

枣品种资源果实的糖酸含量特征分析

薛晓芳¹, 赵爱玲¹, 焦文丽^{1,2}, 王永康¹, 任海燕¹, 石美娟¹, 苏万龙¹, 李毅¹, 刘丽¹, 李登科¹

(¹山西农业大学果树研究所/果树种质创制和利用山西省重点实验室, 太原 030031; ²山西农业大学林学院, 太谷 030815)

摘要:糖和酸是构成果实风味的重要物质, 鉴定评价枣品种资源果实的糖酸风味, 比较不同资源间的糖酸风味构成差异, 建立枣品种资源果实糖酸风味评价体系, 对资源高效利用具有重要意义。以210份枣资源脆熟期果实为材料, 测定可溶性固形物、可滴定酸以及糖组分含量, 并进行相关性分析。结果如下: (1) 10项指标的变异系数范围在9.81%~34.70%, 其中可溶性固形物含量、甜度值和总糖含量的变异系数较小。蔗糖含量的范围差异最大, 其最大值是最小值的84.54倍。果糖、葡萄糖、蔗糖、总糖、可滴定酸、甜度值、固酸比和糖酸比等8项指标符合正态分布, 可溶性固形物和甜酸比不符合正态分布。(2) 果糖、葡萄糖、蔗糖与总糖含量均呈极显著正相关, 果糖与葡萄糖含量呈极显著正相关, 总糖、可溶性固形物和甜度值间都呈极显著正相关, 可滴定酸与固酸比、糖酸比和甜酸比间都呈极显著负相关, 固酸比、糖酸比、甜酸比两两之间都呈极显著正相关。(3) 因子分析共提取3个主因子, 累积贡献率为91.781%。结合各项指标的聚类分析, 筛选出果糖、蔗糖、可溶性固形物、可滴定酸和固酸比5项评价枣果实糖酸风味的指标。(4) 基于5项评价指标进行聚类分析, 将210个枣品种分为5个类群, 根据各类群不同指标的含量特征, 分别定义为低蔗糖型、高酸型、果糖优势型、中间型和蔗糖优势型, 其中蔗糖优势型包含的种质最多。可用果糖、蔗糖、可溶性固形物、可滴定酸和固酸比5项指标对枣果实糖酸风味进行评价, 生产中可根据不同类群资源的糖酸指标特点进行针对性应用。

关键词: 枣; 品种资源; 糖酸风味; 因子分析; 聚类分析

Characteristics Analysis of Sugar-acid Content in Fruit of Jujube Varieties

XUE Xiaofang¹, ZHAO Ailing¹, JIAO Wenli^{1,2}, WANG Yongkang¹, REN Haiyan¹,
SHI Meijuan¹, SU Wanlong¹, LI Yi¹, LIU Li¹, LI Dengke¹

(¹Pomology Institute, Shanxi Agricultural University/Shanxi Key Laboratory of Germplasm Improvement and Utilization in Pomology, Taiyuan 030031; ²Academy of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taiyu 030815)

Abstract: Sugars and acids are important components that contribute to the flavor of fruit. To identify the sugar-acid flavor indexes and analyze the compositional difference in sugar-acid flavor among jujube varieties, as well as establish the evaluation system for sugar-acid flavor are of great significance. By taking use of 210 jujube varieties, here we measured and analyzed the contents of soluble solids, titrable acids, and sugar components in fruit at the crisp ripening stage. The results were as follows: (1) The coefficient of variation ranged from 9.81% - 34.70% for the 10 indexes, including soluble solids, sweetness value, and total sugar that show smaller coefficient. The range of sucrose content varied the most, with the maximum being 84.54 times that of the minimum. Except soluble solid and sweet-acid ratio, eight indexes, including fructose, glucose, sucrose, total sugar, titrable acid, sweetness value, solid-acid ratio and sugar-acid ratio, were observed with the normal distribution. (2) The fructose, glucose and sucrose significantly positively correlated with total sugar content. A significant positive correlation between fructose and glucose content, as well as the significant

收稿日期: 2023-07-14 修回日期: 2023-08-04 网络出版日期: 2023-09-04

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230714001>

第一作者研究方向为枣种质资源鉴定评价与品质形成机理, E-mail: xxfgs2013@126.com

通信作者: 李登科, 研究方向为枣种质资源和育种, E-mail: ldkzao@126.com

赵爱玲, 研究方向为枣种质资源和育种, E-mail: zhyb186@126.com

基金项目: 国家科技资源共享服务平台项目(NHGRC2021-NH12-1); 国家现代农业产业技术体系(CARS-30-5-02, CARS-30-ZZ-22)

Foundation projects: National Science and Technology Resource Sharing Service Platform Project (NHGRC2021-NH12-1); China Agriculture Research System (CARS-30-5-02, CARS-30-ZZ-22)

positive correlation among total sugar, soluble solid and sweet value were observed. Titrable acid significantly negatively correlated with solid-acid ratio, sugar-acid ratio and sweet-acid ratio. The significant correlations among the solid-acid ratio, sugar-acid ratio and sweet-acid ratio were observed. (3) Factor analysis extracted three main factors with a cumulative contribution rate of 91.781%. Combined with the cluster analysis of various indexes, five indexes, including fructose, sucrose, soluble solid, titrable acid and solid-acid ratio, were selected to evaluate the sugar-acid flavor of jujube fruit. (4) Based on the five evaluation indexes, cluster analysis suggested five groups in 210 jujube varieties. These groups were defined as low sucrose type, high acid type, fructose dominant type, intermediate type and sucrose dominant type, where the sucrose dominant type contained the largest number of varieties. Collectively, the evaluation of sugar-acid flavor in jujube fruit can be performed using the five indexes, and the application of jujube varieties by considering the sugar and acid indexes could be desirable in production.

Key words: *Ziziphus jujuba* Mill.; variety resources; sugars-acid taste; factor analysis; cluster analysis

枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 属于鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Ziziphus* Mill.) 植物, 是原产于我国的第一大干果和重要的经济林树种^[1-2], 栽培历史悠久, 种质资源丰富^[3-4]。枣果实由于含有糖、有机酸、维生素、氨基酸、矿物质、三萜酸、环核苷酸、类黄酮、生物碱等多种营养成分和药用成分而成为传统的“药食同源”滋补佳品^[5-9]。其中, 糖和酸是构成枣果实风味的重要物质^[10], 因此, 系统开展枣种质资源糖酸风味鉴定评价, 筛选评价指标并建立评价体系, 可为深化枣品种资源利用提供依据。

枣糖酸品质的研究相对较多。赵爱玲等^[11]采用超高效液相色谱法检测了枣果实糖酸组分, 发现果糖、葡萄糖和蔗糖是枣果实所含的主要糖组分, 果实发育前期主要积累果糖和葡萄糖, 白熟期之后以蔗糖积累为主, 且总糖及各组分糖的含量存在显著的品种差异。枣果实中的有机酸主要为苹果酸、奎宁酸和琥珀酸, 其中苹果酸含量最高。梁丰志等^[12]研究发现白熟期至脆熟期是糖组分积累发生差异的重要时期。贺璇等^[13]研究了6个灰枣品系的糖酸风味特征, 发现6个灰枣品系的可溶性糖组分为蔗糖、葡萄糖和果糖, 且均为蔗糖积累型, 6个灰枣品系的有机酸均以苹果酸和奎宁酸为主。陈万年等^[14]研究了枣 JMS2 和交城 5 号杂交 F₁ 糖酸组分的遗传变异规律, 发现杂交后代果实中的糖主要由蔗糖、果糖和葡萄糖组成, 其中蔗糖占 52.5%, 葡萄糖变异系数最大, 蔗糖变异系数最小, 酸主要由苹果酸、奎宁酸和柠檬酸组成, 其中苹果酸占 35.10%, 并筛选了两个高糖杂交优系。Fu 等^[15]研究了新疆阿克苏地区骏枣 6 个不同含水量阶段的干枣糖变化特征, 均检测到了葡萄糖和蔗糖, 通过主成分分析可将 6 个阶段明显区分开。

