

中亚沙棘 × 中国沙棘杂交 F₁代果实的主要风味物质 含量分析

胡建忠^{1,2}

¹水利部沙棘开发管理中心, 北京

²国际沙棘协会技术委员会, 北京

收稿日期: 2021年8月11日; 录用日期: 2021年9月22日; 发布日期: 2021年9月30日

摘要

双中杂交沙棘是以中亚沙棘为母本、中国沙棘为父本获得的杂种优株F₁代, 为了评定其果实主要风味物质含量水平, 应用气质联用仪GCMS-QP2010、气相色谱仪GC-2010等, 对10个优株分别测定了鲜果的呈香和呈味物质含量, 发现呈香物质共10类170个, 主要为酯类物质, 有103个, 占60.6%, 其含量占到总呈香物质含量的90%以上; 呈味物质中的糖类主要为葡萄糖、果糖和蔗糖, 酸类主要为奎宁酸和苹果酸, 糖酸比值很大, 最低也在12以上, 酚类物质也有一定含量。综合各指标来看, 10个双中杂雌沙棘优株中, 风味较好的主要为“双中杂雌沙棘01号”、“双中杂雌沙棘08号”、“双中杂雌沙棘50号”, 相信这些优株会为今后以鲜食为主要用途的沙棘育种工作提供很好的物质材料。

关键词

沙棘, 双中杂雌优株, F₁代, 呈香物质, 呈味物质

Analysis on Main Flavor Substances Contents of Fresh Fruits of F₁ Hybrid of *Hippophae turkestanica-sinensis*

Jianzhong Hu^{1,2}

¹China National Administration Center for Seabuckthorn Development, Beijing

²Scientific Committee of International Seabuckthorn Association, Beijing

Received: Aug. 11th, 2021; accepted: Sep. 22nd, 2021; published: Sep. 30th, 2021

Abstract

In order to estimate the main flavor substances contents of the fruits from the so-called *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid F₁ generation, *H. rhamnoides* ssp. *turkestanica* as the female parent, *Hippophae r. ssp. sinensis* as the male parent, the fruits from 10 superior plants were collected to analyze the contents of aromatic substance and taste substance, with the aid of the instruments like GCMS-QP2010 and GC-2010. It showed that there were 170 kinds of aromatic substances belong to 10 categories in the fruits, among them esters contained 103 kinds (60.6%) and had more than 90% amounts of the total esters. The taste substance contained three kinds of sugars-glucose, fructose and sucrose, two kinds of acids-Quinic acid and malic acid, and a few polyphenol. The sugar acid ratios of the fruits were big, and the least was above 12. According to comprehensive evaluations of above-mentioned various factors, the good F₁ generations with best flavor were “Shuangzhongzacishaji 01” “Shuangzhongzacishaji 08” “Shuangzhongzacishaji 50”, which would be good materials for seabuckthorn breeding of fresh food purpose.

Keywords

Seabuckthorn, Female Seedling of *Hippophae turkestanica-sinensis* Hybrid, F₁ Generation, Aromatic Substance, Taste Substance

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人类对水果的利用已进入到第三代。第三代水果的营养价值比前两代水果高得多，同时多为药食同源，使种植和开发第三代水果成为 21 世纪果品发展的新趋势[1]。沙棘属植物(*Hippophae*)是第三代水果中的佼佼者，在我国青藏高原及周边地区广为分布和种植[2]，其中以沙棘工业原料林[3]为近年来国内种植热点，以提供沙棘果实和叶子为主要经营目标。

在沙棘工业原料林种植中，除引入大果沙棘外，推广蒙中杂交沙棘已成为了一种时尚。利用野生的中国沙棘(*H. rhamnoides* ssp. *sinensis*)与引进的大果沙棘——实际上为蒙古沙棘(*H. r. ssp. mongolica*)之间开展的杂交沙棘育种研究，取得的蒙中杂交沙棘 F₁ 代适应性强，产量较高，其中还有一些口感很好[4]，有培育为鲜食品种、在市场以水果形式直接销售的广阔前景。同期在中国沙棘与中亚沙棘(*H. r. ssp. turkestanica*)两个亚种间开展的杂交试验，也取得一些优良杂交材料。本文即以中亚沙棘 × 中国沙棘杂交 F₁ 代——双中杂雌沙棘优株为对象，开展果实风味物质研究，希望为继之而来以鲜食为主要用途的沙棘选择育种、杂交育种和引种工作奠定科学基础。

2. 材料与方

2.1. 沙棘果实原料

10 个双中杂雌沙棘优株，系“中亚沙棘 × 中国沙棘”杂交 F₁ 代，定植于内蒙古鄂尔多斯东胜九成宫，2014 年秋季取样时已经定植 16 年，尚保留 51 株。选择其中表现较好的 10 个雌性优株(表 1)取样，测定鲜全果呈香物质和呈味物质的成分和含量。

Table 1. Basic information of fruits from 10 superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid**表 1.** 双中杂交沙棘果实取样 10 个优株的基本性状

