

doi:10.11937/bfyy.20173553

番茄果实性状的主成分聚类分析及综合评价

张紫薇, 李景富, 姜景彬, 许向阳, 赵婷婷

(东北农业大学 园艺园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:以 115 份番茄品种为试材,采用主成分分析和聚类分析法,研究了包括单果质量、果纵径、果横径、果形指数、果肉厚、心室数、果实硬度、可溶性固形物在内的 8 个果实性状,并对其进行综合评价,以期为我国番茄优良亲本的选配提供参考依据。结果表明:从 115 份材料中筛选出 78 份果实性状良好的材料,其中 0.9 分以上优良材料 7 份,为 16603、16584、16585、16590、16605、16612、16701。通过聚类分析,将 115 份材料分成 3 个亚族,筛选出适合鲜食的樱桃番茄材料 5 个:16653、16669、16667、16668、16652。长果型耐贮运番茄 6 个:16726、16725、16730、16728、16729、16735。主成分法和聚类分析法可以缩小亲本选配的范围和难度,有利于筛选优良亲本,增加育种工作的效率。

关键词:番茄;主成分;聚类分析;性状

中图分类号:S 641.202.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)11-0027-11

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)原产南美洲,果实营养丰富,具特殊风味。可以生食、煮食、加工番茄酱、番茄汁等^[1]。是世界栽培面积最大、最普遍和最受大众喜爱的蔬菜作物,可在中国南北方广泛栽培。近年来中国已经成为全球最重要的番茄制品生产国和出口国,是全球番茄贸易的重要组成部分^[2-3]。国家统计局数据显示,2015 年番茄产量 5 594 万 t,占全国蔬菜总产量的 7.1%。2016 年,番茄种植面积小幅增加,产量稳中有升。我国番茄育种起步较晚,20 世纪 50 年代开始引进国外品种,后续培育了一批优异杂交品种,比如“早粉 2 号”“农大 23”“强丰”等。基于育种技术和市场的需求,育种目标呈多样化发展,但是优良的品质性状一直是重点育种目标。品质

性状的综合评价在玉米^[15]、小麦^[16]上的报道较多,番茄中加工^[17-19]或者樱桃番茄一小类评价较多且大部分材料在 40 份左右,如张军^[20]的研究中只对 15 种番茄的品质性状进行测量,而对大果番茄的品质评价研究较少。而研究材料数量的增加一定程度上可减少试验的误差,增加可信度。

主成分分析是目前研究作物亲本数量性状相关性及其品质综合评价的一种有效方法^[4-5]。它通过提取主要成分,减少变量,使研究规律的变化更清晰^[6-8]。聚类分析根据农艺性状测量得到的数据,将大量材料进行分组,探索不同品种间的亲缘关系,可有效辅助育种^[9-10]。虽然现在对分子育种的关注度比较高,但是测量农艺性状仍作为一种大多数科研人员认可的稳妥、可靠的方式,对农艺性状的研究在传统育种中仍然必要^[11-14]。因此,该研究以 115 份番茄材料为试材,采用描述性统计、相似性分析、主成分和聚类分析方法对其单果质量、果横径、果纵径、果形指数、果肉厚、心室数、果实硬度、可溶性固形物含量 8 个果实性状进行了分析,直观揭示不同番茄材料间果实品质的

第一作者简介:张紫薇(1993-),女,硕士研究生,研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail:zhangziwei778@163.com.

责任作者:李景富(1943-),男,教授,博士生导师,研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail:Lijf_2005@126.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(2016YFD0101703)。

收稿日期:2018-03-12

表型变异水平,以期为筛选番茄优良种质资源、选育新品种及其合理加工利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的 115 份番茄材料均由东北农业大学园艺园林学院番茄课题组提供,材料名称及主要特性见表 1。

1.2 试验方法

试验于 2016 年在东北农业大学园艺实验基地进行。2016 年 4 月在园艺站播种,5 月分苗,6 月定植到向阳农场。每份材料种植 12 棵,设 3 次小区重复。2016 年 7—8 月随机选取在其同一小区内,同一成熟期的番茄第二穗上任意 10 个果实进行以下性状测定。

1.3 项目测定

果纵径:采用自动读数游标卡尺测量供试果实的最大纵径,取平均值,计量单位为 mm。果横径测量方法同果纵径,计量单位为 mm。单果质量:用酷贝牌家用电子称进行称量,单位 g,精确到小数点后 2 位。果形指数:果纵径的平均值与果横径的平均值的比值,精确到小数点后 4 位。果实硬度:用手持数显式硬度计(浙江托普云农科技股份有限公司)在果实中部每 120°进行一次测量,一个果实重复测定 3 次。心室数:用水果刀从番茄最中间位置切开,选取下半部分,计算心室数。果肉厚:选取番茄下半部分,用广陆数显游标卡尺选取最厚部位测量果肉厚,重复 3 次,取平均值,计量单位为 mm。可溶性固形物含量:将番茄果肉打成匀浆滴在手持数显糖度计(日本 AT-AGO 爱拓)上,读取数据。

1.4 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件分析数据。对 115 份番茄材料的 8 个农艺性状进行缺失值分析,按照邻近点线性法替换缺失值,再进行描述性分析、Pearson 相关性分析和主成分分析,按累计贡献率大于 80%确定主成分个数。根据 Ward 的方法进行聚类分析,构建系统聚类图。

