

不同种源臭椿果实内含物分析

叶楠, 徐琴平, 曹福亮, 汪贵斌*

(南京林业大学林学院, 南方现代林业协同创新中心, 南京 210037)

摘要:以新疆鄯善、湖南浏阳、江西九江、甘肃天水 and 陕西汉中 5 个种源地野外采集的臭椿果实为研究对象, 分别测定臭椿果实中的内含物, 鉴定其脂肪酸组成及各成分的分子式。结果表明, 不同种源的臭椿果实中化学成分含量存在显著差异; 脂肪酸成分相同, 但各组分含量有差异。5 个种源地的臭椿果实中都鉴定出 10 种脂肪酸且这 10 种脂肪酸碳链相对比较集中, 主要在碳 16 到碳 19 之间。

关键词:臭椿; 种源; 内含物; 脂肪酸

中图分类号: S792.32

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)04-0623-07

Fruit inclusions in *Ailanthus altissimas* of different provenances

YE Nan, XU Qinping, CAO Fuliang, WANG Guibin

(Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract: Using *Ailanthus altissimas* fruits from five different provenances, Shanshan Xinjiang, Liuyang Hunan, Jiujiang Jiangxi, Tianshui Gansu and Hanzhong Shanxi, fruit inclusions were measured. The fatty acid composition and the molecular formula of each component were identified. The results showed that the contents of chemical components in the fruit of *Ailanthus altissima* from different provenances were significantly different. The components of the fatty acid were the same, but there were differences in the content of each component. Ten fatty acids in the *Ailanthus* fruit of five different provenances were all detected, which were relatively concentrated, mainly in the range of C:16 to C: 19.

Key words: *Ailanthus altissimas*; provenances; fruit inclusion; fatty acid

臭椿 (*Ailanthus altissima* Swingle), 苦木科臭椿属落叶乔木, 因叶基部腺点散发臭味而得名。臭椿喜光, 不耐严寒, 对病虫害具有较强的抵抗能力, 在中国分布范围较广。臭椿木材材质好, 是优良的用材树种。其材质轻韧, 硬度适中, 耐腐蚀, 是制作农具、家具、建筑等的良好用材; 木纤维长, 含量占木材总干重的 40%, 臭椿被认为是比白杨更好的上等纸浆材^[1]。臭椿树干高大通直, 冠如伞盖, 春日嫩叶紫红花色黄, 秋季红果满树, 具有很好的欣赏价值, 可作为绿化观赏树种。臭椿各器官中均含有药用成分, 是良好的药用树种。臭椿提取液可配制土农药, 无公害、不残留, 可防治多种森林害虫。

近年来, 国内外对臭椿开展了一定的研究探讨,

国内学者着重有关臭椿的化学及生物活性研究, 如臭椿内酯、生物碱和脂类等, 同时也对臭椿中的活性物质在生物农药和医药领域的应用做了较为深入的研究^[2-3], 这些研究主要集中在臭椿根皮、树皮、树叶、花和幼苗等部位。图斯库等^[4]采用硅胶柱色谱和 HPLC 等分离方法, 对臭椿树根的化学成分进行分离, 并通过波谱数据分析鉴定结构, 得到了 14 种化合物。曹兵等^[5]研究了用臭椿树皮、老(嫩)枝叶、幼果等各部位、乙醇、乙醚和丙酮提取液对光肩星天牛成虫进行毒杀实验, 结果表明天牛成虫对含有活性物质的提取液有很强的毒杀反应。另外, 臭椿叶加水浸泡, 将水浸液过滤后喷洒, 可防治菜青虫、蚜虫等。王汉海^[6]提取了臭椿叶的有效成分, 并就提取物对桃蚜的杀虫活性进行测定, 实验结果

收稿日期: 2016-11-22

基金项目: 江苏省林业三项工程项目(LYSX(2009)39)资助。

作者简介: 叶楠, 硕士研究生。E-mail: 601491797@qq.com

* 通信作者: 汪贵斌, 教授, 博士生导师。E-mail: gbwang@njfu.com.cn

表明,当处理浓度达 $40 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,臭椿叶提取物对桃蚜的防治效果较好。

国外在 20 世纪 60 年代到 80 年代对臭椿的化学成分进行了大量的研究。主要集中在臭椿化学成分的分离、结构鉴定以及相关物质生物活性的研究。2002 年, Mastelić 和 Jerković^[7]首次采用气相色谱—质谱联用技术(GC-MS)对臭椿叶的挥发性成分进行分析,确定了 49 种化合物,占挥发性物质总量的 88.5%~96.3%。其中,脂肪族六碳化合物(醇,醛,酸,酯)为主要的成分(30.8%~59.7%);其次为倍半萜类化合物(11.3%~12.0%)。臭椿属植物的化学成分主要有苦味质和生物碱,其苦味质多为四环萜类内酯和五环萜类内酯,为苦木科植物的特征性成分。臭椿属是苦木苦味素成分分布比较集中的属级单位^[8-9]。Ishibashi 等^[10-16]、Naora 等^[17]、Furuno 等^[18]和 Niilli 等^[19]对臭椿中苦木苦味素的分离和结构鉴定作了深入的研究,于 1983—1987 年报道了从臭椿中分离到的新的苦木苦味素类物质臭椿内酯 A-N(shinjulactone A-N)的结构。Kubota 等^[20-21]和 Tamura 等^[22]分别于 1996 年和 2003 年报道了臭椿中苦木苦味素类物质臭椿醇 A.G(ailantinol A-G)的分离和结构鉴定。

