

# 引进俄罗斯第三代沙棘无性系全果油脂肪酸成分研究

胡建忠<sup>1,2\*</sup>, 卢顺光<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>水利部沙棘开发管理中心, 北京

<sup>2</sup>国际沙棘协会技术委员会, 北京

收稿日期: 2021年9月16日; 录用日期: 2021年10月26日; 发布日期: 2021年11月2日

## 摘要

引进沙棘雌株全果油脂肪酸成分的综合评价是一个十分重要的质量指标, 需要给予格外关注。采用气相色谱仪法, 对2013年底从俄罗斯引进的第三代沙棘雌株21个无性系和对照蒙中杂雌沙棘4个无性系果实分析了脂肪酸有关指标。研究表明, 引进沙棘全果油饱和脂肪酸含量为 $34.76\% \pm 2.76\%$ , 较蒙中杂雌沙棘低3.29个百分点; 引进沙棘全果油的饱和脂肪酸(SFA): 单不饱和脂肪酸(MUFA): 多不饱和脂肪酸(PUFA) = 1:1.31:0.58, 而杂交沙棘的SFA:MUFA:PUFA = 1:1.50:0.61, 两者总体比例比较接近膳食脂肪酸比例1:1:1, 且以引进沙棘为好; 引进沙棘全果油的 $\omega-6/\omega-3$ 为 $4.10 \pm 1.59$ , 蒙中杂雌沙棘全果油的 $\omega-6/\omega-3$ 为 $3.33 \pm 0.55$ , 后者数值更好一些; 用全果油中不饱和脂肪酸含量、 $\omega-6/\omega-3$ 这2个指标来综合评判, 21个引进沙棘全果油脂肪酸配比最好的无性系有“201319”“201313”“201307”“201301”“201302”“201315”“201309”“201308”这8个, 在沙棘保健产品开发中应该作为主要资源来加以培育发展。

## 关键词

沙棘引种, 全果油, 脂肪酸, 多不饱和脂肪酸,  $\omega-6/\omega-3$

## Study on Fatty Acid Components in Whole Fruit Oils of Seabuckthorn Female Clones of Third Generation Introduced from Russia

Jianzhong Hu<sup>1,2\*</sup>, Shunguang Lu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>China National Administration Center for Seabuckthorn Development, Beijing

<sup>2</sup>Scientific Committee of International Seabuckthorn Association, Beijing

Received: Sep. 16<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 26<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 2<sup>nd</sup>, 2021

\*第一作者。

## Abstract

The comprehensive evaluation of fatty acid (FA) composition of whole fruit oil of introduced female Seabuckthorn plants was a very important quality index, which needs to be paid special attention. The FA related indexes of 21 clones of the third generation female seabuckthorn introduced from Russia at the end of 2013 and 4 clones of the hybrid female seabuckthorn from *Hippophae rhamnoides* ssp. *mongolica* × *Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis* were analyzed by gas chromatograph. The results showed that the content of SFA in the whole fruit oil of introduced seabuckthorn was  $34.76\% \pm 2.76\%$ , which was 3.29 percentage points lower than that of the hybrid female one. For introduced seabuckthorn, SFA:MUFA:PUFA was equal to 1:1.31:0.58, while for hybrid one, SFA:MUFA:PUFA was equal to 1:1.50:0.61, the two ratios were close to the dietary fatty acid ratio of 1:1:1, and the introduced seabuckthorn ratio was better than the hybrid one. The  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 of whole fruit oil for the introduced seabuckthorn was  $4.10 \pm 1.59$ , and that of hybrid one was  $4.10 \pm 1.59$ , and the latter was better. On the comprehensive evaluation based on the content of UFA and  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 in the whole fruit oil, the best clones of best ratio of FA in the whole fruit oil of introduced seabuckthorn included 8 clones "201319" "201313" "201307" "201301" "201302" "201315" "201309" and "201308", which should be cultivated and developed as main resources in the development of seabuckthorn health products.

## Keywords

Seabuckthorn Introduction, Whole Fruit Oils, Fatty Acids, Poly-Unsaturated Fatty Acids,  $\omega$ -6/ $\omega$ -3

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

健康事关人类福祉、社会和谐进步以及经济可持续发展。习近平总书记围绕医疗卫生、食品安全、疫情防控等健康问题,近年来陆续发表了一系列重要论述,字里行间蕴含着生命至上的价值追求,全民健康的目标导向,健康中国的治理方略,特别是积极参与全球健康治理的人类命运共同体意识等深厚的思想内涵,成为了切实保护人民群众身体健康和生命安全的行动指南[1],为践行全人类健康优先的发展理念、推动经济高质量发展、提升国家治理能力和水平、助力实现“中国梦”等提供了坚强的实践指引。

我国围绕植物油和保健的研究[2] [3] [4]一直没有停顿,很好地促进了植物资源保健成分及其利用价值的研发进展。木本油料产业是我国的传统产业,也是提供健康优质食用植物油的重要来源。国务院办公厅“关于加快木本油料产业发展的意见”(国办发[2014] 68号、国家发改委等十部委联合发文“关于科学利用林地资源,促进木本粮油和林下经济高质量发展的意见”(发改农经[2020] 1753号)等一系列重要文件,支持木本油料等产业发展,要求全面提升产业规模化、特色化水平,减轻对国外油品依赖程度,切实维护国家粮油安全。

沙棘油是一种十分重要的珍贵保健油类,从沙棘果实中萃取而得。我国拥有全球95%以上的资源面积,但是好的沙棘品种却基本上都在国外。从上世纪80年代以来,我国通过多种渠道引进了俄罗斯、蒙古等国的良种沙棘,对促进我国沙棘种植园建设起到了积极的推动作用。利用引进大果沙棘,与我国适

