

西瓜种质资源的瓜氨酸含量分析及评价

李蒙蒙,路绪强,赵胜杰,何楠,尚建立,刘文革*

(中国农业科学院郑州果树研究所,郑州 450009)

摘要:【目的】测定西瓜果实中瓜氨酸含量,以期对西瓜种质资源总体瓜氨酸含量有较为全面的了解,为选育高瓜氨酸含量西瓜品种奠定基础。【方法】以195份西瓜种质资源为材料,用分光光度法测定成熟果实中瓜氨酸含量(以鲜质量计),通过聚类分析将195份西瓜资源分为不同的类群,进行资源分类与筛选。【结果】195份西瓜种质资源的瓜氨酸质量分数为0.49~2.55 g·kg⁻¹,平均值为1.45 g·kg⁻¹,变异系数为0.30。呈近似正态分布,大多数品种瓜氨酸质量分数集中在0.84~2.10 g·kg⁻¹。聚类分析表明,195份西瓜种质资源可划分为4个类群[极低型(I)、低型(II)、高型(III)、极高型(IV)]。白瓢西瓜主要集中在含量较低的I类群;黄瓢、粉瓢、红瓢西瓜主要分布在瓜氨酸含量较高的III类群中。黄瓢、粉瓢、红瓢3种瓢色西瓜瓜氨酸含量无显著差异,但显著高于白瓢西瓜品种。地方品种、选育品种以及从国外引进的固定品种主要集中在瓜氨酸含量较高的III类群中;黏籽西瓜主要分布在I和II类群中;而野生西瓜和籽瓜则主要分布在含量极低的I类群中。地方品种、选育品种以及从国外引进的固定品种瓜氨酸含量差异不显著,但均显著高于野生西瓜、黏籽西瓜和籽瓜。【结论】西瓜瓜氨酸含量与西瓜瓢色及类型有关,不同瓢色和类型西瓜的瓜氨酸含量差异可能是由于人们对西瓜的选择、驯化造成的。本试验筛选出了23份高瓜氨酸含量西瓜种质资源(包括14份选育品种、4份地方品种以及5份从国外引进的固定品种),可作为选育高瓜氨酸含量西瓜品种的亲本材料。

关键词: 西瓜种质资源;瓜氨酸;西瓜类型;瓢色

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2017)04-0482-13

Analysis and evaluation of citrulline content in watermelons

LI Mengmeng, LU Xuqiang, ZHAO Shengjie, HE Nan, SHANG Jianli, LIU Wenge*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstract: 【Objective】*L*-citrulline is a naturally occurring amino acid that functions in detoxification of catabolic ammonia and is a key element in the production of the vasodilator nitric oxide. Watermelon is considered to be a natural source of citrulline because of abundant citrulline in the flesh and rind. With the improvement of people's living standard, functional foods have been highly valued, and watermelon varieties with higher citrulline have been bred. Studies have been carried out to quantify the content of citrulline in different varieties with different ploidy and flesh colors, in different organs, and at fruit development stages. However, a problem in these studies is the lack of comparability of citrulline content because varieties evaluated were few and the studies were carried out at different growing environment in different locations. In this study, the contents of citrulline in 195 watermelon accessions planted in the same location were measured. According to the citrulline content level, the 195 accessions were divided into different groups, and then the distribution pattern of flesh color (white, yellow, pink, red) and watermelon types (wild watermelons, egusi watermelons, seed watermelons, the landrace cultivars, locally bred cultivars and introduced cultivars) in different groups were evaluated. Most of the traditional varieties (wild watermelons, egusi watermelons, seed watermelons, and the landrace cultivars) have been replaced by hy-

收稿日期: 2016-09-18 接受日期: 2016-11-21

基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系(CARS-26-03); 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目(CAAS-ASTIP-2017-ZFRI); 国家自然科学基金(31471893)

作者简介: 李蒙蒙,女,在读硕士研究生,研究方向为西瓜遗传育种。Tel: 13213106795, E-mail: limm0216@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65330936, E-mail: lwgwm@163.com

brids and new cultivars with higher productivity and strong tolerance. Therefore, in this study, the 195 watermelon accessions were evaluated in order to recover the use of some varieties and thus increase agrobiodiversity and to screen some excellent varieties for breeding cultivars with high citrulline content. **【Methods】**The plants of the 195 watermelons were planted in Henan province under the same condition. The central flesh tissue from ripe fruits was used to measure the citrulline content. The tissues sampled were immediately frozen in liquid nitrogen and quickly stored at $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ till use. Citrulline was extracted by methanol-HCl water-bathed at $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min after the watermelon tissue had been homogenized. The extraction was added with activated carbon and then boiled for 30 min in the mixture of phosphoric acid and sulfuric acid in darkness. Coloration was developed by adding diacetyl monoxime to the mixture. A UV-visible spectrophotometer was used to determine the citrulline content in watermelon fruit indirectly. The analysis was conducted with three replicates. **【Results】**The results showed that the mean content of the 195 watermelons was $1.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, with a variation coefficient of 0.30. The cultivar '98A13' with red flesh showed the highest citrulline concentration ($2.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), while the wild watermelon 'PI 296341' with white flesh had the lowest citrulline concentration ($0.49\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). A skewed normal distribution of citrulline content was found among the watermelon genotypes. The citrulline content in most of the varieties was concentrated within $0.84\text{--}2.10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, accounting for 82.56% of all the accessions. Cluster analysis showed that the 195 watermelons could be divided into four categories, the very low group (I), the low group (II), the high group (III), and the extremely high group (IV). Group III is the largest group containing 85 (43.59%) of the watermelon genotypes tested, followed by Group II containing 52 or 26.67% of the tested genotypes. Group I contained 35 or 17.95% of the accessions, while the smallest Group IV contained 23 or 11.79% of the accessions. The citrulline content in Group IV was the highest in the 4 groups, ranging from $2.02\text{ to }2.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, while that in Group I was the lowest, ranging from $0.49\text{ to }0.99\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. The citrulline content in Group II ranged from $1.02\text{ to }1.37\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and that in Groups III from $1.39\text{ to }1.99\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. The results of this study suggested that the citrulline contents in all the groups displayed a great variation. It was found that the citrulline content in white flesh watermelons was very low, especially in Group I, which contained 51.28% of all the white flesh watermelons. The yellow flesh, the pink flesh and red flesh watermelons were mainly concentrated in Group III, accounting for 50.0%, 58.06% and 48.42% of the corresponding color types respectively. Although there was no significant difference in the citrulline contents among the yellow flesh, pink flesh and red flesh watermelons, the citrulline contents in brightly flesh colored watermelons (yellow, pink and red) were significantly higher than those in the white flesh ones. The citrulline contents in wild watermelons, egusi watermelons and seed watermelons were relatively lower, and all of them were distributed in Groups I, II and III. Wild watermelons and seed watermelons were mainly distributed in Group I, accounting for 60.0% and 50.0% of the corresponding types, respectively. The egusi watermelons were mainly in Groups I and II, which contained 40.0% of this type. However, the landrace cultivars, bred cultivars and cultivars from abroad could be found in all of the 4 groups. The citrulline contents of them were relatively higher and all of them were in Group III, which had 44.44%, 50.0% and 55.0% of the landrace cultivars, locally bred cultivars and introduced cultivars, respectively. Although there was no significant difference in citrulline content among landrace cultivars, locally bred cultivars and introduced cultivars from foreign, they were significant higher in citrulline content than wild watermelons, egusi watermelons and seed watermelons. **【Conclusion】**The citrulline content exhibited large variation among the 195 watermelon accessions, ranging from $0.49\text{ to }2.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. According to citrulline content, the 195 watermelon accessions were divided into 4 groups. The citrulline contents in watermelons

with colored (yellow, pink, red) flesh were significantly higher than those in white flesh ones; landrace cultivars, locally bred cultivars and introduced cultivars had higher citrulline contents than wild watermelons, egusi watermelons and seed watermelons. The citrulline contents might be related to watermelon flesh color and type. The difference in citrulline content among different types of watermelons is likely influenced by artificial selection and domestication of watermelons. The varieties with high citrulline content can be screened from locally bred cultivars, the landrace cultivars and the cultivars introduced from abroad. From this study, 23 watermelons with high citrulline content were found valuable for breeding and germplasm innovation.