优株编号	树高(cm)	冠幅(cm)	地径(cm)	果色	果形系数	百果重(g)	果实株产(kg)
双中杂雌沙棘 01 号	226	238	9.5	橘红色	0.96	14.02	2.80
双中杂雌沙棘 04 号	330	265	13.6	黄色	0.96	13.76	6.46
双中杂雌沙棘 05 号	300	288	10.2	黄色	0.93	11.98	7.02
双中杂雌沙棘 08 号	305	275	9.9	橘红色	0.92	18.26	9.36
双中杂雌沙棘 09 号	405	387	16.5	黄色	0.95	19.20	27.67
双中杂雌沙棘 15 号	418	257	13.8	黄色	0.89	12.14	12.32
双中杂雌沙棘 36 号	342	282	14.2	红色	0.90	15.70	9.01
双中杂雌沙棘 38 号	360	263	10.2	黄色	0.79	24.50	12.23
双中杂雌沙棘 39 号	330	286	11.5	红色	0.95	8.70	7.32
双中杂雌沙棘 50 号	330	281	14.4	黄色	0.76	15.74	14.28
优株平均	335	282	12.4	-	0.90	15.40	10.85
群体平均	320	256	12.1	-	0.90	13.20	6.50

2.2. 呈香物质测试方法

2.2.1. 实验仪器

气质联用仪 GCMS-QP2010 (日本岛津公司); 顶空固相微萃取设备(萃取针, 萃取头, 15 mL 透明顶空萃取瓶)。

2.2.2. 样品前处理方法

分别取不同沙棘优株鲜果, 称量 5 g 左右, 倒于研钵中捣碎, 将渣汁混合液于垫有 4 层纱布的漏斗中过滤, 得滤汁。将滤汁分别装入 15 mL 的固相微萃取瓶中, 备用。

2.2.3. 顶空固相微萃取

将装有样品及转子的固相微萃取瓶加盖密封后, 置于固相微萃取仪器上预热; 将萃取头插入固相微萃取瓶的硅橡胶瓶垫, 在 45℃ 下吸附 30 min; 待吸附完毕, 取出插入 GC-MS 进样口, 进行 GC-MS 检测。

2.2.4. GC-MS 条件

色谱柱: Rtx-5MS (0.25 mm × 30 m × 0.25 μm)。

升温程序: 起始温度 45℃, 保持 10 min, 然后以 3℃/min 的速率升温到 100℃, 保持 1 min, 再以 5℃/min 的速率升温到 150℃, 保持 5 min, 最后以 10℃/min 的速率升温到 250℃, 保持 10 min。

采用分流的方式进样。

2.2.5. 质谱条件

离子源: EI; 接口温度: 250℃; 离子源温度: 200℃; 扫描范围 m/z 33~400。

2.3. 呈味物质测试方法

2.3.1. 实验仪器

镊子; 万能高速粉碎机 DE-100g; Sartorius BS223S 电子天平(上海精密仪器仪表有限公司); 鼓风干燥箱; BluePard Cu420 电热恒温水浴锅(上海圣科仪器设备有限公司); 布氏漏斗; 三角烧瓶; GC-2010 气

相色谱仪(日本岛津公司)。

2.3.2. 试剂

石油醚、乙醇、乙酸均为分析纯(北京化学试剂公司);六甲基二硅胺烷、三甲基氯硅烷、吡啶均为分析纯试剂;蔗糖、果糖、葡萄糖、苹果酸、奎宁酸等标准品均为 sigma 试剂。

2.3.3. 提取液制备

称取 5.0 g 左右后的沙棘果肉于三角烧瓶中,准确称重,充分粉碎后,加入 80% 甲醇后,在 55℃ 超声提取 20 min; 过滤,作为待测液。

2.3.4. 气相色谱分析

色谱柱: Rtx-5 石英毛细柱; 升温程序: 初温 180℃, 保持 2 min, 以 6℃/min 升至 200℃, 保持 6 min, 再以 40℃/min 升至 280℃, 保持 8 min。FID 检测器温度为 300℃; 进样口温度为 280℃; H₂ 流速 30 mL/min; 尾吹气流速 30 mL/min; 柱内载气流速: 0.8 mL/min; 空气流速 300 mL/min。

2.3.5. 化合物定量方法

使用外标法定量。

3. 结果与分析

水果风味物质包括挥发性呈香物质和非挥发性呈味物质[5], 下面分别就研究所得资料开展分析探讨。

3.1. 呈香物质

3.1.1. 酯类

酯是酸(羧酸或无机含氧酸)与醇起反应生成的一类有机化合物。低级酯是具有芳香气味的液体。10 个双中杂雌沙棘优株鲜果中, 测出的酯类物质高达 103 个, 详见表 2。

Table 2. Esters contents of fresh fruits from superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid
表 2. 双中杂雌沙棘优株鲜果所含酯类物质含量一览