应性很强的中国沙棘之间进行亚种间杂交, 获得了适应性既强、产量又高的蒙中杂交沙棘新资源。2013年开始实施的国家 948 项目“俄罗斯第三代沙棘良种引进”, 使我国一次性引进了 21 个优良沙棘雌株无性系资源, 为开展基因保存、嫁接、转化等提供了良好条件。沙棘果油脂肪酸方面的研究[5]虽有但是不多, 特别是对引进俄罗斯第三代沙棘和蒙中杂交沙棘无性系果实脂肪酸方面的研究还未见。因此, 本文拟通过对引进沙棘和杂交沙棘全果油脂肪酸成分的测定分析, 系统评价沙棘全果油的价值, 以期为其更多更好保健品的生产提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料

2016 年取样测定俄罗斯第三代沙棘雌株无性系果实的地点包括位于华北土石山区的辽宁建平、东北黑土区的黑龙江绥棱、西北戈壁滩的新疆额敏 3 地。

沙棘雌株无性系包括两大类材料, 一类是从于 2013 年底从俄罗斯引进的第三代沙棘雌株无性系材料, 辽宁朝阳有 6 个无性系“201301”“201302”“201304”“201305”“201308”“201309”; 黑龙江绥棱有“201301”至“201322”的全部 21 个雌株无性系; 新疆额敏有 17 个雌株无性系, 比绥棱点少 4 个无性系“201310”“201313”“201315”“201319”(尚未结实); 另一类材料为用于对照的蒙中杂雌沙棘无性系(CK), 黑龙江绥棱有“杂雌优 10 号”“杂雌优 12 号”“杂雌优 54 号”, 新疆额敏有“杂雌优 54 号”。

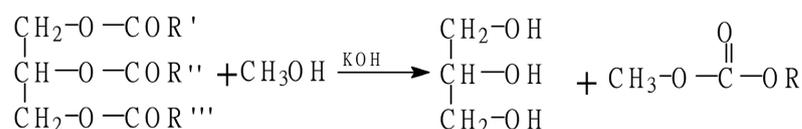
### 2.2. 方法

先采用索氏提取法[6]提取沙棘全果油, 然后采用气相色谱法[7][8]测定全果油的脂肪酸组成。

仪器设备: SOX606 索氏提取仪(海能公司); 6890B 气相色谱仪(安捷伦公司); 分流进样装置; 试管; 滴管等。

试剂: 5%氢氧化钾 - 甲醇溶液; 正己烷(A.R.)等。

样品前处理方法: 取 2 滴油脂样品于具塞试管中, 加入 2 mL 正己烷溶解油样, 再加入 5%氢氧化钾 - 甲醇溶液 0.5 mL, 震荡 5 min, 取上清液进样分析。



色谱条件:

色谱柱: FFAP (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);

检测器: FID (氢火焰检测);

进样口: 280°C;

检测器: 280°C;

载气: N<sub>2</sub>; 柱流量: N<sub>2</sub> (99.999%) 1 mL/min;

H<sub>2</sub>: 30 mL/min; Air: 300 mL/min; 尾吹气: N<sub>2</sub> 30 mL/min。

采用初温 120°C, 保持 5 min, 每 min 10°C, 升至 280°C 后恒定 5 min 的升温条件。

## 3. 结果与分析

3 地 2016 年取样测定的引进和对照沙棘雌株无性系全果油脂肪酸测定数据, 详见表 1。

**Table 1.** FA components in whole fruit oils of both introduced and CK seabuckthorn (%)**表 1.** 引进和对照沙棘全果油中脂肪酸(FA)组成(%)

产地	无性系 编号	豆蔻酸 (C14:0)	棕榈酸 (C16:0)	硬脂酸 (C18:0)	花生酸 (C20:0)	棕榈一烯酸 (C16:1)	油酸 (C18:1)	亚油酸 (C18:2)	亚麻酸 (C18:3)	其他 脂肪酸	合计
辽	201301	0.26	23.90	1.44	0.31	22.41	15.27	21.62	14.25	0.54	100
辽	201302	0.23	34.02	1.45	0.23	31.21	12.11	14.30	5.83	0.62	100
辽	201304	0.20	27.66	1.52	0.23	27.90	14.12	17.71	10.15	0.52	100
辽	201305	0.35	35.86	1.57	0.28	27.91	13.46	14.86	5.21	0.51	100
辽	201308	0.17	31.92	1.19	0.61	34.11	17.06	10.33	4.18	0.44	100
辽	201309	0.23	28.15	1.74	0.28	25.17	14.44	20.07	9.16	0.74	100
黑	201301	0.26	31.28	1.04	0.27	36.62	12.91	12.58	4.27	0.76	100
黑	201302	0.23	33.45	1.40	0.18	30.80	13.25	13.77	6.38	0.54	100
黑	201303	0.17	34.63	1.06	0.22	34.18	14.29	11.41	3.60	0.44	100
黑	201304	0.26	31.28	1.04	0.27	36.62	12.91	12.58	4.27	0.76	100
黑	201305	0.30	36.47	1.21	0.20	32.36	13.02	12.43	3.49	0.53	100
黑	201307	0.31	25.84	1.30	0.51	27.26	15.64	17.62	10.98	0.54	100
黑	201308	0.12	32.43	1.03	0.20	34.19	16.64	10.64	4.30	0.44	100
黑	201309	0.23	30.50	1.42	0.24	28.86	13.24	17.94	6.70	0.87	100
黑	201310	0.17	32.23	1.31	0.31	29.37	14.10	17.01	4.70	0.80	100
黑	201311	0.17	32.23	1.31	0.31	29.37	14.10	17.01	4.70	0.80	100
黑	201312	0.31	32.62	0.94	0.22	33.64	13.66	13.03	4.97	0.61	100
黑	201313	0.24	33.34	1.03	0.16	33.87	12.46	12.89	5.37	0.64	100
黑	201314	0.14	34.06	1.80	0.33	26.52	18.56	14.07	4.18	0.34	100
黑	201315	0.32	28.10	1.75	0.47	26.26	17.35	18.45	6.74	0.54	100
黑	201316	0.16	30.18	1.75	0.41	26.31	17.53	17.31	5.86	0.48	100
黑	201317	0.15	32.04	1.87	0.19	29.83	16.92	14.36	4.09	0.56	100
黑	201318	0.13	28.09	1.08	0.16	36.45	13.75	13.89	5.50	0.94	100
黑	201319	0.16	23.59	1.62	0.17	26.91	19.40	20.30	7.85	—	100
黑	201320	0.12	28.47	1.14	0.65	33.04	16.24	13.98	5.58	0.77	100
黑	201321	0.24	35.68	0.94	0.60	36.81	10.55	9.96	4.39	0.83	100
黑	201322	0.30	31.77	0.82	0.27	40.74	9.94	10.52	4.43	1.22	100
新	201301	0.23	35.07	1.41	0.11	29.67	13.03	15.20	4.68	0.60	100
新	201302	0.27	32.78	2.08	0.52	25.57	14.08	18.03	6.09	0.57	100
新	201303	0.30	35.43	1.33	0.32	32.12	11.23	14.90	3.26	1.10	100
新	201304	0.33	37.17	1.31	0.60	33.50	10.78	13.32	1.95	1.04	100
新	201305	0.35	37.56	1.53	0.30	31.02	12.74	13.77	1.95	0.79	100
新	201307	0.53	29.58	1.42	0.41	27.06	13.86	20.55	5.68	0.91	100
新	201308	0.34	36.11	2.15	0.13	29.48	13.16	14.80	3.14	0.69	100