臭椿果实又名凤眼草,味苦涩,性凉,有较强的体外抗菌活性和抗结核作用,含有粗脂肪、粗蛋

白、淀粉和还原糖等多种内含物。Bory 等^[23]于 1989 年对臭椿种子的脂类和脂肪酸组成进行研究,并对胚乳和子叶的脂类和脂肪酸组成予以对比。研究发现臭椿种子的总脂含量为 39%,胚乳和子叶中三酰甘油脂的含量分别为 93%和 89%。极性脂类中,磷脂是最主要的组分,半乳糖脂质仅在子叶中被发现。脂肪酸组成主要为 16:0 棕榈酸、18:1 油酸和 18:2 亚油酸。

由于国内外对于臭椿果实的研究较少,因此本研究对新疆、湖南、江西、甘肃和陕西等 5 个省区的臭椿果实内含物的成分和脂肪酸组成及含量进行较为深入的分析,比较其地区差异性,以期能为臭椿的综合开发利用及良种区划提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

不同种源臭椿果实的样品为 2009 年 9 月至 12 月分别从新疆、湖南、江西、甘肃和陕西等 5 个省区采集,每个省区各 3 株样木,采样选取当地臭椿树中具有优良表型的植株,均采集植株上的成熟果实。样品常温保存,未进行干燥处理,样品去杂质、去梗未去翅。样品的编号、采集地地址及样品的年龄、树高和胸径见表 1。

表 1 样品编号及对应参数

Table 1 Sample number and parameters

样品编号 Sample number	采集地地址 Provenance	经纬度 Longitude and latitude	年龄/a Age	树高/m Height	胸径/cm DBH
新疆 1 Xinjiang1(XJ1)	新疆鄯善县	42°50' N, 90°13' E	23	8.2	24.2
新疆 2 Xinjiang2(XJ2)	新疆鄯善县	42°52' N, 89°56' E	25	9.4	28.5
新疆 3 Xinjiang3(XJ3)	新疆鄯善县	42°45' N, 89°49' E	18	9.8	20.6
湖南 1 Hunan1(HN1)	湖南省浏阳市柏加镇	28°03' N, 113°13' E	16	8.5	20.1
湖南 2 Hunan2(HN2)	湖南省浏阳市柏加镇	28°02' N, 113°11' E	25	10.7	26.7
湖南 3 Hunan3(HN3)	湖南省浏阳市柏加镇	27°59' N, 113°11' E	19	8.5	22.7
江西 1 Jiangxi1(JX1)	江西九江南义镇和平村	29°30' N, 115°19' E	22	8.6	23.8
江西 2 Jiangxi2(JX2)	江西九江南义镇派砂村	29°42' N, 115°31' E	23	9.2	25.4
江西 3 Jiangxi3(JX3)	江西九江桂林办事处北亭村	29°41' N, 115°35' E	26	10.7	29.0
甘肃 1 Gansu1(GS1)	甘肃天水	34°34' N, 105°43' E	15	7.8	20.8
甘肃 2 Gansu2(GS2)	甘肃天水	34°31' N, 105°45' E	30	9.2	29.7
甘肃 3 Gansu3(GS3)	甘肃天水	34°24' N, 105°46' E	17	8.4	22.2
陕西 1 Shaanxi1(SX1)	陕西省汉中市南郑县圣水镇林场村	33°03' N, 107°09' E	26	9.7	27.3
陕西 2 Shaanxi2(SX2)	陕西省汉中市南郑县圣水镇林场村	33°04' N, 107°08' E	22	9.3	24.5
陕西 3 Shaanxi3(SX3)	陕西省汉中市南郑县圣水镇林场村	33°03' N, 107°08' E	20	8.4	22.0

1.2 测定方法

本研究中,臭椿果实化学成分分析均参考国家

有关标准检测方法,并有所改动。实验在南京师范大学分析测试中心实验室完成。其中,每个样品做

至少 3 次重复。

1.2.1 内含物的测定方法 粗蛋白含量按 GB/T 14489.2-2008 方法进行测定, 并有所改动^[24]。取 20 mL 消化好的试样, 用 NaOH 溶液中和过量硫酸, 至弱酸性。加入 5 mL 中和好的 20% 甲醛溶液, 加酚酞指示剂, 用 NaOH 标准溶液滴定, 而后计算氮的含量, 最后通过系数比 ($f=6.25$) 求得粗蛋白含量。