表 1 参试的番茄材料

Table 1 Tomato materials used in this study

编号 No.	材料 Material	主要特性 Main characteristic	编号 No.	材料 Material	主要特性 Main characteristic
1	16560	无限生长、黄果	59	16655	无限生长、粉果
2	16570	无限生长、粉果	60	16658	无限生长、红果
3	16571	无限生长、粉果	61	16660	无限生长、粉果
4	16572	无限生长、粉果	62	16662	无限生长、红果
5	16573	无限生长、粉果	63	16663	有限生长、粉果
6	16574	无限生长、粉果	64	16664	无限生长、粉果
7	16575	无限生长、红果	65	16666	无限生长、粉果
8	16576	无限生长、粉红果	66	16667	无限生长、黄果
9	16577	无限生长、红果	67	16668	无限生长、黄果
10	16578	无限生长、红果	68	16669	无限生长、黄绿果
11	16580	无限生长、红果	69	16670	有限生长、粉红果
12	16581	无限生长、粉果	70	16671	无限生长、红果
13	16582	无限生长、粉果	71	16672	无限生长、粉果
14	16583	无限生长、粉红果	72	16673	无限生长、粉果
15	16584	无限生长、红果	73	16674	无限生长、红果
16	16585	无限生长、粉红果	74	16678	无限生长、红果
17	16586	无限生长、红果	75	16679	无限生长、粉果
18	16588	有限生长、红果	76	16681	无限生长、粉红果
19	16589	无限生长、红果	77	16682	无限生长、红果
20	16590	无限生长、红果	78	16684	无限生长、黄绿果
21	16591	无限生长、粉果	79	16686	无限生长、黄绿果
22	16593	无限生长、粉果	80	16688	有限生长、黄绿果
23	16595	无限生长、粉果	81	16690	无限生长、黄绿果
24	16596	无限生长、粉果	82	16691	无限生长、黄绿果
25	16597	无限生长、粉果	83	16695	无限生长、黄绿果
26	16598	无限生长、粉果	84	16696	无限生长、黄绿果
27	16599	无限生长、粉果	85	16698	无限生长、黄绿果
28	16600	无限生长、粉果	86	16699	无限生长、黄绿果
29	16602	无限生长、红果	87	16701	无限生长、黄绿果
30	16603	无限生长、粉果	88	16703	无限生长、黄绿果
31	16604	无限生长、粉果	89	16705	无限生长、黄绿果
32	16605	无限生长、粉果	90	16707	无限生长、黄绿果
33	16607	无限生长、粉果	91	16708	无限生长、黄绿果
34	16608	无限生长、粉果	92	16711	无限生长、黄绿果
35	16611	有限生长、粉果	93	16712	无限生长、粉果
36	16612	无限生长、粉果	94	16713	无限生长、橙红果
37	16613	有限生长、粉果	95	16714	无限生长、红果
38	16614	无限生长、粉果	96	16715	无限生长、橙红果
39	16615	有限生长、粉果	97	16716	无限生长、橙红果
40	16616	无限生长、粉果	98	16717	无限生长、橙红果
41	16618	无限生长、粉果	99	16720	无限生长、橙红果
42	16621	无限生长、粉红果	100	16721	无限生长、橙红果
43	16622	无限生长、深粉果	101	16722	无限生长、橙红果
44	16623	无限生长、粉果	102	16723	无限生长、橙红果
45	16624	无限生长、粉果	103	16724	无限生长、红果
46	16625	无限生长、粉果	104	16725	无限生长、橙红果
47	16626	无限生长、粉果	105	16726	无限生长、橙果
48	16628	无限生长、粉果	106	16727	无限生长、橙果
49	16629	无限生长、红果	107	16728	无限生长、橙红果
50	16630	无限生长、红果	108	16729	无限生长、红果
51	16631	无限生长、红果	109	16730	无限生长、红果
52	16632	无限生长、红果	110	16732	无限生长、红果
53	16633	无限生长、粉果	111	16735	无限生长、黄果
54	16635	无限生长、粉果	112	16736	无限生长、黄果
55	16636	无限生长、粉果	113	16737	无限生长、黄果
56	16652	无限生长、红果	114	16738	无限生长、黄果
57	16653	无限生长、红果	115	16739	无限生长、黄果
58	16654	无限生长、红果			

2 结果与分析

2.1 番茄品质描述性分析

115 个番茄材料资源的果纵径、果横径、果形指数、单果质量、心室数、果肉厚、硬度、可溶性固形物含量共 8 个农艺性状的数据分布见表 2, 对其描述性分析后的差异分析结果见表 3。可知, 果纵径、果横径明显低于整体水平的材料为 16652、16653、16667、16668、16669。明显高于整

体水平的材料为 16725、16726、16728、16729、16730、16735、16738。果形指数大于 1 的材料有 16560、16595、16624、16630、16652、16653、16667、16724、16725、16726、16727、16728、16729、16730、16732、16735、16736、16737、16738、16739, 这些材料是长果型番茄。从单果质量来看, 最小值为 0.025 kg, 最大值为 0.405 kg, 中位数为 0.170 kg, 可见这 115 份材料包括大果、中果和小果型番茄, 性状差异较大。

表 2 8 个农艺性状的基本表现
Table 2 Basic performance of 8 agronomic traits

编号 No.	材料 Material	果纵径 Longitudinal diameter of fruit/mm	果横径 Transverse diameter of fruit/mm	果形指数 Fruit shape index	单果质量 Mass per fruit/kg	心室数 Number of locules/个	果肉厚 Thickness of flesh/mm	果实硬度 Fruit firmness /(N·cm ⁻²)	可溶性固形物含量 Soluble solids content/(°Brix)
1	16560	65.54	61.21	1.07	0.138	3	8.44	1.65	4.78
2	16570	58.65	70.77	0.83	0.163	4	8.94	2.14	5.03
3	16571	62.02	70.86	0.88	0.171	5	9.54	2.20	5.22
4	16572	64.88	69.29	0.94	0.174	3	9.29	2.89	4.80
5	16573	56.61	70.79	0.80	0.159	7	8.11	1.87	4.84
6	16574	57.59	67.25	0.86	0.156	6	8.80	1.56	4.96
7	16575	60.82	78.61	0.77	0.210	5	9.03	1.42	5.20
8	16576	74.88	80.02	0.94	0.262	4	7.97	1.90	5.38
9	16577	65.80	79.55	0.83	0.239	6	8.43	2.76	5.30
10	16578	58.59	73.17	0.80	0.179	5	8.60	0.95	4.80
11	16580	63.89	66.80	0.96	0.158	4	8.22	2.14	5.24
12	16581	71.10	80.71	0.89	0.241	5	8.31	2.49	5.44
13	16582	63.77	70.26	0.91	0.169	4	9.09	2.33	5.76
14	16583	65.03	70.17	0.94	0.192	7	7.92	2.28	4.82
15	16584	65.95	85.63	0.77	0.246	16	8.50	1.35	6.36
16	16585	63.64	74.70	0.87	0.244	7	7.86	1.44	5.14
17	16586	63.07	74.56	0.85	0.189	5	8.17	1.24	5.90
18	16588	52.39	60.02	0.88	0.104	8	6.01	0.96	5.36
19	16589	70.59	83.10	0.85	0.267	6	8.53	1.54	5.36
20	16590	69.79	85.02	0.82	0.268	6	8.86	2.22	5.14
21	16591	57.42	71.92	0.81	0.164	8	7.59	1.06	4.16
22	16593	65.31	72.83	0.90	0.192	5	6.98	1.27	4.96
23	16595	68.02	66.63	1.03	0.188	4	7.90	1.72	4.84
24	16596	64.98	79.70	0.82	0.221	7	6.80	1.44	5.02
25	16597	61.57	71.61	0.86	0.166	5	7.16	1.97	4.90
26	16598	59.11	71.44	0.84	0.168	6	7.19	1.47	5.18
27	16599	57.83	71.23	0.81	0.172	5	8.87	1.80	5.36
28	16600	64.13	74.77	0.87	0.202	6	8.80	1.36	4.98
29	16602	61.22	70.83	0.87	0.170	5	9.91	1.58	4.78
30	16603	63.84	90.30	0.71	0.287	10	7.71	1.55	4.92
31	16604	63.64	69.44	0.92	0.202	4	7.25	1.79	5.14
32	16605	66.31	81.47	0.82	0.253	7	7.79	1.64	4.30
33	16607	65.29	73.49	0.90	0.190	5	8.78	1.77	5.36
34	16608	57.94	69.69	0.83	0.160	4	7.83	2.22	5.04
35	16611	62.06	69.69	0.90	0.174	4	8.35	1.41	5.30
36	16612	62.59	80.52	0.79	0.217	7	8.38	1.43	4.96
37	16613	63.26	73.18	0.87	0.186	9	6.48	1.68	4.90