Continued

新	201309	0.35	32.67	1.85	0.19	27.63	12.99	18.53	4.74	1.04	100
新	201311	0.35	37.56	2.26	0.36	30.06	12.04	14.08	2.46	0.82	100
新	201312	0.31	34.65	1.48	0.31	27.06	16.61	15.32	3.71	0.55	100
新	201314	0.55	38.61	1.59	0.22	29.52	12.53	14.32	2.07	0.55	100
新	201316	0.15	33.52	2.76	0.42	28.44	17.23	15.43	1.49	0.55	100
新	201317	0.47	37.49	1.58	0.33	29.68	13.35	14.50	1.97	0.63	100
新	201318	0.23	31.09	1.27	0.25	37.10	13.53	13.36	1.99	1.19	100
新	201320	0.18	31.02	1.32	0.03	31.64	17.27	15.41	2.38	0.74	100
新	201321	0.26	31.00	1.32	0.15	35.41	13.23	14.44	3.02	1.17	100
新	201322	0.13	33.76	2.67	0.42	23.66	22.76	14.50	1.85	0.25	100
黑	杂雌优 54号	0.26	26.26	1.33	0.42	28.54	22.36	15.59	5.25	-	100
新	杂雌优 10号	0.26	33.28	2.03	0.39	24.62	19.25	14.43	5.57	0.18	100
新	杂雌优 12号	0.26	34.31	1.70	0.28	27.67	21.28	11.46	2.87	0.17	100
新	杂雌优 54号	0.35	24.75	1.77	0.53	22.50	26.27	18.68	4.97	0.18	100

注：表中产地栏的辽、黑、新分别指辽宁、黑龙江、新疆。

### 3.1. 饱和与不饱和两大类脂肪酸组成比较

油脂通常是由甘油和 3 分子脂肪酸组成的甘油三酯。脂肪酸组成及比例是衡量食用油营养价值的重要指标。根据脂肪酸分子结构中不含双键或含双键的多少, 可分为饱和脂肪酸(SFA)和不饱和脂肪酸(UFA), 不饱和脂肪酸又分为单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA) [9] [10]。

表 1 的测定结果表明, 2 类沙棘全果油中均包括 4 种饱和脂肪酸 - 豆蔻酸(C14:0)、棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、花生酸(C20:0), 4 种不饱和脂肪酸 - 棕榈一烯酸(C16:1)、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)、亚麻酸(C18:3), 和数量较少的其他脂肪酸。

在 4 种饱和脂肪酸中, 棕榈酸(C16:0)含量最高, 总体(即引进+对照)平均值达  $32.16\% \pm 2.87\%$ 。

在 4 种不饱和脂肪酸中, 棕榈一烯酸(C16:1)含量最高, 总体(即引进+对照)平均值达  $30.22\% \pm 3.37\%$ 。

将表 1 中 4 种饱和脂肪酸和 4 种不饱和脂肪酸的含量进行统计, 发现:

饱和脂肪酸: 引进第三代沙棘雌株无性系含量为  $34.76\% \pm 2.76\%$ , 蒙中杂雌沙棘含量为  $32.05\% \pm 4.21\%$ ;

不饱和脂肪酸: 引进第三代沙棘雌株无性系含量为  $64.54\% \pm 2.72\%$ , 蒙中杂雌沙棘含量为  $67.83\% \pm 4.25\%$ 。

引进第三代沙棘雌株无性系与蒙中杂雌沙棘无性系均以不饱和脂肪酸含量为高, 且以蒙中杂雌沙棘无性系不饱和脂肪酸含量较引进第三代沙棘雌株无性系高 3.29 个百分点, 饱和脂肪酸含量较引进第三代沙棘雌株无性系低 2.71 个百分点。虽然饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸都是人体所需营养物质, 但相对来看, 不饱和脂肪酸的正作用更大一些, 对人体具有重要的生理功能, 可以预防心脑血管病、抑制癌症的发生和转移、降血脂、降低临界性高血压、提高免疫力等重要功能[11]。据此而论, 蒙中杂雌沙棘无性系全果油应较引进第三代沙棘雌株无性系更加优越一些。

### 3.2. 单不饱和与多不饱和两大类脂肪酸含量比较

单不饱和脂肪酸于降低血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平, 而维持有益胆固醇(高密度脂蛋白胆固醇)含量, 降低血脂水平, 从而有效预防心脑血管病的发生[12] [13]。多不饱和脂肪酸是细胞和有机体生物膜的重要组成部分, 可调节细胞构型、动态平衡、相转变及细胞膜的参透性, 同时还调节与膜相关的生物过程[14], 可以抗炎、抗癌、降低血脂和血压、降低心脑血管疾病发病率、具免疫调节以及促进生长发育等功能[15]。

饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸 3 者之间, 虽然各有其独特功用, 功用大小不竟相同, 但一般认为应该有一个合理的脂肪酸比例, 对于生长发育、疾病防治的意义更大。多年来, 国内外有关机构提供的合理膳食脂肪酸比例, 即 SFA:MUFA:PUFA = 1:1:1, 不过也有 SFA:MUFA:PUFA = 1:1.2:1 的推荐[16]。

**Table 2.** Three FA' contents and ratios in whole fruit oils of seabuckthorn

**表 2.** 沙棘全果油中 3 类脂肪酸含量及比例

类别	SFA	MUFA	PUFA	三者比值
引进沙棘	34.42 ± 2.91	45.02 ± 2.92	19.88 ± 3.73	1:1.31:0.58
杂交沙棘	32.05 ± 4.21	48.12 ± 2.13	19.71 ± 2.69	1:1.50:0.61

表 2 中 MUFA 包括棕榈一烯酸和油酸, PUFA 包括亚麻酸和亚油酸。由于沙棘果油中棕榈一烯酸含量是所有不饱和脂肪酸中含量最高的, 因此引进和杂交两类沙棘全果油中, 以 MUFA 所占比例最高, 分别为 SFA 的 1.31、1.50 倍; 而 PUFA 所占比例较小, 分别只占 SFA 的 58%、61%。

虽然沙棘全果油的单不饱和脂肪酸所占比例大于多不饱和脂肪酸, 但总体比例是比较接近膳食脂肪酸比例的, 而且以引进沙棘的比例好于杂雌沙棘。

### 3.3. $\omega$ -3 与 $\omega$ -6 两大类多不饱和脂肪酸比较

$\omega$ -3 是一根含有 18 个碳原子的碳链, 倒数第 3 个碳上出现不饱和双键的一组多不饱和脂肪酸。 $\omega$ -6 脂肪酸也是一根含有 18 个碳原子的碳链, 第一个双键位于自脂肪酸  $\omega$ -端起第 6 个碳原子处。 $\omega$ -6/ $\omega$ -3 是衡量果油质量优劣的一个重要参数。

表 1 中亚麻酸(C18:3)属  $\omega$ -3, 亚油酸(C18:2)属  $\omega$ -6, 经计算发现:

引进第三代沙棘雌株无性系的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 为: 4.10 ± 1.59;

蒙中杂雌沙棘无性系的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 为: 3.33 ± 0.55。

同样, 在多不饱和脂肪酸中,  $\omega$ -6 和  $\omega$ -3 都是人体不可或缺的营养成分, 若两者同时存在, 将会竞争彼此代谢途径中所需的相同酶[17]。因此, 一般在膳食中通过增加  $\omega$ -3、减少  $\omega$ -6, 才能形成合理比例发挥正作用。因此,  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 数值更低的蒙中杂雌沙棘无性系油品较引进第三代沙棘雌株无性系要更好一些。

### 3.4. 产地对全果油脂肪酸配比的影响

将表 1 的数据按产地进行整理, 得表 3, 可以据此对 3 个产地间的果油脂肪酸进行对比。

表 3 是基于辽宁、黑龙江和新疆分别有 6 个、21 个和 17 个第三代沙棘雌株无性系的脂肪酸测定统计结果。全果油饱和脂肪酸(SFA)含量来看, 新疆产地最高, 黑龙江产地居中, 辽宁产地最低; 不饱和脂肪酸(UFA)含量排序刚好相反, 以辽宁产地最高, 黑龙江产地次之, 新疆产地居末。

**Table 3.** FA contents in whole fruit oils of different introduced seabuckthorn in different test localities  
**表 3.** 不同产地不同引进沙棘的全果脂肪酸(FA)含量

FA 种类	FA 含量(%)		
	辽宁	黑龙江	新疆
豆蔻酸(C14:0)	0.24 ± 0.04	0.21 ± 0.06	0.31 ± 0.09
棕榈酸(C16:0)	30.25 ± 3.68	31.35 ± 2.36	34.42 ± 2.34
硬脂酸(C18:0)	1.49 ± 0.13	1.28 ± 0.26	1.73 ± 0.40
花生酸(C20:0)	0.32 ± 0.096	0.30 ± 0.11	0.30 ± 0.12
棕榈一烯酸(C16:1)	28.12 ± 3.03	31.91 ± 3.58	29.92 ± 2.52
油酸(C18:1)	14.41 ± 1.18	14.59 ± 2.05	14.14 ± 2.04
亚油酸(C18:2)	16.48 ± 3.32	14.37 ± 2.39	15.32 ± 1.33
亚麻酸(C18:3)	8.13 ± 3.06	5.35 ± 1.22	3.08 ± 1.14
其他脂肪酸	0.56 ± 0.08	0.67 ± 0.17	0.78 ± 0.22
SFA 合计	32.30 ± 3.66	33.14 ± 2.26	36.75 ± 2.32
UFA 合计	67.14 ± 3.62	66.22 ± 2.26	62.47 ± 2.30
ω-6/ω-3	2.20 ± 0.39	2.79 ± 0.43	5.72 ± 1.63
备注	6 个无性系	21 个无性系	17 个无性系

如前所述, 毕竟 3 地参加对比的引进第三代沙棘雌株无性系类别是不一致的, 因此, 就 3 地共有的 6 个品种“201301”“201302”“201304”“201305”“201308”“201309”的有关数据, 制作表 4, 以供完全相同条件下开展对比。

**Table 4.** FA contents in whole fruit oils of same introduced seabuckthorn in different test localities  
**表 4.** 不同产地相同引进沙棘的全果脂肪酸(FA)含量