Key words: Watermelon; Citrulline; Watermelon types; Flesh color

西瓜 (*Citrullus lanatus*) 属于葫芦科, 原产于非洲, 是一种世界性的园艺作物, 栽培历史悠久, 地域广泛。西瓜在我国农村经济作物生产中的地位日益突出。据统计, 2013 年我国西瓜播种面积为 182.82 万 hm^2 , 总产量为 7 294.4 万吨^[1]。西瓜藤、皮、果肉、种子都可食用、药用, 营养价值和药用价值很高。西瓜果实富含番茄红素、瓜氨酸、谷胱甘肽和维生素 C 等营养成分, 对人体具有重要的保健功能^[2-3]。瓜氨酸与大多数氨基酸构象一样为 L 型, 故又称为 L-瓜氨酸^[4]。其结构类似于精氨酸, 具有清除羟自由基、抗氧化的功能, 又有促进血液循环, 舒张血管, 提高机体免疫力, 维持胆固醇、血糖水平正常, 治疗男性性功能障碍等重要作用^[5-8]。瓜氨酸主要存在于葫芦科作物果实、栝楼根、核桃仁及核桃幼苗中^[9-14], 其中西瓜果实中瓜氨酸含量丰富, 鲜食即可被人体直接吸收, 而产生保健功能, 是人体获取瓜氨酸的重要途径^[15]。

近年来, 随着人们健康意识的增强, 瓜氨酸的研究越来越受到科研人员的重视。目前对西瓜瓜氨酸的研究主要集中在瓜氨酸含量的测定上^[15-17], 包括西瓜不同品种、不同倍性、不同瓢色, 不同部位瓜氨酸含量差异方面的研究^[10, 16-20]。研究者还探讨了西瓜果实不同发育期瓜氨酸含量的变化^[21-22], 以及不同环境对西瓜果实瓜氨酸含量的影响^[17]。但是由于试验中西瓜品种不同、环境不同, 加上西瓜品种数目较少, 在一定程度上缺乏可比性, 不能够对西瓜种质资源瓜氨酸含量有充分的了解。为了更好地了解西瓜种质资源瓜氨酸含量的总体特性, 本试验以同一地区种植的 195 份西瓜种质资源为材料, 对西瓜果肉瓜氨酸含量进行测定分析, 以期从整体上了解西瓜种质资源瓜氨酸含量状况。近些年来随着西瓜产业的发展, 许多传统类型的西瓜品种(地方品种、野

生西瓜、黏籽西瓜)逐渐消失了, 被产量更高、抗性更强的现代新兴栽培种和杂交种所取代, 对瓜氨酸资源进行评价, 了解不同瓢色、不同类型西瓜的分布规律, 发掘高瓜氨酸含量的种质并重新利用(直接使用或作为变异来源培育新品种), 丰富了育种材料, 以期今后充分利用西瓜种质资源、选育高瓜氨酸含量的新品种提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料及种植取样方法

195 份西瓜供试材料(包括西瓜固定品种以及纯合自交系)源于中国农业科学院郑州果树研究所国家西瓜甜瓜种质资源中期库以及多倍体西瓜育种课题组, 按瓢色可分为白瓢(39 份)、黄瓢(30 份)、粉瓢(31 份)、红瓢品种(95 份); 按栽培类型可分为野生西瓜(15 份)、黏籽西瓜(15 份)、籽瓜(10 份)、地方品种(45 份)、选育品种(70 份)、从国外引进的固定品种(40 份)。具体品种名称、瓢色及类型见表 1。

各试验材料于 2015 年 3 月中旬播种于中国农业科学院郑州果树研究所多倍体西瓜育种课题组新乡试验基地大棚, 育苗移栽, 采用裂区设计, 行间距 1.5 m, 株间距 0.8 m, 地膜覆盖, 单蔓整枝, 第 2 雌花留单瓜, 田间栽培管理一致。5 月中旬开始授粉, 西瓜的雌、雄花于开花前 1 天下午套帽, 次日自交授粉, 标注授粉日期。根据不同品种成熟情况于 7 月上旬采收。待西瓜成熟后, 每个西瓜品种取授粉日期相同、形状大小一致的 3 个西瓜果实, 参照万学闪等^[21]的取样方法, 取中心果肉, 去籽榨汁匀浆, 置于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中备用, 以测定西瓜瓜氨酸含量。

1.2 瓜氨酸含量测定方法

瓜氨酸含量的测定采用分光光度法^[3]: 称取瓜汁 3 g, 匀浆机破壁; 加入体积比为 9:1 的纯甲醇和 6

表1 195份西瓜种质资源的特征特性

Table 1 The characteristics of 195 watermelon accessions

品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour	品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour	品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour
三白瓜 Sanbaigua	L	W	W1	V	Y	新大和 Xindahe	T	R
柳条青 Liutiaoqing	L	W	特小凤选 Texiaofengxuan	V	Y	托帕克 Tuopake	T	R
White wonder	T	W	短117 Duan117	V	Y	Sugar baby(CAN)	T	R
PI 296341	D	W	宁夏籽籽瓜 Ningxiahong	S	Y	墨西哥黑皮 Moxigeheipi	T	R
菜西瓜 Caixigua	D	W	卡拉其怕 Kalaqipa	L	P	新大和2号 Xindahe No.2	T	R
PI 512854	D	W	花玲 Hualing	L	P	大红甜 Dahongtian	T	R
北京野生 Beijing yesheng	D	W	小红籽 Xiaohongzi	L	P	红1号 Hong No.1	T	R
Grif16135	D	W	小籽葫芦 Xiaozihulu	L	P	84002	T	R
PI 189225	D	W	中石红 Zhongshihong	L	P	美国短蔓 Meiguoduanman	T	R
PI 296339	D	W	曼谷西瓜 Mangu	L	P	All Sweet	T	R
PI 482246	D	W	广州花皮 Guangzhouhuapi	L	P	绿贝雷 GreenCathay Belle	T	R
PI 505604	D	W	奎克塔吾孜 Kuiketawuzi	L	P	Moon and Star	T	R
PI 532670	D	W	塔车红 Tachehong	L	P	LSW-194	V	R
吉庆野西瓜 Jiqing yexigua	D	W	美好 Meihao	T	P	无杈早 Wuchazao	V	R
PI 288522	D	W	PI 161375	T	P	东方美佳 Dongfangmeijia	V	R
PI 542119	D	W	斯拉夫帕克 Silafupake	T	P	开杂5号 Kaiza No.5	V	R
PI 248774	D	W	美丽托夫斯基 Meilituofusiji	T	P	02d97	V	R
PI 271769	D	W	连小-5 Lianxiao-5	T	P	02d96	V	R
PI 185636	E	W	都1号 Dou No.1	T	P	予枚小籽 Yumeixiaozi	V	R
PI 490377	E	W	PI 314148	T	P	2001-58	V	R
PI 559997	E	W	都3号 Dou No.3	T	P	朱小黑小子 Zhuxiaoheixiaozi	V	R
PI 164248	E	W	Charleston Gray	T	P	苏蜜1号 Sumi No.1	V	R
PI 490381	E	W	乙女 Yinü	T	P	G5F	V	R
PI 532726	E	W	Tomato seed	T	P	长蜜宝 Changmibao	V	R
PI 186975	E	W	旭大和 Xudahe	T	P	AB系 AB xi	V	R
PI 560014	E	W	Black diamond	T	P	短127绿 Duan 127 lü	V	R
PI 186489	E	W	黑山人 Heishanren	T	P	龙蜜104 Longmi 104	V	R
PI 195927	E	W	Dixielee	T	P	太谷长 Taiguchang	V	R
PI 494528	E	W	SBD黑 SBD black	V	P	琼露 Qionglu	V	R
PI 179240	E	W	板叶1号 Banye No.1	V	P	ML2	V	R
PI 595203	E	W	74-5-1	V	P	JL	V	R
PI 532732	E	W	小籽4号 Xiaozi No.4	V	P	HYX	V	R
红瓜子 Hongguazi	S	W	兴城红 Xingchenghong	V	P	T1f	V	R
磴口籽瓜 Dengkouzigua	S	W	火洲1号 Huozhou No. 1	V	P	短125长果 Dwarf 125	V	R
信白91-2 Xintai 91-2	S	W	白瓜籽 Baiguazi	S	P	HBS	V	R
皋兰籽瓜 Gaolanzigua	S	W	吐白皮西瓜 Tubaipei	L	R	将军 Jiangjun	V	R
道县红籽瓜 Daoxianhongzi	S	W	钢皮 Gangpi	L	R	郑州2号 Zhengzhou No.2	V	R
廊坊籽瓜 Langfangzigua	S	W	兰州黑皮 Lanzhouheipi	L	R	790010	V	R
陕西红籽 Shanxihongzi	S	W	兰州花皮 Lanzhouhuapi	L	R	太谷花圆 Taiguahuayuan	V	R
齐头黄西瓜 Qitouhuang	L	Y	阿克柯孜外 Akekezizwai	L	R	小金甜 Xiaojintian	V	R
马铃薯 Maling	L	Y	大红籽 Dahongzi	L	R	伊选 Yixuan	V	R
早密矮 Zaomia	L	Y	偃师一号 Yanshi No.1	L	R	小红玉 Xiaohongyu	V	R
陕西白 Shanxibai	L	Y	三义 Sanyi	L	R	桂引6号 Guiyin No.6	V	R
桃尖 Taojian	L	Y	阿拉克孜外 Alakekezizwai	L	R	抗7选 Kang 7 xuan	V	R
核桃纹 Hetaowen	L	Y	小青皮 Xiaoqingpi	L	R	荆州204 Jingzhou204	V	R
金包银 Jinbaoyin	L	Y	2000B57板 2000B57 ban	L	R	中育9号 Zhongyu No.9	V	R
梨皮 Lipi	L	Y	大西瓜 Daxigua	L	R	金露 Jinlu	V	R
冻瓜 Donggua	L	Y	黑皮 Heipi	L	R	强黑 Qianghei	V	R
黑崩筋 Heibengjin	L	Y	大叶红 Dayehong	L	R	喜春选 Xichunxuan	V	R
恰儿塔吾孜 Qiaertawuzi	L	Y	花皮瓜 Huapi	L	R	新青 Xinqing	V	R
青抱筋 Qingbaojin	L	Y	透心红 Touxinhong	L	R	红花 Honghua	V	R
黄金 Huangjin	T	Y	阜阳1号 Fuyang No. 1	L	R	小西瓜-4 Xiaoxigua-4	V	R