化合物名称	CAS	01 号 (%)	04 号 (%)	05 号 (%)	08 号 (%)	09 号 (%)	15 号 (%)	36 号 (%)	38 号 (%)	39 号 (%)	50 号 (%)	平均值 ± 标准差 (%)
戊酸-2-甲基丁酯	55590-83-5				30.89	30.80	31.68		33.01	29.55		31.19 ± 0.93
戊酸异丁酯	23361-74-2					30.60						30.60 ± 0
戊酸仲丁酯	23361-74-2				21.09		13.14	34.05	15.82	9.75	29.67	20.59 ± 7.68
3-甲基丁酸-2-甲基丁酯	2445-77-4		26.82	23.53		0.04		24.25			27.33	20.39 ± 8.14
异戊酸异戊酯	659-70-1	45.80	8.94	2.74	9.64	13.60	9.97	6.83	12.79	7.67	4.13	12.211 ± 7.1114
异戊酸异丁酯	589-59-3	23.72	33.70	37.49	1.18	2.35	2.11	1.46	2.79	2.06	2.63	10.95 ± 12.41
3-甲基丁酸乙酯	108-64-5	3.01	2.34	0.68	1.23		8.59		6.14	24.54		6.65 ± 5.67
异戊酸乙酯	108-64-5							5.90			4.80	5.35 ± 0.55
2-甲基丁酸-2-甲基丙酯	869-08-9	5.24										5.24 ± 0
2-甲基丁酸-3-甲基丁酯	27625-35-0				4.61							4.61 ± 0
己酸异丁酯	105-79-3	1.17	5.14	0.78	8.78	2.93	8.52	2.13	4.39	1.43	5.28	4.06 ± 2.37
3-甲基丁酸丁酯	109-19-3			7.46	0.38							3.92 ± 3.54

Continued

2-甲基丁酸-2-甲基丁酯	2445-78-5	3.65					3.44			3.31		3.45 ± 0.12
丁酸仲丁酯	819-97-6		3.15		4.21	4.44	4.92	1.40	1.01	1.45	3.34	2.99 ± 1.28
异缬草酸异丙酯	32665-23-9	1.98	1.58	3.11	1.73	1.41	2.00	3.28	1.75	0.50	2.68	2.00 ± 0.61
2-甲基丁酸仲丁酯	869-08-9				4.81		2.50	0.82	0.91	0.88	1.25	1.86 ± 1.20
异戊酸己酯	10032-15-2	1.52										1.52 ± 0
乙酸壬酯	143-13-5		0.88	3.80				0.68			0.35	1.43 ± 1.19
2-甲基丁酸乙酯	7452-79-1	1.48	0.33	0.14	0.37	0.93	1.45	1.29	1.73	5.12	1.32	1.42 ± 0.82
2-甲基丁酸己酯	10032-15-2									1.17		1.17 ± 0
2-甲基丁酸异丁酯	869-08-9					1.07						1.07 ± 0
2-甲基丁酸-2-二甲基丙酯	2445-67-2		1.42	0.76			0.77					0.98 ± 0.29
丁酸异戊酯	106-27-4	1.60	1.29	0.07	0.71	0.96	1.22	0.69	1.29		0.34	0.91 ± 0.40
...
化合物含量合计		97.10	89.90	83.90	95.29	94.30	98.33	86.35	88.80	95.02	89.21	91.82 ± 4.19

注：限于篇幅，省略了含量较少的80种酯类化合物及数据。

从优株鲜果所含酯类化合物的种类来看，虽然总的酯类物质有103个，但分配到每个优株，平均也就 31.20 ± 2.68 个化合物，最多的37个，最少的也有25个，相对比较均匀。10个优株都含有的酯类有4个，分别是己酸异丁酯、异缬草酸异丙酯、异戊酸异丁酯、异戊酸异戊酯。9个优株都含有的酯类有3个，分别是丁酸异戊酯、己酸-1-甲乙酯、苯甲酸异戊酯。有52个酯类，仅在1个优株中含有，而在其他9个优株中未测出。

从优株鲜果所含酯类化合物的含量来看，平均为 $91.82\% \pm 4.19\%$ ，即酯类化合物含量占到10类化合物物质含量的90%以上。从酯类化合物之间比较，含量最高的为戊酸-2-甲基丁酯，其值平均达到31.19%。从10个优株间比较，酯类化合物含量最高的优株为“双中杂雌沙棘01号”的97.10%，最低的优株为“双中杂雌沙棘05号”，也达83.90%。

3.1.2. 醇类

醇是脂肪烃、脂环烃或芳香烃侧链中的氢原子被羟基取代而成的化合物。植物香油中有多种萜醇和芳香醇，它们以游离状态或以酯、缩醛的形式存在。还有许多醇以酯的形式存在于动植物油、脂、蜡中。10个双中杂雌沙棘优株鲜果中，测出的醇类物质有17个，详见表3。

Table 3. Alcohols contents of fresh fruits from superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid

表3. 双中杂雌沙棘优株鲜果所含醇类物质含量一览

化合物名称	CAS	01号 (%)	04号 (%)	05号 (%)	08号 (%)	09号 (%)	15号 (%)	36号 (%)	38号 (%)	39号 (%)	50号 (%)	平均值 ± 标准差 (%)
芳樟醇	78-70-6			0.37	3.63							2.00 ± 1.63
2-甲基-2,4-戊二醇	107-41-5	0.10	0.21	0.48							1.42	0.55 ± 0.43
辛醇	111-87-5			0.39								0.39 ± 0
正辛醇	111-87-5	0.29	0.19		0.07	0.21	0.15	0.24	0.29	0.34	0.23	0.22 ± 0.06
左旋- α -萜品醇	10482-56-1			0.20								0.2 ± 0