表 2(续)
Table 2(continued)

编号 No.	材料 Material	果纵径 Longitudinal diameter of fruit/mm	果横径 Transverse diameter of fruit/mm	果形指数 Fruit shape index	单果质量 Mass per fruit/kg	心室数 Number of locules/个	果肉厚 Thickness of flesh/mm	果实硬度 Fruit firmness /(N·cm ⁻²)	可溶性固形物含量 Soluble solids content/(°Brix)
38	16614	59.52	72.15	0.83	0.164	4	9.94	1.87	4.58
39	16615	53.72	60.10	0.90	0.114	4	8.88	2.28	5.32
40	16616	60.24	65.85	0.92	0.141	4	8.98	1.61	4.84
41	16618	68.51	77.61	0.89	0.231	5	8.36	1.98	4.52
42	16621	64.34	69.35	0.94	0.186	3	8.49	1.64	5.50
43	16622	65.63	66.21	1.00	0.155	3	8.33	2.12	4.82
44	16623	65.65	69.03	0.97	0.189	6	6.50	1.55	4.36
45	16624	67.30	66.86	1.01	0.160	3	8.08	2.09	5.00
46	16625	62.27	70.56	0.90	0.175	5	8.39	2.06	4.68
47	16626	59.64	67.27	0.89	0.152	4	7.74	1.98	4.96
48	16628	61.12	72.30	0.84	0.181	6	9.10	1.46	4.62
49	16629	61.26	74.33	0.83	0.194	6	8.97	1.87	5.44
50	16630	62.55	61.18	1.03	0.131	3	8.36	2.35	5.66
51	16631	57.86	70.17	0.83	0.163	4	7.56	1.72	5.02
52	16632	57.51	62.60	0.92	0.126	4	8.34	1.60	4.94
53	16633	72.93	74.63	0.98	0.223	4	8.51	1.95	5.58
54	16635	63.76	70.06	0.91	0.176	6	8.04	1.48	5.56
55	16636	73.28	74.65	0.98	0.227	4	9.04	1.56	5.60
56	16652	39.86	33.17	1.20	0.026	2	5.91	2.58	7.52
57	16653	43.55	42.02	1.05	0.045	2	6.92	2.28	6.72
58	16654	62.90	69.88	0.92	0.149	3	8.36	2.16	4.90
59	16655	64.84	69.83	0.93	0.172	4	7.26	1.48	4.78
60	16658	64.80	69.12	0.94	0.173	5	7.75	1.02	3.90
61	16660	62.15	74.14	0.84	0.181	5	7.53	2.01	4.86
62	16662	54.44	70.29	0.78	0.155	5	6.96	1.33	4.40
63	16663	62.75	70.90	0.89	0.174	4	7.08	1.44	3.94
64	16664	62.87	68.94	0.91	0.164	3	8.63	1.15	4.34
65	16666	66.64	72.88	0.92	0.198	5	8.15	1.82	5.12
66	16667	40.53	40.02	1.01	0.039	2	5.84	1.07	7.68
67	16668	46.15	46.76	0.99	0.056	2	6.14	0.77	5.76
68	16669	41.46	42.23	0.98	0.040	2	5.69	3.98	4.52
69	16670	59.03	70.28	0.84	0.165	7	7.11	1.30	4.64
70	16671	69.03	73.90	0.94	0.205	5	9.75	1.92	4.44
71	16672	62.00	77.79	0.80	0.208	3	9.06	1.85	4.86
72	16673	60.36	80.43	0.75	0.218	4	8.89	1.59	4.56
73	16674	61.08	69.68	0.88	0.171	5	7.38	1.72	5.26
74	16678	65.16	81.61	0.80	0.229	7	7.96	2.01	4.70
75	16679	65.02	78.47	0.83	0.226	5	8.54	1.50	4.74
76	16681	65.91	73.66	0.90	0.195	5	8.00	2.19	5.50
77	16682	61.71	74.69	0.83	0.195	5	7.99	1.42	5.48
78	16684	64.66	76.47	0.85	0.184	4	10.45	3.90	5.68
79	16686	58.84	71.47	0.82	0.168	4	8.84	4.29	4.78
80	16688	61.84	74.46	0.83	0.176	11	6.25	3.03	4.30
81	16690	69.66	79.40	0.88	0.225	6	8.02	3.92	4.50
82	16691	64.89	72.14	0.90	0.162	4	9.30	4.44	4.88
83	16695	68.70	80.68	0.85	0.253	5	8.93	3.72	4.68
84	16696	62.79	74.72	0.84	0.188	4	9.74	5.56	4.72
85	16698	60.23	71.74	0.84	0.170	6	8.00	4.63	4.16
86	16699	64.82	75.80	0.86	0.207	5	8.64	4.28	4.68
87	16701	66.77	80.17	0.84	0.242	7	9.14	5.12	5.16
88	16703	65.27	78.05	0.84	0.217	5	9.65	5.45	4.88
89	16705	62.65	68.29	0.92	0.161	4	8.89	4.95	5.24

表 2(续)
Table 2(continued)