表 1(续) Table 1(continued)

品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour	品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour	品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour
3301	T	Y	沂南蜜 Yinanmi	L	R	L600 选齿 L600 xuanchi	V	R
香小瓜 Xiangxiaogua	T	Y	胎里红 Tailihong	L	R	91E7	V	R
大和冰淇淋 Cream	T	Y	顶心红 Dingxin hong	L	R	郑州 3 号 Zhengzhou No.3	V	R
YU18	V	Y	宿县小籽 Suxianxiaozhi	L	R	中育 12-3 Zhongyu12-3	V	R
橙兰 Chenglan	V	Y	彰引 Zhangyin	L	R	Yu4	V	R
HXLX	V	Y	Crimoson Sweet	T	R	J5F	V	R
XJLX	V	Y	美丽 Meili	T	R	香久山 Xiangjiushan	V	R
宝冠 Baoguan	V	Y	Sugar Baby	T	R	9904	V	R
98002	V	Y	浓冲 Nongchong	T	R	XYXA	V	R
喜华 Xihua	V	Y	Dusx	T	R	周至红 Zhouzhihong	V	R
麒麟王 Qilinwang	V	Y	波尔强斯基 Boerqiangsiji	T	R	98A13	V	R
冰糖脆 Bingtangcui	V	Y	新西兰 New Zealand	T	R	PI 381740	E	R
华东 26 号 Huadong No.26	V	Y	米奇林 Mickeylee	T	R	大安籽瓜 Daanzigua	S	R

注: W. 白瓢; Y. 黄瓢; P. 粉瓢; R. 红瓢; D. 野生西瓜; E. 黏籽西瓜; S. 籽瓜; L. 地方品种; V. 选育品种; T. 从国外引进的固定品种。

Note: W. White; Y. Yellow; P. Pink; R. Red; D. Wild watermelon; E. Egusi seed watermelon; S. Edible seed watermelon; L. Landrace cultivar; V. Bred cultivar; T. Cultivar from foreign.

mol·L⁻¹盐酸配成的提取液 4.5 mL, 55 °C 水浴 20 min, 活性炭脱色后过滤; 稀释 40 倍, 取 5 mL 稀释液, 加入体积比为 3:1 的硫酸和磷酸混合液 2 mL 及 30 g·L⁻¹ 二乙酰一肟 0.25 mL, 摇匀; 避光煮沸 30 min, 冷却至室温, 在波长 490 nm 处测定吸光度, 根据标准曲线方程计算瓜氨酸含量, 3 次重复并求平均值。

瓜氨酸质量分数/(g·kg⁻¹, 以鲜质量计)=(0.096 5 A+0.008 5)×f。式中, A 为 490 nm 处吸光值, 0.096 5 为标准曲线斜率, 0.008 5 为标准曲线截距, f 为总稀释倍数。

1.3 数据统计分析

采用软件 SPSS 20.0 进行相关数据分析。

2 结果与分析

2.1 195 份西瓜种质资源果实瓜氨酸含量总体分析

对新乡基地种植的 195 份西瓜种质资源果实瓜氨酸含量进行测定(表 2), 瓜氨酸质量分数为 0.49~2.55 g·kg⁻¹, 平均值为 1.45 g·kg⁻¹, 变异系数为 0.30。瓜氨酸含量呈近似正态分布, 多集中在 0.84~2.10 g·kg⁻¹, 占供试西瓜材料的 82.56%(图 1)。瓜氨酸质量分数最高的品种为‘98A13’(2.55 g·kg⁻¹), 为红瓢选育品种; 而质量分数最低品种为‘PI 296341’(0.49 g·kg⁻¹), 为野生白瓢西瓜。

2.2 基于 195 份西瓜种质资源瓜氨酸含量的聚类分析

采用 Euclidean 距离、组间联接法, 对 195 份西瓜种质资源瓜氨酸含量数据进行系统聚类分析, 在欧

表 2 195 份西瓜种质资源果实瓜氨酸含量的总体分析

Table 2 General analysis of citrulline content in the fruits of 195 watermelons

总体特性参数 Characteristic parameter	平均值 Mean	极大值 Max.	极小值 Min.	标准差 s	变异系数 CV
ω(瓜氨酸) Citrulline content/ (g·kg ⁻¹)	1.45	2.55	0.49	0.44	0.30

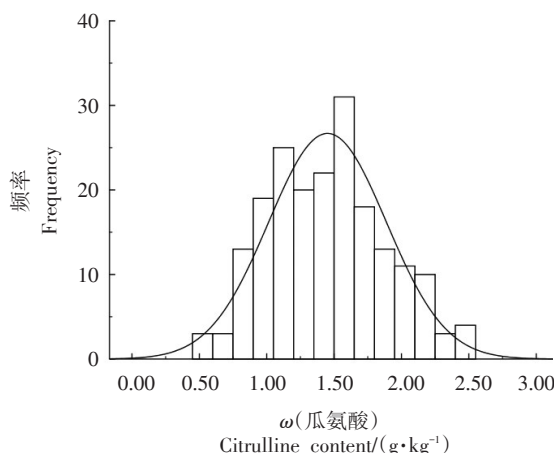


图 1 195 份西瓜种质资源果实瓜氨酸含量的总体分布
Fig. 1 The distribution of citrulline content in 195 watermelon accessions

氏距离 12.5 处将 195 份西瓜种质资源划分为瓜氨酸含量不同的 4 个类群(图 2), 分别命名为极低型(I)、低型(II)、高型(III)、极高型(IV)。4 个类群西瓜果实瓜氨酸含量差异均达到了极显著水平。