Continued

正己醇	111-27-3	0.08	0.13	0.25	0.12	0.16	0.14	0.12	0.27	0.37	0.24	0.19 ± 0.08
左旋- α -松油醇	10482-56-1				0.18							0.18 ± 0
庚醇	111-70-6		0.06	0.26		0.13		0.09	0.15	0.35	0.16	0.17 ± 0.08
壬醇	143-08-8									0.15		0.15 ± 0
2-丙基-1-戊醇	58175-57-8			0.11							0.09	0.10 ± 0.01
2-乙基己醇	104-76-7							0.12	0.09	0.08		0.10 ± 0.02
...
化合物含量合计		0.6	0.74	2.17	4.01	0.5	0.29	0.63	0.8	1.29	2.14	1.32 ± 0.87

注：省略了含量较少的6种醇类化合物及数据。

从优株鲜果所含醇类化合物的种类来看，虽然总的醇类物质有17个，但分配到每个优株，平均也就 4.80 ± 1.08 个化合物，最多的8个，最少的仅2个。10个优株都含有的醇类只有1种——正己醇。9个优株都含有的醇类也仅有1种——正辛醇。有10个醇类，仅在1个优株中含有。

从优株鲜果所含醇类化合物的含量来看，平均仅为 $1.32\% \pm 0.87\%$ ，含量很少。从醇类化合物之间比较，含量最高的为芳樟醇，其值为2%。从10个优株间比较，醇类化合物含量最高的优株为“双中杂雌沙棘08号”的4.01%，最低的优株为“双中杂雌沙棘01号”，仅0.60%。

3.1.3. 萜烯类

萜烯类化合物是指具有 $(C_5H_8)_n$ 通式以及其含氧和不同饱和程度的衍生物，可以看成是由异戊二烯或异戊烷以各种方式连结而成的一类天然化合物，其中的烃类常单独称为萜烯。10个双中杂雌沙棘优株鲜果中，测出的萜烯类物质有14种，详见表4。

Table 4. Terpenes contents of fresh fruits from superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid

表4. 双中杂雌沙棘优株鲜果所含萜烯类物质含量一览

化合物名称	CAS	01号 (%)	04号 (%)	05号 (%)	08号 (%)	09号 (%)	15号 (%)	36号 (%)	38号 (%)	39号 (%)	50号 (%)	平均值 ± 标准差 (%)
长叶烯	475-20-7	0.03	4.17	5.2				3.94	2.95			3.26 ± 1.41
石竹烯	87-44-5	0.03	1.02	1.13				0.95	0.61			0.75 ± 0.34
顺式-环蒜头烯	22469-52-9		0.39									0.39 ± 0
长叶环烯	1137-12-8			0.49					0.22			0.36 ± 0.14
顺式- α -长叶萜烯	1493-69-2			0.33								0.33 ± 0
2-乙基-5-甲基-1,4-二恶烷	53907-91-8				0.05		0.4		0.48		0.35	0.32 ± 0.14
(+)- α -长叶萜烯	1493-69-2		0.25					0.34	0.2			0.26 ± 0.05
α -石竹烯	6753-98-6								0.2			0.20 ± 0
卡拉烯	483-77-2	0.1										0.10 ± 0
甘菊蓝	275-51-4	0.1					0.07					0.09 ± 0.02
1,3-二甲基-1-环己烯	2808-76-6	0.11			0.05							0.08 ± 0.03

Continued

古巴烯	3856-25-5		0.05									0.05 ± 0
左旋柠檬烯	5989-27-5			0.03								0.03 ± 0
(-)-杜松烯	39029-41-9	0.01										0.01 ± 0
化合物含量合计		0.38	5.83	7.20	0.13	0.00	0.47	5.23	4.66	0.00	0.35	2.43 ± 2.64

从优株鲜果所含萜烯类化合物的种类来看,虽然总的萜烯类物质有14个,但分配到每个优株,平均也就 3.00 ± 1.80 个萜烯类化合物,最多的6个,其中有2个优株没有发现萜烯类化合物存在。长叶烯石竹烯在5个优株测得,有7种萜烯类仅在1个优株发现。

从优株鲜果所含萜烯类化合物的含量来看,平均仅为 $2.43\% \pm 2.64\%$,含量很少。从萜烯类化合物之间比较,含量最高的为长叶烯,平均值为3.26%。从10个优株间比较,萜烯类化合物含量最高的优株为“双中杂雌沙棘05号”的7.20%。

3.1.4. 其他7类

长链烷烃类、醛类、酮类、简单苯衍生物类、有机酸类、醚类及生物碱类也为呈香物质,在10个优株鲜果所含的种类及数量更少,在此一并叙述,也限于篇幅,不再列表显示。

长链烷烃类化合物共10个,平均分配到每个优株仅为 1.80 ± 0.80 个化合物,最多的4个,最少的仅1种。有5个烷烃类化合物,仅在1个优株中含有。从优株所含烷烃类化合物的含量来看,合计值平均仅为 $0.86\% \pm 0.99\%$,含量很少。从烷烃类化合物之间比较,含量最高的为1-(己氧基)-4-甲基己烷,其平均值为2.38%。从10个优株间比较,烷烃类化合物含量最高的优株为“双中杂雌沙棘38号”的3.25%。