在前人研究的基础上, 本研究分别选取涵盖鲜食、制干、兼用和观赏等不同类型的 210 个有代表性的枣品种, 在果实脆熟期测定其可溶性固形物含量、可滴定酸含量及糖组分含量, 通过相关性分析、因子分析和聚类分析筛选枣果糖酸风味评价指标并建立评价体系, 丰富枣种质资源鉴定评价内容, 为筛选风味好的优良品种和提高品种资源利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验于 2021-2022 年在山西农业大学果树研究所果树种质创制和利用山西省重点实验室进行。试验材料来源于国家枣种质资源圃, 树龄 15 年, 株行距为 3 m×4 m, 常规水肥管理。选取全国枣主产区具有代表性的 210 份枣品种资源 (表 1), 涵盖鲜食 (60 份)、制干 (73 份)、兼用 (69 份) 和观赏 (8 份) 等类型, 生物学重复 3 次。于脆熟期 (果实半红) 取树冠外围不同方位、大小均匀一致、无病虫害的果实 30 个, 快速将果肉切碎混匀, 液氮速冻, 然后放置于 -80°C 超低温冰箱中保存备用。

试验所用试剂甲醇、乙腈、甲酸均为色谱纯, 购自 Fisher; 标准品果糖、葡萄糖、蔗糖为色谱纯, 购自 Sigma 公司。

1.2 试验方法

可溶性固形物的测定采用便携式数显测糖仪 (仪器型号: ATAGO PAL-1)。可滴定酸的测定采用酸碱滴定法, 参照聂继云^[16]的方法。称取 20 g 混合均匀的鲜枣果实, 加入 180 mL 蒸馏水榨汁, 过滤, 滤液用于测定可溶性固形物和可滴定酸。

糖组分 (果糖、葡萄糖和蔗糖含量) 的测定采用

超高效液相色谱仪(仪器型号: Waters UPLC ACQUITY H-Class, ACQUITY ELSD 蒸发光散射检测器, ACQUITY UPLC BEH Amide 1.7 μm 、2.1 mm \times 100 mm 专用糖分析色谱柱), 样品提取和色谱条件参照赵爱玲等^[11]的方法。所有数据生物学重复3次。

总糖含量=果糖含量+葡萄糖含量+蔗糖含量。甜度值的计算参考姚改芳等^[17]的方法, 以蔗糖的甜度值为1.00, 果糖为1.75, 葡萄糖为0.70, 甜度值=果糖含量 \times 1.75+葡萄糖含量 \times 0.70+蔗糖含量 \times 1.00。

固酸比用可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值表示, 糖酸比用可溶性总糖含量与可滴定酸含量的比值表示, 甜酸比用甜度值与可滴定酸含量的比值表示。

1.3 数据分析

使用Excel软件计算极大值、极小值、平均值、标准差、变异系数。使用SPSS软件进行正态性检验、频率分布图绘制、相关性分析、因子分析和聚类分析, 聚类分析先将数据进行标准化处理, 然后采用Ward联结、平方Euclidean距离法进行聚类。

表1 210份供试枣品种资源信息

Table 1 Information of 210 jujube varieties resources tested

编号 No.	名称 Name	来源 Origin	编号 No.	名称 Name	来源 Origin	编号 No.	名称 Name	来源 Origin
1	安阳团枣	中国河南	31	二十家大枣	中国辽宁	61	界集小铃枣	中国江苏
2	八月炸	中国河南	32	奉节鸡蛋枣	中国重庆	62	金谷大枣	中国山西
3	保德小枣	中国山西	33	伏脆蜜	中国山东	63	金铃长枣	中国辽宁
4	北刀沟大枣	中国河北	34	阜平大枣	中国河北	64	金丝蜜	中国辽宁
5	北京鸡蛋枣	中国北京	35	阜阳木头枣	中国安徽	65	锦西木枣	中国辽宁
6	北京纓络枣	中国北京	36	根德大枣	中国辽宁	66	晋县木枣	中国河北
7	彬县黑疙瘩	中国陕西	37	耿车铃枣	中国江苏	67	孔府酥脆枣	中国山东
8	彬县晋枣	中国陕西	38	姑苏小枣	中国江苏	68	兰考圆脆枣	中国河南
9	彬县酸疙瘩	中国陕西	39	谷城大枣	中国湖北	69	兰溪马枣	中国浙江
10	彬县圆枣	中国陕西	40	官滩2号	中国山西	70	郎溪牛奶枣	中国安徽
11	沧县金丝小枣	中国河北	41	灌阳短枣	中国广西	71	乐金3号	中国山东
12	沧县屯子枣	中国河北	42	灌阳长枣	中国广西	72	乐陵无核小枣	中国山东
13	沧县小枣	中国河北	43	韩国无等	韩国	73	冷白玉	中国山西
14	沧县长小枣	中国河北	44	韩国月初	韩国	74	梨枣变异	中国山西
15	朝阳无核枣	中国辽宁	45	合阳铃铃枣	中国陕西	75	黎城大马枣	中国山西
16	成武冬枣	中国山东	46	河北无核	中国河北	76	黎城小枣	中国山西
17	荏圆金枣	中国山东	47	衡阳珍珠枣	中国湖南	77	历城串铃枣	中国山东
18	大荔蜂蜜罐	中国陕西	48	洪赵脆枣	中国山西	78	连县苦楝枣	中国广东
19	大荔干尾巴	中国陕西	49	洪赵葫芦枣	中国山西	79	聊城圆铃枣	中国山东
20	大荔疙瘩枣	中国陕西	50	洪赵十月红	中国山西	80	林县无头枣	中国河南
21	大荔鸡蛋枣	中国陕西	51	洪赵小枣	中国山西	81	临黄1号	中国山西
22	大荔晋枣	中国陕西	52	湖北圆枣	中国湖北	82	临潼轱辘枣	中国陕西
23	大荔铃铃枣	中国陕西	53	灰团枣	中国陕西	83	临县旱团枣	中国山西
24	大荔龙枣	中国陕西	54	灰枣枝变1号	中国河南	84	临县伢枣	中国山西
25	大荔耙齿枣	中国陕西	55	稷山板枣	中国山西	85	临猗笨枣	中国山西
26	大荔小圆枣	中国陕西	56	稷山蛤蟆枣	中国山西	86	临猗梨枣	中国山西
27	大荔圆枣	中国陕西	57	稷山圆枣	中国山西	87	临猗无名枣	中国山西
28	大荔知枣	中国陕西	58	交城端枣	中国山西	88	临猗珍珠龙枣	中国山西
29	定襄星星枣	中国山西	59	交城骏枣	中国山西	89	临泽大枣	中国甘肃
30	东阿大瓜枣	中国山东	60	交城甜酸枣	中国山西	90	临泽小枣	中国甘肃

表1(续)