由图 2 可知, 在 195 份西瓜种质资源中, III 类群西瓜种质资源最多, 为 85 份, 占 43.59%; IV 类群种质

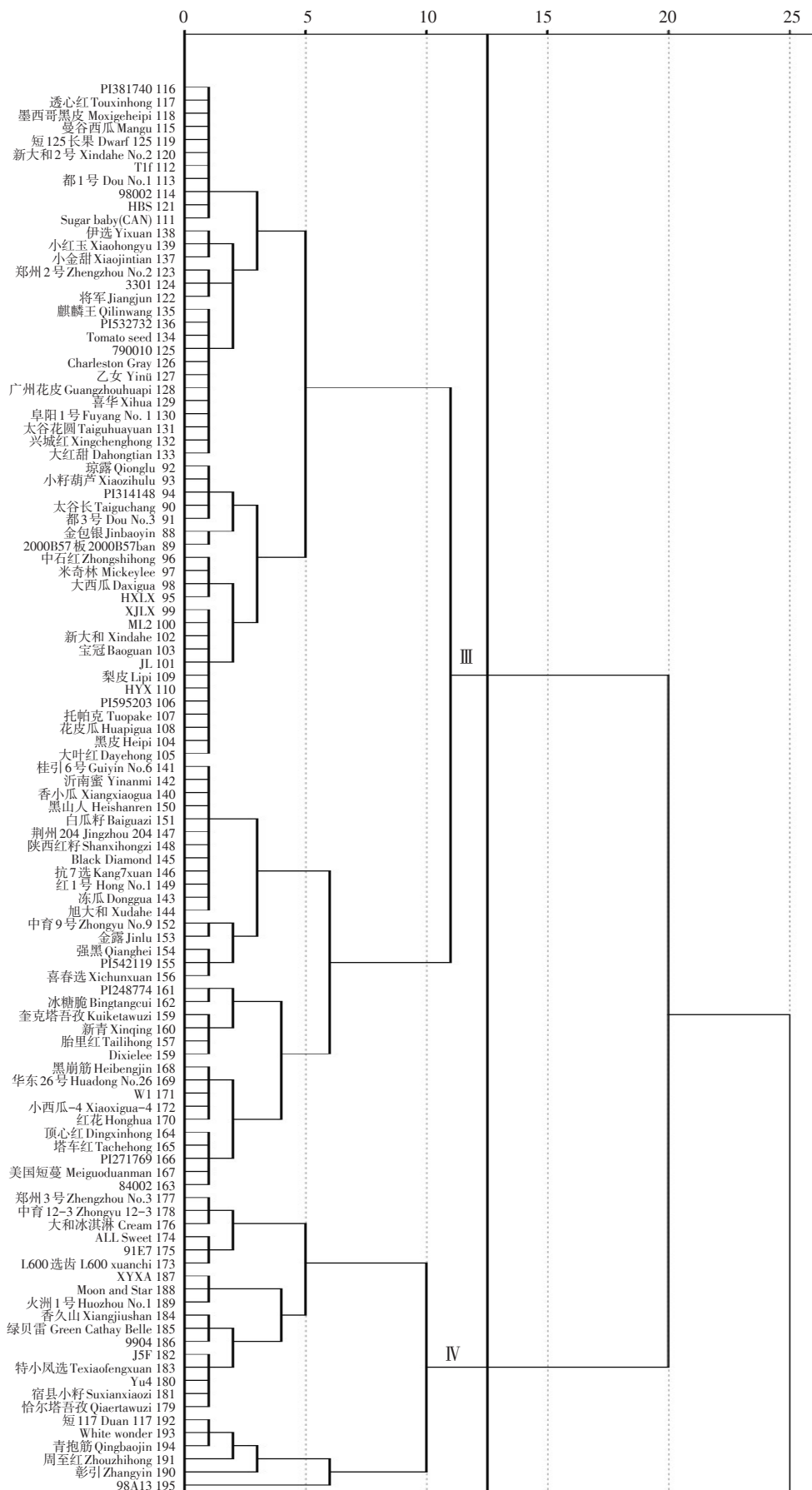


图2 195份西瓜种质资源瓜氨酸含量的聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis of the citrulline content among 195 watermelon accessions

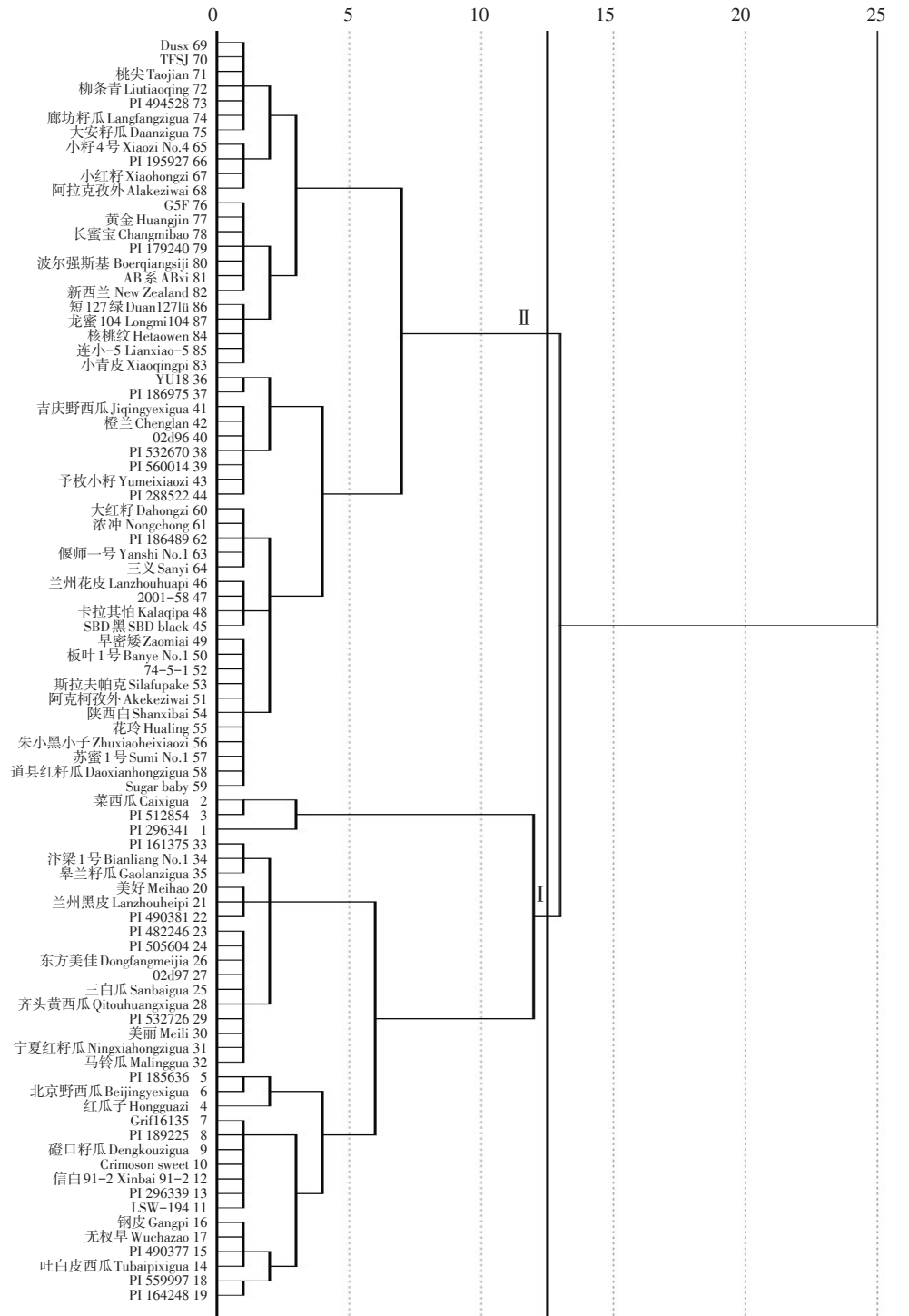


图 2 (续) Fig. 2 (continued)

资源最少,为23份,占11.79%;类群II西瓜种质资源52份,占26.67%;类群I西瓜种质资源35份,占17.95%。由表3可知,IV类群瓜氨酸质量分数最高(2.02~2.55 g·kg⁻¹),平均质量分数为2.21 g·kg⁻¹,变异系数为0.07;类群I瓜氨酸质量分数最低(0.49~0.99 g·kg⁻¹),平均质量分数为0.50 g·kg⁻¹,变异系数为0.15;类群II瓜氨酸质量分数为1.02~1.37 g·kg⁻¹,平均质量分数为1.20 g·kg⁻¹,变异系数为0.08,类群

III瓜氨酸质量分数为1.39~1.99 g·kg⁻¹,平均质量分数为1.65 g·kg⁻¹,变异系数为0.10。基于聚类分析结果,筛选出23份西瓜资源(IV类群;包括14份选育品种、4份地方品种以及5份国外引进的固定品种),作为高瓜氨酸含量西瓜的育种材料。具体品种名见表4。

2.3 不同瓢色西瓜果实瓜氨酸含量的比较分析

本研究的195份西瓜中包括39份白瓢西瓜、30份黄瓢西瓜、31份粉瓢西瓜、95份红瓢西瓜。如图3

表3 各类群主要统计参数及方差分析

Table 3 The main statistical parameters and variance analysis for each group

类群 Groups	材料数量 Materials numbers	占供试材料的比例 Ratio in all tested materials/%	区间 Interval/(g·kg ⁻¹)	均值±标准差 Mean±s	极差 Range/(g·kg ⁻¹)	变异系数 CV
极低型 Very low group(I)	35	17.95	0.49-0.99	0.84±0.13 D	0.50	0.15
低型 Low group(II)	52	26.67	1.02-1.37	1.20±0.10 C	0.35	0.08
高型 High group(III)	85	43.59	1.39-1.99	1.65±0.17 B	0.60	0.10
极高型 Extremely high group(IV)	23	11.79	2.02-2.55	2.21±0.15 A	0.53	0.07

注:不同大写字母表示在 P<0.01 差异显著。

Note: Different capital letters indicate significant difference at P<0.01.