醛类化合物共7个,平均分配到每个优株仅为 2.37 ± 1.89 个化合物,最多的5个,最少的仅2种。庚醛在10个优株中有发现,有1个醛类在1个优株中出现。从优株所含醛类化合物的含量来看,合计值平均仅为 $2.37\% \pm 1.89\%$,含量较少。从醛类化合物之间比较,含量最高的为壬醛,其平均值为2.41%。从10个优株间比较,醛类化合物含量最高的优株为“双中杂雌沙棘50号”的6.35%。

酮类化合物共6个,平均分配到每个优株仅为 1.00 ± 0.60 个化合物,最多的2个,有3个优株无。甲基庚烯酮在4个优株中有发现,4个酮类在3个优株中出现。从优株所含酮类化合物的含量来看,合计值平均仅为 $0.81\% \pm 0.90\%$,含量很少。从酮类化合物之间比较,含量最高的为甲基庚烯酮,其平均值为1.63%。从10个优株间比较,酮类化合物含量最高的优株为“双中杂雌沙棘39号”的2.75%。

简单苯衍生物类化合物共5个,平均分配到每个优株仅为 0.80 ± 0.64 个化合物,最多的2个,有4个优株无。对二甲苯在3个优株中有发现。从优株所含苯类化合物的含量来看,平均仅为 $0.80\% \pm 0.64\%$,含量很少。苯类化合物的平均含量都在0.1%以下;优株合计含量均在0.15%之下。

有机酸类化合物共4个,平均分配到每个优株仅为 1.00 ± 0.40 个化合物,最多的2个,有2个优株无。羟基异戊酸在6个优株中有发现。从优株所含有有机酸类化合物的含量来看,平均仅为 $0.21\% \pm 0.16\%$,含量极微。单个有机酸类化合物的平均含量都在0.32%以下;优株有机酸类化合物合计含量均在1%之下。

醚类化合物共3个,最多的1个,有5个优株无。正丁醚在3个优株中有发现。从优株所含醚类化合物的含量来看,平均仅为 $0.03\% \pm 0.03\%$,含量极微。醚类化合物的平均含量都在0.1%以下;优株合计含量也均在1%之下。

生物碱类化合物共2个,归属4个优株,有6个优株无。从优株所含生物碱类化合物的含量来看,合计值平均仅为 $0.09\% \pm 0.11\%$,含量极微。

3.2. 呈味物质

3.2.1. 糖类

糖类是指样品中原本有的和水解后能产生具有还原性的糖,包括所有还原糖(果糖、葡萄糖、麦芽糖、乳糖)和酸水解后能生成还原糖的双糖(蔗糖)、多糖等,一般用总糖来表示。总糖是制作糕点、蜜饯、果酒等诸多食品的重要理化指标。10个双中杂雌沙棘优株鲜果所含蔗糖、果糖、葡萄糖3类糖的含量测定数据,全列于表5中。

Table 5. Three types' sugar contents of fresh fruits from superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid
表 5. 双中杂雌沙棘优株鲜果所含蔗糖、果糖、葡萄糖 3 类糖的含量

优株名称	蔗糖含量(mg/g)	果糖含量(mg/g)	葡萄糖含量(mg/g)	合计(mg/g)
双中杂雌沙棘 01 号	1.59	18.16	31.18	50.93
双中杂雌沙棘 04 号	1.14	25.48	42.68	69.30
双中杂雌沙棘 05 号	1.94	12.39	38.50	52.83
双中杂雌沙棘 08 号	0.99	12.56	24.08	37.63
双中杂雌沙棘 09 号	1.32	20.11	38.07	59.50
双中杂雌沙棘 15 号	0.98	42.69	69.72	113.39
双中杂雌沙棘 36 号	1.25	15.88	40.30	57.43
双中杂雌沙棘 38 号	0.98	13.83	20.24	35.05
双中杂雌沙棘 39 号	1.46	19.74	30.69	51.89
双中杂雌沙棘 50 号	1.06	22.97	29.51	53.54
平均值 ± 标准差	1.27 ± 0.25	20.38 ± 6.00	36.50 ± 9.36	58.15 ± 5.20

从 10 个优株鲜果 3 类糖含量测定结果来看,葡萄糖含量最高,达 36.50 ± 9.36 kg/g; 果糖含量居次,为 20.38 ± 6.00 kg/g; 蔗糖含量很少,仅 1.27 ± 0.25 kg/g,居于第三位。

从 10 个优株 3 类糖的合计值来看,高于平均值的有 3 个优株——“双中杂雌沙棘 15 号”(113.39%)、“双中杂雌沙棘 04 号”(69.30%)、“双中杂雌沙棘 09 号”(59.50%)。含糖量低的有“双中杂雌沙棘 08 号”(37.63%)、“双中杂雌沙棘 38 号”(35.05%) 2 个优株。其余优株居中。

3.2.2. 酸类

酸类是指样品中最终能释放出的氢离子数量,包括样品中所有酸性成分的总量,如未离解的酸和已离解的酸,其浓度大小可借碱滴定,故总酸度又可称为“可滴定酸度”,用总酸来表示。10 个双中杂雌沙棘优株鲜果所含苹果酸、奎宁酸 2 类酸的含量测定数据,列于表 6。

Table 6. Two types' acid contents of fresh fruits from superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid
表 6. 双中杂雌沙棘优株鲜果所含苹果酸、奎宁酸 2 类酸的含量