淀粉含量按 GB/T 5514-2008 方法进行测定, 并有所改动^[25]。采用酶水解法先测定还原糖含量, 按还原糖含量 $\times 0.9$ 计算。

还原糖含量按 GB/T 5513-2008 粮油检验粮食中还原糖和非还原糖测定的方法进行测定^[26]。即采用高锰酸钾滴定法测定, 还原糖的计算: 按高锰酸钾标准溶液实际消耗体积 \times 摩尔浓度 $\times 71.54$ 计算氧化亚铜质量。还原糖(以葡萄糖计)质量可由所得的氧化亚铜质量按检索表查出。非还原糖采用盐酸水解的方法测定。水解前后还原糖的差值为非还原糖(以蔗糖计)含量。非还原糖(以蔗糖计)的计算: 按转化后测得还原糖(以葡萄糖计)质量 $\times 0.95$ 计算。

粗脂肪含量按 GB/T 5512-2008 方法进行测定^[27]。采用索氏提取法, 运用溶剂回流和虹吸原理利用抽提器抽提。抽提完毕后, 将抽提瓶在 105 °C 烘箱中干燥 2 h, 放入干燥器冷却至恒重为止, 抽提瓶增加的质量即为粗脂肪的质量。

灰分含量按 GB/T 5505-2008 方法进行测定^[28]。称取混匀试样 2~3 g 于坩埚中, 加热至试样完全碳化为止。然后, 把坩埚放在 (550 \pm 10) °C 的马福炉内灼烧 2~3 h 至黑色碳粒全部消失变成灰白色为止。反复灼烧、冷却、称量坩埚, 直至恒质。灰分质量按恒质时的质量与坩埚质量差计算。

1.2.2 脂肪酸的测定方法 采用气相色谱-质谱联用分析法, 分离测定臭椿果实中脂肪酸成分和含量^[29]。先将样品水解, 后将水解溶液转移至分液漏斗, 用乙醚冲洗分液漏斗并收集到 250 mL 烧瓶中, 挥发提取溶剂, 残留物为脂肪提取物。加入氢氧化钠溶液在热水浴上回流至油滴消失; 从回流冷凝器上端加入三氟化硼甲醇溶液继续回流; 结束后加入正庚烷并振摇, 再加入饱和氯化钠溶液, 静置分层。吸取上层正庚烷提取溶液至小型试管中, 静置, 吸取上层溶液到进样瓶中待测。

分别取 2.0 μ L 脂肪酸甲酯标准溶液和 2.0 μ L 样品溶液注入气相色谱/质谱联用仪, 在一定气相色谱条件下测定响应值。前者可得到每个脂肪酸甲酯的

相对保留时和气相色谱图, 计算出响应因子。后者可经过与标准溶液谱图比较响应值得到试样中脂肪酸甲酯的含量。

因色谱柱条件与参考国标中条件不一致, 所出的标准品的图谱与国标中提供的标样图谱也不一致, 不能完全比对出样品中的各种脂肪酸成分, 所以到质谱 SATURN/2200 上定性, 最终得出样品脂肪酸成分的分子式。

2 结果与分析

2.1 粗蛋白含量

不同种源地臭椿果实中粗蛋白的含量差异较大(表 2)。新疆 2 粗蛋白含量最高, 达到 1.57%, 而陕西 3 粗蛋白含量最低, 仅为 0.80%。其中粗蛋白含量较高的是新疆 2、湖南 1、江西 1、甘肃 3 和江西 2, 含量较低的为陕西 3、江西 3 和陕西 2 等。方差分析表明, 各省区果实中的粗蛋白含量存在着极其显著的差异 ($F=939.89$, $P<0.01$)。

2.2 淀粉含量

实验结果(表 2)表明, 淀粉含量较高, 是臭椿果实内含物的主要组成成分。方差分析显示, 不同省区臭椿果实淀粉含量具有较大差异 ($F=297.19$, $P<0.01$)。淀粉含量最高的是江西 1, 高达 30.18%, 最低的是陕西 3, 为 7.34%, 两者的差值超过 20%。

2.3 还原糖和非还原糖含量

果实需要利用还原糖和非还原糖进行生理活动。从实验结果来看, 还原糖和非还原糖的含量仅江西 2 和江西 1 相对较高, 约 1.5%, 陕西种源 3 个果实的含量最低(图 1 和图 2)。总体上, 还原糖和非还原糖含量不高, 均低于 2%, 但其生理作用不可忽视。