编号 No.	名称 Name	来源 Origin	编号 No.	名称 Name	来源 Origin	编号 No.	名称 Name	来源 Origin
91	六安红珍珠	中国安徽	131	嵩县大枣	中国河南	171	溱浦岩枣	中国湖南
92	鲁枣4号	中国山东	132	太谷端子枣	中国山西	172	溱浦圆枣	中国湖南
93	鲁枣9号	中国山东	133	太谷墩墩枣	中国山西	173	宣城尖枣	中国安徽
94	梅花小铃枣	中国江苏	134	太谷黑叶枣	中国山西	174	延川白枣	中国陕西
95	密点脆木枣	中国陕西	135	太谷壶瓶酸	中国山西	175	延川大白枣	中国陕西
96	南谷丰葫芦枣	中国山西	136	太谷壶瓶枣	中国山西	176	延川跌牙枣	中国陕西
97	南京鸭枣	中国江苏	137	太谷郎枣	中国山西	177	延川狗头枣	中国陕西
98	内黄扁核酸	中国河南	138	太谷铃铃枣	中国山西	178	阎良稚枣	中国陕西
99	内黄苹果枣	中国河南	139	太谷油枣	中国山西	179	义县木枣	中国辽宁
100	宁陵大糠枣	中国河南	140	太原长枣	中国山西	180	迎秋红	中国山西
101	宁陵小脆枣	中国河南	141	泰安疙瘩枣	中国山东	181	颖秀	中国河北
102	宁夏大红枣	中国宁夏	142	泰安酥圆铃	中国山东	182	颖玉	中国河北
103	宁阳六月鲜	中国山东	143	滕州大马牙	中国山东	183	永城圆红枣	中国河南
104	宁阳圆红	中国山东	144	滕州落地红	中国山东	184	永济蛤蟆枣	中国山西
105	平陆棒槌枣	中国山西	145	天津二秋枣	中国天津	185	榆次九月青	中国山西
106	平陆尖枣	中国山西	146	万荣福枣	中国山西	186	榆次面枣	中国山西
107	平陆屯屯枣	中国山西	147	吴县水团枣	中国江苏	187	榆次团枣	中国山西
108	平顺笨枣	中国山西	148	五里江大枣	中国江苏	188	玉田小枣	中国河北
109	平顺俊枣	中国山西	149	西营笨枣	中国广东	189	圆铃1号	中国山东
110	平遥不落酥	中国山西	150	细长木枣	中国陕西	190	圆铃78005	中国山东
111	婆枣枝变1号	中国河北	151	夏津茶壶枣	中国山东	191	运城脆枣	中国山西
112	蒲城晋枣	中国陕西	152	夏津大白铃	中国山东	192	运城绵枣	中国山西
113	蒲城绵枣	中国陕西	153	献县大小枣	中国河北	193	运城相枣	中国山西
114	蒲城圆梨枣	中国陕西	154	献县圆小枣	中国河北	194	赞皇大枣	中国河北
115	濮阳核桃纹	中国河南	155	襄汾官滩枣	中国山西	195	赞皇长枣	中国河北
116	濮阳三变丑	中国河南	156	襄汾圆枣	中国山西	196	赞晶	中国河北
117	濮阳三变红	中国河南	157	新郑大枣	中国河南	197	赞玉	中国河北
118	濮阳小枣	中国河南	158	新郑灰枣	中国河南	198	早脆蜜	中国山西
119	祁阳糠头枣	中国湖南	159	新郑鸡蛋枣	中国河南	199	早红蜜	中国山西
120	淇县龙枣	中国河南	160	新郑鸡心枣	中国河南	200	早熟晋枣	中国陕西
121	乾县铃铃枣	中国陕西	161	新郑齐头白	中国河南	201	枣强脆枣	中国河北
122	清苑大丹枣	中国河北	162	新郑小圆枣	中国河南	202	枣庄大铃枣	中国山东
123	曲阜猴头枣	中国山东	163	溱浦槟榔枣	中国湖南	203	枣庄小铃枣	中国山东
124	汝城枣	中国湖南	164	溱浦大果算盘	中国湖南	204	长辛店白枣	中国北京
125	山东梨枣	中国山东	165	溱浦木枣	中国湖南	205	直社疙瘩枣	中国陕西
126	陕西面枣	中国陕西	166	溱浦砂糖枣	中国湖南	206	中草笨枣	中国陕西
127	陕西奶枣	中国陕西	167	溱浦糖枣	中国湖南	207	中宁吊铃枣	中国宁夏
128	韶关白枣	中国广东	168	溱浦甜酸枣	中国湖南	208	中阳木枣	中国山西
129	韶关大枣	中国广东	169	溱浦香枣	中国湖南	209	中枣1号	中国河南
130	泗洪大木枣	中国江苏	170	溱浦小果算盘	中国湖南	210	猪腰枣	中国重庆

2 结果与分析

2.1 枣品种资源果实糖组分含量及糖酸风味指标分布情况

对210份枣品种资源脆熟期果实的10项糖酸风味指标的极大值、极小值、平均值、标准差和变异系数进行分析(表2),结果表明,蔗糖含量的范围最大,其最大值为最小值的84.54倍;其次是糖酸比和

甜酸比,两者的最大值分别为最小值的14.92倍和14.53倍;可溶性固形物含量、甜度值和总糖含量的范围均较小,最大值分别为最小值的1.60倍、3.10倍和3.17倍。10项指标的变异系数范围在9.81%~34.70%,其中可溶性固形物含量、甜度值和总糖含量的变异系数较小,说明这3项指标在不同资源间的差异较小;其余7项指标的变异系数则较大,说明这些指标在不同资源中的差异较大。

表2 枣果实糖酸风味指标变异情况

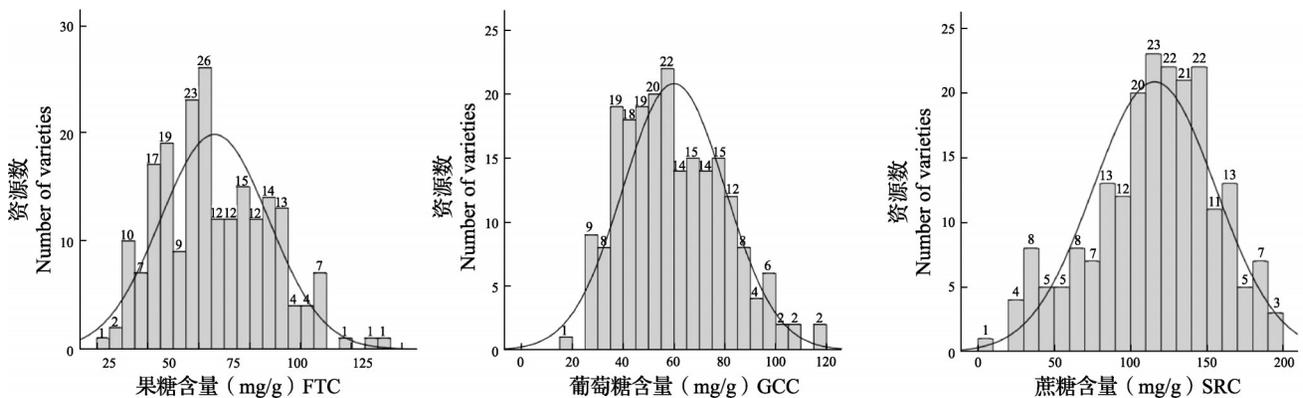
Table 2 Variation of jujube sugar-acid flavor indexes

