

袁平丽,李智,赵胜杰,等.西瓜种质资源番茄红素含量评价[J].江苏农业科学,2018,46(7):115-120.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.028

西瓜种质资源番茄红素含量评价

袁平丽,李智,赵胜杰,路绪强,何楠,尚建立,刘文革

(中国农业科学院郑州果树研究所,河南郑州 450009)

摘要:采用分光光度计法测定 221 份西瓜种质资源的番茄红素含量,采用类平均聚类法对 201 份红、粉瓢西瓜种质资源进行聚类分析。结果表明,番茄红素含量与西瓜品种的瓢色相关,差异很大,201 份红、粉瓢西瓜品种中的番茄红素含量在 10.03 ~ 91.99 mg/kg 之间,平均含量为 35.23 mg/kg,变异系数为 41.95%,20 份黄、白、橘色瓢西瓜品种中的番茄红素含量相对极少,在 0 ~ 6.32 mg/kg 之间,平均含量为 1.79 mg/kg,变异系数为 95.80%;201 份红、粉瓢西瓜种质资源被聚为普通型、中间型、高型、极高型 4 大类,其变异系数分别为 24.29%、12.51%、7.41%、7.44%,其中普通型类群中番茄红素含量的变异较为丰富;国外引进品种、选育品种、地方品种在 4 个类群中均有分布,品种栽培类型与番茄红素含量无明显相关性。在此研究基础上,筛选出 6 份极高番茄红素含量和 9 份高番茄红素含量的西瓜品种。

关键词:西瓜;番茄红素含量;种质资源;聚类分析;变异系数

中图分类号: S651.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0115-06

西瓜(*Citrullus lanatus*)是世界范围的主要水果之一,而中国是西瓜生产与消费第一大国^[1]。西瓜果实中富含番茄红素、瓜氨酸、维生素 C 等多种重要的功能性成分,其中,番茄红素具有抗氧化、抗癌、预防心血管疾病等功效^[2-4]。西瓜中的番茄红素比番茄中的番茄红素更容易被人体吸收,鲜食即可被人体直接吸收而起到保健作用,其有效性比番茄高 40%^[5-6],因此,高番茄红素西瓜育种一直是西瓜品质育种的重要目标之一^[7-9]。Perkins - Veazie 等研究表明,红瓢西瓜品种中的番茄红素含量为 33 ~ 100 mg/kg,由品种自身特性和环境共同作用而引起差异^[3,10]。万学闪等认为,红瓢西瓜果实番茄红素在果实发育过程中的积累呈“S”形曲线变化,幼果期番茄红素含量相对较低,着色期急剧增加,完熟期达到峰值^[11]。袁平丽等用高效液相色谱法(HPLC)和分光光度法测定比较西瓜番茄红素的含量,结果显示,分光光度法测得的平均番茄红素含量是 HPLC 法的 1.45 倍,2 种方法结果基本一致,可比较不同品种间番茄红素的含量^[12]。Gomes 等研究认为,西瓜汁加工成粉末时,其番茄红素含量、抗氧化能力分别提高 216%、192%,且西瓜粉保存番茄红素含量和抗氧化性能相对更稳定^[13]。豆峻岭等分析红瓢、黄瓢无籽西瓜果实不同发育时期番茄红素的积累差异及合成关键酶基因 *PSY*、*PDS*、*ZDS*、*CRTISO*、*LCYb* 表达差异后认为,授粉后 25 d 可能是西瓜番茄红素积累的关键时期,番茄红素合成途径上游 *PSY* 基因和控制分解 *LCYb* 基因在番茄红素合成中可能起