2.4 粗脂肪含量

粗脂肪含量在不同省区稍有不同, 但方差分析表明, 各地臭椿果实之间存在着极其显著的差异 ($F=19.52$, $P<0.01$)。湖南 3 粗脂肪含量最高, 达 34.86%, 陕西 1 粗脂肪含量最低, 为 22.24%, 这两个样品粗脂肪含量最高是最低的 1.57 倍。15 个臭椿果实样品粗脂肪含量排序为: 湖南 3>江西 2>甘肃 3>新疆 1>新疆 2>江西 1>新疆 3>湖南 1>甘肃 1>陕西 3>江西 3>陕西 2>甘肃 2>湖南 2>陕西 1。而 5 个省区果实样品平均粗脂肪含量排序为: 新疆 32.63 %>江西 32.4%>湖南 32.11%>甘肃 31.94%>陕西 28.32% (表 2)。

2.5 灰分含量

灰分是指烘干的植物组织通过高温灼烧, 残余

的灰白色残烬。实验中所测得的灰分就是果实所含的矿物质，以百分比表示。方差计算表明，不同省区臭椿果实灰分含量差异较大 ($F=1\ 990.09$, $P<0.01$)。其中陕西 1 果实中所含的矿物质最多，为

7.40%，而江西 2 果实中所含的矿物质最少，为 3.04%，仅为陕西 1 的 41% (表 2)。若对果实进行灰分分析，可得到其内部无机营养元素的组成成分，从而对果实有进一步的了解。

表 2 不同种源地臭椿果实内含物的含量

Table 2 The content of *Ailanthus altissima* fruit inclusion of different provenances %

样品编号 Sample number	蛋白质 Protein	淀粉干基 Dry matter of starch	还原糖 Reducing sugar	非还原糖 Non-reducing sugar	粗脂肪 Crude fat	灰分 Ash
新疆 1 Xinjiang1	1.26±0.01	19.43±0.00	0.78±0.03	0.51±0.00	33.34±1.70	5.02±0.01
新疆 2 Xinjiang2	1.57±0.00	19.43±0.00	0.71±0.00	0.56±0.00	32.29±1.36	4.92±0.06
新疆 3 Xinjiang3	1.36±0.01	19.48±0.00	0.86±0.06	0.80±0.00	31.90±0.85	5.41±0.03
湖南 1 Hunan1	1.50±0.00	14.63±0.00	0.45±0.02	0.41±0.00	31.76±1.13	5.96±0.01
湖南 2 Hunan2	1.28±0.01	14.61±0.00	0.69±0.03	0.80±0.00	29.29±1.22	5.76±0.06
湖南 3 Hunan3	1.18±0.01	19.49±0.00	0.69±0.03	0.78±0.03	34.86±0.50	4.81±0.06
江西 1 Jiangxi1	1.47±0.00	30.18±0.00	1.38±0.04	1.54±0.04	32.14±2.80	4.93±0.03
江西 2 Jiangxi2	1.44±0.01	24.34±0.00	1.45±0.00	1.59±0.04	34.14±1.27	3.04±0.08
江西 3 Jiangxi3	1.11±0.00	30.08±0.00	0.80±0.00	0.71±0.00	29.87±0.06	4.87±0.07
甘肃 1 Gansu1	1.19±0.00	19.65±0.00	0.20±0.00	0.20±0.00	30.63±0.89	3.78±0.03
甘肃 2 Gansu2	1.20±0.02	9.83±0.00	0.58±0.03	0.56±0.00	29.54±1.27	4.08±0.06
甘肃 3 Gansu3	1.45±0.00	19.48±0.00	0.18±0.04	0.15±0.00	34.03±0.11	3.64±0.08
陕西 1 Shaanxi1	1.21±0.01	14.91±0.00	0.15±0.00	0.15±0.00	22.24±1.16	7.40±0.11
陕西 2 Shaanxi2	1.15±0.00	19.65±0.00	0.10±0.00	0.05±0.00	29.71±1.92	3.72±0.04
陕西 3 Shaanxi3	0.80±0.02	7.34±3.46	0.10±0.00	0.08±0.04	30.43±4.43	3.85±0.06

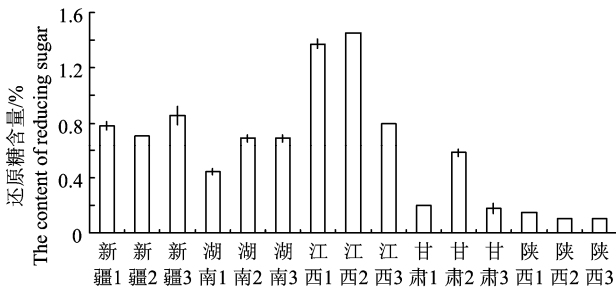


图 1 不同种源地臭椿果实还原糖含量

Figure 1 The reducing sugar in fruit of *Ailanthus altissima* Swingle from different provenances