指标 Index	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
果糖含量(mg/g)FTC	21.49	130.07	66.19	21.11	31.89
葡萄糖含量(mg/g)GCC	18.50	119.87	60.00	20.09	34.70
蔗糖含量(mg/g)SRC	2.32	196.13	115.67	40.14	34.70
总糖含量(mg/g)TSC	104.03	329.64	241.85	32.60	13.48
可溶性固形物含量(%) SSC	22.00	35.30	27.84	2.73	9.81
可滴定酸含量(%) TAC	0.21	2.43	0.64	0.21	33.55
甜度值 SV	119.43	369.75	273.50	38.19	13.96
固酸比 SoAR	12.76	123.81	47.93	15.49	32.31
糖酸比 SuAR	83.76	1249.82	414.56	135.28	32.63
甜酸比 SwAR	95.17	1383.29	468.49	153.00	32.66

FTC: Fructose content; GCC: Glucose content; SRC: Sucrose content; TSC: Total sugars content; SSC: Soluble solids content; TAC: Titrable acids content; SV: Sweetness value; SoAR: Solidity acid ratio; SuAR: Sugar acid ratio; SwAR: Sweet acid ratio; The same as below

利用SPSS18.0软件对210份枣品种资源糖酸各项指标进行正态性检验,结果表明,果糖含量、葡萄糖含量、蔗糖含量、总糖含量、可滴定酸含量、甜度值、固酸比和糖酸比8项指标的Sig.值分别为0.258、0.523、0.416、0.977、0.121、0.868、0.072和0.109(均大于0.05),可见这8项指标均服从正态分

布。可溶性固形物和甜酸比的Sig.值分别为0.012和0.048(小于0.05),不服从正态分布。从频率分布直方图(图1)可看出,各指标都是中间含量的品种所占比例较多,高含量和低含量资源所占比例较少,各指标的频率分布图和正态曲线变化趋势一致。



(图1)

