

# Germplasm Characteristics of *Plukenetia volubilis* var. *brazilian* and Its Productive Performance after Introduction into Yuanjiang Dry-Hot Valley of Yunnan, China

Chengyuan Yang<sup>1\*</sup>, Weihua Lu<sup>2</sup>, Qiongmei Wen<sup>3</sup>, Zengfu Xu<sup>1</sup>, Yunfeng Long<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Tropical Plant Resources and Sustainable Use, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden (XTBG), Chinese Academy of Sciences (CAS), Xishuangbanna Yunnan

<sup>2</sup>Research Institute of Resource Insects (RIRI), CAF, Kunming Yunnan

<sup>3</sup>Yuanjiang Forestry Sciences and Technology Service Station (YFSTSS), Yuanjiang Yunnan

<sup>4</sup>Yunnan Provincial Science and Technology Department, Kunming Yunnan

Email: \*[ycy@xtbg.org.cn](mailto:ycy@xtbg.org.cn)

Received: Oct. 5<sup>th</sup>, 2015; accepted: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2015; published: Oct. 28<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## Abstract

Since 2011, an introduction test of *Plukenetia volubilis* var. *brazilian* (PVB) has been carried out in arid-hot valley of Yuanjiang, Yunnan. The results showed that compared with *Plukenetia volubilis* var. *peruvian* (PVP) introduced in Xishuangbanna previously, PVB has a strong adaptability and high production performance. Its advantages lie in not infected, style short, thin shell, small grain, high rates of seed oil. According to determination, PVB seed oil content (35.4%) was slightly higher than PVP (34.1%), and obtained seed oil content of 30% by mechanical pressing and on small field test, seed yield reached 1327.5 kg/ha and oil yield of 367.1 kg/ha at 3-year-old growth. It is suggested that PVB has a good perspective for bio-industry development in the dry-hot valley of Yunnan.

## Keywords

*Plukenetia volubilis* var. *brazilian* (PVB), Germplasm Characteristics, Dry-Hot Valley, Introduction Test, Productive Performance

\*通讯作者。

# 巴西油藤的种质特性及其在云南元江干热河谷引种的生产性能

杨成源<sup>1\*</sup>, 路卫华<sup>2</sup>, 温琼文<sup>3</sup>, 徐增富<sup>1</sup>, 龙云峰<sup>4</sup>

<sup>1</sup>热带植物资源可持续利用重点实验室, 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 西双版纳

<sup>2</sup>中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明

<sup>3</sup>云南省元江县林业科技推广管理工作站, 云南 元江县

<sup>4</sup>云南省科学技术厅, 云南 昆明

Email: [ygy@xtbg.org.cn](mailto:ygy@xtbg.org.cn)

收稿日期: 2015年10月5日; 录用日期: 2015年10月23日; 发布日期: 2015年10月28日

## 摘 要

自2011年以来, 元江干热河谷进行了巴西油藤的引种试验。试验结果表明, 与先前西双版纳引进的秘鲁油藤(*Plukenetia volubilis* cv. *peruvian*, PVP)比较, 巴西油藤(*Plukenetia volubilis* var. *brazilian*, PVB)有较强的适应性和较高的生产潜力。二者相比, 巴西油藤(PVB)对元江干热河谷具有比较好的适应性和生物学特异性。其特异性表现为不易染病, 雌花花柱比较短, 种籽粒小、皮薄, 种子含油率为35.4%, 高于秘鲁油藤(34.1%) 1.4个百分点; 通过机械压榨, 种子油的得率为30%。小区试验3年生时种子亩产量为88.5 kg, 折合每公顷1327.5 kg/ha, 可产精油367.1 kg/ha。从这些数据来看, 巴西油藤在云南干热河谷区生物产业发展中有良好的应用前景。

## 关键词

巴西油藤, 种质特性, 干热河谷, 引种, 生产性能

## 1. 引言

南美油藤具有重要的开发价值。南美油藤(*Plukenetia volubilis* L.) [1], 是最早发现在秘鲁亚马逊流域, 因此最初被林奈命名为“秘鲁油藤”(*Plukenetia peruviana* Muell. Arg. 1865); 后来在巴西里约·热内卢地区也发现该植物, 曾被命名为“长花柱油藤”(*Plukenetia macrostyla* Ule 1908) (Gillespie, 1993) [2]。在其开发利用中, 南美油藤有多种称谓, 如“沙嘎·印奇(Sacha Inchi)” (Gonzales and Gonzales, 2015) [3]、“印加花生(Inca Peanut)” (Sathe *et al.*, 2002; Hamaker *et al.*, 1992) [4] [5], 野花生(Wild Peanut)、山地花生(Mountain Peanut) (Gutiérrez *et al.*, 2011) [6]。引入中国后, 则被称为“星油藤”(蔡志权, 2011) [7], 或“美藤果”(刘付英, 2014; 张思佳等, 2013) [8] [9]。南美油藤隶属于大戟科多年生藤本油料植物, 根据文献记载主要分布小安的列斯群岛(the lesser Antilles)、亚马逊流域北部和西部, 包括委内瑞拉(Venezuela), 苏里南(Surinam), 哥伦比亚(Colombia(Meta)), 厄瓜多尔(Ecuador), 秘鲁(Peru), 玻利维亚(Bolivia), 巴西(Brazil)等地。南美油藤的早期利用始于亚马逊流域秘鲁雨林区的印加人, 因此林奈最先将其命名为秘鲁油藤。在南美洲亚马逊河流域秘鲁雨林区, 印加人食用该植物的历史已有几百年, 他们从其果内获取果粉、果油, 制作各种食物, 用其嫩叶制作美食。现代营养学和医药学的研究表明, 该植物种子富含油脂