优株名称	苹果酸含量(mg/g)	奎宁酸含量(mg/g)	合计(mg/g)
双中杂雌沙棘 01 号	1.46	2.07	3.53
双中杂雌沙棘 04 号	1.25	1.35	2.60
双中杂雌沙棘 05 号	2.00	2.09	4.09

Continued

双中杂雌沙棘 08 号	1.00	0.84	1.84
双中杂雌沙棘 09 号	1.30	1.19	2.49
双中杂雌沙棘 15 号	1.00	1.05	2.05
双中杂雌沙棘 36 号	1.14	1.70	2.84
双中杂雌沙棘 38 号	1.35	1.20	2.55
双中杂雌沙棘 39 号	1.46	1.41	2.87
双中杂雌沙棘 50 号	0.82	0.82	1.64
平均值 ± 标准差	1.28 ± 0.24	1.37 ± 0.36	2.65 ± 0.30

从 10 个优株鲜果 2 类酸含量测定结果来看, 奎宁酸含量略高, 达 1.37 ± 0.36 kg/g; 苹果含量稍低, 为 1.28 ± 0.24 kg/g, 2 类酸含量数值相差较小。

从 10 个优株 2 类酸的合计值来看, 高于平均值的有 4 个优株——“双中杂雌沙棘 05 号”(4.09%)、“双中杂雌沙棘 01 号”(3.53%)、“双中杂雌沙棘 39 号”(2.87%)、“双中杂雌沙棘 36 号”(2.84%)。含量低的有“双中杂雌沙棘 08 号”(1.84%)、“双中杂雌沙棘 50 号”(1.64%) 2 个优株。其余优株居中。

3.2.3. 糖酸比

糖酸比为总糖与总酸含量之间的比值。可溶性糖和有机酸既是水果的重要营养成分, 也是水果的重要风味物质, 其构成和含量水平是决定水果甜酸风味的关键因素。对于加工用沙棘, 一般要求高糖高酸, 以获得目标物质的高产量; 而对于鲜食用沙棘, 则要求高糖中酸, 才能达到风味浓、品质优的基本目标。

前述糖酸部分已经表明, 10 个优株所测的糖包括蔗糖、果糖、葡萄糖 3 类, 酸包括苹果酸和奎宁酸 2 类, 因此其合计值虽然代表了主要的糖和酸, 但只能说是准总糖和准总酸。据此计算可以得到准糖酸比, 不过在叙述时仍用糖酸比。

10 个优株鲜果的糖酸比平均值为 23.84 ± 8.63 , 高于平均值的有“双中杂雌沙棘 15 号”(55.31)、“双中杂雌沙棘 50 号”(32.65)、“双中杂雌沙棘 04 号”(26.65)、“双中杂雌沙棘 09 号”(23.90)。不过糖酸比最低的“双中杂雌沙棘 05 号”, 也达 12.92。

3.2.4. 酚类

多酚是芳香环上的两个及以上氢(-H)被羟基(-OH)取代的一类芳香族化合物。多酚具有强大的输送电子能力, 故当人类摄入多酚后, 多酚就变成巨大的自由基清除剂使机体受益; 还可通过和金属形成螯合物, 有助于排出人体吸入的金属物质, 从而达到解毒的目的。10 个双中杂雌沙棘优株鲜果(包括果肉和籽)所含多酚含量测定数据, 列于表 7。

Table 7. Polyphenol contents of fresh fruits from superior plants of *Hippophae turkestanica-sinensis* hybrid
表 7. 双中杂雌沙棘优株鲜果的多酚含量

优株编号	多酚含量(%)		
	全果	果肉	籽
双中杂雌沙棘 01 号	0.85	0.61	2.53
双中杂雌沙棘 04 号	1.00	0.73	3.26
双中杂雌沙棘 05 号	0.91	0.55	2.98

Continued

双中杂雌沙棘 08 号	0.84	0.65	2.68
双中杂雌沙棘 09 号	0.72	0.55	1.98
双中杂雌沙棘 15 号	0.43	0.23	2.31
双中杂雌沙棘 36 号	0.64	0.37	2.81
双中杂雌沙棘 38 号	0.81	0.59	2.70
双中杂雌沙棘 39 号	0.75	0.50	2.65
双中杂雌沙棘 50 号	0.45	0.29	2.06
平均	0.74 ± 0.14	0.50 ± 0.13	2.60 ± 0.30

鲜籽中所含多酚的平均值最高, 达 $2.60\% \pm 0.30\%$, 为鲜全果含量 $0.74\% \pm 0.14\%$ 的 3.5 倍、鲜果肉含量 $0.50\% \pm 0.13\%$ 的 5.2 倍。全果多酚含量以“双中杂雌沙棘 04 号”最高, 达 1.00%, 为含量最低的“双中杂雌沙棘 15 号”0.43% 的 2.3 倍。

4. 讨论

4.1. 呈香物质

香气是由多种呈香的挥发性物质所组成, 通过人的嗅觉来加以感知。决定气味物质种类的主要因素是其结构——官能团与气味间有关相关性。如挥发性酯多带有果味香气, 将这类影响呈香物质的香气基团称为发香基团。常见的发香基团有羟基(-OH)、羧基(-COOH)、醛基(-CHO)、醚基(-C-O-C-)、酯基(-COO-)、羰基(-CO-)、苯基(六碳环)、硝基(-NO₂)、亚硝基(-ONO)、酰胺基(-CONH)、异硫基(-CNS)、内酯基(-OH)等。