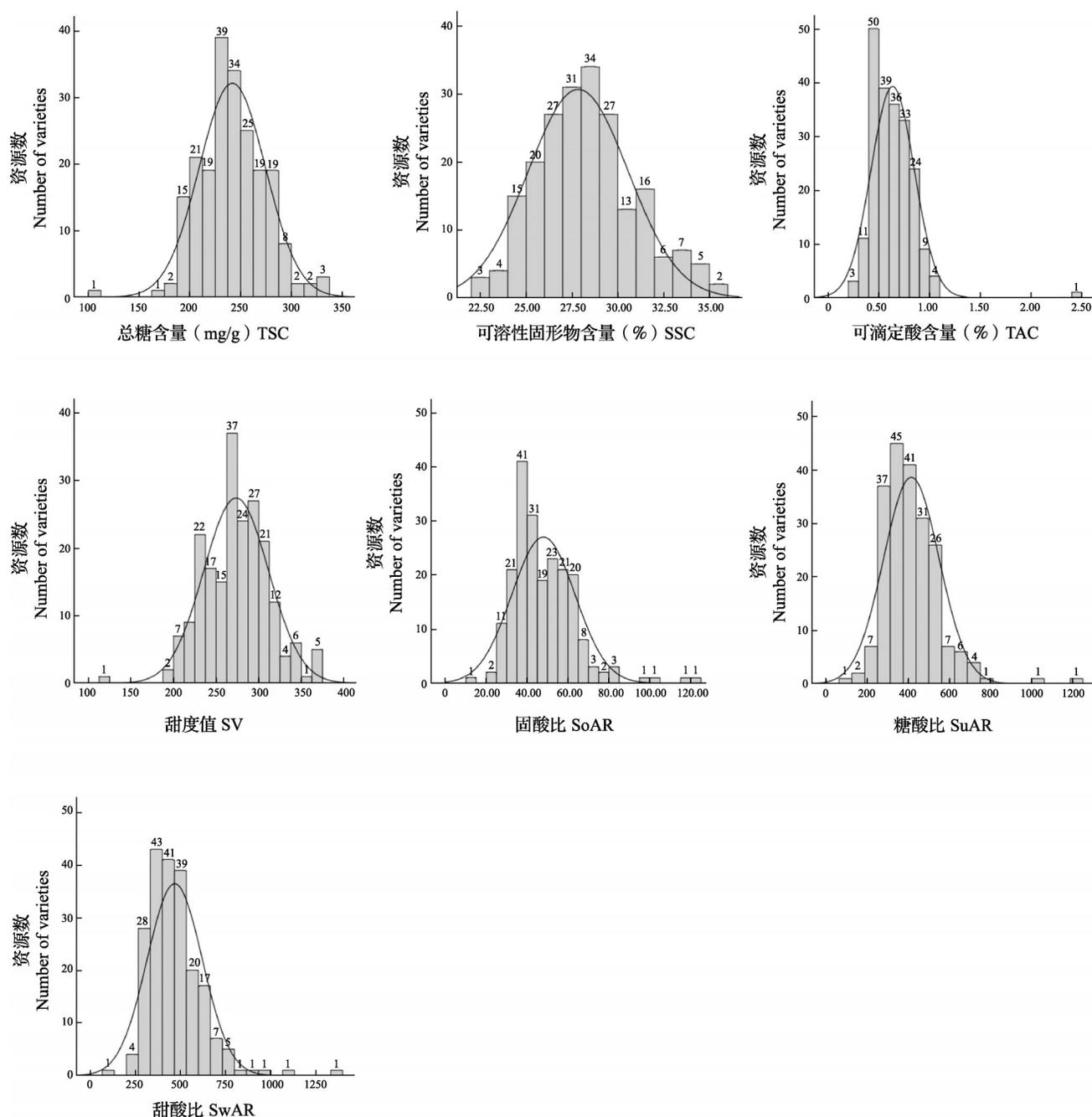


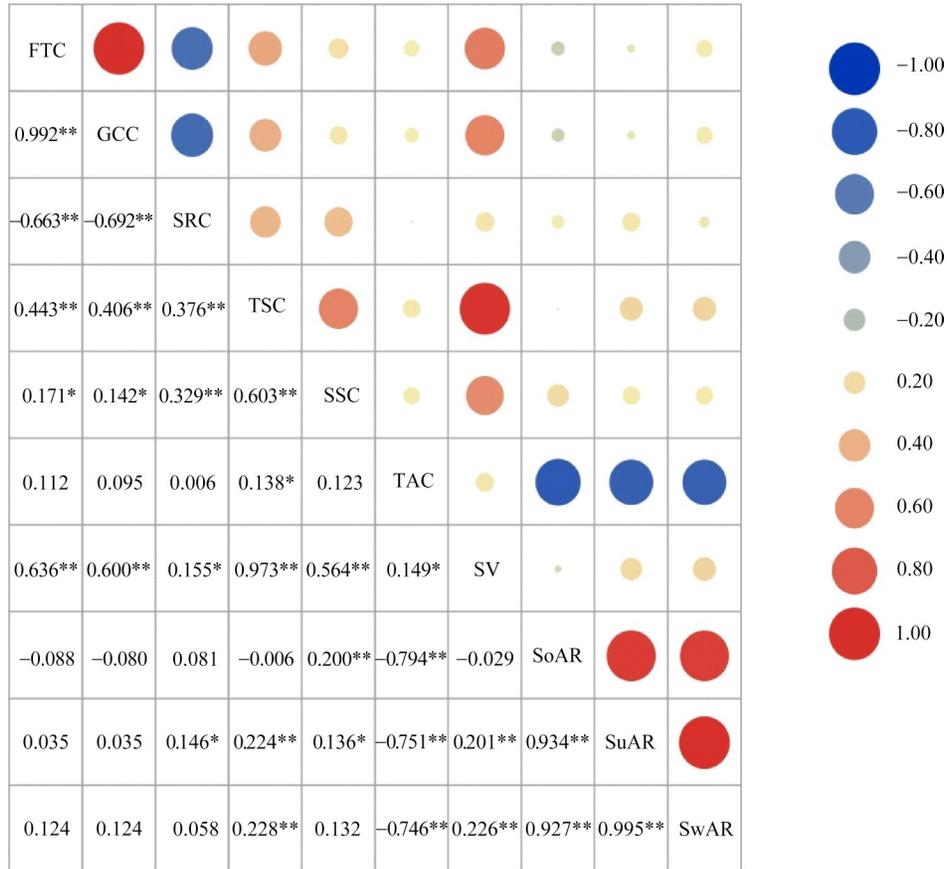
图1 枣糖组分及糖酸风味指标分布频次图

Fig.1 Distribution of jujube sugar components and sugar-acid taste indexes

2.2 糖酸风味指标间的相关性分析

对210份资源脆熟期果实的10项指标进行相关性分析(图2),结果表明果糖含量与葡萄糖含量极显著正相关,果糖、葡萄糖和蔗糖三者都与总糖含量极显著正相关,蔗糖和总糖含量与可溶性固形物极显著正相关,果糖、葡萄糖、总糖和可溶性固形物4个指标都与甜度值极显著正相关,可溶性固形物与固酸比极显著正相关,总糖、甜度值和固酸比与糖酸比极显著正相关,总糖、甜度值、

固酸比和糖酸比均与甜酸比极显著正相关。果糖和葡萄糖含量均与蔗糖含量极显著负相关,固酸比、糖酸比和甜酸比均与可滴定酸含量极显著负相关。果糖和葡萄糖含量均与可溶性固形物显著正相关,总糖与可滴定酸含量显著正相关,蔗糖和可滴定酸含量均与甜度值显著正相关,蔗糖和可溶性固形物含量均与糖酸比显著正相关。可看出,各项糖酸风味评价指标间均存在不同程度的相关性。



*表示显著相关 ($P < 0.05$), **表示极显著相关 ($P < 0.01$)
 * indicated significant correlation ($P < 0.05$); ** indicated extremely significant correlation ($P < 0.01$)

图2 枣品种糖酸风味指标相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of sugar-acid flavor indexes in jujube varieties

2.3 糖酸风味指标的因子分析

对10项风味指标因子分析结果表明,前3个因子的方差贡献率均大于5%,所包含的信息量占总体信息量的91.781%,为主因子(表3)。因子1的方差贡献率为37.165%,甜酸比、糖酸比、固酸比和可

滴定酸含量为其代表性指标;因子2的方差贡献率为33.042%,代表性指标包括果糖含量、葡萄糖含量和甜度值;因子3的方差贡献率为21.573%,代表性指标为蔗糖含量和可溶性固形物含量。

表3 枣风味指标的因子分析

Table3 Factor analysis of jujube flavor indexes

指标 Index	因子1 Component 1	因子2 Component 2	因子3 Component 3
果糖含量FTC	0.315	0.827	-0.462
葡萄糖含量GCC	0.306	0.807	-0.500
蔗糖含量SRC	0.082	-0.313	0.927
总糖含量TSC	0.493	0.648	0.535
可溶性固形物含量SSC	0.383	0.376	0.571
可滴定酸含量TAC	-0.663	0.545	0.274
甜度值SV	0.503	0.769	0.344
固酸比 SoAR	0.837	-0.483	-0.106
糖酸比 SuAR	0.924	-0.335	-0.051
甜酸比 SwAR	0.938	-0.274	-0.124
特征值 Eigenvalue	3.717	3.304	2.157
贡献率 (%)Proportion	37.165	33.042	21.573
累积贡献 (%) Cumulative proportion	37.165	70.207	91.781

2.4 糖酸风味指标的聚类分析

将10项糖酸风味指标进行系统聚类(图3),结果表明糖酸比、甜酸比和固酸比距离最近,果糖含量与葡萄糖含量距离最近,总糖含量和甜度值距离最近,在聚类距离为6.5处,将10项指标分为5大类,第I类包括糖酸比、甜酸比和固酸比,第II类包括果糖含量和葡萄糖含量,第III类包括总糖含量、甜度值和可溶性固形物含量,第IV类为蔗糖含量,第V类为可滴定酸含量。

结合因子分析结果,可初步筛选枣糖酸风味的评价指标,糖风味的评价指标可简化为可溶性固形物含量、果糖含量、蔗糖含量,酸风味的评价指标为可滴定酸含量,综合风味的评价指标为固酸比。

2.5 基于糖酸风味指标的枣品种聚类分析及评价体系构建

通过对糖酸风味指标的因子分析和聚类分析,筛选了枣糖酸风味的评价指标:果糖含量、蔗糖含量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和固酸比。基

于这5项指标,对210份枣资源进行聚类分析,将其分为5个类群(图4)。从图4可看出,第I类群仅包含1份资源在圆金枣,占供试品种的0.48%。第II类群也是仅包含1份资源临猗珍珠龙枣。第III类群包含

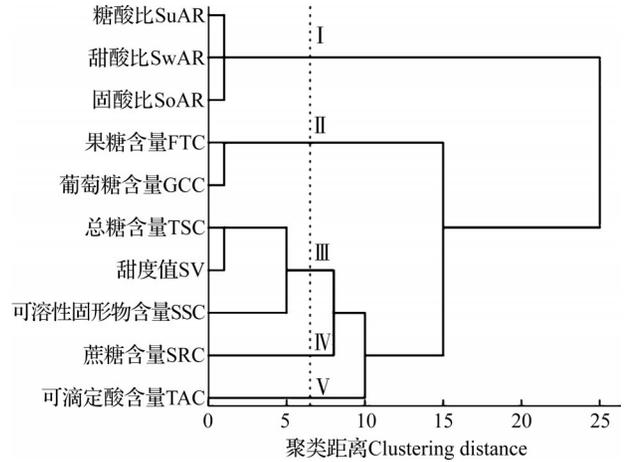
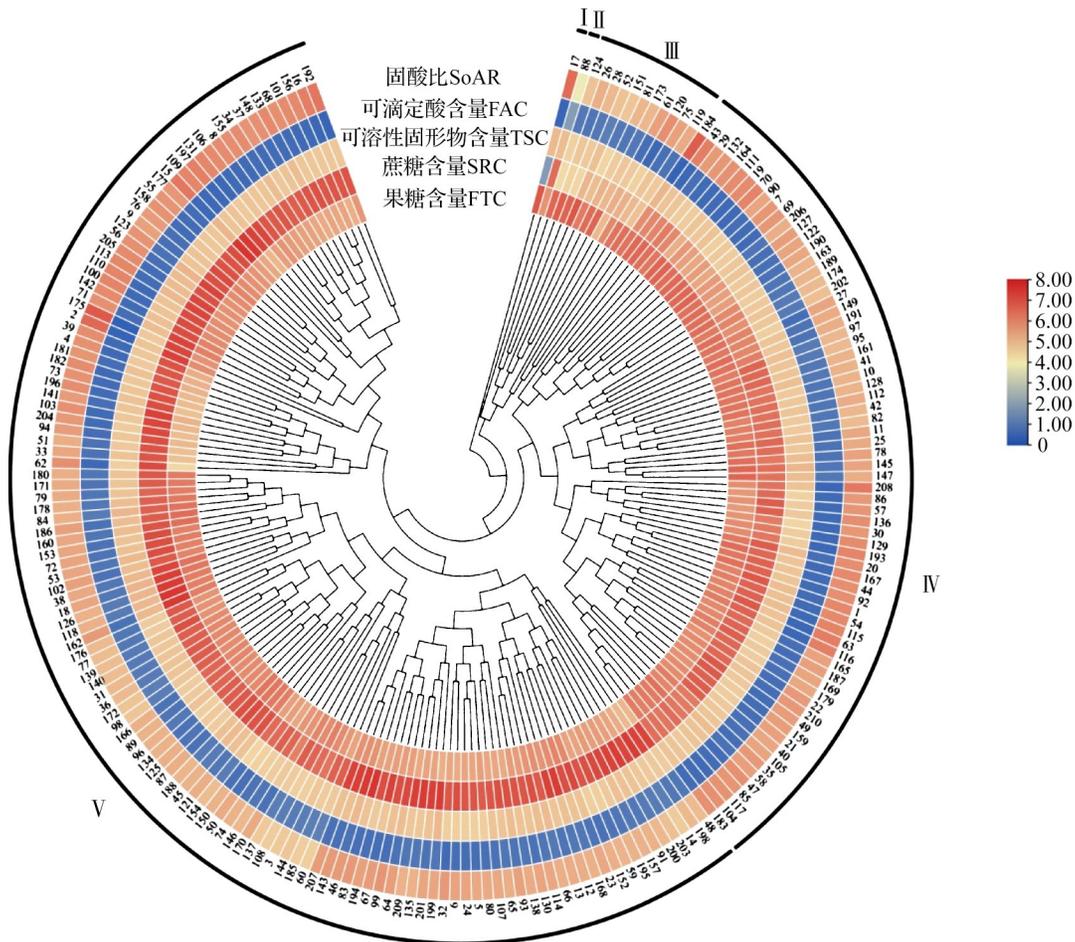