(35%~60%)、蛋白质(27%)，维生素 A，维生素 E，和其他一些微量元素。在种子油中  $\omega$ -3、 $\omega$ -6、 $\omega$ -9 等不饱和脂肪酸含量达 92% 以上。这些成分对人体具有良好的营养价值，可用于食品、保健品、药品、化妆品等，具有预防心血管疾病、保养皮肤等功效(Fanail *et al.*, 2011; 蔡志全, 2011) [10]。

巴西油藤在云南干热河谷引种可发挥生态修复和生物产业开发双重功能。利用西部热区充足的山地资源，寻找和引进颇具特色木本油料作物油藤，对满足我国食用植物油的需求具有十分重要的意义。自 2006 年秘鲁油藤引种试验获得成功之后，在中国内云南西双版纳(梅正强等, 2013) [11]、红河[12]和普洱[13]三个州(市)，以及贵州黔西南州安龙、册亨、贞丰等县(张可元等, 2011; 张燕等, 2011) [14] [15]相继开展该作物再引种和推广种植试验示范，迄今推广面积近 2000 ha；在国外老挝、缅甸等也与中国相关部门签署协议，推广种植面积达 7000 ha。与此同时，相关的科技研究项目也相继立项、展开，中科院已将其纳入西双版纳热带植物园“135”攻关课题内容。2011 年 8 月，卫生部卫生监督中心受理美藤果油新资源食品申请，卫生部 2013 年第一号公告批准美藤果油作为新资源食品[16]。回顾过去的工作，油藤开发中亟待解决的问题主要是两个方面，一是油藤对不同气候、土壤环境的适应性；二是高产、优质和抗逆性强的品种选择。

本项目研究的目的是寻找适于云南干热河谷气候土壤条件的，具有开发高档油料的植物新品种。在过去的五年时间里，我们以先期引入的秘鲁油藤(Sacha Inchi)为参照，就巴西油藤对元江干热河谷的适应性和生产性能进行了系统的观察。观测结果表明，与秘鲁品种相比，巴西品种对元江干热河谷有较好的适应性，同时表现了与秘鲁品种不同的生物学特性和抗逆性，试验区内 3 年生产量达 1327.5 kg/ha，说明油藤巴西品种在干热河谷区有良好的开发前景。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 试验区概况

云南元江那塘山巴西油藤引种试验示范区，位于元江县城南部(北纬 23°31'N，东经 102°05'E)，属于红河(元江)水系干热河谷气候类型，海拔 700 m，年均温 23.9℃，全年日均温  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ，极端最高气温 42.5℃，极端最低气温 6.7℃， $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温 8700℃；年降雨量 735.7 mm，年均相对湿度 67%，干燥度 1.94；年日照时数 2291.7 h，太阳辐射量 126.495 kcl/cm<sup>2</sup>，有效生理辐射量 63.248 kcl/cm<sup>2</sup>。土壤类型属于褐红壤。

### 2.2. 巴西油藤引种和种群建立

以云南省政府叶燎原副秘书长为团长的云南省生物能源科技考察团一行 5 人，于 2011 年 1 月 17~27 日期间先后访问了巴西和智利两国。在参观巴西伊瓜苏瀑布区的过程中，我们发现了野生的油藤，并采集到 50 余粒种子。带回中国后，2011 年 6 月在西双版纳热带植物园内育苗 48 株，同年 9 月份移植到小桐子种质资源圃内。2012 年 5~6 月间定植扦插苗 190 株，直接播种 240 塘，播种株行距均为 2 × 3 m。2013 年初调查，在元江那塘山保存实生苗 98 株，扦插苗 90 株；在西双版纳保存实生苗 30 株。2014~2015 年在元江那塘山试验区增植约 2500 株，使巴西油藤实验保存面积达 10 亩。在试验区，以同样标准，采用秘鲁油藤(*Plukenetia volubilis* cv. *peruvian*, PVP)实生苗建立了一个试验小区，以供对照。

### 2.3. 巴西油藤种质特性观测

观测内容包括：植株、花器和果实表型特征。观测方法以目测法为主，辅以直尺、游标卡尺和卷尺等工具测量。

植株体征：高度、直径和冠幅(m<sup>2</sup>)用标有刻度的测竿实测，精确到 0.1 m；胸径用胸径测围尺测量，精确到 0.01 cm；冠幅面积使用皮尺测量东西、南北的长度，然后通过模拟椭圆面积计算得出结果，精确

到  $0.1 \text{ m}^2$ ；分枝数为目测的一级分枝的数量。植株粗度(直径)的测定均各单株同一节位进行，植株高度以最底端到最顶端的长度计算。

花器官表型特征：主要观察花柱长度、柱头裂数和厚度，以及雄蕊数目和花粉形态特性(孢粉学特性)等指标使用电子数显游标片尺测量，数据精确到  $0.01 \text{ mm}$ 。花粉活力及孢粉学特性，采用激光共聚焦显微镜(Confocal laser scanning microscope, LSM710; Zmager Z2)观测。

采用荧光显微镜观察花粉的活力与可育性。在盛花期时，于晴天的上午 10:00~11:00 时，取油藤的成熟花药，压出花粉于载玻片上，盖上盖玻片，滴加 1% NaCl 溶液，置于激光共聚焦显微镜下观察。统计计算出成熟可育花粉粒的比率。每种材料观察 10 个视野，每个视野统计的花粉粒数在 15 个以上。成熟可育花粉粒比率 = 可育花粉粒数目/花粉粒总数。