到较为重要的作用,其中 *LCYb* 基因对西瓜瓢色起关键作用^[14]。Bang 等在 *LCYb* 启动子附近的多态性区域两侧设计引物,开发出区分红瓢、黄瓢西瓜 *LCYb* 等位基因的 PCR 新标记 *Cleyb600*,这一标记与 SNP 或 CAPS 标记相比,更容易区分 *LCYb* 等位基因^[15]。Woomoon 等通过微板法用紫外测定西瓜果实中的番茄红素含量认为,微板法能快速简单筛选高番茄红素含量西瓜资源,结果可靠,比高效薄层色谱法更精准,并测定出 96 份西瓜材料的番茄红素含量范围为 3.2 ~ 98.3 mg/kg,共筛选出 15 份高番茄红素含量的品种^[16]。Liu 等通过 F2 群体构建关于西瓜番茄红素含量和其他果实性状的遗传图谱,包含 16 个连锁群,总长 2 039.5 cM,有 37 个 SSR 标记,107 个 CAPSs 标记,为鉴定和克隆番茄红素相关基因提供参考,为培育高番茄红素含量西瓜品种提供有用标记^[17]。

目前,对西瓜番茄红素的合成积累原理已做了较多研究,但西瓜种质资源繁多,各品种间差异较大,有关西瓜资源中番茄红素含量的评价研究相对较少。本试验以 221 份西瓜品种(系)为材料,通过分光光度计法测定其番茄红素含量,分析比较不同品种(系)西瓜果实中番茄红素含量的差异,以期筛选出高番茄红素含量的品种,为西瓜育种亲本的选配提供帮助,为西瓜番茄红素的遗传研究奠定良好的基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

221 份二倍体西瓜种质,由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和多倍体西瓜课题组提供,其中 1 份为野生西瓜,2 份为黏籽西瓜,4 份为籽瓜,48 份为地方品种,107 份为选育品种,59 份为国外引进品种;163 份为红瓢品种,38 份为粉瓢品种,16 份为黄瓢或橘黄瓢品种,4 份为白瓢品种(表 1)。2015 年 3 月中旬,将西瓜种子播种于新乡试验基地大棚内育苗,移栽时采用裂区设计,行距为 1.5 m,株距为 0.8 m;覆盖地膜,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,雌、雄花开花前 1 d 下

收稿日期:2016-11-10

基金项目:国家西瓜甜瓜产业技术体系专项(编号:CARS-26-03);国家自然科学基金(编号:31171979);中国农业科学院科技创新工程专项(编号:CAAS-ASTIP-2025-ZFRI)。

作者简介:袁平丽(1987—),女,河南辉县人,硕士,从事多倍体西瓜遗传育种研究。E-mail:mengping513@163.com。

通信作者:刘文革,博士,研究员,博士生导师,主要从事多倍体西瓜育种及生物技术研究。Tel:(0371)65330936;E-mail:lwgwm@163.com。