图3 枣糖酸风味指标的系统聚类
Fig. 3 Systematic cluster diagram of jujube sugar and acid flavor indexes



编号同表1

The numbers are the same as in table 1

图4 基于糖酸风味指标的枣品种聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of jujube varieties based on sugar-acid flavor indexes

11份资源,占供试品种的5.24%,代表性品种如大荔小圆枣、大荔知枣、湖北圆枣、黎城大马枣、界集小铃枣等。第IV类群包含70份资源,占供试品种的33.33%,一些地方主栽品种如婆枣、南京鸭枣、灌阳长枣、中阳木枣、临猗梨枣、运城相枣、太谷壶瓶枣、圆铃1号等都属于该类群。第V类群包含127份资源,占供试品种的60.47%,常见的地方品种如交城骏枣、沧县小枣、赞皇大枣、扁核酸、圆铃枣、金谷大枣、新郑灰枣、稷山板枣、北京鸡蛋枣、彬县晋枣、冷白玉枣、宁阳六月鲜、太谷郎枣等都属于该类群。

计算各个类群的5项糖酸风味评价指标的平均

表4 不同类别枣品种糖酸风味特征

Table 4 Sugar-acid flavor characteristics of different types of jujube varieties

类群 Group	数量 Number	占比(%) Proportion	果糖含量 (mg/g) FTC	蔗糖含量 (mg/g) SRC	可溶性固形物含量(%) SSC	可滴定酸含量(%) TAC	固酸比 SoAR	评价 Evaluation
I	1	0.48	127.84	2.32	32.50	0.34	95.59	低蔗糖型
II	1	0.48	57.41	95.07	31.00	2.43	12.76	高酸型
III	11	5.24	92.58	30.73	25.73	0.71	38.01	果糖优势型
IV	70	33.33	80.82	86.99	27.42	0.57	51.25	中间型
V	127	60.47	55.42	139.89	28.19	0.65	46.87	蔗糖优势型

3 讨论

3.1 测定指标的确定

糖和酸不仅是果实的重要营养成分,也是果实重要的风味物质。糖酸种类和含量是构成果实甜酸风味的重要因素^[18-19]。果糖、葡萄糖和蔗糖是枣果实所含的主要糖组分^[11-12, 20-21],脆熟期是枣果实成熟食用时期,因此本研究分析了210份不同枣品种资源脆熟期果实的果糖、葡萄糖和蔗糖含量。果实的甜味主要由糖贡献,但是不同种类的糖对甜味的贡献度不同,果糖、葡萄糖和蔗糖的甜度分别为1.75、0.75和1^[22-23],果糖甜度最高,因此较高的果糖含量可增加果实甜味^[24]。果糖含量高的果实可能比总糖含量高而果糖含量低的果实甜度更高,可见糖的种类和比例共同影响果实甜味,因此本研究采用总糖、可溶性固形物和甜度值共同评价糖对风味的影响。酸也是构成果实风味的重要物质,枣果实酸含量通常用可滴定酸表示^[25-26]。枣果实含有多种有机酸,如苹果酸、奎宁酸、柠檬酸、酒石酸、琥珀酸、富马酸等,其中以苹果酸、柠檬酸和奎宁酸为主^[27-28]。枣果实中酸含

值(表4),结果可知,第I类群资源的特点是果糖含量高,蔗糖含量最低,故将该类群定义为低蔗糖型。第II类群资源的特点是可滴定酸含量最高,将该类群定义为高酸型。第III类群资源的特点是果糖含量大于蔗糖含量,将该类群定义为果糖优势型。第IV类群资源的特点是果糖和蔗糖含量基本一致,可溶性固形物含量、可滴定酸含量和固酸比都居中,因此将该类群定义为中间型。第V类群资源的特点是蔗糖含量远高于果糖含量,因此将该类群定义为蔗糖优势型,多数枣品种属于这一类群,特点是果实成熟期蔗糖含量较高。

量相对较低,因此本研究采用可滴定酸含量评价不同资源的酸风味。果实的糖酸风味不仅取决于糖和酸的绝对含量,更取决于糖酸比值^[29],因此本研究采用固酸比、糖酸比和甜酸比共同评价枣种质果实的甜酸风味。

3.2 糖酸风味评价指标的筛选

本研究测定了210份枣品种资源脆熟期果实的果糖含量、葡萄糖含量、蔗糖含量、总糖含量、甜度值、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、糖酸比和甜酸比等10项影响糖酸风味品质的指标。其中蔗糖含量的范围最大,说明蔗糖含量在不同种质间含量差异较大。可溶性固形物含量、甜度值和总糖含量变异系数较小,表明这些指标在不同品种间差异相对较小。正态分布是一种连续型随机变量的概率分布,本研究10项指标中,8项指标符合正态分布,而不同品种的可溶性固形物和糖酸比不服从正态分布,其原因还需进一步研究。

果糖含量与葡萄糖含量、三种糖组分与总糖含量均呈极显著正相关,可滴定酸与固酸比、糖酸比和甜酸比均呈极显著负相关,固酸比、糖酸比与甜酸比两两之间均呈极显著正相关,总糖、可溶性固