FA 种类	FA 含量(%)		
	辽宁	黑龙江	新疆
豆蔻酸(C14:0)	0.24 ± 0.04	0.23 ± 0.04	0.30 ± 0.04
棕榈酸(C16:0)	30.25 ± 3.68	32.57 ± 1.59	35.74 ± 1.45
硬脂酸(C18:0)	1.49 ± 0.13	1.19 ± 0.15	1.70 ± 0.34
花生酸(C20:0)	0.32 ± 0.10	0.23 ± 0.03	0.33 ± 0.18
棕榈一烯酸(C16:1)	28.12 ± 3.03	33.24 ± 2.57	29.85 ± 1.93
油酸(C18:1)	14.41 ± 1.18	13.66 ± 0.99	12.76 ± 0.80
亚油酸(C18:2)	16.48 ± 3.32	13.32 ± 1.69	15.02 ± 1.27
亚麻酸(C18:3)	8.13 ± 3.06	4.90 ± 1.09	3.56 ± 1.46
其他脂肪酸	0.56 ± 0.08	0.65 ± 0.15	0.74 ± 0.14
SFA 合计	32.30 ± 3.66	34.22 ± 1.67	38.07 ± 1.47
UFA 合计	67.14 ± 3.62	65.13 ± 1.59	61.19 ± 1.59
ω-6/ω-3	2.20 ± 0.39	2.79 ± 0.36	4.96 ± 1.59
备注	6 个无性系	6 个无性系	6 个无性系

可以发现, 表 4 中除来自新疆的全果油饱和脂肪酸含量较表 2 中有所下降外, 辽宁全果油脂肪酸含量在表 3、表 4 的无性系是一样的, 平均值自然无变化, 有趣的是黑龙江全果油饱和脂肪酸含量平均值竟然与表 3 完全相同, 只是标准差有所变化。3 个产地间的全果油饱和脂肪酸含量与表 3 的趋势是完全一致的, 仍以新疆产地含量最高, 黑龙江产地次之, 辽宁产地位居最末; 但不饱和脂肪酸含量的排序却刚好相反, 辽宁产地最高, 黑龙江产地剧场中, 新疆产地最低。

### 3.5. 最佳全果油脂肪酸配比的引进沙棘无性系筛选

引进 21 个第三代沙棘雌株无性系在 3 地取样时进入结实年龄不一致, 拥有的无性系也不一样(辽宁朝阳只有 6 个), 因此, 某一无性系全果油饱和脂肪酸含量的平均值、 $\omega$ -6/ $\omega$ -3 的平均值, 可能是用 3 地或 2 地甚至 1 地的数据来反映, 详见表 5。

**Table 5.** UFA contents in whole fruit oils of introduced seabuckthorn

**表 5.** 引进沙棘全果油饱和脂肪酸(UFA)含量

无性系编号	UFA (%)	$\omega$ -6/ $\omega$ -3	综合指数	排序
201319	74.46	2.59	0.963	1
201313	64.59	2.40	0.934	2
201307	69.33	2.61	0.925	3
201301	67.50	2.57	0.920	4
201302	63.81	2.52	0.905	5
201315	68.80	2.74	0.900	6
201309	66.49	2.93	0.856	7
201308	64.01	3.22	0.802	8
201312	64.00	3.38	0.785	9
201310	65.18	3.62	0.769	10
201321	63.91	3.53	0.769	11
201304	65.27	3.84	0.751	12
201303	62.50	3.87	0.730	13
201320	67.77	4.49	0.722	14
201318	67.79	4.62	0.715	15
201305	60.74	4.49	0.675	16
201311	61.91	4.67	0.673	17
201322	64.20	5.11	0.666	18
201314	60.89	5.14	0.642	19
201317	62.35	5.44	0.639	20
201316	64.80	6.65	0.616	21

根据常识, 油脂中饱和脂肪酸含量越高越好, 而  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 越低越好, 故而选用这 2 个指标来综合评判引进第三代沙棘雌株无性系全果油脂肪酸的配比好坏。即:

饱和脂肪酸数据: 用各个测定值除以最大值, 进行归一化处理;

$\omega$ -6/ $\omega$ -3 数据: 用最小值除以各个测定值, 进行归一化处理。

然后将上述两值进行平均, 即得表 4 中综合指数一栏数值, 以数值越高, 代表油品脂肪酸配比越好。

以综合指数 0.8 为界, 引进第三代沙棘雌株无性系全果油脂肪酸配比最好的有 8 种: “201319” “201313” “201307” “201301” “201302” “201315” “201309” “201308”; 其余 13 种综合指数也在 0.6 以上, 属于脂肪酸配比较好的类型。

## 4. 讨论

### 4.1. 沙棘油的抗氧化活性

杨学芳等采用气相色谱和化学滴定等手段, 对我国不同产地的 13 个成品沙棘油及 3 份实验室提取的沙棘油(全果油、果肉油、籽油)的特征指标等进行了测定。16 份沙棘油的酸价和过氧化值均符合相关标准要求; 折光指数  $n_{40}$ 、相对密度  $d_{20}^{20}$ 、碘值 3 个特征参数都是按籽油、果油、全果油的顺序依次减小, 皂化值则数值较为接近。沙棘籽油以亚油酸、亚麻酸、油酸、棕榈酸 4 种脂肪酸为主, 不饱和脂肪酸含量为 87.4%~88.1%; 全果油以棕榈酸、棕榈油酸、油酸、亚油酸为主, 不饱和脂肪酸含量为 62.9%~70.4%; 果油以亚油酸、油酸、棕榈酸为主, 不饱和脂肪酸含量为 81.9%~89.1%。沙棘油与 3 个进口橄榄油的脂肪酸组成相比, 脂肪酸组成基本相同, 但在比例与含量上有很大差异[18]。实验结果表明, 沙棘油是一种营养丰富, 极具开发潜力的植物油脂。

郑满荣以沙棘 3 个不同部位提取的油脂(籽油、果肉油和全果油)为研究对象, 采用 GC 法分析测定了沙棘油中的主要脂肪酸, 包括 5 种长链脂肪酸(LCFA), 分别为 C16:0、C18:0、C18:1、C18:2 和 C18:3, 其中含量差异最大的是不饱和脂肪酸 C18:2 和 C18:3, 果油的 C18:2 含量最丰富, 籽油的 C18:3 含量最丰富。3 种沙棘油的体外抗氧化活性, DPPH 自由基清除的  $IC_{50}$  值分别为: 籽油 4.09 mg/mL, 果肉油 4.00 mg/mL, 全果油 4.49 mg/mL, 三者差异不大, 在总抗氧化能力方面结果一致。还原力以籽油>全果油>果油。ABTS 自由基清除实验中,  $IC_{50}$  值分别为: 果肉油 10.90 mg/mL < 全果油 15.14 mg/mL < 籽油 18.55 mg/mL, 表明果肉油的效果略好于其他两者。小鼠快速衰老试验表明, 3 种沙棘油对氧化应激损伤有不同的缓解能力, 对 GSH-Px 基因的表达有极显著的上调, 而对于 SOD 基因, 除籽油外, 均表现出了极显著的上调作用, 从而延缓衰老, 小鼠的记忆能力、探索能力等有不同程度的恢复作用[19]。