果实表型特征测定：果实纵径、横径和果皮厚度，采用电子数显游标卡尺进行测量，将鲜果剥开后选取果实的中间部位的果皮用游标卡尺测量果皮厚度，数据均精确到  $0.01 \text{ mm}$ ，果形指数 = 果纵径/果横径。

#### 2.4. 巴西油藤经济性状观测

观测内容包括：单果鲜重(g)、鲜果出籽率(%)、鲜果干出仁率(%)、种仁含油率(%)、鲜果含油率(%)、单株产果量(kg)、单株产油量(kg)、单位面积冠幅产油量( $\text{g}/\text{m}^2$ )等经济性状。

果实经济性状测定：鲜果重量、单果产籽重量用 1/100 电子天平进行称量。鲜果出籽率为鲜籽重量与鲜果重量的比值，公式如下：鲜果出籽率 = 鲜籽质量/鲜果质量  $\times 100\%$ 。单果产籽数：将果实剥开，统计记录单果产籽的数目。含水率用烘干法测定：将一定重量的种子置于  $105^\circ\text{C}$  烘箱里烘干至恒重，记录数据，经前后重量差换算得出，精确到  $0.01\%$ 。干出籽率为风干籽重量与鲜果重量的比值。鲜果出干仁率为风干种仁的重量与鲜果重量的比值。干籽出仁率：称取 20 粒风干籽的重量，将籽壳去掉后称量种仁的重量，两者的比值为干籽出仁率，以上数据均精确到  $0.01\%$ 。单株产果数为单株的果实数量，目测计数得到；单株产果重量由单果平均重量乘以单株产果数得到，精确到  $0.01 \text{ kg}$ 。

果实含油量测定：种仁含油率用索氏提取法测定，具体操作如下：先将浸提瓶洗净，置于  $105^\circ\text{C}$  恒温烘至恒重，编号并记录质量  $W_0$ ，将风干后的种仁用粉碎机粉碎成粉末，称取  $2 \text{ g}$  左右粉碎的种仁粉末至于滤纸包内记录质量  $W_1$ ，然后将包有样品的滤纸包分别放入索氏抽提器蒸餾瓶，加入  $80 \text{ ml}$  无水乙醚抽提  $4 \text{ h}$ ，之后取出滤纸包将浸提瓶放入烘箱  $105^\circ\text{C}$  恒温烘  $1 \text{ h}$  至恒重，记录数据  $W_2$ ，种仁含油率% =  $(W_2 - W_0)/W_1 \times 100\%$ ，精确到  $0.01\%$ ，实验重复测定 3 次，平行样品间误差不超过  $0.5\%$ 。

干籽含油率：采用索氏提取法为主，核磁共振仪为辅。种仁含油率乘以干籽出仁率即为干籽含油率，精确到  $0.01\%$ ；鲜籽含油率：干籽含油率乘以风干籽的重量与鲜籽重量的比值即为鲜籽含油率，精确到  $0.01\%$ ；鲜果含油率：鲜籽含油率乘以鲜果出籽率即为鲜果含油率，精确到  $0.01\%$ ；单株产油量：由单株产果重量乘以鲜果含油率求得，精确到  $0.01 \text{ kg}$ ；单位冠幅面积产油量：单株产油量与冠幅面积的比值，精确到  $0.01 \text{ g}/\text{m}^2$ 。

果实生长与经济指标测定于每年 6 月初在该林分内选择 10 株生长健康，树体特征与生长条件基本一致的植株，自 6 月上旬开始每隔  $10 \text{ d}$  定期采集果实，每株随机采集树冠中部的果实 2 个，将所有果实混合带回实验室及时处理，并按上述方法，进行各项经济指标测定。

#### 2.5. 巴西油藤油脂品质测定

巴西油藤油脂品质研究内容，重点是出油率和脂肪酸组成，尤其是  $\alpha$ -亚麻酸( $\omega$ -3)的含量。测定方法参见《膏桐新品种种籽油脂脂肪酸组成及其炼制生物柴油的潜力》一文[17]。供试油品采用机械(DD85G, KOMET, Germany)冷压榨法榨取，然后送样至农业部农场品质监督检验测试中心(昆明)按 GB/T5009.6-2008 进行脂肪酸组成分析。

## 2.6. 数据分析

对以上巴西油藤等测定数据进行分别汇总，IBM SPSS Statistic 19.0 和 EXCEL 软件进行以下处理：

- 1) 用方差分析检验各性状的差异显著性，以进行 Tukey HSD 多重比较；
- 2) 做性状间的相关分析，明确各性状间的相互关系。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 巴西油藤种质特性

#### 3.1.1. 生长与结实习性

2011 年 1 月 17~27 日在参观伊瓜苏瀑布区的过程中，野外采集到野生的巴西油藤 50 余粒种子。2011 年 6 月在西双版纳育苗 48 株，9 月份移植到种质资源圃内，年底试花、挂果，次年 2、3 月果实成熟。迄今在西双版纳保留 6~8 株，作为原始种源保存。

2012 年 5 月 18 日，采用西双版纳结出的种子，在元江那塘山直接播种 120 塘，出苗 26 株，出苗率 21.6%。6 月利用西双版纳的苗木，在那塘山定植 200 株，其中包括实生苗和扦插苗各 100 株，年底保存实生苗 98 株和扦插苗 90 株，保存率分别 98% 和 90%。

2013 年 6 月，在元江试验区，就地采种就地育苗 2500 余株，定植 640 塘(每塘定植 2~3 株)。2015 年 2 月 26 日调查，存活 355 塘，保存率 55.47%，存活植株已进入开花、挂果期(图 1)。