形物含量与甜度值间都呈显著正相关,说明这些存在相关性的指标间有内在的必然联系。因子分析是从多个指标或因素中,经过相关系数矩阵内部结构的计算,提取出具有代表性因子的指标,从而通过降维实现分析指标的简单化^[30]。本研究通过因子分析提取了3个主因子,因子1包含固酸比、糖酸比、甜酸比和可滴定酸4项指标,结合相关性分析和指标的聚类分析结果,兼顾检测方法的方便性与高效性,保留可滴定酸和固酸比2项指标;因子2包含果糖、葡萄糖和甜度值,因子3包含蔗糖和可溶性固形物,指标聚类发现果糖和葡萄糖聚为一类,总糖、甜度值和可溶性固形物聚为一类,这与相关性分析结果也是一致的,同样考虑到检测的快捷与效率,保留果糖、蔗糖与可溶性固形物。由此,筛选了枣果实糖酸风味品质的评价指标:果糖、蔗糖和可溶性固形物为糖风味因子,可滴定酸为酸风味因子,固酸比为糖酸综合风味评价因子。

3.3 不同类群品种资源的特性及应用建议

基于上述5项评价指标,聚类分析将210份枣品种资源分为5个类群,第I类群仅包含1份种质在圆金枣,该品种为制干枣品种^[31],果糖和葡萄糖含量极高,蔗糖含量很低,可滴定酸含量较低,因果糖含量高而风味较甜。第II类群也仅包含1份资源临猗珍珠龙枣,该资源可滴定酸含量极高,是供试品种资源中酸含量最高的,且远高于其他资源,由于可滴定酸含量高,因此固酸比较低,风味酸,可作为高酸资源加以利用。第III类群资源的果糖和可滴定酸含量都较高,固酸比较低,因此定义为果糖优势型,根据指标特性可判定其风味为酸甜。第IV类群资源的果糖、葡萄糖和蔗糖含量都中等,一些资源的果糖和葡萄糖含量略高于蔗糖含量,另一些资源的果糖和葡萄糖含量稍低于蔗糖含量,可滴定酸含量中等,因此定义为中间型。第V类群资源占到供试品种的50%以上,该类群资源都具有较高含量的蔗糖和较低含量的果糖与葡萄糖,蔗糖含量显著高于果糖和葡萄糖的含量,因此定义为蔗糖优势型。果糖、葡萄糖和蔗糖是大部分果树果实的主要糖组分,但不同果树的糖组分比例不同,苹果^[32]、梨^[33]等为果糖积累型,桃子^[34]、柑橘^[35]等为蔗糖积累型,菠萝^[36]存在蔗糖积累型和单糖积累型两种类型。本研究210份枣品种资源基于糖酸指标可划分为5种不同的积累类型,系统认识了不同品种资源间糖酸风味的多样性。

针对不同类群品种资源的糖酸风味特性,生产

中可针对性应用。不同糖组分的口味感觉和功效有差异,如葡萄糖给人香甜绵软的感觉^[37],果糖通过中枢神经系统及外周胃肠激素联合介导而调控食欲^[38],可以根据这些原理选择相应特性的资源加以利用。新品种选育过程中也可以根据目标性状进行亲本选择,如临猗珍珠龙枣可作为杂交育种中的高酸亲本材料。低蔗糖型以果糖和葡萄糖两种单糖的含量较高,可在加工过程中将该类型资源作为提取单糖的重要原料。相应地,果糖优势型和蔗糖优势型可分别作为提取天然果糖或蔗糖的优异资源。本研究还建立了糖酸风味评价体系,可用于枣果实糖酸风味评价,以提高资源评价的效率。

参考文献

- [1] 曲泽洲,王永蕙.中国果树志:枣卷.北京:中国林业出版社,1991:1-2
Qu Z Z, Wang Y H. Chinafruitrecords: Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). Beijing: China Publishing Forestry House,1991:1-2
- [2] 刘孟军,汪民.中国枣种质资源.北京:中国林业出版社,2009:44-45
Liu M J, Wang M. Germplasm resources of Chinese jujube. Beijing: China Forestry Publishing House,2009:44-45
- [3] 李登科,牛西午,田建保.中国枣品种资源图鉴.北京:中国农业出版社,2013,523-526
Li D K, Niu X W, Tian J B. The illustrated germplasm resources of Chinese jujube. Beijing: China Agriculture Press,2013,523-526
- [4] 吴昊,苏万龙,石美娟,薛晓芳,任海燕,王永康,赵爱玲,李登科.枣种质果实性状多样性分析与综合评价.植物遗传资源学报,2022,23(6):1613-1625
Wu H, Su W L, Shi M J, Xue X F, Ren H Y, Wang Y K, Zhao A L, Li D K. Diversity analysis and comprehensive evaluation of jujube fruit traits. Journal of Plant Genetic Resources,2022,23(6):1613-1625
- [5] Wang C, Wang R, Fu C D, Jiang X X, Li X G, Han G, Zhang J F. Combining bioactive compounds and antioxidant activity profiling provide insights into assessment of geographical features of Chinese jujube. Food Bioscience,2022,46:101573
- [6] Jiang T Y, He F, Han S W, Chen C, Zhang Y N, Che H L. Characterization of cAMP as an anti-allergic functional factor in Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). Journal of Functional Foods,2019,60:103414
- [7] Zhang L, Liu X Q, Wang Y J, Liu G P, Zhang Z, Zhao Z X, Cheng H L. In Vitro antioxidative and immunological activities of polysaccharides from *Ziziphus jujuba* cv. muzao. International Journal of Biological Macromolecules,2017,95:1119-1125
- [8] Rashwan A K, Karim N, Shishir M R I, Bao T, Lu Y, Chen