### 4.2. 不饱和脂肪酸中的 $\omega$ -脂肪酸

$\omega$ -脂肪酸属于不饱和脂肪酸, 包括  $\omega$ -3、 $\omega$ -6、 $\omega$ -7、 $\omega$ -9, 这些不同型式的脂肪酸在人体当中除了构成细胞膜、神经组织等结构外, 还会转变为讯息传导物质, 调节许多生理功能, 影响人们的健康状态。

$\omega$ -3 具有抗氧化作用[20], 有助于降低罹患慢性疾病的风险, 如心脏病、中风及癌症, 以及降低 LDL 或“有害”的胆固醇的含量。由于人体自身无法产生, 只能通过食物获取, 因而被认为是健康必需的脂肪酸。 $\omega$ -3 常见于深海鱼类和亚麻籽、油菜籽、紫苏籽和核桃等植物中[21][22]。ALA ( $\alpha$ -亚麻酸)、EPA (廿碳五烯酸)、DHA (廿二碳六烯酸)等都为重要的  $\omega$ -3 脂肪酸。

$\omega$ -6 也是一种人体健康必需的多不饱和脂肪, 人体自身无法生成, 因此必须食用相应的食物来摄入的脂肪酸, 如肉类、禽类和蛋类, 以及红花油、葵花籽油、芝麻油、花生油、棉籽油等植物油(这些油多不含  $\omega$ -3)。 $\omega$ -6 的类型主要有 LA (亚油酸)、AA (花生四烯酸)等。

$\omega$ -6 与  $\omega$ -3 一样, 在发挥脑功能方面起着至关重要的作用, 也是调节血压和炎症反应等许多体内生化反应的前体物质。 $\omega$ -6 还有助于刺激皮肤和头发的生长, 维持骨骼健康, 调节新陈代谢, 维持生殖系统健康。

但研究发现, 目前人们食用油中的  $\omega$ -6 比例过大, 而食用过多  $\omega$ -6 对体会产生许多不良反应, 如

加重炎症, 罹患心脏病、癌症、哮喘、关节炎、关节性牛皮癣和忧郁症等。多项研究表明,  $\omega$ -6 与  $\omega$ -3 摄取比例不科学是心脑血管疾病、糖尿病、肝肾功能损害、过敏性疾病以及癌症等现代生活习惯病的重要发病因子[23]。因此, 膳食中的  $\omega$ -6 和  $\omega$ -3 的摄取平衡对于防治现代生活习惯病至关重要。

除了  $\omega$ -6 和  $\omega$ -3, 还有  $\omega$ -7、 $\omega$ -9。

$\omega$ -7 因其不饱和双键的部位始于碳链末端甲基基团的第 7 位, 故得名。 $\omega$ -7 为一组单不饱和脂肪酸, 常见于深海鱼类和某些植物中, 自然界中最常见的  $\omega$ -7 为棕榈油酸。

$\omega$ -7 是单不饱和脂肪酸, 而  $\omega$ -3 是多不饱和脂肪酸, 两者均有抗炎效果, 但作用机制完全不同。在抗炎作用上, 人体对  $\omega$ -7 的敏感度比  $\omega$ -3 更高, 因此效果会更好。

$\omega$ -9 因其不饱和双键位于自 Omega 端起第 9 个碳原子处而得名, 属于动植物脂肪中普遍存在的单不饱和脂肪酸, 常存在于芥花籽、葵花籽、橄榄油及核桃油中。与  $\omega$ -3 和  $\omega$ -6 脂肪酸有所不同,  $\omega$ -9 脂肪酸可由人体自身产生, 但从植物中摄取亦有益于健康。

专为食品服务行业开发的烹调油(如 Omega-9 芥花籽及葵花籽)中单不饱和脂肪的含量尤其高(>70%), 可降低导致心脏病和糖尿病发病率上升的主要因素。对于常含有大量不健康的反式脂肪及饱和脂肪的部分氢化食用油, 用这些原料制成的烹调油是更加健康、更具功能性的替代性产品。

沙棘全果油在含有所有 4 类  $\omega$  不饱和脂肪酸(表 6), 间接证明了沙棘油作为一种保健油的重要地位。

**Table 6.** Four  $\omega$ -UFA in whole fruit oils of seabuckthorn  
**表 6.** 沙棘全果油中含有的 4 类  $\omega$ -不饱和脂肪酸(UFA)

$\omega$ -类型	沙棘全果油中含有成分	英文名称	CAS No	备注
$\omega$ -3	亚麻酸(C18:3)	alpha-linolenate	463-40-1	PUFA
$\omega$ -6	亚油酸(C18:2)	linoleate (C18:2)	60-33-3	PUFA
$\omega$ -7	棕榈一烯酸(C16:1)	methyl palmitoleate (C16:1)	373-49-9	MUFA
$\omega$ -9	油酸(C18:1)	oleine (C18:1)	112-80-1	MUFA

虽然  $\omega$ -3、 $\omega$ -6、 $\omega$ -7 和  $\omega$ -9 脂肪酸在人体内具有各自不同的作用, 但已有确凿证据表明, 对于维持心脏的总体健康和人的一般身心健康而言, 按照平衡比例摄取必需及非必需脂肪酸是十分必要的。