在元江巴西油藤的生长调查结果(表 1)表明，该植物均遵从于“S”字形的生长轨迹，其中植株高度的生长趋势尤为典型，高度峰值(2.0 m 左右)出现在第三年。地径峰值(2.0 cm)出现第二年。影响冠幅的藤蔓年年均有发生，但同时每年都有藤蔓枯萎。

#### 3.1.2. 叶片和雌花的特点

巴西和秘鲁两个油藤品种的形态学差异，主要表现在叶片和雌蕊上。在叶片上，巴西品种属于叶沿平齿型，而秘鲁品种则是叶沿锐齿型。在雌蕊上，巴西品种花柱较短，而秘鲁品种花柱较长。据观察，雌花属于比较特别的类型，它位于雄花序梗的基部，花冠既无萼片，也无花瓣，仅显示赤裸裸的雌蕊。雌蕊自上而下由柱头(stigma)、花柱(style)和子房(ovary)三个部分组成(图 2)。两个油藤品种花柱和柱头的测量见表 2。由表 2 可见，巴西品种花柱长 16.53 mm，仅是秘鲁品种花柱长度(24.41 mm)的 67.72%。

#### 3.1.3. 生态适应特性

巴西油藤(PVB)的优势在于，一是群体中出现了较高比例的灌木性植株；二是有相对较强的抗逆性。据调查在元江试验植株中灌木状的占 75% 以上，而秘鲁油藤几乎都是缠绕型(或攀缘性)植株。灌木状植株的特点是可以直立生长，栽培经营中无需搭棚搭架，即可正常地开花、结果；而缠绕性的株型，在经营中需要搭棚、搭架，由此增加了经营成本。在抗性方面，根据观察秘鲁品种(PVP)试验中显露出来的主要问题病、虫危害，尤其是线虫病几乎是南美油藤引种的一个瓶颈。在秘鲁品种引种试验区，常见结果植株成块、成片枯萎死的现象。由此导致试验区油藤种子产量的急剧下降。巴西品种引入元江干热河谷以后，试验区内植株的死亡大多是由于干旱引起的，常表现为插花性(零散性)死亡。但在同期定植的两个品种之间比较，巴西品种仍显出相对较强的抗旱性，保存率为 70%，而同期定植的秘鲁品种保存率不到 5%。

## 3.2. 经济性状

### 3.2.1. 干果性状

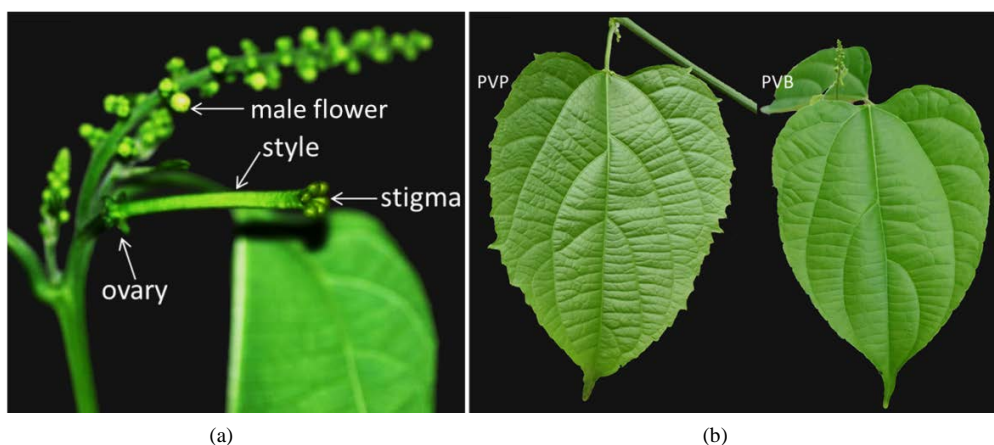
元江和西双版纳两地巴西油藤干果性状测定见表 3。由表 3 可见，在元江干热河谷区巴西油藤干果较小( $38.7 \times 39.5 \times 24.0$  mm)，而在西双版纳湿热气候类型区的干果则比较大( $40.2 \times 39.5 \times 24.6$  mm)。但





**Figure 1.** The growth trend of PVB in Yuanjiang dry-hot valley. (a) growing period; (b) harvesting period

**图 1.** 元江干热河谷巴西油藤的生长态势。(a) 生长期；(b) 收获期



**Figure 2.** Characteristics of PVB's pistil and blade. (a) showed a characteristic of PVB pistil; (b) showed a blade difference between PVB and PVP

**图 2.** 巴西油藤雌蕊和叶片的特征。(a) 显示巴西油藤雌蕊的特征；(b) 显示两品种叶片的差异

**Table 1.** Growth trend of PVB in Yuanjiang dry-hot valley of Yunnan, China

**表 1.** 元江干热河谷巴西油藤(PVB)生长状况

龄级 Age	抽查株数 n	地径 GD (cm)		高度 H (m)		冠幅 Cr. (m)	
		巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru
1	15	1.06	1.10	1.06	1.56 <sup>a</sup>	1.50	2.32
2	15	2.07	2.20	1.67	2.30 <sup>a</sup>	1.63	2.56
3	15	2.16	2.32	1.97	2.42 <sup>a</sup>	2.52	2.78
4	15	2.24	2.40	2.02	2.65 <sup>a</sup>	2.80	3.24

Note: GD-ground diameter; H-height; Cr.-crown. <sup>a</sup>show a vine length (表示藤蔓长度)。