编号 No.	材料 Material	果纵径 Longitudinal diameter of fruit/mm	果横径 Transverse diameter of fruit/mm	果形指数 Fruit shape index	单果质量 Mass per fruit/kg	心室数 Number of locules/个	果肉厚 Thickness of flesh/mm	果实硬度 Fruit firmness /(N·cm ⁻²)	可溶性固形物含量 Soluble solids content/(°Brix)
90	16707	61.47	71.51	0.86	0.171	4	9.17	4.50	4.06
91	16708	62.09	70.81	0.89	0.169	4	9.03	4.81	4.34
92	16711	68.60	82.25	0.84	0.236	7	8.17	3.06	4.82
93	16712	64.67	79.43	0.81	0.221	6	8.10	2.07	5.10
94	16713	66.81	79.20	0.84	0.235	6	8.78	3.06	4.14
95	16714	58.13	73.51	0.79	0.170	5	9.12	2.64	4.16
96	16715	59.43	76.02	0.78	0.176	5	9.07	2.55	4.62
97	16716	55.54	74.11	0.75	0.157	5	8.17	2.56	4.80
98	16717	56.37	65.80	0.86	0.135	3	7.49	2.16	4.44
99	16720	61.84	67.04	0.92	0.153	4	10.73	2.15	4.90
100	16721	61.98	76.20	0.82	0.210	4	7.49	1.68	4.78
101	16722	66.90	76.06	0.88	0.212	5	8.67	2.10	4.74
102	16723	67.96	74.53	0.92	0.202	4	8.95	2.15	4.40
103	16724	60.27	52.35	1.15	0.092	2	7.64	1.27	5.22
104	16725	95.04	41.73	2.28	0.096	2	7.98	2.52	4.66
105	16726	84.52	47.08	1.80	0.095	2	7.19	1.58	4.90
106	16727	61.13	60.42	1.01	0.114	2	8.96	2.08	3.90
107	16728	96.65	45.03	2.15	0.104	2	6.98	2.40	4.90
108	16729	92.41	44.50	2.08	0.098	2	7.44	2.36	4.74
109	16730	97.04	41.80	2.33	0.101	2	7.81	2.04	4.62
110	16732	66.01	50.34	1.32	0.093	2	8.85	1.36	4.96
111	16735	128.83	42.12	3.08	0.130	2	8.56	1.82	5.28
112	16736	55.55	52.63	1.06	0.078	2	7.76	2.80	4.32
113	16737	56.55	50.50	1.12	0.077	2	7.92	2.00	4.88
114	16738	86.67	47.70	1.82	0.109	2	8.36	1.70	5.36
115	16739	60.14	52.19	1.16	0.104	2	8.97	1.34	5.22

表 3 番茄理化品质的描述性统计
Table 3 Descriptive statistics of tomato physical and chemical characterization

性状 Characteristic	平均数 Mean	中位数 Median	标准偏差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximun	范围 Range	相对变异系数 CV/%	偏斜度 Skewness	峰度 Kurtosis
果纵径 Longitudinal diameter of fruit/mm	64.202	62.965	11.884	34.560	157.910	123.350	18.51	2.362	12.995
果横径 Transverse diameter of fruit/mm	68.910	70.710	12.735	31.160	105.070	73.910	18.48	-0.659	0.315
果形指数 Fruit shape index	0.975	0.881	0.357	0.581	3.568	2.988	36.62	3.885	17.888
单果质量 Mass per fruit/kg	0.172	0.170	0.064	0.025	0.405	0.380	37.21	0.289	0.411
心室数 Number of locules/个	4.731	4.000	2.470	2.000	22.000	20.000	52.21	2.094	7.380
果肉厚 Thickness of flesh/mm	8.208	8.260	1.256	4.470	12.590	8.120	15.30	-0.141	0.095
果实硬度 Fruit firmness/(N·cm ⁻²)	2.176	1.880	1.142	0.400	8.870	8.470	52.48	1.876	4.718
可溶性固形物含量 Soluble solids content/(°Brix)	4.978	4.989	0.723	3.000	8.600	5.600	14.52	1.110	3.479

由表 3 可知,番茄的可溶性固形物含量变异系数较小,为 14.52%,离散程度较小。果实硬度的变异系数为 52.48%,离散程度最大,不同材料之间存在较大差异,不同性状在不同材料间表现出不同程度的多样性^[21-22]。变异系数在 20% 以上的有果形指数(36.62%)、单果质量(37.21%)、

心室数(52.21%)和果实硬度。此外,果纵径的变异系数为 18.51%,果横径的变异系数为 18.48%,二者相差不大,推测可能横纵径受同一类基因调控。其次是果肉厚,为 15.30%。综合各性状的平均值、最大值、最小值和变异系数可见,供试材料的遗传改良利用潜力较大^[23]。结果

表明除了心室数外,其它指标的平均值和中位数相差不大,因此所选番茄品种各指标测定值均在接受范围内,离群点较少,说明材料变异范围广,具有一定代表性,遗传变异丰富,遗传多样性大。表明通过育种途径改良番茄品质性状是可行的。在该试验中番茄材料种植的栽培管理、土地条件以及成熟度一致,因此番茄果实品质性状的多样性来源于品种间差异性^[24]。

2.2 相关性分析

对原始数据进行 Pearson 相关性分析,发现果纵径和果形指数、单果质量、果肉厚呈极显著正相关关系,但是与可溶性固形物含量呈极显著负相关关系,果越长,可溶性固形物含量越低,一定程度上印证了实际生活中小果型樱桃番茄普遍比大果番茄和长果番茄要甜。果横径与除了果纵径外的其它 6 个指标呈极显著相关关系,和果形指数、可溶性固形物含量呈极显著负相关关系。果形指数是果横径与纵径的比值,果纵径保持一定的前提下,果越宽则果形指数越小,可溶性固形物含量越少。而果形指数与果肉厚呈显著负相关,和单果质量、心室数呈极显著负相关。果形指数

越大,形状越细长,则果肉越薄,果越轻,心室数越少。该试验选用的长果型番茄的心室数大多达到心室数的最小值,有 2 个心室,验证了数据分析的结果有可信度。单果质量和心室数、果肉厚呈极显著正相关关系,与硬度显著正相关,与可溶性固形物含量呈显著负相关关系,说明果越大则心室多,果肉多,硬度越大,甜度降低,口感不如小果番茄,研究证明樱桃番茄比大果番茄甜度高,口味好;心室数和果肉厚极显著负相关,心室越多的番茄果肉少。果肉厚和硬度极显著正相关、与可溶性固形物含量极显著负相关;硬度和可溶性固形物含量显著负相关,硬果不如软果含可溶性固形物多。综合分析可以看出,这 8 个性状间相关密切,其中与其它性状相关最密切的是果横径,它和单果质量的正相关指数达 0.904,横径大的果实其它性状可能表现好。其次是果纵径,和果形指数正相关指数达 0.738,说明果实性状主要受纵径影响,但是它和心室数、硬度的关联度不大,而硬度、可溶性固形物含量和果形指数、心室数相关性不紧密。