表4 筛选出的23份高瓜氨酸含量种质
Table 4 23 varieties with high citrulline content

品种名 Cultivar name	类型 Type	瓢色 Flesh colour	ω(瓜氨酸) Citrulline content/(g·kg ⁻¹)
L600 选齿 L600 xuanchi	V	R	2.02
All Sweet	T	R	2.03
91E7	V	R	2.04
大和冰淇淋 Cream	T	Y	2.07
郑州3号 Zhengzhou No. 3	V	R	2.08
中育12-3 Zhongyu 12-3	V	R	2.08
恰儿塔吾孜 Qiaertawuzi	L	Y	2.12
宿县小籽 Suxianxiaoz	L	R	2.14
Yu4	V	R	2.13
J5F	V	R	2.15
特小凤选 Texiaofengxuan	V	Y	2.15
香久山 Xiangjiushan	V	R	2.18
绿贝雷 Green Cathay Belle	T	R	2.18
9904	V	R	2.18
XYXA	V	R	2.23
Moon and Star	T	R	2.24
火洲1号 Huozhou No.1	V	P	2.25
彰引 Zhangyin	L	R	2.34
周至红 Zhouzhihong	V	R	2.38
短117 Duan117	V	Y	2.40
White wonder	T	W	2.41
青抱筋 Qingbaojin	L	Y	2.43
98A13	V	R	2.55

注:W. 白色;Y. 黄色;P. 粉色;R. 红色;L. 地方品种;T. 从国外引进的固定品种;V. 选育品种。

Note: W. White; Y. Yellow; P. Pink; R. Red; L. Landrace cultivar; T. Cultivar from foreign; V. Bred cultivar.

所示,白瓢、黄瓢、粉瓢与红瓢西瓜在4个类群中均有分布。39份白瓢西瓜中, I类群20份,占51.28%; II类群12份,占30.77%; III类群6份,占19.35%; IV类群1份,占2.56%。30份黄瓢西瓜中, I类群3份,占6.67%; II类群7份,占23.33%; III类群15份,占50.0%; IV类群5份,占16.67%。31份粉瓢西瓜中, I类群2份,占6.45%; II类群10份,占32.26%; III类群18份,占58.06%; IV类群1份,占3.23%。95份红瓢西瓜中, I类群10份,占10.53%; II类群23份,占24.21%; III类群46份,占48.42%; IV

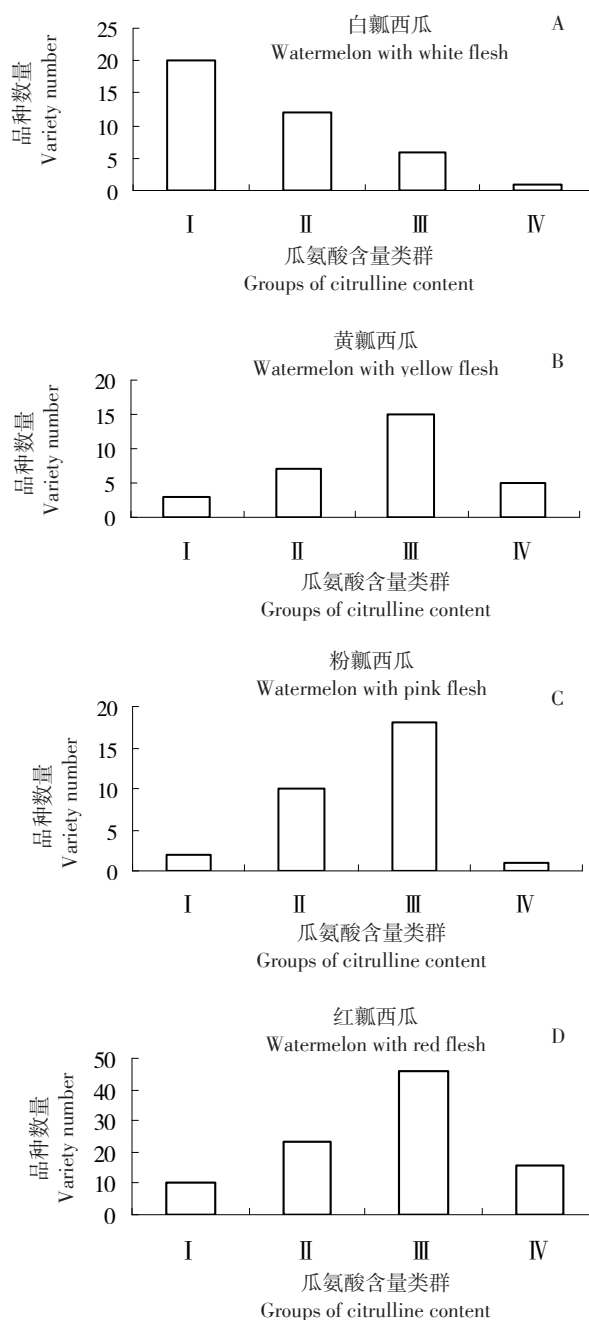


图3 不同瓢色西瓜种质在4个不同瓜氨酸含量类群中的分布

Fig. 3 The distribution of different flesh color watermelons in 4 groups with different citrulline contents

类群 16 份,占 16.84%。由不同瓢色西瓜在各个类群中的分布可知,白瓢西瓜主要集中在类群 I,颜色鲜艳的黄瓢、粉瓢、红瓢均分布在瓜氨酸含量较高的类群 III 中。对不同瓢色西瓜的瓜氨酸含量进行差异显著性分析(图 4)发现,黄瓢、粉瓢、红瓢西瓜品种瓜氨酸含量无显著差异,但均显著高于白瓢。

2.4 不同类型西瓜瓜氨酸含量比较分析

依据瓜氨酸含量对不同类型西瓜(15 份野生西瓜、15 份黏籽西瓜、10 份籽瓜、45 份地方品种、72 份选育品种、40 份国外引进固定的品种)在各个类群中分布规律进行分析。由图 5 可以看出,野生西瓜、黏籽西瓜以及籽瓜果实瓜氨酸含量较低,分布在 I、II、III 类群中,在 IV 类群中没有分布。15 份野生西瓜, I 类群 9 份,占 60%; II 类群 3 份,占 20%; III 类

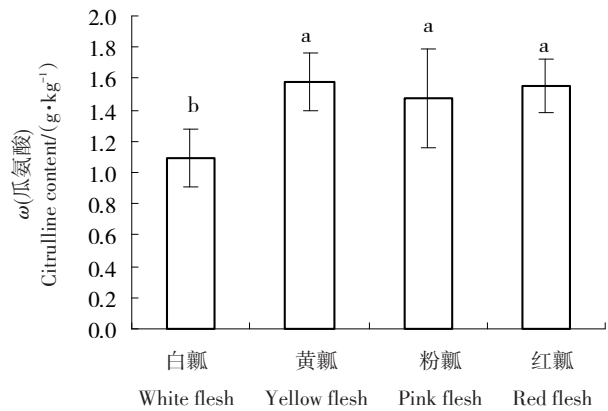


图 4 不同瓢色西瓜瓜氨酸含量差异比较

Fig. 4 Comparison of citrulline content among different watermelons with different flesh colors