**Table 2.** Measurement of stigma and style of PVB  
**表 2.** 巴西油藤(PVB)雌花柱头测量

统计量 <sup>a</sup>	巴西品种 PVB			秘鲁品种 PVP		
	花柱长 SL/mm	柱头厚度 ST/mm	柱头直径 SD/mm	花柱长 SL/mm	柱头厚度 ST/mm	柱头直径 SD/mm
平均值 Average	16.53	2.40	5.50	24.41	2.34	5.98
标准差 Stdev	3.26	0.47	1.56	1.93	0.41	0.61
变异系数 V (%)	19.75	19.61	28.33	7.92	17.3	10.21

Note: <sup>a</sup>n = 30. SL: Style length, ST: Stigma thickness, SD: Stigma diameter

**Table 3.** Measurement of dried-fruit characteristics of PVB  
**表 3.** 巴西油藤干果性状测量

地点 Sites	元江 Yuanjiang		西双版纳 Xishuangbanna	
	巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru
种源 Seed sources				
果长 Nut length (mm)	38.68 ± 5.73	38.96 ± 4.68	40.16 ± 5.23	43.59 ± 8.27
果宽 Nut width (mm)	39.47 ± 7.33	37.83 ± 3.35	39.38 ± 4.15	43.9 ± 8.07
果厚 Nut thickness (mm)	23.98 ± 2.09	23.46 ± 1.56	24.55 ± 1.75	25.03 ± 2.05
果皮厚 Nutshell thickness (mm)	3.34 ± 0.36	3.28 ± 0.30	3.24 ± 0.38	3.49 ± 0.50
籽粒数 Grain number	4.17 ± 0.41	4.17 ± 0.41	4.20 ± 0.45	4.60 ± 0.70
单果重 Nut weight (g)	8.31 ± 2.06	6.89 ± 1.60	9.25 ± 1.46	9.43 ± 2.96
籽粒重 Grains weight (g)	4.46 ± 0.92	3.16 ± 1.29	5.57 ± 0.56	5.38 ± 2.10
出籽率 Rate of seeds (%)	53.67	45.86	60.22	57.05

不同油藤品种对不同气候类型区的反应也能存在一定差异，在元江巴西品种干果略大于秘鲁品种，而在西双版纳则是秘鲁品种的干果(43.6 × 43.9 × 25.0 mm)大于巴西品种。平均单果重的变化趋势与果实大小相似。但在果皮厚度上，相对于秘鲁品种，在湿热地区巴西品种的比较薄。

巴西油藤品种干果内籽粒数，在不同试验区之间无明显差异，而秘鲁品种则有显著的不同。油藤出籽率(重量比)，因受果皮的厚度(质量)的影响，品种间的差异比较明显，所以巴西品种因为果皮较薄，相对于秘鲁品种，它的出籽率是比较高，可达 60%。从上述数据看，果小、皮薄和出籽率高应是在干热河谷引种巴西油藤的一个优势。

### 3.2.2. 种子大小和结构

巴西油藤种子大小测定见表 4。就种子的大小而言，无论从种籽直径，还是种籽平均单粒重，均显示巴西油藤籽粒比较小。以籽粒重计算，巴西油藤平均单粒重 1.05 g，仅是秘鲁油藤(单粒重 1.33 g)的 79.2%。另外种壳厚度是衡量种子质量的重要指标，测量结果(表 3)亦表明，巴西油藤种籽壳厚 1.08 mm，仅是秘

鲁油藤(种籽壳厚 1.40 mm)的 77.38%。

籽仁/籽壳的比率测定见表 4 和表 5。籽壳比例为 32.79% (壳:仁 = 1:2.05), 秘鲁油藤的达 34.39% (壳:仁 = 1:1.91), 亦即巴西油藤种籽壳的比例较秘鲁油藤低 1.6 个百分点(见表 5)。

### 3.2.3. 种子品质性状

巴西油藤种子经济性状调查, 主要包括油藤果实中种籽重量、种籽含水率和含油率。在这里巴西油藤的采样地点包括元江试验点林地和版纳试点林地、大棚和沙床。自 2012 年以来, 元江引种试验表明, 巴西油藤在干热河谷具有很好的发展潜力, 油脂品质特性与西双版纳等地前期引种的秘鲁油藤比较, 没有显著的差异。分析结果表明(见表 6), 4 个采样点平均巴西油藤干果内籽粒重 6.07 g, 种子含水率 7.99%、种子含油率 35.39%、种仁含油率 56.91%; 而秘鲁油藤干果内籽粒重 6.02 g, 种子含水率 8.74%、种子含油率 34.13%、种仁含油率 56.68%。二者比较, 除含水量较低外, 其余指标差异不显著。

### 3.3. 产籽量和产油量

带回中国后, 2011 年 6 月在西双版纳热带植物园内巴西油藤 48 株, 年底在试花、挂果的植株上收获种子 0.35 kg。2012 年 5 月 18 日, 在元江那塘山定植 220 株(塘), 2013 年初在上年保存的 188 株上收获干果 35 kg, 剥得种子 22.5 kg。2014 年初在上年(2013)保存的植株上收获干果 280 kg, 剥得种籽 108.5 kg, 从中取出部分种籽(85 kg)榨得毛油 18.75 kg, 得率 22.06% (油粕尚存油脂 25%左右)。2015 年在上年度保存的植株(326 株)上, 收获种子 135 kg, 其中 44.6 kg 留作种子, 其余 90.4 kg 剥得种仁 56.5 kg。7 月 27 日榨得粗油 28.00 kg (含油脚子 10%, 约 3.0 kg), 油粕 29.50 kg。按种仁计算, 净油得率 44.33%; 按种子计算, 净油得率 27.65%。