表 4 番茄各性状间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of tomato characteristics

性状 Traits	果纵径 Longitudinal diameter of fruit	果横径 Transverse diameter of fruit	果形指数 Fruit shape index	单果质量 Mass per fruit	心室数 Number of locules	果肉厚 Thickness of flesh	果实硬度 Fruit firmness	可溶性固 形物含量 Soluble solids content
果纵径 Longitudinal diameter of fruit	1.000	0.002	0.738**	0.272**	-0.074	0.175**	0.017	-0.130**
果横径 Transverse diameter of fruit	0.002	1.000	-0.649**	0.904**	0.613**	0.307**	0.110**	-0.155**
果形指数 Fruit shape index	0.738**	-0.649**	1.000	-0.384**	-0.408**	-0.094*	-0.051	0.026
单果质量 Mass per fruit	0.272**	0.904**	-0.384**	1.000	0.548**	0.288**	0.086*	-0.095*
心室数 Number of locules	-0.074	0.613**	-0.408**	0.548**	1.000	-0.120**	-0.028	-0.013
果肉厚 Thickness of flesh	0.175**	0.307**	-0.094*	0.288**	-0.120**	1.000	0.209**	-0.128**
硬度 Fruit firmness	0.017	0.110**	-0.051	0.086*	-0.028	0.209**	1.000	-0.086*
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.130**	-0.155**	0.026	-0.095*	-0.013	-0.128**	-0.086*	1.000

注:“*”表示相关性在 0.05 层上显著(双尾检验),“**”表示相关性在 0.01 层上显著(双尾检验)。

Note: ‘*’ indicates that the correlation is significant at 0.05 level (double-tailed test), ‘**’ indicates that the correlation is significant at 0.01 level (double-tailed test).

2.3 主成分分析

由图 1a 可知,碎石图以特征值为纵轴,成分为横轴,前面陡峭的部分特征值大,包含的信息多,后面平坦的部分特征值小,包含的信息也小。而荷载图可以在三维结构上显示出几个成分的贡

献(图 1b)。

由图 1 可知,前 4 个成分包含了大部分信息,从 5 开始就进入平缓期。由表 5 可知,第一个主成分的特征值是 2.886,方差贡献率为 36.070%,可以代表 36.070%的全部性状信息;第 2 个主成

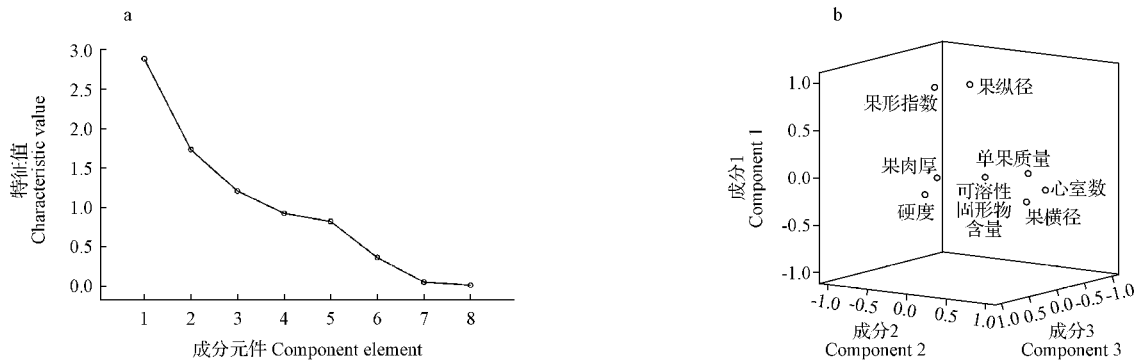


图 1 番茄性状的碎石图(a)和荷载图(b)

Fig. 1 Rock map(a) and load map(b) of tomato characteristics

分的特征值是 1.734, 方差贡献率为 21.678%; 第 3 个主成分的特征值为 1.207, 方差贡献率为 15.083%; 第 4 个主成分的特征值为 0.924, 反应全部信息的 11.546%。前 4 个主成分的累积贡献率为 84.377%, 可以代表全部指标信息的大部分信息。因此选取前 4 个主成分作为综合指标, 确定主成分因子。将全部指标进行因子分析, 根据农艺性状的特征向量(表 6)算出得分矩阵, 得到 4 个主成分的函数式:

$$Z_1 = -0.091X_1 + 0.569X_2 - 0.437X_3 + 0.506X_4 + 0.419X_5 + 0.173X_6 + 0.085X_7 -$$

$$0.091X_8, Z_2 = -0.696X_1 + 0.101X_2 + 0.447X_3 + 0.276X_4 - 0.089X_5 + 0.365X_6 + 0.168X_7 - 0.246X_8, Z_3 = 0.310X_1 + 0.044X_2 + 0.233X_3 + 0.185X_4 + 0.402X_5 - 0.497X_6 - 0.588X_7 + 0.242X_8, Z_4 = 0.060X_1 + 0.020X_2 + 0.050X_3 + 0.114X_4 - 0.045X_5 + 0.236X_6 + 0.241X_7 + 0.930X_8.$$

$X_1 \sim X_8$ 是 8 个性状的数据标准化以后的变量。最后计算变量, 输入公式得出每个主成分的得分情况。115 份番茄材料的主成分分析最终结果见表 7。

表 5 主成分分析解释总变量

Table 5 Total variance explained of PCA in principal component analysis

主成分 Component	特征值 Eigen value	方差贡献率 Variance contribution/%	累积方差贡献率 Cumulative variance contribution/%
1	2.886	36.070	36.070
2	1.734	21.678	57.748
3	1.207	15.083	72.831
4	0.924	11.546	84.377
5	0.820	10.250	94.628
6	0.364	4.546	99.174
7	0.053	0.661	99.835
8	0.013	0.165	100.000

表 6 SPSS 主成分分析得到的特征向量

Table 6 Feature vectors obtained by principal component analysis of SPSS

主成分 Component	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
第 1 主成分	-0.091	0.569	-0.437	0.506	0.419	0.173	0.085	-0.091
第 2 主成分	0.696	0.101	0.447	0.276	-0.089	0.365	0.168	-0.246
第 3 主成分	0.310	0.044	0.233	0.185	0.402	-0.497	-0.588	0.242
第 4 主成分	0.060	0.020	0.050	0.114	-0.045	0.236	0.241	0.930