午套帽,开花当天自交授粉,挂牌标注授粉日期;7月初采收,取同一天授粉、大小均匀的果实,每个品种采3个瓜;取果实

中心果肉,去籽匀浆;液氮速冻,置于-80℃冰箱保存,待测^[11-12]。

表1 221份西瓜种质资源的特征特性

编号	品种名称	品种类型	瓤色	编号	品种名称	品种类型	瓤色
D2	三白瓜	L	白色	D82	新新2号	V	红色
D3	柳条青	L	白色	D83	手巾条	L	红色
D5	马铃薯	L	黄色	D84	彰引	V	红色
D9	短125长果	V	红色	D85	XYXA	V	红色
D11	短127绿	V	红色	D86	周至红	V	红色
D12	短128黄	V	红色	D88	FLG	V	红色
D15	XBM	T	红色	D89	98A13	V	红色
D16	Dusx	T	红色	D90	浙2选	V	红色
D18	久比例	T	红色	D91	红灯	V	红色
D19	T1f	V	粉色	D93	大红甜	T	红色
D20	曼谷西瓜	T	红色	D94	米奇利	T	红色
D22	克伦生	T	红色	D95	绿贝雷	T	红色
D24	石红1号	V	红色	D96	托帕克	T	红色
D25	三义	L	红色	D98	伊选	V	红色
D26	美丽	T	红色	D99	新青	V	红色
D27	石红2号	V	红色	D100	Yu4	V	红色
D29	匈牙利一号	T	红色	D102	呼图壁早熟-1	L	红色
D30	XBF	V	红色	D104	91E7	V	红色
D31	G5F	V	红色	D106	龙蜜104	V	红色
D34	中育10号	V	红色	D107	郑州3号	V	红色
D35	太谷长	V	红色	D108	89选9	V	红色
D37	桂引6号	V	红色	D110	抗7选	V	红色
D38	老二大长黑	V	红色	D111	冰糖脆	V	黄色
D39	SBD黑	V	红色	D114	橙兰	V	橘色
D40	K5M	V	红色	D116	喜华	V	黄色
D44	长蜜宝	V	红色	D121	大和冰淇淋	T	黄色
D45	Yu8	V	红色	D122	3301	T	黄色
D48	发黑	V	红色	D127	94E1	V	红色
D49	中6	V	红色	D128	东方美佳	V	红色
D50	新西兰	T	红色	D129	XYXB	V	红色
D51	新疆2	V	红色	D130	790010	V	红色
D53	ED2号	V	红色	D131	糖炮弹	V	橘色
D55	蜜枚	V	红色	D132	州8选	V	红色
D56	小子蜜宝	V	红色	D133	G17AB	V	红色
D57	中育12-3	V	红色	D134	大红铃	V	红色
D58	强黑	V	红色	D136	02d96	V	红色
D59		T	红色	D140	02d97	V	红色
D60	将军	V	红色	D141	JL2X	V	红色
D61	J5F	V	红色	D143	秀兰选	V	红色
D62	9904(JM×黏子)	V	红色	D149	早春红玉选齿	V	红色
D64	LSW-194	V	红色	D152	金美人选花	V	红色
D65	硬皮2号(Y2)	V	红色	D157	L600选齿	V	红色
D69	美丽2号选	V	红色	D161	小红玉	V	红色
D70	喜春选	V	红色	D162	YU18	V	黄色
D76	红宝石	V	红色	D167	203Z	V	红色
D77	红花	V	红色	D170	京581	V	红色
D78	太谷花园	V	红色	D171	小金甜	V	红色
D79	荆州204	V	红色	D174	洛宁早熟瓜	V	红色
M6	PI296339	W	淡黄色	M154	ZXG01324	V	粉色
M38	PI494532	E	白色	M155	2001E-58	V	红色
M44	PI490377	E	白色	M156	2002D80	V	红色
M52	ZXG00002	L	红色	M157	2002S26	V	红色