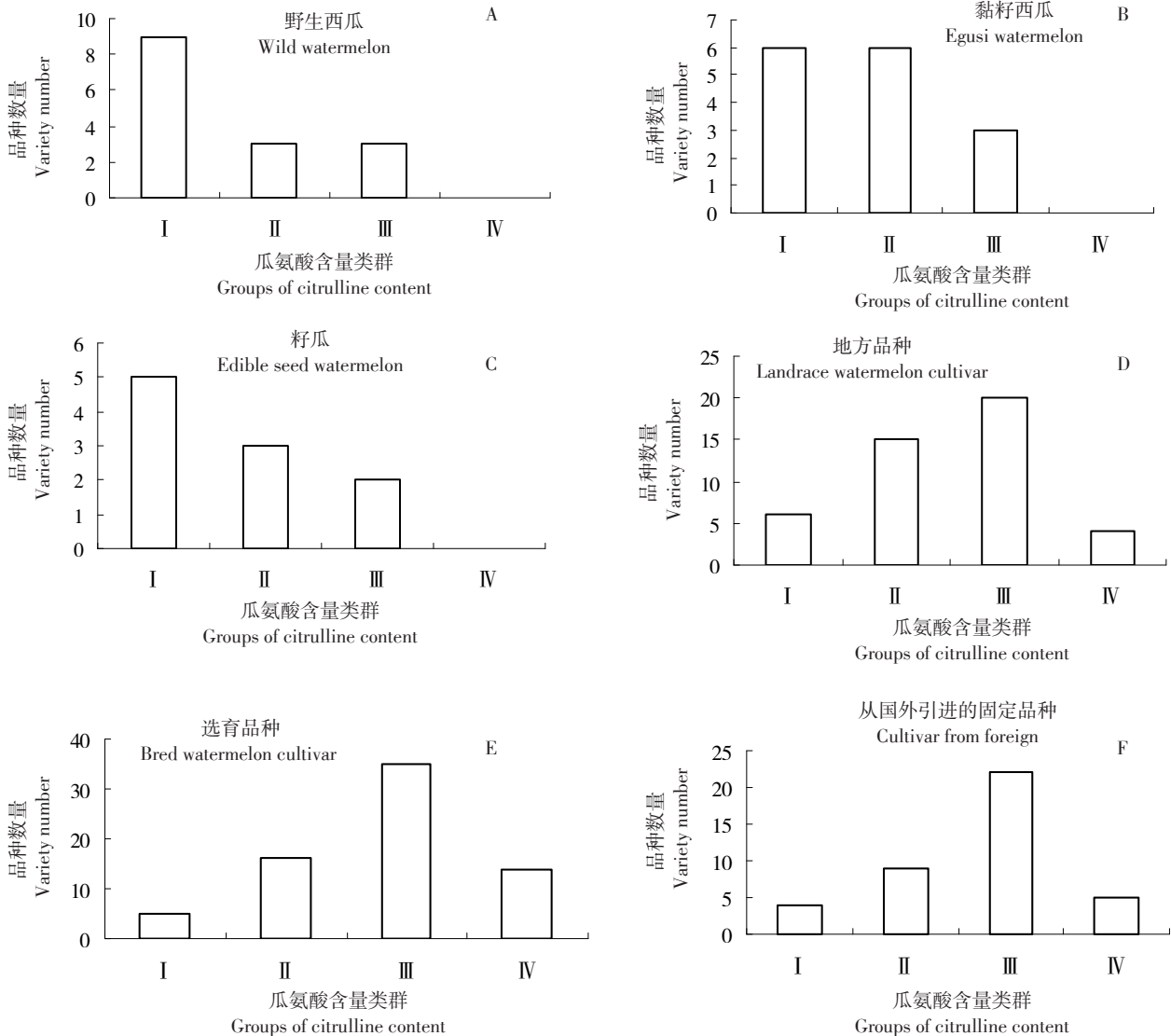


图 5 不同类型西瓜种质在 4 个不同瓜氨酸含量类群中的分布

Fig. 5 The distribution of different watermelon types in 4 groups with different citrulline contents

群3份,占20%。15份黏籽西瓜中,I类群6份,占40.0%;II类群6份,占40.0%;III类群3份,占20.0%。10份籽瓜中,I类群5份,占50.0%;II类群3份,占30.0%;III类群2份,占20.0%。而地方品种、选育品种、从国外引进的固定品种在4个类群中均有分布。45份地方品种中,I类群6份,占13.33%;II类群15份,占33.33%;III类群20份,占44.44%;IV类群4份,占8.89%。70份选育品种中,I类群5份,占7.14%;II类群16份,占22.86%;III类群35份,占50.0%;IV类群14份,占20.0%。40份国外引进的固定品种中,I类群4份,占10.0%;II类群9份,占

22.5%;III类群22份,占55.0%;IV类群5份,占12.5%。

从不同类型西瓜在各个类群中的分布规律可知,野生西瓜、籽瓜主要集中在I类群中,而黏籽西瓜主要集中在I和II类群中,三者瓜氨酸含量均较低。而地方品种、选育品种、从国外引进的固定品种三者均集中在III类群中,瓜氨酸含量较高。不同类型西瓜瓜氨酸含量所分布的类群具有很大差异。对不同类型西瓜瓜氨酸含量进行差异显著性分析(图6)发现,地方品种、选育品种、国外引进的固定品种三者瓜氨酸含量差异不显著,但均显著高于野生西

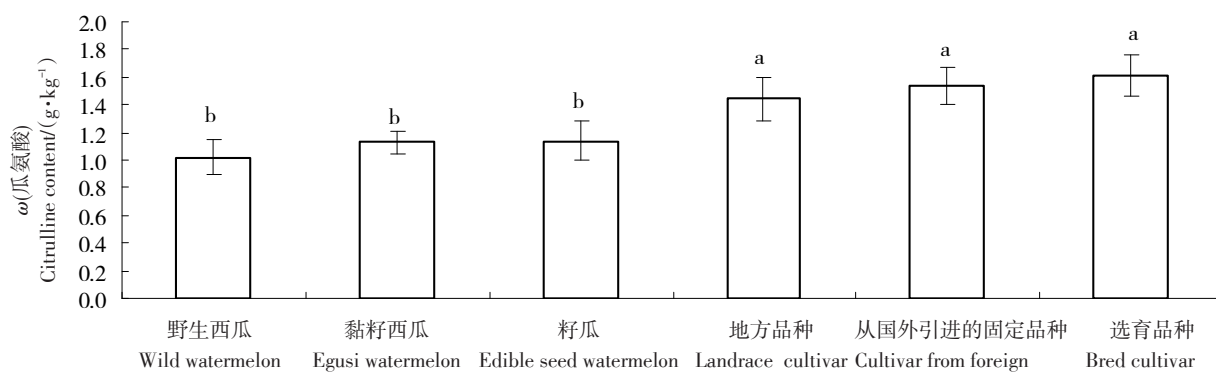


图6 不同类型西瓜瓜氨酸含量差异比较

Fig. 6 Comparison of citrulline content among different watermelon types

瓜、黏籽西瓜以及籽瓜。

3 讨论

本试验对195份西瓜种质资源瓜氨酸含量进行测定,表明瓜氨酸含量近似为正态分布,质量分数为0.49~2.55 g·kg⁻¹。比Rimando等^[15]所测定0.5~3.6 g·kg⁻¹的范围小,但比高美玲等^[19]测定的0.48~1.36 g·kg⁻¹的范围大。这是因为Rimando等^[15]所测定的14个品种中包括6个二倍体西瓜品种以及8个三倍体西瓜品种,而高美玲等^[19]所用的7个品种则为小果型,而本次测定的195份西瓜种质资源全部为二倍体西瓜,同时包括大、中、小3种果型的缘故。此外,Davis等^[17]测定美国奥克拉荷马以及德克萨斯州两州所种植的不同西瓜品种果实瓜氨酸含量,发现同一品种在不同地区瓜氨酸含量差异显著;在同一地区种植的不同品种之间瓜氨酸含量也具有显著差异,环境和品种都可能影响瓜氨酸含量;李蒙蒙等^[23]对新疆、海南两地相同的15份西瓜品种的研究表明西瓜瓜氨酸含量与品种和栽培环境均有很大的关系。本试验中所

测定的瓜氨酸含量与前人测定的有一定差异,这可能是由于西瓜品种不同以及所种植环境不同引起的。本试验筛选出了23份高瓜氨酸含量西瓜种质资源(包括14份选育品种、4份地方品种以及5份从国外引进的固定品种),可作为选育高瓜氨酸含量西瓜品种的亲本材料。但是由于瓜氨酸含量受环境影响显著,需多年多地种植,才能筛选含量较高且稳定的西瓜品种。

本试验根据聚类分析将195份西瓜种质资源分为4个类群,分析了不同瓢色以及不同类型西瓜在各个类群中的分布规律。结果表明黄瓢、粉瓢、红瓢西瓜瓜氨酸含量集中在类群III中,而白瓢西瓜瓜氨酸含量集中在类群I中;黄瓢、粉瓢、红瓢西瓜瓜氨酸含量并无显著差异,但均显著高于白瓢品种。地方品种、从国外引进的固定品种、选育品种的瓜氨酸含量则主要集中在类群III中;而野生西瓜、黏籽西瓜与籽瓜的瓜氨酸含量集中分布在类群I。地方品种、选育品种、从国外引进的固定品种瓜氨酸含量差异不显著,但均显著高于野生西瓜、黏籽西瓜、籽

瓜。除了选育品种外,地方品种、国外引进的固定品种瓜氨酸含量也较高,存在许多高瓜氨酸种质资源。筛选高瓜氨酸亲本材料时,也可以对其中某些材料进行重新使用,这样可以增加育种材料的多样性。黄瓢、粉瓢、红瓢与白瓢之间,普通西瓜(地方品种、选育品种、从国外引进的固定品种)与野生西瓜、黏籽西瓜、籽瓜之间瓜氨酸含量存在着差异,笔者推测瓜氨酸含量与西瓜瓢色以及栽培类型有关,而不同瓢色和类型瓜氨酸含量差异可能是由于人们对西瓜的选择、驯化造成的。