表7 每个主成分的得分以及综合得分
Table 7 Scores for each main component and composite scores

编号 No.	Z1	Z2	Z3	Z4	Z	编号 No.	Z1	Z2	Z3	Z4	Z	编号 No.	Z1	Z2	Z3	Z4	Z
1	-1.25	-0.06	-0.25	-0.41	-0.65	41	0.81	0.22	0.13	-0.58	0.35	81	1.15	0.26	-0.53	-0.27	0.43
2	0.67	0.41	-0.72	0.19	0.29	42	-0.25	-0.10	0.06	0.83	-0.01	82	0.43	0.68	-2.03	0.63	0.08
3	0.56	0.45	-0.76	0.70	0.32	43	-0.73	-0.01	-0.42	-0.23	-0.42	83	1.43	0.75	-1.04	0.28	0.66
4	-0.01	0.60	-1.35	0.19	-0.07	44	0.09	-0.57	1.38	-1.54	-0.07	84	1.18	1.34	-3.06	0.81	0.41
5	1.31	0.07	0.29	-0.46	0.57	45	-0.84	-0.25	-0.08	0.01	-0.44	85	1.18	0.71	-1.59	-0.83	0.29
6	0.74	0.26	-0.08	-0.14	0.35	46	0.49	0.21	-0.18	-0.47	0.17	86	1.09	0.69	-1.46	0.21	0.41
7	1.58	0.31	0.18	0.41	0.85	47	-0.05	-0.11	-0.05	-0.26	-0.09	87	1.98	0.82	-1.46	1.34	0.98
8	0.35	-0.44	0.99	0.79	0.32	48	1.06	0.43	-0.11	-0.55	0.47	88	1.49	1.22	-2.57	1.08	0.64
9	1.54	0.15	0.16	0.83	0.84	49	1.22	0.15	0.14	0.84	0.70	89	0.22	0.60	-2.13	1.22	0.04
10	1.06	0.21	0.29	-0.52	0.49	50	-1.14	-0.24	-0.43	1.09	-0.48	90	0.89	1.20	-2.48	-0.68	0.15
11	-0.39	-0.18	-0.10	0.39	-0.18	51	0.42	-0.14	0.20	-0.26	0.14	91	0.75	1.05	-2.41	-0.20	0.13
12	0.82	-0.20	0.44	1.02	0.52	52	-0.27	0.06	-0.27	-0.31	-0.19	92	1.70	0.08	0.25	0.06	0.80
13	0.09	0.00	-0.39	1.49	0.17	53	-0.12	-0.38	0.57	1.16	0.11	93	1.47	-0.07	0.62	0.21	0.75
14	0.77	-0.13	0.63	-0.31	0.37	54	0.21	-0.49	0.87	0.69	0.22	94	1.69	0.74	-0.61	-0.85	0.69
15	3.71	-0.92	3.31	1.99	2.21	55	-0.06	-0.25	0.56	1.24	0.18	95	1.38	0.93	-1.27	-1.02	0.46
16	1.58	-0.11	1.40	0.09	0.91	56	-2.81	-0.99	0.26	3.12	-0.98	96	1.42	0.65	-0.9	-0.31	0.57
17	0.45	-0.50	0.88	1.25	0.39	57	-1.94	-0.59	-0.23	2.08	-0.74	97	1.19	0.35	-0.69	-0.31	0.43
18	0.08	-1.15	1.94	-0.54	0.01	58	-0.32	0.06	-0.60	-0.12	-0.25	98	-0.04	0.13	-0.55	-1.15	-0.24
19	1.42	-0.13	1.07	0.76	0.87	59	-0.35	-0.45	0.62	-0.69	-0.25	99	0.34	0.98	-1.62	0.44	0.17
20	1.74	0.25	0.34	0.66	0.96	60	0.09	-0.02	0.56	-2.10	-0.15	100	0.91	-0.06	0.51	-0.54	0.39
21	1.54	-0.04	1.04	-1.87	0.58	61	0.58	-0.19	0.32	-0.40	0.20	101	0.72	0.25	-0.14	-0.17	0.33
22	0.06	-0.63	1.20	-0.50	0.01	62	0.90	-0.11	0.57	-1.56	0.25	102	0.36	0.46	-0.60	-0.63	0.08
23	-0.66	-0.20	0.34	-0.32	-0.32	63	0.13	-0.09	0.39	-2.09	-0.18	103	-2.21	-0.46	0.11	-0.12	-1.06
24	1.33	-0.68	1.81	-0.40	0.66	64	-0.08	0.28	-0.26	-1.15	-0.17	104	-6.80	-0.74	0.71	-0.28	-3.01
25	0.26	-0.39	0.48	-0.48	0.03	65	0.31	-0.21	0.49	0.19	0.19	105	-5.39	-1.18	1.07	-0.43	-2.47
26	0.59	-0.48	0.96	-0.17	0.27	66	-2.32	-1.50	1.20	3.02	-0.75	106	-1.02	0.69	-1.58	-1.64	-0.77
27	0.94	0.24	-0.20	0.62	0.51	67	-1.93	-0.87	0.66	0.06	-0.92	107	-6.79	-1.43	1.35	-0.16	-3.05
28	0.99	0.12	0.43	-0.01	0.53	68	-1.50	0.17	-1.64	-1.33	-1.07	108	-6.37	-1.04	0.84	-0.35	-2.89
29	0.76	0.69	-0.76	-0.07	0.36	69	0.89	-0.40	1.18	-1.13	0.34	109	-7.12	-0.89	1.08	-0.46	-3.14
30	3.52	-0.02	1.96	-0.23	1.82	70	0.57	0.63	-0.61	-0.43	0.24	110	-2.81	-0.02	-0.49	-0.15	-1.31
31	0.05	-0.34	0.70	0.00	0.06	71	1.03	0.57	-0.63	0.04	0.48	111	-10.42	-1.83	2.61	1.06	-4.31
32	1.98	0.12	1.08	-1.17	0.91	72	1.66	0.66	-0.34	-0.55	0.74	112	-1.57	0.34	-1.49	-1.22	-1.02
33	0.39	-0.04	0.13	0.69	0.28	73	0.23	-0.44	0.72	0.09	0.13	113	-1.94	0.02	-0.79	-0.48	-1.03
34	0.48	0.01	-0.19	-0.06	0.17	74	1.71	0.04	0.65	-0.46	0.79	114	-5.19	-0.96	0.79	0.65	-2.23
35	0.13	-0.13	0.30	0.35	0.12	75	1.29	0.22	0.41	-0.35	0.64	115	-1.85	0.14	-0.58	0.25	-0.83
36	1.88	0.05	0.86	-0.13	0.95	76	0.27	-0.34	0.39	0.84	0.21						
37	1.03	-0.85	1.90	-0.74	0.46	77	0.82	-0.29	0.79	0.57	0.50						
38	0.94	0.89	-1.21	-0.32	0.37	78	0.99	0.80	-1.94	2.10	0.57						
39	-0.11	0.35	-1.01	0.54	-0.06	79	0.90	0.86	-2.04	0.31	0.28						
40	-0.18	0.30	-0.63	-0.24	-0.14	80	1.82	-0.57	1.38	-1.51	0.67						