续表 1

编号	品种名称	品种类型	瓤色	编号	品种名称	品种类型	瓤色
M54	ZXG00005	L	粉色	M158	ZXG01478	V	红色
M55	ZXG00009	L	红色	M160	PI278013	V	红色
M56	ZXG00010	L	红色	M162	ZXG00214	T	红色
M57	ZXG00011	L	红色	M163	Charleston gray	T	粉色
M58	ZXG00012	L	粉色	M165	Sugarlee	T	粉色
M60	ZXG00055	L	红色	M168	ZXG00398	T	粉色
M63	ZXG00123	L	红色	M169	CalhounGray	T	红色
M65	ZXG00128	L	红色	M170	All Sweet	T	红色
M66	ZXG00145	L	红色	M171	ZXG00492	T	红色
M67	ZXG00146	L	红色	M174	Black diaond	T	粉色
M71	ZXG00160	L	粉色	M176	Mpamophbiu	T	粉色
M72	ZXG00210	L	粉色	M177	ZXG00690	T	红色
M73	ZXG00234	L	红色	M183	PI 277985	T	红色
M74	ZXG00235	L	红色	M186	PI 319212	T	红色
M75	ZXG00239	L	橘色	M187	Smokylee	T	红色
M77	ZXG00250	L	红色	M189	Crison Sweet	T	红色
M78	ZXG00259	L	红色	M190	Dixielee	T	粉色
M80	ZXG00286	L	红色	M203	PI345546	T	红色
M81	ZXG00289	L	红色	M212	PI537472	T	红色
M82	ZXG00298	L	粉色	M214	ZXG00015	V	粉色
M83	ZXG00348	L	红色	M215	ZXG00144	V	红色
M84	ZXG00361	L	红色	M216	ZXG00147	V	红色
M85	ZXG00363	L	红色	M217	ZXG00187	V	红色
M86	ZXG00373	L	粉色	M219	74 - 5 - 1	V	粉色
M88	ZXG00410	L	橘色	M220	ZXG00243	V	红色
M89	ZXG00443	L	橘色	M221	ZXG00253	V	粉色
M92	ZXG00632	L	粉色	M223	ZXG00264	V	红色
M97	ZXG00714	L	红色	M226	ZXG00350	V	红色
M98	ZXG00722	L	红色	M227	ZXG00355	V	红色
M99	ZXG00738	L	红色	M228	ZXG00358	V	红色
M101	ZXG01191	L	红色	M229	ZXG00421	V	红色
M103	ZXG00006	T	粉色	M230	ZXG00430	V	红色
M104	ZXG00007	T	红色	M231	ZXG00441	V	红色
M105	ZXG00014	T	粉色	M232	ZXG00591	V	红色
M107	ZXG00222	T	粉色	M233	ZXG00626	V	红色
M109	ZXG00378	T	红色	M238	ZXG00852(2)	V	红色
M111	ZXG00979	T	红色	M239	ZXG00882	V	粉色
M112	ZXG00981	T	粉色	M240	ZXG01084	V	红色
M113	ZXG00995	T	粉色	M241	ZXG01192	V	红色
M114	PI314148	T	粉色	M243	ZXG01341	V	红色
M117	PI379248	T	粉色	M244	Lovrin	T	红色
M121	ZXG00182	S	粉色	M245	ZXG00130	T	粉色
M126	ZXG00607	S	红色	M247	ZXG00140	T	红色
M127	ZXG00665	S	浅黄色	M248	ZXG00141	T	粉色
M132	ZXG00330	L	粉色	M250	ZXG00219	T	粉色
M133	ZXG00407	L	红色	M251	ZXG00245	T	红色
M134	ZXG00436	L	橘色	M252	ZXG00265	T	粉色
M135	ZXG00476	L	红色	M254	Market medget	T	红色
M137	ZXG00698	L	红色	M255	PI307750	T	红色
M138	ZXG00716	L	黄色	M257	ZXG00429	T	粉色
M139	ZXG00724	L	橘色	M259	ZXG00450	T	红色
M143	ZXG00342	V	粉色	M261	Toato seed	T	粉色
M144	ZXG00359	V	红色	M262	ZXG00523	T	红色
M146	ZXG00484	V	粉色	M266	ZXG00812	T	红色

续表 1

编号	品种名称	品种类型	瓤色	编号	品种名称	品种类型	瓤色
M147	ZXG00559	V	红色	M267	PII61375	T	粉色
M148	ZXG00627	V	红色	M268	ZXG01529	T	红色
M150	ZXG00923	L	红色	M269	Sugar Baby	T	红色
M152	ZXG01260	V	红色	M272	ZXG00482	S	红色
M153	ZXG01286	V	粉色				

注:品种类型中L、V、T、S、W、E分别表示地方品种、选育品种、引进品种、籽瓜、野生品种、黏籽西瓜。表6同。

1.2 番茄红素的测定

1.2.1 番茄红素标准曲线的绘制 将番茄红素标样分别配制成0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的溶液,经分光光度计测定波长502 nm处的吸光度,得到线性方程为 $y = 3.249x + 0.011$ ($r^2 = 0.9973$),则番茄红素含量计算公式为

$$B = (D \times 3.249 + 0.011) \times f/m.$$

式中: B 为番茄红素含量, mg/kg ; D 为波长502 nm处的吸光度; m 为样品质量, g ; f 为稀释倍数。

1.2.2 西瓜种质番茄红素的测定 准确称取匀浆机破壁后的西瓜汁3 g,置于与真空泵相连的砂芯漏斗中抽滤;用20 mL无水乙醇分3次脱水处理,再用30 mL甲醇分3次洗涤至洗出液无色;换接新的抽滤瓶,西瓜渣用2%二氯甲烷石油醚提取液洗涤至液无色;合并提取液,移入100 mL容量瓶,用少量2%二氯甲烷石油醚提取液洗抽滤瓶3次后倒入容量瓶,用提取液定容至100 mL;在波长502 nm处测定吸光度,根据标准曲线求得西瓜种质中番茄红素的含量。重复3次,取平均值。