- W. Jujube fruit: Apotential nutritious for the development of functional food products. *Journal of Functional Foods*, 2020, 75: 104205
- [9] Lu Y, Bao T, Mo J L, Ni J D, Chen W. Research advances in bioactive components and health benefits of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 2021, 22(6): 431-449
- [10] Qiao L, Cao M H, Zheng J, Zhao Y H, Zheng Z L. Gene coexpression network analysis of fruit transcriptomes uncovers a possible mechanistically distinct class of sugar/acid ratio-associated genes in sweet orange. *BMC Plant Biology*, 2017, 17: 186
- [11] 赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 隋申玲, 任海燕, 李登科. 枣果实糖酸组分特点及不同发育阶段含量的变化. *园艺学报*, 2016, 43(6): 1175-1185
Zhao A L, Xue X F, Wang Y K, Sui C L, Ren H Y, Li D K. The sugars and organic acids composition in fruits of different Chinese jujube cultivars of different development stages. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(6): 1175-1185
- [12] 梁丰志, 孙金梅, 童盼盼, 张亚若, 王迪, 王江波. 不同糖积累型枣糖酸积累特征及差异性分析. *湖北农业科学*, 2021, 60(9): 78-83
Liang F Z, Sun J M, Tong P P, Zhang Y R, Wang D, Wang J B. Analysis on the characteristics and differences of sugar-acid accumulation in different sugar accumulation types of jujube. *Hubei Agricultural Sciences*, 2021, 60(9): 78-83
- [13] 贺璇, 吕民松, 姚入玉, 曹格, 冯一峰. '灰枣'品系果实糖酸组分及风味研究. *中国果树*, 2021(7): 51-55
He X, Lv M S, Yao R Y, Cao G, Feng Y F. Study on sugar-acid components and flavor of 'Huizao' strain fruits. *China Fruit*, 2021(7): 51-55
- [14] 陈万年, 鲍荆凯, 潘依玲, 吴翠云, 王玖瑞, 刘孟军, 闫芬芬. 枣JMS2×交城5号F1代糖酸组分遗传变异分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(3): 767-779
Chen W N, Bao J K, Pan Y L, Wu C Y, Wang J R, Liu M J, Yan F F. Genetic variation analysis of sugar-acid fraction in F₁ hybrids of jujube JMS2 × Jiaocheng 5. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(3): 767-779
- [15] Fu L, Yang J N, Shang H L, Song J X. Changes of characteristic sugar, fatty acid, organic acid and amino acid in jujubes at different dry mature stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 104: 104104
- [16] 聂继云. 果品及其制品质量安全检测·营养品质和功能成分. 北京: 中国质检出版社, 2017: 168-170
Nie J Y. Determining quality and safety of fruits and derived products nutritional quality and functional components. Beijing: China Quality Press, 2017: 168-170
- [17] 姚改芳, 张绍玲, 曹玉芬, 刘军, 吴俊, 袁江, 张虎平, 肖长城. 不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征. *中国农业科学*, 2010, 43(20): 4229-4237
Yao G F, Zhang S L, Cao Y F, Liu J, Wu J, Yuan J, Zhang H P, Xiao C C. Characteristics of components and contents of soluble sugars in pear fruits from different species. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(20): 4229-4237
- [18] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展. *果树学报*, 2015, 32(2): 304-312
Zheng L J, Nie J Y, Yan Z. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(2): 304-312
- [19] 关军峰. 果品品质研究. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2001: 11-15
Guan J F. Study on fruit quality. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2001: 11-15
- [20] 周晓凤. 基于果实糖酸分析的枣种质资源遗传多样性研究. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019
Zhou X F. Genetic diversity research based on fruit sugar and acid of jujube germplasm. Alar: Tarim University, 2019
- [21] 赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 隋申玲, 任海燕, 李登科. 枣和酸枣果实糖酸组分及含量特征分析. *塔里木大学学报*, 2016, 28(3): 29-36
Zhao A L, Xue X F, Wang Y K, Sui C L, Ren H Y, Li D K. Characteristic analysis of sugars and organic acids components and contents of Chinese jujube and wild jujube fruits. *Journal of Tarim University*, 2016, 28(3): 29-36
- [22] Zhang L T. The sweetness of sugars. *Journal of South China University of Technology*, 2002, 30(1): 89-91
- [23] 夏延斌. 食品化学. 北京: 中国农业出版社, 2004: 33
Xia Y B. Food chemistry. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 33
- [24] 章稚青. 高果糖及其在食品工业中的应用(上). *食品与机械*, 1991(4): 5-7
Zhang Z Q. High fructose and its application in food industry (Part 1). *Food and Machinery*, 1991(4): 5-7
- [25] 袁野, 胡兰, 刘平, 刘孟军. '蜂蜜罐'枣实生后代果实性状变异分析与评价. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(3): 539-545
Yuan Y, Hu L, Liu P, Liu M J. Evaluation of fruit character in naturally-pollinated progeny of *Ziziphus jujuba* Mill. 'Fengmiguang'. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(3): 539-545
- [26] 吴硕, 贾彦丽, 智福军, 魏薇. 31份枣资源19个性状的多元统计分析. *河北农业科学*, 2020, 24(5): 56-62, 70
Wu S, Jia Y L, Zhi F J, Wei W. Multivariate statistical analysis of 19 characters of 31 jujube resources. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2020, 24(5): 56-62, 70
- [27] 赵爱玲, 薛晓芳, 任海燕, 王永康, 李登科, 李毅. 枣种质资源有机酸组分及含量特征分析. *西北农业学报*, 2021, 30(8): 1185-1198
Zhao A L, Xue X F, Ren H Y, Wang Y K, Li D K, Li Y. Analysis of composition and content characteristics of organic acids in jujube germplasm. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2021, 30(8): 1185-1198
- [28] 吴梦嘉. 枣和酸枣有机酸含量差异分析以及关键基因筛选. 泰安: 山东农业大学, 2021
Wu M J. Difference analysis of organic acid content and

- screening of key genes between jujube and sour jujube. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2021
- [29] 王海波, 陈学森, 辛培刚, 张小燕, 慈志娟, 石俊, 张红. 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价. 果树学报, 2007, 24(4): 513-516
Wang H B, Chen X S, Xin P G, Zhang X Y, Ci Z J, Shi J, Zhang H. Study on sugar and acid constituents in several early apple cultivars and evaluation of their flavor quality. Journal of Fruit Science, 2007, 24(4): 513-516
- [30] Jaiswal A K, Gupta S, Abu-Ghannam N. Kinetic evaluation of colour, texture, polyphenols and antioxidant capacity of Irish yolk cabbage after blanching treatment. Food Chemistry, 2012, 131(1): 63-72
- [31] 杜庆超, 赵荣金, 张成文, 孟祥禄, 李莉. 枣制干新品种在圆金枣的选育. 中国果树, 2011(2): 8-10
Du Q C, Zhao R J, Zhang C W, Meng X L, Li L. Breeding of a new dried jujube variety 'Chiyuanjin'. China Fruits, 2011(2): 8-10
- [32] 李娅楠, 闫雷玉, 张波, 杨舜博, 赵郑阳. 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究. 果树学报, 2021, 38(11): 1877-1889
Li Y N, Yan L Y, Zhang B, Yang S B, Zhao Z Y. A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11): 1877-1889
- [33] 樊进补. 不同品种梨果实糖酸含量及组分分析. 南京: 南京农业大学, 2020
Fan J B. Analysis of sugar and acid content and components in different pear fruits. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020
- [34] 朱更瑞, 王新卫, 曹珂, 方伟超, 陈昌文, 王力荣. 不同生态品种群桃果实糖酸及其组分含量分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(5): 891-904
Zhu G R, Wang X W, Cao K, Fang W C, Chen C W, Wang L R. Analysis of sugars and acid contents and its compositions in different ecological peach cultivar groups. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(5): 891-904
- [35] 林媚, 姚周麟, 王天玉, 徐阳, 徐建国, 张伟清. 8个杂交柑橘品种的糖酸组分含量及特征研究. 果树学报, 2021, 38(2): 202-211
Lin M, Yao Z L, Wang T Y, Xu Y, Xu J G, Zhang W Q. A study on the components and characteristics of sugars and acids in 8 hybrid citrus cultivars. Journal of Fruit Science, 2021, 38(2): 202-211
- [36] 陆新华, 孙德权, 吴青松, 刘胜辉, 张秀梅, 孙光明. 不同类群菠萝种质果实糖酸组分含量分析. 果树学报, 2013, 30(3): 444-448
Lu X H, Sun D Q, Wu Q S, Liu S H, Zhang X M, Sun G M. Analysis of components and contents of soluble sugars and organic acids in pineapple germplasm. Journal of Fruit Science, 2013, 30(3): 444-448
- [37] 刘有春, 陶承光, 魏永祥, 刘成, 王兴东, 刘威生, 杨艳敏. 越橘果实糖酸含量和不同发育阶段的变化及其与叶片中可溶性糖含量的相关关系. 中国农业科学, 2013, 46(19): 4110-4118
Liu Y C, Tao C G, Wei Y X, Liu C, Wang X D, Liu W S, Yang Y M. Fruit sugar and acid content, variation at different fruit development stages and their relationship with leaf soluble sugar content of blueberry. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(19): 4110-4118
- [38] 甘凯文, 于浩泳. 果糖在食欲调控中的作用机制. 医学综述, 2021, 27(5): 906-911
Kam H, Yu H Y. Mechanism of fructose in appetite regulation. Medical Recapitulate, 2021, 27(5): 906-911