2.6 脂肪酸种类

用 GC-MS 方法分离和鉴定出臭椿果实中主要的 10 个脂肪酸 (表 3)，分子式分别为 $C_{17}H_{34}O_2$ 、 $C_{18}H_{36}O_2$ 、 $C_{19}H_{38}O_2$ 、 $C_{20}H_{40}O_2$ 、 $C_{19}H_{34}O_2$ 、 $C_{19}H_{36}O_2$ 、 $C_{19}H_{36}O_2$ 、 $C_{20}H_{36}O_2$ 、 $C_{20}H_{38}O_2$ 和 $C_{20}H_{38}O_2$ 。鉴定出的这 10 种脂肪酸碳链相对比较集中，主要在碳 16 到碳 19 之间。其中饱和脂肪酸有 $C_{17}H_{34}O_2$ 、 $C_{18}H_{36}O_2$ 、 $C_{19}H_{38}O_2$ 和 $C_{20}H_{40}O_2$ 等 4 种，不饱和脂肪酸有 $C_{19}H_{34}O_2$ 、 $C_{19}H_{36}O_2$ 、 $C_{19}H_{36}O_2$ 、 $C_{20}H_{36}O_2$ 、 $C_{20}H_{38}O_2$ 和 $C_{20}H_{38}O_2$ 等 6 种。 $C_{19}H_{36}O_2$ 有 2 种同分异构体，谱库检索结果显示，可能为 9-octadecenoic acid, methyl ester 和 10-octadecenoic acid, methyl

ester; $C_{20}H_{38}O_2$ 也有 2 种同分异构体，谱库检索结果显示，可能为 10-Nonadecenoic acid, methyl ester 和 7-Nonadecenoic acid, methyl ester。表 3 中后 4 种分子式为 $C_{20}H_{36}O_2$ 、 $C_{20}H_{38}O_2$ 、 $C_{20}H_{38}O_2$ 和 $C_{20}H_{40}O_2$ 的脂肪酸甲酯，为臭椿果实中首次鉴定出。

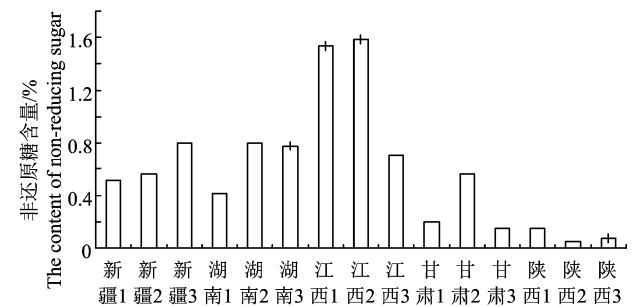


图 2 不同种源地臭椿果实非还原糖含量

Figure 2 The non-reducing sugar in fruit of *Ailanthus altissima* Swingle from different provenances

2.7 脂肪酸组成

在 10 种脂肪酸中 (表 4)，亚油酸 C18:2 含量在江西 2 中最高，为 59.94%，在陕西 3 最低，为 33.87%。油酸 C18:1 共 2 种，在各省区样品中的含量在 15.08%~43.32%之间。棕榈酸 C16:0 和硬脂酸 C18:0 在各省区样品中的含量相对都较低，棕榈酸

表 3 不同种源地臭椿果实中脂肪酸甲酯分子式及名称

Table 3 The name and formula of fatty acids methyl ester in *Ailanthus altissima* Swingle from different provenances

序号 Number	分子式 Molecular formula	脂肪酸甲酯名称 Name of fatty acid methyl ester	匹配度/% Matching score
1	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Hexadecanoic acid, methyl ester	82.9
2	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Pentadecanoic acid, 13-methyl-, methyl ester	81.0
3	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	8,11-octadecadienoic acid, methyl ester	84.0
4	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	9-octadecenoic acid, methyl ester	83.8
5	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	10-octadecenoic acid, methyl ester	83.7
6	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	Octadecanoic acid, methyl ester	89.7
7	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	9,12-octadecadienoic acid, methyl ester	83.4
8	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	10-Nonadecenoic acid, methyl ester	88.6
9	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	7-Nonadecenoic acid, methyl ester	87.1
10	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Octadecanoic acid, 6-methyl-, methyl ester	83.5

表 4 不同种源地臭椿果实中脂肪酸相对含量

Table 4 The different fatty acids in fruit of *Ailanthus altissima* Swingle from different provenances