这些含有发香基团的化合物由于分子的碳链长短、不饱和键种类多少与位置、是否具有支链及取代基的位置等不同, 其香味的强弱的有无都会有所变化。同时, 分子的异构体对气味有着较强的影响。

水果香气比较单纯, 具有高度爽快的特点, 香气成分主要为萜类、醇类、酯类和醛类等。如苹果中的主要香气成分包括醇、醛和酯类等, 异戊酸乙酯、乙醛和反-2-己烯醛为苹果的特征气味物。香蕉的主要气味物包括酯、醇、芳香族化合物、羰基化合物等, 其中以乙酸异戊酯为代表的乙、丙、丁酸与 C₄~C₆ 醇构成的酯是其特征风味物, 芳香族化合物有丁香酚、丁香酚甲醚、榄香素和黄樟脑等。菠萝中的酯类化合物十分丰富, 己酸甲酯和己酸乙酯是其特征风味物[6]。柑橘的萜、醇、醛和酯皆较多, 但萜类最为突出, 是特征风味的主要贡献者。葡萄中特有的香气物是邻氨基苯甲酸甲酯。刺葡萄挥发性组分主要为 β -大马士酮、异戊酸乙酯、丁酸乙酯等[7]。西瓜、葫芦等葫芦科果实的气味主要由两大类气味物质组成, 一是顺式烯醇和烯醛, 二是酯类。

双中杂雌沙棘优株果实所含的成分种类和量均以酯类为第一位, 与已知主要水果是相似的, 不过呈香物质并不相同, 这也是不同水果间具有不同风味的原因所在。

萜类化合物除以萜烯的形式存在外, 还以各种含氧衍生物的形式存在, 包括醇、醛、羧酸、酮、酯类以及甙等。萜类化合物在自然界中分布广泛, 种类繁多, 且分类较为混乱。如前所述, 它还包括着许多类其他化合物。故本文只将有明确范围的萜烯类单列出来, 与其他类化合物一道开展有关对比分析。

4.2. 呈味物质

呈味物质一般是指摄入口腔的物质中所含有的使舌头产生感觉印象的物质。感觉印象包括物理感觉、

化学感觉以及心理感觉。这些呈味物质的特点是：成分多但含量甚微，大多为非营养物质，多为对热不稳定的物质，能溶于水，不易挥发的物质。

呈味物质通过刺激口腔中的味觉感受体，经收集和传递信息的神经感觉系统传导给大脑的味觉中枢，再通过大脑的综合神经中枢系统的分析，产生不同的味觉。所呈现出的味道主要为甜味、酸味、苦味、咸味等基本味，也有辣味、涩味、鲜味、清凉味、碱味、金属味等。

双中杂雌沙棘优株鲜全果的糖酸比平均值为 23.84 ± 8.63 ，范围为 12.92~55.31。而野生沙棘 8 种(亚种)的糖酸比平均值为 0.12 (柳叶沙棘)~3.34 (江孜沙棘) [8]。可见，双中杂雌沙棘优株的糖酸比远远高于野生沙棘。有关研究表明，苹果风味品质主要取决于含酸量，含糖量影响相对较小[9]。因此，在决定各优株的风味时，含酸量应比含糖量、糖酸比的影响更为重要。

双中杂雌沙棘优株果实给人的基本感觉实际上主要为酸、甜、苦(涩)味。经测定，酸味来源于奎宁酸和草果酸，甜味主要来源于果糖，而苦(涩)味则主要来源于酚类物质。

一般来说，果实多酚相对含量在幼果期最高，随着果实发育而迅速下降。在果实成熟过程中，除少数几种可形成苦涩味的物质如绿原酸、儿茶素、表儿茶素、根皮素和原花青素等物质含量有所增加外，多种酚类物质处于缓慢下降或稳定状态，且绝对含量随果实发育而增加[10]。苹果、柿子、香蕉、石榴等随着果实的成熟度增加，单宁类物质会形成聚合物而失去水溶性，涩味也随之消失。

对中亚沙棘果实的研究已经表明，果实的苦(涩)味远远压过了酸、甜味。作为双中杂雌沙棘，继承了中亚沙棘的特点，果实的苦(涩)味也较强，这点是其不利于鲜食的方面；不过由于其父本为中国沙棘，果味中亦能品尝到一定的酸甜味，这又为其鲜食利用奠定了有关依据。

5. 结论

10 个双中杂雌沙棘优株鲜果中测出的呈香物质共 10 类 170 个，其中主要为酯类物质，有 103 个，占 60.6%，位居种类数的第一位。10 个优株都含有的酯类有 4 个，分别是异戊酸异丁酯(平均含量 10.95%)、异戊酸异戊酯(平均含量 12.21%)、己酸异丁酯(平均含量 4.06%)、异缬草酸异丙酯(平均含量 2.00%)。酯类化合物含量占到总呈香物质含量的 90%以上，也位居含量的第一位。从酯类化合物之间比较，含量最高的为戊酸-2-甲基丁酯，在 5 个优株中有分布，其平均值高达 31.19%；其次为戊酸仲丁酯，在 6 个优株中有分布，平均含量达 20.59%。10 个优株鲜果所含酯类化合物的含量平均为 $91.82\% \pm 4.19\%$ ，含量最高的为“双中杂雌沙棘 01 号”的 97.10%，最低的为“双中杂雌沙棘 05 号”，也达 83.90%。