西瓜栽培历史已经超过 4 000 a,从野生西瓜到目前的西瓜品种经历了漫长的过程。野生西瓜和黏籽西瓜等为较原始的西瓜品种,经过长期的选择驯化形成籽瓜、地方品种和选育品种。不同的是,籽瓜是人们以食用瓜子为目的,而地方品种和选育品种以鲜食果肉为目的。不同西瓜类型,果实特征相差很大。野生西瓜,瓜瓢多为白色,具有苦味^[24-25];黏籽西瓜果肉白色,质地坚硬,有苦味,以野生或半栽培为主^[25-26];籽瓜以种子为主要食用器官,肉白色、淡黄或者粉红色,果实无味或者稍酸稍甜,含糖量低。经过长期的自然选择和人工驯化栽培,黏籽西瓜在外观和品质都有很大的提高,地方品种(农家品种)是在自然选择和人工选择的基础上形成的,瓢色多为红色、粉色以及黄色,含糖量不高;选育品种是育种工作者在农家品种和从国外引进固定品种的基础上培育而成的,瓢色艳丽,含糖量更高;同时我国也从国外引进了许多品种,包括地方品种和选育品种,对我国西瓜生产和育种起到了重要的作用^[25]。

随着生活水平的提高,人们也越来越注重果实的外观和品质。育种者对于植物外观、品质的选择可能间接伴随着其他某些与之相关的植物次生代谢物质的选择,而次生代谢物质往往伴随着植物驯化发生改变,且伴随植物的一些性状发生改变,如颜色、味道和其他的一些有益性状的改变,研究表明番茄的番茄红素、抗坏血酸,芒果花色苷、类黄酮等次生代谢物质含量都随果实颜色的不同而存在明显差异^[27-29];大豆中异黄酮含量与蛋白质含量^[30-31]、李果皮花青苷含量与可溶性总糖、果糖含量^[32]都存在相关性。瓜氨酸是植物体内重要的次生代谢物质,在本研究中,白瓢西瓜瓜氨酸含量较低,黄瓢、粉瓢、红瓢西瓜瓜氨酸含量较高,并且瓜

氨酸含量显著高于白瓢,这表明西瓜瓜氨酸含量与西瓜瓢色存在某种相关性,在颜色单一的野生西瓜、黏籽西瓜的驯化过程中,人们倾向于选择瓢色艳丽的西瓜品种,在此过程中可能伴随着对西瓜瓜氨酸含量的改变与选择。

研究也表明,次生代谢产物与植物自身基因型相关^[33]。植物在各种进化因素的作用下,经人们的选择、培育,同一物种可以形成不同的类型,这个过程可能会导致植物基因型发生变异,从而造成植物的次生代谢物质种类以及含量的改变。苹果中类黄酮总量^[34]、竹节参总皂苷含量^[35]均为栽培品种高于原始的野生品种;王春娥等^[36]研究也表明从原始的野生品种到地方品种再到育成品种的过程中,大豆异黄酮的总含量增加。不同类型同一种植物中次生代谢物质不同,可能是人们对植物的选择驯化可以使其体内某些次生代谢物质含量发生改变。本研究中,普通西瓜(地方品种、选育品种、从国外引进的固定品种)瓜氨酸含量较高,而野生西瓜、黏籽西瓜瓜氨酸含量均较低。随着西瓜的驯化,瓜氨酸含量增高,表明瓜氨酸含量与西瓜类型存在相关性。虽说对西瓜的选择驯化中人们并未将瓜氨酸含量作为育种目标而进行选择,但不同类型瓜氨酸含量差异可能是由于瓜氨酸与瓢色、含糖量、品质等直观性状存在某种相关性。在西瓜的选择驯化过程中,颜色越来越艳丽,含糖量越来越高,口感越来越好,人们通过对这些性状的选择而间接地对瓜氨酸进行了选择。在本研究中‘White wonder’为白瓢西瓜,但瓜氨酸含量较高,这可能是由于其为国外选育品种的缘故。而籽瓜瓜氨酸含量较低可能与人们注重籽瓜瓜子性状的选择,而不注重对其果肉颜色和含糖量以及口感的选择有关。

4 结 论

西瓜瓜氨酸含量与西瓜瓢色及类型有关。黄瓢、粉瓢、红瓢西瓜瓜氨酸含量显著高于白瓢;地方品种、选育品种、从国外引进的固定品种瓜氨酸含量显著高于野生西瓜、黏籽西瓜、籽瓜,这可能是人们对西瓜的选择、驯化造成的。本研究筛选出 23 份种质资源,丰富了高瓜氨酸含量西瓜品种的育种材料。

参考文献 References :

- [1] 《中国蔬菜》编辑部. 2013 年全国各地蔬菜,西瓜,甜瓜,草莓,

- 马铃薯播种面积和产量[J]. 中国蔬菜, 2015(1): 12.
The Editorial Department of China Vegetables. The area and yield of the vegetables, watermelon, strawberry, muskmelon, potato in 2013[J]. China Vegetables, 2015(1): 12.
- [2] 刘文革, 何楠, 赵胜杰, 路绪强. 我国西瓜品种选育研究进展[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(1): 1-7.
LIU Wenge, HE Nan, ZHAO Shengjie, LU Xuqiang. Advances in watermelon breeding in China[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2016, 29(1): 1-7.
- [3] 程志强, 刘文革, 邓云, 赵胜杰, 阎志红, 何楠. 西瓜果实中 L-瓜氨酸的提取与测定[J]. 果树学报, 2010, 27(4): 650-654.
CHENG Zhiqiang, LIU Wenge, DENG Yun, ZHAO Shengjie, YAN Zhihong, HE Nan. Extraction and determination of L-citrulline in watermelon fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(4): 650-654.
- [4] 席冬华, 李维霞, 高晶, 阿塔吾拉·铁木尔, 李玲, 吴斌. 液相色谱-质谱法和高效液相色谱法定性定量测定籽瓜中的 L-瓜氨酸[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 271-276.
XI Donghua, LI Weixia, GAO Jing, ATAWULA·Tiemur, LI Ling, WU Bin. Identification and quantitation of L-citrulline in seeding watermelon by liquid chromatography-tandem mass spectrometry and rapid high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2014, 35(24): 271-276.
- [5] FEKKES D, BANNINK M, KRUIT W H J, VAN GOOL A R, MULDER P G H, SLEIJFER S, EGGERMONT A M M, STOTER G. Influence of pegylated interferon- α therapy on plasma levels of citrulline and arginine in melanoma patients[J]. Amino Acids, 2007, 32(1): 121-126.
- [6] MANDEL H, LEVY N, IZKOVITCH S, KORMAN S H. Elevated plasma citrulline and arginine due to consumption of *Citrullus vulgaris* (watermelon) [J]. Journal of Inherited Metabolic Disease, 2005, 28(4): 467-472.
- [7] HARAUZ G, MUSSE A A. A tale of two citrullines—structural and functional aspects of myelin basic protein deimination in health and disease[J]. Neurochemical Research, 2007, 32(2): 137-158.
- [8] 刘娟, 路欣欣, 孟慧. 瓜氨酸的药理作用及生产方法的研究进展[J]. 药学实践杂志, 2011, 29(3): 173-175.
LIU Juan, LU Xinxin, MENG Hui. Progress on pharmacological activities and production methods of citrulline[J]. Journal of Pharmaceutical Practice, 2011, 29(3): 173-175.
- [9] 王亚宁. 天然 L-瓜氨酸的分析及制备研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2006.
WANG Yaning. Study on analysis and preparation of natural L-citrulline[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2006.
- [10] 万学闯, 刘文革, 阎志红, 赵胜杰, 何楠, 刘鹏, 代军委. 无籽西瓜果实不同部位瓜氨酸含量测定[J]. 中国瓜菜, 2010, 23(6): 11-14.
WAN Xueshan, LIU Wenge, YAN Zhihong, ZHAO Shengjie, HE Nan, LIU Peng, DAI Junwei. Citrulline contents in different parts of seedless watermelon fruit[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2010, 23(6): 11-14.
- [11] 钱骅, 焦洋, 赵伯涛, 沈洁. 栝楼根中 L-瓜氨酸的提取和含量测定[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 287-289.
QIAN Ye, JIAO Yang, ZHAO Botao, SHEN Jie. Study on the extraction and content of determination of L-citrulline in *Triihosathes kirilowii* Maxim.[J]. Food Industry Science and Technology, 2010, 31(7): 287-289.
- [12] 刘青青, 金传山, 王振华, 吴德玲, 李继武, 黄力, 张伟. 不同品种天花粉样品中瓜氨酸的含量测定[J]. 安徽中医学院学报, 2012, 31(4): 75-77.
LIU Qingqing, JIN Chuanshan, WANG Zhenhua, WU Deling, LI Jiwu, HUANG Li, ZHANG Wei. Determination the L-citrulline content in samples of different varieties *Trichosanthis* [J]. Journal of Anhui Traditional Chinese Medical College, 2012, 31(4): 75-77.
- [13] 李爱峰, 柳仁民, 张永清. 高效液相色谱-蒸发光散射测定瓜蒌中 L-瓜氨酸的含量[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 314-316.
LI Aifeng, LIU Renmin, ZHANG Yongqing. Separation and identification of L-citrulline in trichosanthis fructus by high performance liquid chromatography - evaporative light scattering detection[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(3): 314-316.
- [14] MAPPELLI S, BRAMBILLA I, BELLONI V, BERTANI A. Changes of free amino acids in leaf sap of trees subjected to flooding and drought stresses[J]. Acta Horticulturae, 2001, 544: 233-238.
- [15] RIMANDO A M, PERKINS-VEAZIE P M. Determination of citrulline in watermelon rind[J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1078(1): 196-200.
- [16] DAVIS A R, WEBBER C L, LIU W, PERKINS-VEAZIE P, LEVI A, KING S. Watermelon quality traits as affected by ploidy[J]. HortScience, 2013, 48(9): 1113-1118.
- [17] DAVIS A R, WEBBER C L, FISH W W, WEHNER T C, KING S, PERKINS-VEAZIE P. L-citrulline levels in watermelon cultivars tested in two environments[J]. HortScience, 2011, 46(12): 1572-1575.
- [18] 郑锋, 詹园凤, 党选民, 杨衍. 不同倍性小型西瓜果实中番茄红素、瓜氨酸含量比较分析[J]. 热带农业科学, 2012, 32(2): 7-10.
ZHENG Feng, ZHAN Yuanfeng, DANG Xuanmin, YANG Yan. Comparative study on lycopene and citrulline content in different ploidy mini-watermelons fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2012, 32(2): 7-10.
- [19] 高美玲, 袁成志, 魏晓明, 田静. 不同瓤色西瓜功能成分比较[J]. 北方园艺, 2013(24): 9-11.
GAO Meiling, YUAN Chengzhi, WEI Xiaoming, TIAN Jing. Comparison of the functional components of different watermelon flesh