样品编号 Sample number	C16:0	C17:0	C18:2	C18:1	C18:1
新疆 1 Xinjiang1	2.66±0.07	1.22±0.03	51.20±0.51	13.73±0.03	16.17±0.36
新疆 2 Xinjiang2	1.91±0.16	2.68±0.03	56.91±0.11	17.90±0.23	10.80±0.34
新疆 3 Xinjiang3	1.03±0.01	2.01±0.03	42.71±0.91	10.66±0.21	7.09±0.50
湖南 1 Hunan1	1.47±0.02	10.03±0.44	38.87±2.68	10.16±0.82	8.22±0.05
湖南 2 Hunan2	1.95±0.10	1.17±0.07	58.30±0.91	13.16±0.59	15.33±0.64
湖南 3 Hunan3	1.06±0.09	2.41±0.17	45.59±1.47	9.34±0.29	5.74±0.67
江西 1 Jiangxi1	1.03±0.07	0.19±0.00	42.00±2.11	13.80±1.12	16.29±0.77
江西 2 Jiangxi2	1.32±0.13	0.40±0.01	59.94±0.11	18.21±0.37	13.57±0.03
江西 3 Jiangxi3	1.02±0.08	1.58±0.61	38.09±0.21	5.12±0.05	38.20±0.06
甘肃 1 Gansu1	2.25±0.14	4.16±0.25	43.75±1.65	10.48±0.08	9.39±2.57
甘肃 2 Gansu2	1.03±0.10	2.30±0.05	42.37±1.37	10.67±0.72	5.32±0.07
甘肃 3 Gansu3	1.08±0.07	1.89±0.02	40.05±2.71	4.73±0.02	36.22±1.81
陕西 1 Shaanxi1	1.78±0.00	1.07±0.06	44.28±1.36	16.01±0.38	17.82±1.82
陕西 2 Shaanxi2	2.16±0.08	3.85±0.08	47.38±0.65	12.48±0.57	9.03±0.20
陕西 3 Shaanxi3	1.89±0.27	4.32±0.10	33.87±1.32	10.62±3.34	7.43±2.13
	C18:0	C19:2	C19:1	C19:1	C19:0
	1.73±0.21	7.02±0.30	4.95±0.35	0.97±0.05	0.34±0.01
	0.91±0.01	3.70±0.11	4.18±0.01	0.71±0.00	0.29±0.00
	0.59±0.03	5.15±0.39	15.51±0.23	13.00±0.40	2.24±0.05
	0.62±0.04	4.37±0.80	14.49±2.36	9.86±1.58	1.91±0.19
	2.52±0.12	1.09±0.01	3.35±0.37	2.76±0.45	0.36±0.02
	0.70±0.03	6.88±0.37	14.02±1.70	12.11±0.69	2.14±0.37
	1.19±0.01	1.43±0.00	12.75±2.41	9.81±0.13	1.52±0.00
	1.00±0.01	1.05±0.03	2.15±0.36	2.04±0.01	0.31±0.00
	0.53±0.03	2.28±0.08	5.31±0.03	6.62±0.58	1.25±0.09
	1.66±0.03	3.76±0.36	11.31±0.57	10.01±0.45	3.24±0.01
	0.99±0.03	5.14±0.36	17.02±0.23	12.74±0.36	2.43±0.09
	0.38±0.01	2.75±0.54	5.82±0.38	6.01±0.15	1.07±0.07
	0.63±0.05	2.55±0.72	7.69±0.85	7.54±1.72	0.63±0.16
	0.92±0.05	0.88±0.04	11.94±0.79	9.86±0.53	1.49±0.02
	2.30±0.12	1.58±0.11	17.42±1.55	16.51±0.74	4.06±0.18

表 5 不同种源地臭椿果实中脂肪酸相对含量

Table 5 The fatty acids in fruit of *Ailanthus altissima* Swingle from different provenances

样品编号 Sample number	总饱和脂肪酸 Total saturated fatty acid	总不饱和脂肪酸 Total unsaturated fatty acid	标准差 Standard deviation	%
新疆 1 Xinjiang1	5.96	94.04	±0.13	
新疆 2 Xinjiang2	5.79	94.21	±0.12	
新疆 3 Xinjiang3	5.88	94.12	±0.05	
湖南 1 Hunan1	14.03	85.97	±0.22	
湖南 2 Hunan2	6.01	93.99	±0.13	
湖南 3 Hunan3	6.31	93.69	±0.32	
江西 1 Jiangxi1	3.92	96.08	±0.07	
江西 2 Jiangxi2	3.03	96.97	±0.11	
江西 3 Jiangxi3	4.38	95.62	±0.46	
甘肃 1 Gansu1	11.32	88.68	±0.37	
甘肃 2 Gansu2	6.75	93.25	±0.09	
甘肃 3 Gansu3	4.42	95.58	±0.16	
陕西 1 Shaanxi1	4.11	95.89	±0.26	
陕西 2 Shaanxi2	8.42	91.58	±0.07	
陕西 3 Shaanxi3	12.57	87.43	±0.13	

C16:0 在 1.02%~2.66%之间,硬酯酸 C18:0 含量在湖南 2 最高,为 2.52%,在甘肃 3 最低,为 0.38%,仅为湖南 2 的 15%。在 4 种碳十九酸中,不饱和脂肪酸 C19:2 酸 1 种,各省区含量在 0.88%~7.02%之间,不饱和脂肪酸 C19:1 酸 2 种,各省区含量在 4.19%~33.93%之间,饱和脂肪酸 C19:0 酸 1 种,各省区含量在 0.29%~4.06%之间。不同省区臭椿果实中都含有丰富的不饱和脂肪酸,含量最高的是江西 2,为 96.97%,最低的是湖南 1,也达 85.97%,平均比例为 93.14% (表 5)。江西 2 这一臭椿果实中不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比例为 32:1,湖南 1 这一臭椿果实中不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比例为 6:1,两者比例差值较大。