根据美国饮食协会的研究, 避免摄入“有害”的饱和脂肪和反式脂肪, 重点关注  $\omega$ -3 脂肪酸的摄入量。 $\omega$ -6 与  $\omega$ -3 的比例, 不同机构推荐的比例不尽相同, 如 FAO 为(5~10):1, 国际脂类学会为(4~6):1, 欧盟食品科学委员会为(4~4.5):1, 加拿大为(5~6):1, 日本为 4:1, 美国为 2.3:1, 中国营养学会在“中国居民膳食营养素参考摄入量”中提出的比例为(4~6):1 [24]。总的来看, 虽然社会发展, 这一比例越来越小, 总体在 2:1~4:1, 而一些健康教育者主张甚至比率应更低。研究发现,  $\omega$ -6 与  $\omega$ -3 之间 2~3:1 的比例有助于减少类风湿关节炎患者的炎症; 2.5:1 的比例对大肠癌患者直肠细胞增殖有降低作用(4:1 的比例却没有效果); 5:1 比例对哮喘患者具有有益的效果, 而 10:1 的比例则产生了负面的影响。有研究称, 防癌重要步骤是控制  $\omega$ -6, 增加  $\omega$ -3;  $\omega$ -3 能有效降低在血液中的  $\omega$ -6 浓度, 切断癌细胞的营养供应, 从而有效降低癌症发生的可能性[25]。

引进第三代沙棘雌株无性系的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 为  $4.10 \pm 1.59$ ; 蒙中杂雌沙棘无性系的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 为  $3.33 \pm 0.55$ 。这 2 类沙棘的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 都非常好, 是在有益于人体健康的十分重要的优质油品。

表 5 中  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 在 4 以下的引进沙棘雌株无性系有 13 种, 按  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 值从小到大依次排列为:“201313” “201302” “201301” “201319” “201307” “201315” “201309” “201308” “201312” “201321”

“201310” “201304” “201303”；其中前7个 $\omega$ -6/ $\omega$ -3在3以下。“201313” “201302” “201301” “201319” “201307” “201315” “201309”这7个沙棘雌株无性系从 $\omega$ -6/ $\omega$ -3来看,应该是引进21个雌株无性系中的佼佼者。

### 4.3. 引种指标的后评估

多年来,我国引进国外优良沙棘雌株无性系的“三原则”就是果实大、果柄长、无刺。这3个方面,在选择引进沙棘雌株无性系时就已经考虑到了,虽然引进后在我国的参数低于国外,但还是明显优于国内优良品种或类似,包括国内的蒙中杂交沙棘和中国沙棘优良类型。

从引进第三代沙棘雌株无性系百果重来看,辽宁朝阳为72.3 g (56.8~99.8 g),黑龙江绥棱为66.7 g (48.0~90.0 g),新疆额敏为79.8 g (60.0~100.0 g);而对照蒙中杂雌沙棘无性系在3地的百果重分别为41.0 g (36.0~50.2 g)、34.2 g (31.0~38.3 g)、39.5 g (36.0~44.0 g),相较引进第三代沙棘雌株无性系,分别低了31.3 g、32.5 g、40.3 g。

从引进第三代沙棘雌株无性系果柄长来看,辽宁朝阳为3.2 mm (2.0~4.3 mm),黑龙江绥棱为3.9 mm (2.5~4.9 mm),新疆额敏为4.3 mm (2.8~5.2 mm);而对照蒙中杂雌沙棘无性系在3地的果柄长分别为3.3 mm (1.6~4.8 mm)、2.5 mm (1.3~3.0 mm)、3.9 mm (2.8~4.6 mm),相较引进第三代沙棘雌株无性系,分别短了-0.1 mm、1.4 mm、0.4 mm。

可见从果大、果柄长这2个要求来看,引进沙棘雌株无性系达到了引种目的。

再从干全果含油率来比较。引进第三代沙棘雌株无性系在辽宁朝阳、黑龙江绥棱、新疆额敏的测定数据平均值分别为21.2%、25.0%、20.2%,而蒙中杂雌无性系在3地的平均值分别为21.7%、19.6%、17.3%,除了辽宁朝阳的杂雌沙棘干全果含油率稍高一点外,其余2点均以引进沙棘干全果含油率数值高。

从干全果含油率这一指标来看,引进沙棘雌株无性系同样也达到了引种目的。

但是,从本文的主题——全果油脂肪酸成分来看,引进第三代沙棘雌株无性系与蒙中杂雌沙棘相比,果油不饱和和脂肪酸含量较低, $\omega$ -6/ $\omega$ -3数据虽然尚可,但也不如对照蒙中沙棘低(低了更好)。总体来看,引进第三代沙棘雌株无性系全果油质量不如对照蒙中杂雌沙棘。

上述讨论,只想说明一点,就是在未来的沙棘引种中,应该在果实重量指标之外,重视果实内含物、配比等质量指标。这样的引种,就较传统引种跨越了一大步,引种效果将会更加理想。

## 5. 结论

引进俄罗斯第三代沙棘雌株无性系普遍具有果实大、果柄长、枝干无刺的特征,达到了引种目的。从全果油脂肪酸成分进行研究,不仅是对引进沙棘重要指标的深入研究,同时也是对引种指标的后评估。

1) 引进第三代沙棘雌株无性系饱和脂肪酸含量为 $34.76\% \pm 2.76\%$ ,蒙中杂雌沙棘饱和脂肪酸含量为 $32.05\% \pm 4.21\%$ ;引进第三代沙棘雌株无性系不饱和脂肪酸含量为 $64.54\% \pm 2.72\%$ ,蒙中杂雌沙棘不饱和脂肪酸含量为 $67.83\% \pm 4.25\%$ 。引进第三代沙棘雌株无性系与蒙中杂雌沙棘无性系均以不饱和脂肪酸含量为高,且以蒙中杂雌沙棘无性系不饱和脂肪酸含量较引进第三代沙棘雌株无性系高3.29个百分点,饱和脂肪酸含量较引进第三代沙棘雌株无性系低2.71个百分点。从这一指标来看,蒙中杂雌沙棘无性系全果油应较引进第三代沙棘雌株无性系更加优越一些。

2) 3个产地6种相同的引进沙棘无性系全果油饱和脂肪酸含量,以新疆最高,达38.07%,黑龙江居中,达34.22%,辽宁最低,达32.30%;不饱和脂肪酸含量排序恰好相反,以辽宁最高,达67.14%,黑龙江居中,达65.13%,新疆最低,达61.19%。