- color[J]. Northern Horticulture, 2013(24): 9-11.
- [20] 程志强. 西瓜果实中几种功能性成分研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
CHENG Zhiqiang. Study on the functional components of watermelon fruit[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008.
- [21] 万学闪, 刘文革, 阎志红, 赵胜杰, 何楠, 刘鹏, 代军委. 西瓜果实发育过程中番茄红素, 瓜氨酸和 VC 等功能物质含量的变化[J]. 中国农业科学, 2011, 44(13): 2738-2747.
WAN Xueshan, LIU Wenge, YAN Zhihong, ZHAO Shengjie, HE Nan, LIU Peng, DAI Junwei. Changes of the contents of functional substances including lycopene, citrulline and ascorbic acid during watermelon fruits development [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(13): 2738-2747.
- [22] AKASHI K, MIGUNE Y, MORITA K, ISHITSUKA S, TSUJIMOTO H, ISHIHARAB T. Spatial accumulation pattern of citrulline and other nutrients in immature and mature watermelon fruits [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(2): 479-487.
- [23] 李蒙蒙, 路绪强, 赵胜杰, 何楠, 袁平丽, 李智, 刘文革. 不同生态条件下西瓜果实瓜氨酸含量比较研究[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(10): 16-18.
LI Mengmeng, LU Xuqiang, ZHAO Shengjie, HE Nan, YUAN Pingli, LI Zhi, LIU Wenge. The difference of watermelon fruit citrulline content in different ecological condition[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2016, 29(10): 16-18.
- [24] 陶抵辉, 萧兰昇, 郑素秋. 西瓜野生资源研究利用初探[J]. 湖南农学院学报, 1992, 18(2): 261-269.
TAO Dihui, XIAO Lanyi, ZHENG Suqiu. A preliminary study on the utilization of wild watermelon resources[J]. Journal of Hunan Agricultural College, 1992, 18(2): 261-269.
- [25] 王坚, 蒋有条, 林德佩. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 17-21.
WANG Jian, JIANG Youtiao, LIN Depei. China watermelon and melon[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 17-21.
- [26] 贾宋楠. 黏籽西瓜与籽用西瓜种质遗传性状及抗病性评价[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013.
JIA Songnan. Evaluation of genetic characters and disease resistance for egusi seed and edible seed watermelon germplasm[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013.
- [27] 常培培, 梁燕, 张静, 杨建华, 刘婧仪, 吕洁, 赵菁菁. 5 种不同果色樱桃番茄品种果实挥发性物质及品质特性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 215-221.
CHANG Peipei, LIANG Yan, ZHANG Jing, YANG Jianhua, LIU Jingyi, LÜ Jie, ZHAO Jingjing. Volatile components and quality characteristics of cherry tomato from five color varieties[J]. Food Science, 2014, 35(22): 215-221.
- [28] 邵丽华, 王莉, 白文文, 刘雅娟. 山西谷子资源叶酸含量分析及评价[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1265-1272.
SHAO Lihua, WANG Li, BAI Wenwen, LIU Yajuan. Evaluation and analysis of folic acid content in millet from different ecological regions in Shanxi province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(7): 1265-1272.
- [29] SIVANKALYANI V, FEYGENBERG O, DISKIN S, WRIGHT B, ALKAN N. Increased anthocyanin and flavonoids in mango fruit peel are associated with cold and pathogen resistance[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 132-139.
- [30] 杨雪峰, 齐宁, 林红, 刘广阳, 张晓波, 吴岩, 金海涛. 不同类型大豆蛋白质、脂肪含量与异黄酮含量的相关性研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(5): 705-708.
YANG Xuefeng, QI Ning, LIN Hong, LIU Guangyang, ZHANG Xiaobo, WU Yan, JIN Haitao. Correlation between isoflavones content and protein and oil content in different soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2007, 26(5): 705-708.
- [31] 刘广阳, 齐宁, 林红, 杨雪峰, 王秀梅, 赵婧. 大豆异黄酮含量与品质性状相关性分析[J]. 大豆科学, 2008, 27(4): 701-703.
LIU Guangyang, QI Ning, LIN Hong, YANG Xuefeng, WANG Xiumei, ZHAO Jing. Analysis of correlation between isoflavones and quality of soybean[J]. Soybean Science, 2008, 27(4): 701-703.
- [32] 张元慧, 关军锋, 杨建民, 赵树堂. 李果实发育过程中果皮色素、糖和总酚含量及多酚氧化酶活性的变化[J]. 果树学报, 2004, 21(1): 17-20.
ZHANG Yuanhui, GUAN Junfeng, YANG Jianmin, ZHAO Shutang. Study on the changes of contents of pigments total phenolics, sugars and polyphenol oxidase (PPO) activity in the fruit skin of plum cultivars during fruit development[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(1): 17-20.
- [33] 李彦, 周晓东, 楼浙辉, 肖相元. 植物次生代谢产物及影响其积累的因素研究综述[J]. 江西林业科技, 2012(3): 54-60.
LI Yan, ZHOU Xiaodong, LOU Zhehui, XIAO Xiangyuan. Review on the secondary metabolites of plants and the factors influencing the accumulation of secondary metabolites[J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2012(3): 54-60.
- [34] 李萍. 苹果属植物叶片类黄酮的含量及多样性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
LI Ping. The study on contents and diversity of flavonoids in leaves of *Malus* species[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- [35] 关乔中, 张海滨, 毛帅, 孙志伟, 张长城, 袁丁. 鄂西竹节参野生品与栽培品的比较研究[J]. 中药材, 2013, 36(2): 171-175.
GUAN Qiaozhong, ZHANG Haibin, MAO Shuai, SUN Zhiwei, ZHANG Changcheng, YUAN Ding. Comparative study of wild and cultivated product of *Panax japonicus* from the west of Hubei province[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2013, 36(2): 171-175.
- [36] 王春娥, 赵团结, 盖钧镒. 中国大豆资源异黄酮含量及其组分的遗传变异和演化特征[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3919-3929.
WANG Chun'e, ZHAO Tuanjie, GE Junyi. Genetic variability and evolutionary peculiarity of isoflavone content and its components in soybean germplasm from China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(19): 3919-3929.