3 讨论与结论

种子是遗传因素的载体之一,种子的质量在很大程度上决定了植株的生长发育和产量。种子和果实中的内含物是种子进行生命活动所必需的成分,这些营养成分相互之间及对种子活力、发芽及储藏等有着巨大的影响。同一树种不同种源的母树为了适应环境变化产生遗传变异,并将稳定的遗传变异性状反映在种子的各种品质中,所以,同一树种不同种源种子的内含物性状均存在差异^[30]。本实验通过对 5 个种源地的臭椿果实进行内含物成分的研究,比较其品质的省区差异,为下一步臭椿育苗和良种选育打下基础。

本次研究发现,不同种源臭椿果实的内含物存在较大差异,粗脂肪和淀粉占比最大,矿物质次之,粗蛋白、还原糖和非还原糖(以蔗糖计)含量最小。粗蛋白含量在 0.8%~1.57%之间;淀粉含量在 7.34%~30.18%之间;还原糖含量在 0.1%~1.45%之间;非还原糖含量在 0.05%~1.59%之间;粗脂肪含量在 22.24%~34.86%之间,矿物质含量在 3.04%~7.4%之间。其中粗蛋白含量差值最小,最大值与最小值仅相差 0.77%;而非还原糖含量的差异最大,最大值是最小值的 31.8 倍。

实验所测的粗蛋白中的蛋白质是生命的物质基础。实验表明虽然不同种源臭椿果实的粗蛋白含量均不是很高,但在不同省区仍是不同的。蛋白质是果实的重要组成成分,也是种子发芽生长所必需的营养物质,测定并分析比较臭椿果实中的粗蛋白有助于帮助选择更优质的种子,划分种源,为种子调拨提供依据。淀粉是臭椿果实营养成分中重要的组成部分,淀粉含量对工业生产具有重要意义^[31]。除食用外,工业上淀粉可用于制糊精、麦芽糖、葡萄糖、酒精等,也用于调制纺织品的上浆、纸张的上胶、药物片剂的压制等。其中江西 1 和江西 3 含有超过 30%的淀粉含量,因此可把江西九江作为发展上述工业用途的实验基地。臭椿种子脂肪含量高,脂肪油可达 30%~35%,为半干性油。目前能源危机已成为制约全球经济发展的重要因素,开发可再生生物质能源是当务之急。罗艳和刘梅^[32]根据生物柴油标准对国内 118 种种子含油量超过 30%的木本

油料植物进行评估,共筛选出 53 种木本油料植物的种子油可作为发展生物柴油最适合的原料,臭椿是其中之一。由于新疆种源果实的粗脂肪平均含量最高,从 5 个种源地来看,粗脂肪含量的排序也较为靠前,所以可选择新疆鄯善县作为发展以臭椿种子为油料来源的产业基地。

不同省区的臭椿果实中都检测出 10 种脂肪酸(含分子式相同的同分异构体各两个),其中不饱和脂肪酸含量丰富,尤其是亚油酸、油酸的含量较高,这与相关研究的结果相似^[33]。4 种碳十九酸的含量在不同省区存在差异,这些差异可能显示了种子的种源差异性,作进一步研究可帮助进行种子区划及良种选育。

参考文献:

- [1] 刘建婷,张丽荣. 浅谈乡土树种-臭椿资源的开发[J]. 河北林业科技, 2009 (1): 55-56.
- [2] 宋丽华,王娅丽. 几个臭椿种源种子的生物学特性变异研究[J]. 农业科学研究, 2005, 26(1): 18-21.
- [3] 张红梅. 天然药物银杏的化学成分和药理作用[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2014, 35(3): 41-44.
- [4] 图斯库,张树军,李涛,等. 臭椿树根化学成分研究[J]. 中草药, 2015, 46 (10): 1426-1430.
- [5] 曹兵,孙永胜,马红军,等. 臭椿提取液对光肩星天牛的毒杀作用[J]. 宁夏农林科技, 2003 (4): 8-9.
- [6] 王汉海. 臭椿叶提取物对桃蚜的防治效果研究[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(20): 4944-4945.
- [7] MASTELIĆ J, JERKOVIĆ I. Volatile constituents from the leaves of young and old *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle tree[J]. Croatica Chemica Acta, 2002, 75(1): 189-197.
- [8] 王琦,周玲仙,罗晓东. 苦木科植物化学成分及生物活性研究进展[J]. 国外医学中医药分册, 2004, 26(5): 277-280.
- [9] 于荣敏,林少霞,张惟才,等. 中国药用植物细胞工程研究进展[J]. 中国药物化学杂志, 1994, 4(3): 224-232.
- [10] ISHIBASHI M, MURAE T, HIROTA H, et al. Shinjulaetone C, a new quassinoid with a 1α , 12α : 5α , 13α , -dicyclo- 9β H-picrasane skeleton from *Ailanthus altissima* Swingle[J]. Tetrahedron Lett, 1982, 23(11): 1205-1206.
- [11] ISHIBASHI M, TSUYUKI T, MURAE T, et al. Constituents of the root bark of *Ailanthus altissima* Swingle. Isolation and X-ray crystal structures of shinjudilactone and shinjulactone C and conversion of ailanthone into shinjudilactone[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1983, 56(12): 3683-3693.
- [12] ISHIBASHI M, FURUNO T, TSUYUKI T, et al. Structures of shinjulactones D and E, new bitter principles of *Ailanthus altissima* Swingle[J]. Chem Pharm Bull, 1983, 31(6): 2179-2182.
- [13] ISHIBASHI M, YOSHIMURA S, TSUYUKI T, et al. Shinjulaetone F, a new bitter principle with 5β H-picrasane skeleton from *Ai-lanthus altissima* Swingle[J]. Chem Lett, 1984, 13(4): 555-556.
- [14] ISHIBASHI M, YOSHIMURA S, TSUYUKI T, et al. Structure determination of bitter principles of *Ailanthus altissima*. Structures of shinjulaetones F, I, J and K[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1984, 57(10): 2885-2892.
- [15] ISHIBASHI M, YOSHIMURA S, TSUYUKI T, et al. Shinjulaetones Gand H, new bitter principles of *Ailanthus altissima* Swingle[J]. Chem Soc Jpn, 1984, 57: 2013-2014.
- [16] ISHIBASHI M, TSUYUKI T, TAKAHASHI T. Structure determination of a new bitter principle, shinjulactone L from *Ailanthus altissima*[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1985, 58(9): 2723-2724.
- [17] NAORA H, ISHIBASHI M, FURUNO T, et al. Structure determination of bitter principles in *Ailanthus altissima*. Structure of shiniuiaetone A and revised structure of ailanthone[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1983, 56(12): 3694-3698.
- [18] FURUNO T, ISHIBASHI M, NAORA H, et al. Structure determination of bitter principles of *Ailanthus ahissima*. Structures of shinjulaetones B, D and E[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1984, 57(9): 2484-2489.
- [19] NIILLI Y, TSUYUKI T, TAKAHASHI T, et al. Structure determination of shinjulaetones M and N, new bitter principles from *Ailanthus altissima* Swingle[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1986, 59(5): 1638-1640.
- [20] KUBOTA K, FUKAMIYA N, HAMADA T, et al. Two new quassi-noids, ailan tinols A and B and related compounds from *Ai-lanthus altissima*[J]. J Nat Prod, 1996, 59(7): 683-686.
- [21] KUBOTA K, FUKAMIYA N, OKANO M, et al. Two new quassi-noids, ailan tinols C and D from *Ailanthus altissima*[J]. Bull Chem Soc Jpn, 1996, 69(12): 3613-3617.
- [22] TAMURA S, FUKAMIYA N, OKANO M, et al. Three new quassinoids, ailaninol E, F and G from *Ailanthus altissima*[J]. Chem Pharm Bull, 2003, 51: 385-389.
- [23] BORY G, CLAIRMAEZULAJTYS D. Lipid content and fatty acid composition of seeds of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Simaroubaceae)[J]. Indian J Plant Physiol, 1989, 32(1): 12-16.
- [24] 国家粮食局. 粮油检验 植物油料粗蛋白质的测定: GB/T 14489.2-2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [25] 国家粮食局. 粮油检验 粮食、油料中淀粉含量测定: GB/T 5514-2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [26] 国家粮食局. 粮油检验 粮食中还原糖和非还原糖测定: GB/T 5513-2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [27] 国家粮食局. 粮油检验 粮食中粗脂肪含量测定: GB/T 5512-2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [28] 国家粮食局. 粮油检验 灰分测定法: GB/T 5505-2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [29] 中国计量科学研究院. 食品中总脂肪、饱和脂肪(酸)、不饱和脂肪(酸)的测定 水解提取-气相色谱法: GB/T 22223-2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [30] 刘盈盈,张玉武,张珍明,等. 青钱柳种源筛选研究进展[J]. 贵州科学, 2016, 34(1): 11-14.
- [31] 田娟,王磊,陈庆富. 不同地区火棘果实中淀粉含量的研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(11): 109-112.
- [32] 罗艳,刘梅. 开发木本油料植物作为生物柴油原料的研究[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(7): 68-74.
- [33] 吕金顺,刘岚,邓芹英. 臭椿籽挥发油的化学成分分析[J]. 分析测试学报, 2003, 22(4): 39-41.