1.3 数据统计分析

采用SPSS 22.0软件对试验数据进行统计,采用类平均聚类法对201份红、粉瓤西瓜种质资源进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 201份红、粉瓤色西瓜种质资源番茄红素含量分析

2.1.1 番茄红素含量系统聚类 由表2、图1可见,距离系数 $D=9$ 时,201份红、粉瓤西瓜种质资源可根据番茄红素含量水平划分为4个类型群,分别为极高型(P4)、高型(P3)、中间型(P2)、普通型(P1),其番茄红素含量平均值差异极显著($P < 0.01$);201份西瓜种质资源中,番茄红素平均含量为35.23 mg/kg ,最高、最低含量分别为91.99、10.03 mg/kg ,极差为81.96 mg/kg ;类群内番茄红素含量极差为11.50 ~ 25.72 mg/kg ;普通型类群的番茄红素平均含量为26.55 mg/kg ,极差为25.72 mg/kg ,变异系数为24.29%;极高型类群的番茄红素平均含量为84.05 mg/kg ,极差为14.03 mg/kg ,变异系数7.44%;普通型类群的变异系数大于其他类群,包含的资源数量相对最多,为126份,占总资源数的62.69%,中间型类群的资源数量为60份,占比为29.85%;高型、极高型类群的材料数分别为9、6份,占比分别为4.48%、2.99%。表3为番茄红素含量高型和极高型类群的西瓜品种番茄红素含量,这为优质西瓜育种提供了较多的亲本。

表2 201份红、粉瓤西瓜种质各类型群主要统计参数及方差分析

类型群	材料数 (份)	占比 (%)	番茄红素含量(mg/kg)			变异系数 (%)
			含量区间	均值 \pm 标准差	极差	
普通型(P1)	126	62.68	10.03 ~ 35.76	26.55 \pm 6.45D	25.72	24.29
中间型(P2)	60	29.85	36.49 ~ 58.59	44.19 \pm 5.53C	22.09	12.51
高型(P3)	9	4.48	58.91 ~ 70.41	64.46 \pm 4.78B	11.50	7.41
极高型(P4)	6	2.99	77.97 ~ 91.99	84.05 \pm 6.25A	14.03	7.44
合计	201	100.00	10.03 ~ 91.99	35.23 \pm 14.78	81.96	41.95

注:数据后不同大写字母表示类群间差异极显著($P < 0.01$)。

2.1.2 不同类型西瓜在4个番茄红素类群中的分布 由表4可见,38份地方品种中,普通型、中间型、高型、极高型类群的种质分别有21、9、5、3份,占比分别为55.26%、23.68%、13.16%、7.89%;103份选育品种中,普通型、中间型、高型、极高型类群的种质分别有61、37、3、2份,占比分别为59.22%、35.92%、2.91%、1.94%;57份国外引进品种中,普通型、中间型、高型、极高型类群的种质分别有41、14、1、1份,占比分别为71.93%、24.56%、1.75%、1.75%;3份籽瓜的番茄红素含量均相对不高,为普通型类群。

2.1.3 不同瓤色西瓜在4个番茄红素类群中的分布 由表5可见,163份红瓤西瓜品种中,高型、极高型类群种质分别为9、6份,占比分别为5.52%、3.68%,38份粉瓤西瓜品种中多为普通类群,有33份种质,占粉瓤品种数的86.84%,无高型、极高型类群种质,这说明番茄红素含量可能与瓤色有关,