最后按 4 个主成分的特征值加权计算 8 个性状的主成分因子的综合得分 Z , 即不同番茄材料果实的品质综合评价指标, 计算公式如下:

$$Z = (2.886/2.886 + 1.734 + 1.207 + 0.924) Z_1 + (1.734/2.886 + 1.734 + 1.207 + 0.924) Z_2 + (1.207/2.886 + 1.734 + 1.207 + 0.924) Z_3 + (0.924/2.886 + 1.734 + 1.207 + 0.924) Z_4.$$

由表 7 可知, 番茄材料 16584 得分最高为 2.21, 这个品种在各个性状表现比较好: 扁圆形大果番茄, 单果质量为 0.246 kg; 果肉厚 8.50 mm, 略厚型; 心室数多, 硬度 $1.35 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$; 可溶性固形物含量高于平均值 1.382°Brix ; 是一个商品性状好, 软硬适中, 口感沙面, 汁多味甜, 适合鲜食的大红果番茄品种。其次得分最高的为番茄 16603, 粉果, 扁圆形, 单果质量近 300 g, 果肉略薄, 心室数为 10, 但是硬度比较大, 可溶性固形物含量接近平均值, 可见这个品种整体表现良好, 果大硬度好, 商品性好, 更耐贮存且能保持番茄独特风味, 适合长期运输。综上所述, 主成分分析得分统计和田间实际表现一致, 是一种适合大数据下筛选优良种质资源的简便有效的方法^[25]。

2.4 聚类分析

通过 Ward 的方法处理所有数据进行聚类分析, 将 115 份番茄材料在欧氏距离为 10 左右将 115 份材料分成 3 个亚族。第一亚族为扁圆形大果, 包括 103 个番茄品种, 果实颜色多样有红色、粉色、黄色、绿色等, 耐贮运和加工类番茄应该在此大族内进行挑选; 第二亚族为 105、114、104、109、107、108、111 这 7 个品种, 是长果型中果, 主要为橙红和橙黄 2 种颜色的品种, 形状奇特, 心室数小, 硬度大, 耐贮运; 第三亚族为圆形小果番茄, 包括 56、57、66、67、68 号番茄。56、57 号番茄果实为红色, 66、67 和 68 号番茄果实为黄色, 单果质量平均为 0.041 kg, 属于樱桃番茄, 颜色艳丽, 汁多, 果实较软, 口感好, 适合鲜食。在一定程度上反应了不同品种间的亲缘关系^[17], 同一族内的品种遗传相似性大, 不同族品种的遗传差异大, 因此可以从不同族选择亲本进行育种, 在一定程度上缩小了亲本选配的范围。

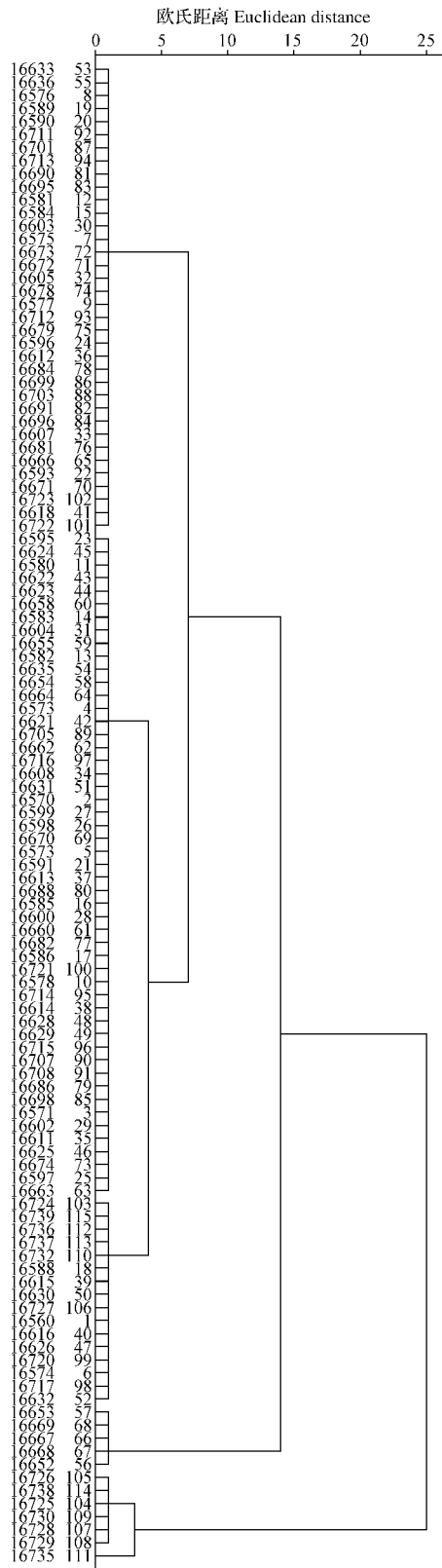


图 2 115 份番茄材料的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of tomato materials

3 讨论与结论

该试验从番茄 8 个果实性状因子中提取出 4 个主成分,即果纵径、横径、果形指数、单果质量。这 4 个指标可作为番茄果实品质评价的因子。可清楚表达番茄果实性状 84.377% 的信息,所以选择前 4 个主成分来代表番茄果实性状的综合评价因素。根据主成分综合得分,从 115 份材料中筛选出 78 份果实性状良好的材料,其中筛选出 2 份综合得分最高的材料 16603 和 16584,0.9 分以上优良材料 5 份,为 16585、16590、16605、16612、16701。通过聚类分析,把 115 份材料分成 3 个亚族,筛选出适合鲜食的樱桃番茄材料 5 个:16653、16669、16667、16668、16652。长果型耐贮运番茄 6 个:16726、16725、16730、16728、16729、16735。根据育种目标,可以从筛出的材料里选用适合的品种为杂交亲本,减少了亲本选配的盲目性,缩短育种年限,易于聚合优异基因,培育高产、口感好、耐贮运、整齐度好的高优势杂交一代。因此利用近年引进的番茄资源,以描述性分析、相似性分析、主成分分析和聚类分析多种方法相结合,综合分析番茄材料主要果实性状的遗传多样性,对于鉴别特异种质资源,依据生产需要组建核心种质库,筛选核心种质库,提高我国番茄的产量、品质、商品性等具有指导意义,并为我国番茄种质资源的收集、保护、研究和利用提供参考^[26]。