2015 年 6 月元江试验区巴西油藤生产力调查见表 6。由表 6 可见, 在元江干热河谷引种巴西油藤, 定植当年就可挂果, 每公顷产种子 267 kg。随着植株年龄增加, 产量呈现逐年的趋势。3 年生时试验区种子产量达到 1327.5 kg/ha, 可产精油 267.1 kg/ha。

由表 7 可见, 巴西油藤的生产能力高于先期在西双版纳引种的秘鲁油藤(蔡志权, 2011) [7]和云南普洱联众生物资源开发公司引种厄瓜多尔油藤的生产能力(谢蓝华等, 2015) [13]。秘鲁油藤种子幼苗定植后 6~7 个月即开始开花结实, 第 2 年可进入盛产期, 生产年份份可达 10 年。在西双版纳热带植物园建立高产示范栽培基地(100 亩)内, 种子产量 700 kg/ha; 按照冷榨(机械压榨)得率 30% 计算, 精油产量为 210 kg/ha [7]。厄瓜多尔油藤目前在普洱、红河和西双版纳三州市发展厄瓜多尔油藤面积 66.67 ha, 2011 年底收获种子约 50 t, 单位面积种子产量为 750 kg/ha, 精油产量为 225 kg/ha。

### 3.4. 巴西油藤油脂脂肪酸及其营养特性

在元江引入的巴西油藤脂肪酸组成分析见表 8。测定结果表明, 巴西油藤种子油不饱和脂肪酸 93% 以上, 略高于秘鲁油藤(92%); 就  $\omega$ -3 来看, 巴西和秘鲁的都存在两种同分异构体, 即  $\gamma$ -亚麻酸和  $\alpha$ -亚麻酸, 其中以  $\gamma$ -亚麻酸的含量最高。就  $\gamma$ -亚麻酸而言, 巴西油藤(45.58%)较秘鲁油藤(42.7%)高 3 个百分点。

与国外研究报道(Gutiérrez *et al.*, 2011) [6]比较, 巴西油藤油中脂肪酸组成及其相对比例在引种新区——元江干热河谷区出现了明显的适应性变异。首先, 在引种新区油藤油中脂肪酸的种类较起源中心区增多, 出现了  $\gamma$ -亚麻酸和花生酸(廿碳烯酸)。其次, 油藤油脂肪酸主成分( $\alpha$ -亚麻酸)较文献(Gutiérrez *et al.*, 2011) [6]报道值(50.8%)降低 5~8 个百分点。第三, 在所引进的两个品种之间比较, 由于原产地的不同, 因而在新区亦出现了适应性的差异。巴西油藤的突出点在于  $\alpha$ -亚麻酸的比例提高, 亚油酸比例相对降低, 而秘鲁的情况正好与之相反, 即  $\alpha$ -亚麻酸比例降低, 亚油酸比例上升, 而且  $\alpha$ -亚麻酸降低的数值(约 3%)正好与亚油酸升高的数值(约 3%)相等。最后值得强调的是, 在元江引入试验的两个品种中, 脂肪酸主成



**Table 4.** Measurement of seed characteristics of PVB  
**表 4.** 巴西油藤种子性状测量

种源 Seed sources	巴西 Brazil			秘鲁 Peru	
	No.	#1	#2	#3	
单粒重 Seed weight (g/grain)		<b>1.16 ± 0.36</b>	<b>0.88 ± 0.38</b>	<b>1.12 ± 0.17</b>	<b>1.33 ± 0.15</b>
仁重 kernel weight (g/grain)		0.78 ± 0.27	0.56 ± 0.30	0.76 ± 0.11	0.90 ± 0.13
壳重 Busk weight (g/grain)		<b>0.38 ± 0.09</b>	<b>0.33 ± 0.09</b>	<b>0.35 ± 0.11</b>	<b>0.43 ± 0.02</b>
籽长 Seed length (mm)		20.23 ± 1.78	20.58 ± 1.11	20.58 ± 2.07	21.31 ± 0.88
籽宽 Seed width (mm)		16.97 ± 1.28	16.45 ± 0.94	16.76 ± 1.40	16.95 ± 0.78
籽厚 Seed thickness (mm)		8.36 ± 0.58	8.14 ± 0.86	8.40 ± 0.36	8.89 ± 0.44
种壳厚度 Seed busk thickness (mm)		<b>1.17 ± 0.25</b>	<b>1.01 ± 0.14</b>	<b>1.07 ± 0.11</b>	<b>1.40 ± 0.14</b>
种仁比例 Kernel percentage (%)		67.24	63.63	67.86	67.67

**Table 5.** Determination of ratio of nut shell to kernel of PVB  
**表 5.** 巴西油藤种子壳/仁比例测定

品种 Varieties	n	种仁 Kernel (g)	种壳 Shell (g)	壳/仁比 Ratio (shell to kernel)
巴西油藤 PVB	30	0.8385 ± 0.1824	0.4091 ± 0.0462	1:2.05
秘鲁油藤 PVP	30	0.7933 ± 0.1993	0.4156 ± 0.0515	1:1.91

**Table 6.** Economical characteristics analysis of PVB Nut  
**表 6.** 巴西油藤坚果经济特性分析

采样点 Sampling sites	元江 Yuanjiang		西双版纳 Xishuangban		大棚 Greenhouse		沙床 Sandy-bed		平均 Average	
	巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru	巴西 Brazil	秘鲁 Peru
籽粒重 Grain weight/g	5.79	5.38	5.88	6.25	6.35	6.39	6.24	6.07	6.07	6.02
水分 Moisture/%	7.74	7.91	7.72	9.4	8.68	8.71	7.83	8.94	7.99	8.74
种子油 Seed oil/%	34.16	31.94	34.35	35.09	36.62	33.47	36.43	36.01	35.39	34.13
籽仁油 Kernel oil/%	53.72	54.89	54.47	57.62	60.34	54.64	59.11	59.56	56.91	56.68