红瓤色西瓜品种含有较高含量的番茄红素。

2.2 20份黄、白、橘色瓤西瓜番茄红素含量分析

由表6可见,20份黄、白、橘色瓤西瓜品种的番茄红素含量相对极少,其含量范围为0 ~ 6.32 mg/kg ,平均含量为1.79 mg/kg ,变异系数为95.80%;白瓤西瓜通常不含有番茄红素,而本试验测得白瓤西瓜番茄红素含量相对极少,平均含量为0.57 mg/kg ,这可能是由分光光度计测定误差引起的;黄、橘色瓤的西瓜番茄红素含量相对较少,平均含量为2.10 mg/kg ,其测定结果可能受到其他类胡萝卜素的干扰;20份西瓜种质资源中,4份选育品种、2份国外引进品种的西瓜瓤色为黄色或橘黄色,番茄红素含量相对稍高,其中,M6为野生西瓜,瓤色淡黄色,番茄红素含量为1.44 mg/kg ,M38、M44为白瓤黏籽瓜,番茄红素含量分别为0.36、0.88 mg/kg ,M127为籽瓜,瓤色淡黄色,番茄红素含量为0.51 mg/kg ;10

表3 试材中高番茄红素含量西瓜品种概况

品种编号	番茄红素含量 (mg/kg)	品种编号	番茄红素含量 (mg/kg)	品种编号	番茄红素含量 (mg/kg)
D133	58.91	M109	67.83	M137	78.01
D102	59.63	D132	69.06	M216	80.97
D83	59.92	M144	69.85	M203	84.31
M133	61.48	D174	70.41	M60	91.06
M85	63.05	M66	77.97	D82	92.00

表4 201份红、粉瓢西瓜不同类型在4个番茄红素类群中的分布

品种类型	不同类型群的种质分布(份)				合计(份)
	普通型(P1)	中间型(P2)	高型(P3)	极高型(P4)	
选育品种	61	37	3	2	103
地方品种	21	9	5	3	38
国外引进	41	14	1	1	57
籽瓜	3	0	0	0	3

表5 201份不同瓢色西瓜在4个番茄红素类群中的分布

瓢色	不同类型群的种质分布(份)				合计(份)
	普通型(P1)	中间型(P2)	高型(P3)	极高型(P4)	
红瓢	93	55	9	6	163
粉瓢	33	5	0	0	38

份地方品种中,黄瓢、白瓢、橘色瓢都有,番茄红素含量分布相对较为均匀。

3 结论与讨论

鲜食西瓜中的番茄红素是一种天然类胡萝卜素,可以直接被人体吸收,具有猝灭活性氧、消除人体自由基、保护心血管等功能^[18-20]。本试验结果显示,201份红、粉瓢西瓜材料的番茄红素含量为10.03~91.99 mg/kg,平均含量为35.23 mg/kg,与 Perkins - Veazie 等的研究结论^[10]较为一致;20份黄、白、橘色瓢的西瓜番茄红素含量相对极少,其含量范围为0~6.32 mg/kg,平均含量为1.79 mg/kg,说明西瓜果实中番茄红素含量与西瓜瓢色可能相关,瓢色差异可能是引起西瓜品种番茄红素含量不同的主要原因,与高美玲等研究结果^[21]吻合。对红、粉瓢西瓜根据番茄红素含量系统聚类结果表明,大多数西瓜资源的番茄红素含量处于普通类群、中间型类群,高型、极高型仅占所测品种数量的7.46%,且都为红瓢色品种;38份地方品种中,高型、极高型品种数量为8份,占比为21.05%,103份选育品种中,高型、极高型品种数量为5份,占比为4.85%,57份国外引进品种中,高型、极高型品种数量为2份,占比为3.51%。

在西瓜育种最初阶段,人们往往通过生产比较,筛选出适合当地的西瓜多为大果型、糖度稍低、色彩艳丽的品种,而番茄红素含量与瓢色有关,因此,地方品种中高番茄红素含量的西瓜品种比例相对较高;西瓜选育品种是育种工作者通过杂交、自交等手段,以丰产、优质、少籽、耐贮运、口感好、抗病虫害及抗逆等为目标而培育的品种^[22-23],选育时有一定偏好,富含番茄红素并非其主要的育种目标,有些品种可能富含瓜氨酸、谷胱甘肽、维生素C等功能性成分,因此,选育品种的番茄红素含量并不明显高于地方品种。国外引进品种往往具有一种或多种优异或特异性状,其番茄红素含量情况类似选

