水平上的变异均具有不可预知性,也进一步说明我国甜瓜种质的遗传背景较为复杂。但 PCO 图中的所有种质可大致划分为 3 个区域,即厚皮种质优势区、厚皮和薄皮种质混合分布区及薄皮种质优势区,并揭示了我国不同地区种质数量和类型的分布规律,即厚皮种质分布是从西北地区至东北和东南地区逐渐递减,而薄皮种质分布则是从华中和华东地区向东北和西北地区逐渐递减,这亦可由多样性指数的分析结果(图 1)得到证明。由此可知,西北地区和华中、华东地区分别是我国 2 个明显的甜瓜种质多样化中心,我国其他地区的甜瓜种质,很有可能是由这 2 个中心传播、演化而来的。西北地区(特别是新疆地区)是厚皮甜瓜种质多样化中心,将不同种质的形态特征与 M. Pitrat 等^[4]分类标准进行对比,发现这一地区包括了厚皮甜瓜亚种下的多个变种,如硬皮甜瓜 var. *cantalupensis*、网纹甜瓜 var. *reticulatus*、冬甜瓜 var. *inodorus*、夏甜瓜 var. *ameri* 等。华中、华东地区是薄皮甜瓜的多样化中心,几乎分布有薄皮甜瓜亚种下的所有变种,而且还生长有大量薄皮野生甜瓜,如马泡瓜 var. *momordica*。尽管目前甜瓜的起源中心还存在争议,但我国新疆地区为厚皮甜瓜次级起源中心、黄淮及长江流域为薄皮甜瓜初级起源中心的观点已得到许多研究者的认同^[3,16]。本文甜瓜形态性状的研究结果也支持了这一观点。

本研究所用的甜瓜材料是从我国各地收集的地方品种,为基础性种质,是我国甜瓜核心种质的重要组成部分^[21]。本试验所获得的关于这些基础甜瓜种质的形态多样性的研究结果,也将为我国甜瓜品种遗传改良、种质的更新、管理以及核心种质的构建

提供重要的基础性资料。

参考文献

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

[2] Robinson R W, Decker-Walters D S. Cucurbits[M]. New York: CAB International, 1997: 45-77

[3] 林德佩. 中国栽培甜瓜植物的起源、分类及进化[J]. 中国瓜菜, 2010, 23(4): 34-36

[4] Pitrat M, Hanelt P, Hammer K. Some comments on intraspecific classification of cultivars of melon[J]. ISHS Acta Hort, 2000, 510: 29-36

[5] Sebastian P, Schaefer H, Telford I R, et al. Cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*C. melo*) have numerous wild relatives in Asia and Australia, and the sister species of melon is from Australia[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, 107(32): 14269-14273

[6] Roy A, Bal S S, Fergany M, et al. Wild melon diversity in India (Punjab State)[J]. Genet Resour Crop Ev, 2012, 59(5): 755-767

[7] Kirkbride J H. Biosystematic monograph of the genus *Cucumis* (Cucurbitaceae)[M]. NC: Parkway Publishers, 1993: 19-21

[8] 马双武, 王吉明, 邱江涛. 我国西瓜甜瓜种质资源收集保存现状及建议[J]. 中国西瓜甜瓜, 2003(5): 17-19

[9] 刘英, 陈柏杰, 金荣荣, 等. 分子标记技术在甜瓜育种中的应用研究进展[J]. 中国瓜菜, 2009(5): 46-50

[10] 包文凤, 王吉明, 尚建立, 等. 西瓜甜瓜质量性状的分子标记与定位研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 480-485

[11] 张鲁刚, 王鸣. 甜瓜种质资源的 Q 型聚类分析及主成分分析[J]. 中国西瓜甜瓜, 1990(1): 14-19

[12] 张晓明, 惠长敏, 曲振环. 甜瓜种质资源亲缘关系的聚类分析[J]. 中国瓜菜, 2006(B10): 67-69

[13] 张永兵, 李霖华, 吴海波, 等. 新疆甜瓜地方品种资源的表型遗传多样性[J]. 园艺学报, 2012, 39(2): 305-314

[14] 马双武, 刘君濮. 甜瓜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 10-38

[15] 尚建立, 王吉明, 郭琳琳, 等. 西瓜种质资源主要植物学性状的遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 11-15

[16] 中国农业科学院郑州果树研究所. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 313-322

[17] Liu L, Kakihara F, Kato M. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit[J]. Euphytica, 2004, 135: 305-313

[18] Szamosi C, Solmaz I, Sari N, et al. Morphological evaluation and comparison of Hungarian and Turkish melon (*Cucumis melo* L.) germplasm[J]. Sci Hort, 2010, 124: 170-182

[19] 姚国新, 刘玲, 郭永强, 等. 利用 RAPD 标记分析甜瓜种质资源遗传多样性[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2006, 27(5): 56-67

[20] 陈芸, 李冠, 王贤磊. 甜瓜种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J]. 遗传, 2010, 32(7): 744-751

[21] 王述民, 李立会, 黎裕, 等. 中国粮食和农业植物遗传资源状况报告(1)[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 1-12