**Table 7. Productivity of PVB in Yuanjiang dry-hot valley**  
**表 7. 元江干热河谷巴西油藤引种的生产能力**

龄级 Age	高度 Height (cm)	冠幅 Canopy (cm)	结果量 Fruits (n)	种子产量 Seeds yield		产油量 Oil yield	
				(kg/plant)	(kg/ha)	(kg/plant)	(kg/ha)
1-yr-old	85.7	107.5	48.0	0.2	267.0	0.07	73.83
2-yr-old	102.0	145.0	70.0	0.4	388.5	0.10	107.42
3-yr-old	112.7	167.0	214.0	0.5	1188.0	0.12	328.48
4-yr-old	126.0	182.0	240.0	0.5	1327.5	0.14	367.05

**Table 8. Fatty acid composition of PVB oil**  
**表 8. 巴西油藤油的脂肪酸组成**

脂肪酸 Fatty acid	种源 seed sources		
	哥伦比亚 Colombia <sup>a</sup>	巴西 Brazil	秘鲁 Peru
种子含油量 Seed oil (%)	42.1	35.39	34.13
棕榈酸 Palmitic (C16:0)	4.4	3.44	4.02
硬脂酸 Stearic (C18:0)	2.4	2.48	2.77
油酸 Oleic (C18:1 n-9)	9.1	8.95	7.94
亚油酸 Linoleic (C18:2)	33.4	36.90	39.08
$\alpha$ -亚麻酸 $\alpha$ -linolenic (C18:3)	50.8	45.58	42.71
$\gamma$ -亚麻酸 $\gamma$ -linolenic (C18:3)		0.51	0.30
花生酸 Archine acid (C20:0)		0.81	0.70
未知脂肪酸 Unknown		1.33	2.49
饱和脂肪酸 Total saturated fatty acid	6.8	8.06	9.98
不饱和脂肪酸 Total unsaturated fatty acid	93.3	91.94	90.03

Note: <sup>a</sup> Gutiérrez *et al.*, 2011.

分—— $\alpha$ -亚麻酸都出现了同分异构体  $\gamma$ -亚麻酸。这说明，在引种过程中，巴西油藤对引种新区并非被动地适应，它也在调整自身的代谢过程以获得对新环境的最大适应。

在对于干热河谷的适应过程中，巴西油藤油品中出现的  $\gamma$ -亚麻酸(见表 8)，是该品种原产地油品(Gutiérrez, 2011)中所没有的。这是一个值得关注的植物营养成分。 $\gamma$ -亚麻酸主要分布在高等植物柳叶菜科、紫草科和虎耳草科种子油及真菌油脂中，在动物组织中含量较低，但在人乳中含量较高，占乳汁重量 0.35%~1.0% (Huang & David, 1996) [18]; 现代医药研究(殷俊俊等, 2013) [19]表明  $\gamma$ -亚麻酸也具有降血压、降血脂、消炎、抗肿瘤、抗 HIV 等重要生理功能。因此，在巴西油藤油中  $\gamma$ -亚麻酸的出现，意味着它的利用还有较大的空间。

## 4. 结论

与秘鲁品种相似, 巴西品种也兼有营养和保健的功能, 属于高档食用油, 它的引进对改善我国食用油的营养结构和增加油料植物生产区域具有重要的意义。与我国主要油料植物油菜、花生等比较, 巴西品种的优势除具有高效的营养和保健功能之外, 更能适应我国西南干热河谷区的种植, 且具有较高的产量。与前期引进的秘鲁品种比较, 巴西品种种子的特点是粒小、壳薄, 且具有较高的抗逆性——耐旱和不易染病, 秘鲁品种目前显现出来的问题是抗旱性弱、易发生根病, 频繁发生成块、成片的死亡。

在对干热河谷的适应过程中, 巴西油藤油品中出现了  $\alpha$ -亚麻酸的同分异构体—— $\gamma$ -亚麻酸, 该脂肪酸在原产地油品中是没有的[6]。这是该品种面对引种新区做出的自我调节, 或者称“自适应”现象。 $\gamma$ -亚麻酸虽然在动物组织中含量较低, 但在人的乳汁中含量较高, 占乳汁重量 0.35%~1.0% (Huang & David, 1996) [18];  $\gamma$ -亚麻酸主要分布在高等植物柳叶菜科、紫草科和虎耳草科种子油及真菌油脂中。现代医药研究(殷俊俊等, 2013)表明  $\gamma$ -亚麻酸也具有降血压、降血脂、消炎、抗肿瘤、抗 HIV 等重要生理功能。因此, 在油藤油中  $\gamma$ -亚麻酸的出现, 意味着它的利用还有较大的空间。

灌木型类群的出现是巴西油藤对引种新区气候、土壤的一种生态适应性表现。在元江试验区巴西油藤植株中灌木状的占 75% 以上, 而秘鲁油藤几乎都是缠绕型(或攀缘性)植株。灌木状植株的特点是可以直立生长, 栽培经营中无需搭棚搭架, 即可正常地开花、结果; 而缠绕性的株型, 在经营中需要搭棚、搭架, 由此增加了经营成本。

在干热河谷区引种巴西油藤成败的限制性因素是气候干旱、白蚁的危害和该植物根系的生态遗传性。干旱是干热河谷气候的一种重要特点, 降水量不足 800 mm, 集中分布在 6~9 月间, 其余 7 个多月旱季降水仅占全年降水的 10%。在这类地区引种巴西油藤, 应选有灌溉的地方, 以获得预期的产品产量和质量。