3) 引进和杂交两类沙棘全果油中,均以单不饱和脂肪酸(MUFA)所占比例最高,分别为饱和脂肪酸

(SFA)的 1.31、1.50 倍; 而多不饱和脂肪酸(PUFA)所占比例较小, 分别只占饱和脂肪酸(SFA)的 58%、61%。引进沙棘的 SFA:MUFA:PUFA = 1:1.31:0.58, 杂交沙棘的 SFA:MUFA:PUFA = 1:1.50:0.61。虽然沙棘全果油的单不饱和脂肪酸所占比例大于多不饱和脂肪酸, 但总体比例是比较接近膳食脂肪酸比例 1:1:1 的, 且以引进沙棘更好。

4) 多不饱和脂肪酸  $\omega$ -6、 $\omega$ -3 及其比值, 是科学衡量油品保健价值的非常重要的指标。引进第三代沙棘雌株无性系的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 为:  $4.10 \pm 1.59$ ; 蒙中杂雌沙棘无性系的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 为:  $3.33 \pm 0.55$ 。 $\omega$ -6/ $\omega$ -3 数值更低的蒙中杂雌沙棘无性系油品较引进第三代沙棘雌株无性系要更好一些。“201313”“201302”“201301”“201319”“201307”“201315”“201309”这 7 个沙棘雌株无性系从  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 来看, 应该是引进 21 个雌株无性系中的佼佼者。

5) 用沙棘全果油中不饱和脂肪酸含量、 $\omega$ -6/ $\omega$ -3 这 2 个指标来综合评判, 引进 21 种第三代沙棘雌株无性系全果油脂肪酸配比最好的引进沙棘雌株无性系有 8 个: “201319”“201313”“201307”“201301”“201302”“201315”“201309”“201308”, 在沙棘保健产品开发中应该作为主要资源来加以培育。

## 基金项目

水利部财政项目“水土保持业务”(126216223000200001)。

## 参考文献

- [1] 蔡信强. 习近平关于人民健康重要论述思想内涵与实践价值[J]. 大庆社会科学, 2021(3): 34-38.
- [2] 张继光, 吴万富, 杨学芳, 等. 云南 9 种特种木本油脂脂肪酸组成和角鲨烯含量比较研究[J]. 中国粮油学报, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.TS.20210526.1715.007.html>
- [3] 马斌, 陈胜文, 吴有恒, 等. 木槿花基质栽培技术与营养保健功效[J]. 长江蔬菜, 2021(1): 23-24.
- [4] 邵翠翠, 邓源喜, 杨蓓蓓, 等. 枸杞的营养保健功能及其应用进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(7): 217-224.
- [5] 陈笑莹, 刘洪章, 刘树英, 等. 沙棘脂肪酸的提取和分析[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(5): 628-631+636.
- [6] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 食品中脂肪的测定: GB/T 5009.6-2003 [S]. 2003.
- [7] 吴万富, 男世懂, 杨学芳, 等. 云南大叶种茶树籽油的特征指标与脂肪酸组成研究[J]. 茶叶科学, 2021, 41(4): 463-470.
- [8] 郑敏燕, 宁建刚, 耿薇, 等. 两种不同酯化方法分析樱桃仁中的脂肪酸成分[J]. 应用化工, 2010, 39(1): 133-135.
- [9] Giakoumis, E.G. (2018) Analysis of 22 Vegetable Oils' Physico-Chemical Properties and Fatty Acid Composition on a Statistical Basis, and Correlation with the Degree of Unsaturation. *Renewable Energy*, 126, 403-419. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.057>
- [10] 熊小平, 杨明, 樊淑宏, 等. GC-MS 法对 13 种植物油中甾醇和脂肪酸的分布研究[J]. 中国测试, 2019, 45(2): 64-71.
- [11] 靳革, 李娟, 齐悦. 不饱和脂肪酸的生理作用及富含方法研究进展[J]. 中国科技投资, 2012(24): 211.
- [12] 刘芳, 张哲, 王积军. 我国高油酸花生种植及应用技术研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(6): 956-959.
- [13] 迟晓元, 陈明娜, 潘丽娟, 等. 花生同油酸育种研究进展[J]. 花生学报, 2014, 43(4): 32-38.
- [14] 王萍, 张银波, 江木兰. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 中国油脂, 2008, 33(12): 42-46.
- [15] 吴洪号, 张慧, 贾佳, 等. 功能性多不饱和脂肪酸的生理功能及应用研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2021(8): 134-140.
- [16] 黄玉华. 膳食脂肪酸平衡性的调查与营养平衡调和油的研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- [17] 杨水艳, 邵志凌, 聂绪恒. 10 种云南植物油脂肪酸组成比较分析与评价[J]. 中国油脂, 2018, 43(1): 144-146.
- [18] 杨学芳, 吴万富, 吕世懂, 等. 沙棘油特征指标的比较研究[J]. 中国油脂, 2021.
- [19] 郑满荣. 沙棘籽油、果油、全果油抗氧化活性研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2018.
- [20] 曾熹, 胡杨柳子, 吴亚敏, 等. 欧米伽 3 脂肪酸对硫代乙酰按诱导的大鼠肝纤维化的保护作用[J]. 中国临床药理

学与治疗学, 2017, 22(8): 892-898.

- [21] 马从伟. 深海鱼油受青睐[J]. 健康博览, 1999(8): 19.
- [22] 侯叔霞. 5种营养守护心脏健康[J]. 快乐养生, 2020(11): 3.
- [23] 杨国才, 骆小敏, 陈颖. 膳食中 $\omega$ -6与 $\omega$ -3的平衡对人体健康的意义[J]. 时珍国医国药, 2006, 17(7): 1343.
- [24] 段叶辉, 李凤娜, 李丽立, 等. n-6/n-3多不饱和脂肪酸比例对机体生理功能的调节[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(4): 626-631+479.
- [25] 宋奇思. 防癌重要步骤: 控制欧米伽-6, 增加欧米伽-3 [J]. 长寿, 2018(8): 36.