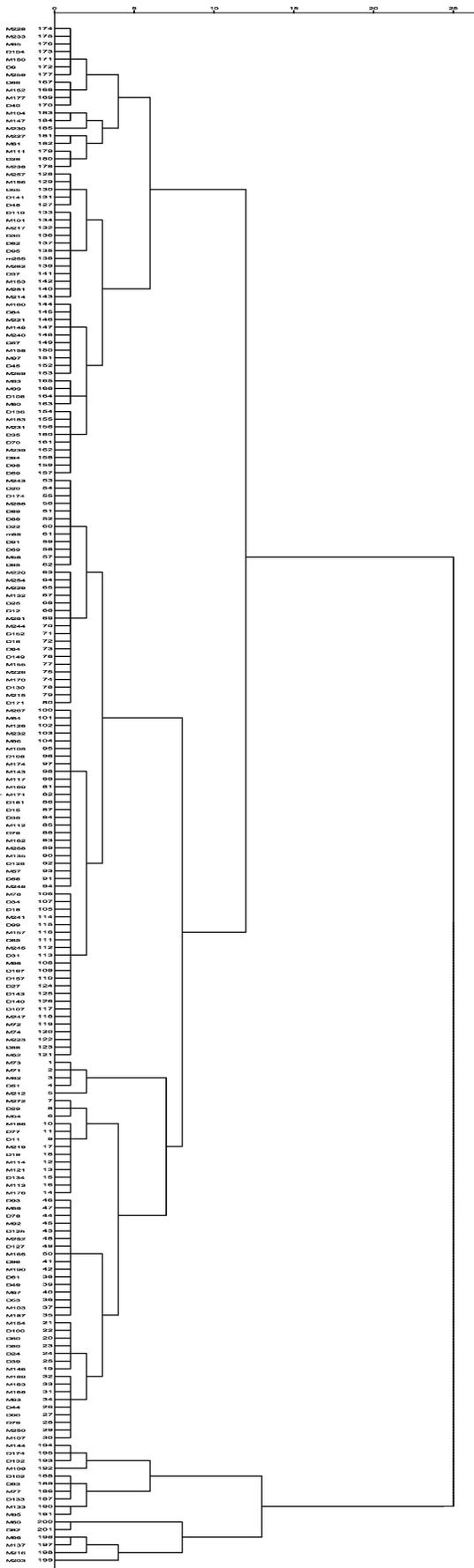


图1 西瓜种质资源番茄红素含量聚类

表6 黄白瓤西瓜番茄红素含量特征

编号	番茄红素含量 (mg/kg)	瓤色	类型	编号	番茄红素含量 (mg/kg)	瓤色	类型	编号	番茄红素含量 (mg/kg)	瓤色	类型
D2	0.00	白色	L	D162	0.40	黄色	V	D114	1.23	橘色	V
M38	0.36	白色	E	D111	0.97	黄色	V	M75	1.70	橘色	L
M44	0.88	白色	E	M138	1.34	黄色	L	M134	1.91	橘色	L
D3	1.03	白色	L	D121	1.99	黄色	T	D131	2.89	橘色	L
M127	0.51	淡黄色	S	D5	2.47	黄色	L	M88	3.54	橘色	L
M6	1.44	淡黄色	W	D122	6.32	黄色	V	M139	5.78	橘色	L
D116	0.29	黄色	V	M89	0.79	橘色	L				

育种品种。在长期育种工作中,我国已收集了大量的西瓜种质资源,加强对这些资源深度和广度评价,可丰富西瓜育种的基础材料,为西瓜育种提供优良种质。刘文革等通过测定多倍体、二倍体西瓜果实中的番茄红素等功能性成分含量差异,成功选育出多个高番茄红素、高瓜氨酸含量的西瓜新品种^[8,24-25],这些功能性成分有益人体健康,可满足不同消费者的需求。本试验选出6份极高番茄红素含量和9份高番茄红素含量的西瓜品种,可通过选配亲本,培育更高含量番茄红素的优良西瓜品种。

参考文献:

- [1] 刘文革,何楠,赵胜杰,等. 我国西瓜品种选育研究进展[J]. 中国瓜菜,2016,29(1):1-7.
- [2] Gerster H. The potential role of lycopene for human health[J]. Journal of the American College of Nutrition,1997,16(2):109-126.
- [3] Perkins-Veazie P,Collins J K,Davis A R,et al. Carotenoid content of 50 watermelon cultivars[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2006,54(7):2593-2597.
- [4] Liu W G,Zhao S J,Cheng Z Q,et al. Lycopene and citrulline contents in watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit with different ploidy and changes during fruit development[J]. Acta Horticulturae,2010(871):543-549.
- [5] Edwards A J,Vinyard B T,Wiley E R,et al. Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and beta-carotene in humans[J]. The Journal of Nutrition,2003,133(4):1043-1050.
- [6] 程志强,刘文革,邓云,等. 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.
- [7] 刘文革,芦金生,阎志红,等. 黄瓤无籽西瓜新品种“金兰无籽”[J]. 园艺学报,2014,41(5):1035-1036.
- [8] 刘文革,阎志红,赵胜杰,等. 高番茄红素含量西瓜新品种绿野无籽的选育[J]. 中国瓜菜,2012,25(1):23-26.
- [9] 刘文革,何楠,赵胜杰,等. 高番茄红素黑皮无籽西瓜新品种“莱卡红3号”的选育[J]. 中国瓜菜,2015,28(3):22-26.
- [10] Perkins-Veazie P,Collins J K,Pair S D,et al. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,2001,81(10):983-987.
- [11] 万学闪,刘文革,阎志红,等. 西瓜果实发育过程中番茄红素、瓜氨酸和Vc等物质含量的变化[J]. 中国农业科学,2011,44(13):2738-2747.
- [12] 袁平丽,路绪强,刘文革,等. 西瓜番茄红素测定方法的研究[J]. 中国瓜菜,2012,25(3):1-4.
- [13] Gomes F S,Cabral L M C,Couri S,et al. Lycopene content and antioxidant capacity of watermelon powder[J]. Acta Horticulturae,2014(1040):105-110.
- [14] 豆峻岭,刘文革,赵胜杰,等. 三倍体无籽西瓜果实发育期番茄红素合成代谢酶基因的表达[J]. 果树学报,2014,31(4):589-595.
- [15] Bang H,Yi G,Kim S,et al. Watermelon lycopene β -cyclase: promoter characterization leads to the development of a PCR marker for allelic selection[J]. Euphytica,2014,200(3):363-378.
- [16] Lee W M,Kwon M J,Song L S,et al. Screening of lycopene-rich germplasm using microplate method in watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) [J]. Korean Journal of Breeding Science,2014,46(1):37-43.
- [17] Liu S,Gao P,Wang X E,et al. Mapping of quantitative trait loci for lycopene content and fruit traits in *Citrullus lanatus*[J]. Euphytica,2015,202(3):411-426.
- [18] Ford N A,Jr E J. Are lycopene metabolites metabolically active[J]. Acta Biochimica Polonica,2012,59(1):1-4.
- [19] Ilahy R,Hdider C,Lenucci M S,et al. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy [J]. Scientia Horticulturae,2011,127(3):255-261.
- [20] Blum A,Monir M,Wirsansky I,et al. The beneficial effects of tomatoes[J]. European Journal of Internal Medicine,2005,16(6):402-404.
- [21] 高美玲,袁成志,李冬梅,等. 西瓜种质资源番茄红素含量比较研究[J]. 北方园艺,2013(7):9-12.
- [22] 屈海波,张朝阳,刘连妹,等. 西瓜抗枯萎病苗期性状的选择[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):108-111.
- [23] 杨红,顾妍,张朝阳,等. 辐射花粉授粉诱导西瓜单倍体[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):159-161.
- [24] 刘文革,阎志红,何楠,等. 高产优质西瓜新品种郑抗无籽8号的选育[J]. 中国瓜菜,2008,21(5):21-25.
- [25] Yuan P L,Liu W G,Zhao S J,et al. Lycopene content and expression of phytoene synthase and lycopene beta-cyclase genes in tetraploid watermelon[C]//Cucurbitaceae 2012. Proceedings of the Xth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae. Antalya, Turkey: University of Cukurova, Ziraat Fakultesi,2012:315-324.