白蚁是干热河谷引种巴西油藤的一个重要的限制因素。调查表明, 在元江试验中, 中期死亡的植株绝大部分是因为白蚁危害所致。白蚁危害有两个重要特点, 一是寄生性, 即专门寄生植株活着的根须; 二是可移动性, 即在当前寄生植株死亡或受到警示时, 可迅速向其他植株转移。从而给防控工作带来相当的难度。为寻求白蚁的生物防治对策, 最近我们开展了油藤与膏桐搭配种植试验, 初期效果尚好, 其结果将另文报道。

巴西油藤属于浅根系植物, 虽有丰富而发达的水平根须, 但主根很不发达。因此在引种新区——干热河谷气候干燥、土壤紧实的条件下, 这种植物根系很难深入到土壤深层吸取水分和其他营养。所以面对干热河谷漫长的旱季选择, 一部分植株就会枯萎、死亡。而先前在干热河谷引种获得成功的其他植物如苏门答腊金合欢等都属深根性的, 它们有明显而强盛的主根或下垂根, 可深入到土壤深层吸收水分和营养, 因而可渡过干热河谷漫长的旱季并保持旺盛的生长[20]。因此, 在进一步的引种试验中应把深根系品种筛选和培育放在一个重要的位置。

## 基金项目

国家自然科学基金(No. 31270704), “十一·五”国家科技支撑项目(No. 2007BAD32B0202)。

## 参考文献 (References)

- [1] Gillespie, L.J. (1994) Pollen morphology and phylogeny of the tribe Plukenetieae (Euphorbiaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **81**, 317-348. <http://dx.doi.org/10.2307/2992101>
- [2] Gillespie, L.J. (1993) A synopsis of neotropical Plukenetia (Euphorbiaceae) including two new species. *Systematic Botany*, **18**, 575-592. <http://dx.doi.org/10.2307/2419535>
- [3] Gonzales G.F. and Gonzales, C. (2014) A randomized, double-blind placebo-controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of sachainchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) in adult human subjects. *Food and*

- Chemical Toxicology*, **65**, 168-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.039>
- [4] Sathe, S.K., Hamaker, B.R., Sze-Tao, K.W. and Venkatachalam, M. (2002) Isolation, purification, and biochemical characterization of a novel water soluble protein from Inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 4906-4908. <http://dx.doi.org/10.1021/jf020126a>
- [5] Hamaker, B.H., Valles, C., Gilman, R., Hardmeier, R.M., Clark, D., Garcia, H.H., Gonzales, A.E., Konlstad, I., Castro, M., Valdivia, R., Rodriguez, T. and Lescano, M. (1992) Amino acid and fatty acid profiles of the Inca Peanut (*Plukenetia volubilis*). *Cereal Chemistry*, **69**, 461-463.
- [6] Gutiérrez, L.F., Rosada, L.M. and Jiménez, Á. (2011) Chemical composition of sachainchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*, **62**, 76-83. <http://dx.doi.org/10.3989/gya044510>
- [7] 蔡志全 (2011) 特种木本油料作物星油藤的研究进展. *中国油脂*, **10**, 1-6.
- [8] 刘付英 (2014) 美藤果及美藤果油的理化性质和油脂的脂肪酸组成分析. *中国油脂*, **7**, 95-97.
- [9] 张思佳, 黄璐, 熊周权, 汪小刚, 杨爽 (2013) 美藤果油研究进展. *粮食与油脂*, **6**, 4-6.
- [10] Fanail, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dachà, M., et al. (2011) Chemical characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59**, 13043-13049. <http://dx.doi.org/10.1021/jf203184y>
- [11] 梅正强, 王权宝, 丁传, 等 (2013) 西双版纳更新橡胶林地套种星油藤技术. *热带农业科技*, **1**, 40-42.
- [12] 红河州人民政府发展生物产业办公室 (2013) 红河州发展生物产业办主任到普洱考察生物企业. [www.hh.gov.cn](http://www.hh.gov.cn)
- [13] 谢蓝华, 陈佳, 张晓琴, 张嘉怡, 杜冰, 陈军 (2015) 对新资源食品——美藤果油的一些研究. *云南科技管理*, **1**, 81-83.
- [14] 张可元, 宋泽霜, 龙英, 等 (2011) 特色油料植物星油藤种子育苗技术初探. *农业研究与应用*, **5**, 63-64.
- [15] 张燕, 龚德勇, 刘国清, 等 (2011) 星油藤在贵州低热河谷区适应性观测. *农业研究与应用*, **6**, 21-23.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 (2013) 关于批准茶树花等7种新资源食品的公告(卫生部公告2013年第1号). <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7891/201301/50f91734cc56444b8c084f0d0468a690.shtml>
- [17] 杨成源, 路卫华, 吴学华, 徐增富, 龙云峰 (2015) 膏桐新品种种籽油脂肪酸组成及其炼制生物柴油的潜力. *植物学研究*, **4**, 16-24.
- [18] Huang, Y.S. and David, E.M. (1996)  $\gamma$ -Linolenic acid metabolism and its roles in nutrition and medicine. *AOCS*, 1-13.
- [19] 殷俊俊, 马传国, 朱换, 裴梦雪 (2013)  $\gamma$ -亚麻酸降血压作用及其机制探究. *粮食与油料*, **7**, 49-52.
- [20] 杨成源, 王长福, 等 (1994) 元谋干热河谷膨胀土地带引种苏门答腊金合欢效果好. *云南林业*, **4**, 16-17.