但是该试验主成分分析和聚类分析结果选出优良的亲本材料并不一致,主要是主成分综合评价和聚类分析分类标准不一致导致。主成分分析是从主要成分因子中提取了信息进行综合分析,代表性强,主要侧重大方向,最终按照综合得分选取 115 份材料中表现最优的品种,直观明了筛选到目的材料;而聚类分析分类全面细致,越往细分则品种遗传多样性越好,对材料进行聚类分析可以将大量材料分成几个大族,能够选出一部分目标品种,但是群体分析不容易筛选到最优品种。所以必须二者结合进行分析,从主成分分析中取出一部分优质品种后在聚类分析图内进行核实,剔除掉不合适的数据材料,推测主成分分析结果可以在聚类分析图最终分类小族中得以体现。所以经过仔细研究发现,这 7 份材料均在第一亚族内,而且在聚类图最细致的分类中 16603 和

16584 分在一个小族内,且紧邻彼此;综合得分 0.9 以上的 5 份材料除去 16585 外全部跟 16603 和 16584 在同一个族,完全印证之前的猜测。由此可见主成分分析和聚类分析结果相辅相成,只是从不同角度对这 115 份材料进行分析,均可以快速筛选出优良品种。而且选出的材料经过实际验证发现主成分分析和聚类分析的准确度较高,可以用来作为快速从大批量品种中筛选最优亲本的方法。

参考文献

- [1] 徐鹤林,李景富. 中国番茄[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [2] 张彩霞. 世界番茄贸易特征及我国番茄出口贸易地位[J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报),2010(3):20-25.
- [3] 霍建勇. 中国番茄产业现状及安全防范[J]. 蔬菜,2016(6):1-4.
- [4] 殷冬梅,张幸果,王允,等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(4):507-512,518.
- [5] 张玉革,胡绪彬. 基于主成分和聚类分析的大豆品种生物学性状的比较研究[J]. 大豆科学,2004,23(3):178-183.
- [6] SHE Q M, CHUN F S, RUN P Z, et al. Traffic safety evaluation of the provincial regions in china based on principal component analysis[C]//Intelligent computation technology and automation, 2009. ICICTA'09. Second International Conference on. IEEE, 2009(3):864-867.
- [7] LIU C H, XU L, GAO H Y, et al. Water quality evaluation in representative lake based on principal component analysis[C]//Remote sensing, environment and transportation engineering (RSETE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011:4704-4707.
- [8] DING C. Principal component analysis of water quality monitoring data in Xia Sha region[C]//Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011:2321-2324.
- [9] YONG Q C, QIAN W S, HONG M M. Research on optimization of water quality monitoring sites using principal component analysis and cluster analysis[C]//Computer distributed control and intelligent environmental monitoring (CDCIEM), 2011 International Conference on. IEEE, 2011:570-573.
- [10] NIU C, WANG Q, CHEN H, et al. Application of principal component analysis and cluster analysis to evaluation of black soil degradation in Jilin[C]//Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on. IEEE, 2011:1467-1470.
- [11] HE C, POYSA V, YU K. Development and characterization of simple sequence repeat (SSR) markers and their use in determining relationships among *Lycopersicon esculentum* cultivars[J]. Theor Appl Genet, 2003, 106(2):363-373.

- [12] ARESHCHENKOVA T, GANAL M W. Comparative analysis of polymorphism and chromosomal location of tomato micro-satellite markers isolated from different sources[J]. Theor Appl Genet, 2002, 104(2-3): 229-235.
- [13] 杨永政, 梁燕. 樱桃番茄主要农艺性状与产量的相关及通径分析[J]. 北方园艺, 2006(3): 1-2.
- [14] 李景富, 何艳龙, 尚娜, 等. 番茄果实硬度与多个性状间相关分析及通径分析[J]. 东北农业大学学报, 2016(5): 1-8.
- [15] 宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 等. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122-2131.
- [16] 董玉琛, 郝晨阳, 王兰芬, 等. 358 个欧洲小麦品种的农艺性状鉴定与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 129-135.
- [17] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2014(2): 357-365.
- [18] 姜波, 袁莉, 陈飞飞. 加工番茄的性状优化和品种选择方法研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2012, 26(1): 19-23.
- [19] 庞胜群, 郑群, 辛建华, 等. 加工番茄农艺性状与番茄红素的灰色关联分析[J]. 北方园艺, 2010(4): 12-14.
- [20] 张军. 15 份番茄的品质分析及 DNA 指纹图谱[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [21] 王晓静. 番茄种质资源品质性状遗传多样性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [22] 孙亚东, 梁燕, 吴江敏, 等. 番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析[J]. 西南农业学报, 2009, 18(5): 297-301.
- [23] 张静, 常培培, 梁燕, 等. 樱桃番茄主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 北方园艺, 2014(21): 1-7.
- [24] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014(13): 276-285.
- [25] ANDERSON W F, HOLBROOK C C, CULBREATH A K. Screening the core collection for resistance to tomato spotted wilt virus[J]. Peanut Sci, 1996(23): 57-61.
- [26] 聂石辉, 彭琳, 王仙, 等. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015(1): 64-70.

Evaluation of Tomato Fruit Traits Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

ZHANG Ziwei, LI Jingfu, JIANG Jingbin, XU Xiangyang, ZHAO Tingting

(College of Horticulture & Landscape Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030)

Abstract: Eight fruit characteristics including single fruit weight, fruit longitudinal diameter, fruit transverse diameter, fruit shape index, fruit thickness, number of locules, fruit firmness and soluble solids content were studied by principal component analysis and cluster analysis in 115 tomato varieties, and a comprehensive evaluation was made for the selection of excellent parents of tomato in China. The results showed that according to the composite score of the main component, 78 of the ingredients were selected from 115 ingredients, of which the high grade of 0.9 were 16603, 16584, 16585, 16590, 16605, 16612, 16701. By clustering analysis, the 115 materials were divided into three sub-groups, five cherry tomatoes suitable for fresh food were 16653, 16669, 16667, 16668, 16652. The 6 long fruit-type tomatoes were 16726, 16725, 16730, 16728, 16729, 16735. Principal component analysis and cluster analysis could reduce the range and difficulty of parent selection, and help to select good parents and increase the efficiency of breeding.

Keywords: tomato (*Solanum lycopersicum* L.); principal components; cluster analysis; traits