醇类物质以 17 个、占 10.0%位列双中杂雌沙棘优株果实中呈香物质种类数的第二位，其中 10 个优株都含有的醇类只有 1 种——正己醇(平均含量 0.19%)，9 个优株都含有的醇类也仅有 1 种——正辛醇(平均含量 0.22%)。从醇类化合物之间比较，含量最高的为芳樟醇，其值为 2%，但仅在 2 个优株中出现。10 个优株鲜果所含醇类化合物的含量平均仅为 $1.32\% \pm 0.87\%$ ，含量很少，醇类化合物含量最高的为“双中杂雌沙棘 08 号”的 4.01%，最低的为“双中杂雌沙棘 01 号”，仅 0.60%。

其他 8 类含香物质中，长链烷烃类物质有 9 个，占 5.3%；醛类物质有 7 个，占 4.1%；酮类物质有 6 个，占 3.5%；简单苯衍生物类物质有 5 个，占 2.9%；有机酸类物质有 4 个，占 2.4%；醚类物质有 3 个，占 1.8%；生物碱类物质有 2 个，占 1.2%，其化合物含量普遍都很少。

优株鲜果 3 类糖含量以葡萄糖含量最高，达 $36.50 \pm 9.36 \text{ kg/g}$ ；果糖含量居次，为 $20.38 \pm 6.00 \text{ kg/g}$ ；蔗糖含量很少，仅 $1.27 \pm 0.25 \text{ kg/g}$ ，居于第三位。从 10 个优株 3 类糖的合计值来看，高于平均值的有 3 个优株——“双中杂雌沙棘 15 号”(113.39%)、“双中杂雌沙棘 04 号”(69.30%)、“双中杂雌沙棘 09 号”(59.50%)。

2 类酸含量以奎宁酸含量略高，达 $1.37 \pm 0.36 \text{ kg/g}$ ；苹果含量稍低，为 $1.28 \pm 0.24 \text{ kg/g}$ ，2 类酸含量

数值相差较小。含酸量低的有“双中杂雌沙棘 08 号”(1.84%)、“双中杂雌沙棘 50 号”1.64%) 2 个优株。

糖酸比平均值为 23.84 ± 8.63 ，高于平均值的有“双中杂雌沙棘 15 号”(55.31)、“双中杂雌沙棘 50 号”(32.65)、“双中杂雌沙棘 04 号”(26.65)、“双中杂雌沙棘 09 号”(23.90)；不过糖酸比最低的“双中杂雌沙棘 05 号”，也达 12.92，糖的含量还是明显较高。

鲜籽中所含多酚的平均值最高，达 $2.60\% \pm 0.30\%$ ，为鲜全果含量 $0.74\% \pm 0.14\%$ 的 3.5 倍、鲜果肉含量 $0.50\% \pm 0.13\%$ 的 5.2 倍。全果多酚含量以“双中杂雌沙棘 04 号”最高，达 1.00%，为含量最低的“双中杂雌沙棘 15 号”0.43% 的 2.3 倍。

综合各指标来看，10 个双中杂雌沙棘优株中，风味较好的优株主要为“双中杂雌沙棘 01 号”(酯类化合物含量最高，达 97.10%)、“双中杂雌沙棘 08 号”(醇类化合物含量最高，达 4.01%；含酸量次低，仅 1.84%)、“双中杂雌沙棘 50 号”(含酸量最低，仅 1.64%)。这些优株，相信会在开拓鲜食沙棘果实食材方面提供很好的材料，最终体现在改善人民大众的生活水平和营养健康方面来。

基金项目

水利部财政项目“水土保持业务”(126216223000200001)。

参考文献

- [1] 丁新泉, 刘敏超, 闫翠香. 我国第三代水果产业现状与发展战略[J]. 广东农业科学, 2013(19): 206-209.
- [2] 廉永善, 陈学林, 于倬德, 等. 沙棘属植物起源的研究[J]. 沙棘, 1997, 10(2): 1-7.
- [3] 胡建忠. 沙棘工业原料林资源建设与开发利用[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019: 35-54.
- [4] 胡建忠. 沙棘杂种 F_1 代无性系区域试验示范[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020: 314-315.
- [5] 汤泽波, 冯涛, 庄海宁. 大宗水果风味物质的研究进展[J]. 中国果蔬, 2020, 40(6): 1-9+22.
- [6] 蔡坤, 周媚, 林雪. 菠萝酒酿造工艺与香气成分研究进展[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1252-1258.
- [7] 杨薇熹, 兰义宾, 向小凤, 等. 湖南刺葡萄酒主要呈香物质的分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(3): 78-83.
- [8] 胡建忠. 我国野生沙棘果实的主要风味物质含量分析[J]. 食品营养与科学, 2021, 10(3): 190-198.
- [9] 李晓颖, 谭洪花, 房经贵, 等. 果树果实的风味物质及其研究[J]. 植物生理学报, 2011, 47(10): 943-950.
- [10] 乜兰春. 苹果果实酚类和挥发性物质含量特征及其与果实实质关系的研究[D]: [博士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2004.