

星油藤蒴果及种子的性状变异研究

李光友, 徐建民*

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要: 为进行星油藤(*Plukenetia volubilis* L.)良种选育, 对其蒴果和种子的性状变异进行了研究。结果表明, 星油藤蒴果中 4、5、6 裂片果分别为 49.71%、37.69% 和 12.60%, 以 4 和 5 裂片为主; 种子性状变异系数比果实的小, 种子性状比果实更稳定。按果裂片类型统计, 以 4 裂片的性状变异系数最小, 性状也较为稳定, 性状分化变异率有 54.19%~95.63% 来自蒴果间, 而果实和种子性状分化变异率分别有 79.81%~95.76% 和 67.66%~93.0% 来源于裂片类型, 性状分化变异受裂片数影响大, 而相同裂片数不同蒴果间的变异程度低。不同裂片类型的果实与种子大多数性状间均存在显著或极显著差异, 果裂数是造成性状差异的主要原因。种子萌发率以 6 裂片果 > 5 裂片果 > 4 裂片果, 平均萌发率超过 91%; 种子萌发率与单果重、单果重与果形态指标、种子重与种子形态性状间均存在极显著正相关关系, 其中单果重对果厚、种子重对种子宽的影响大于其它性状。综合分析星油藤以 4 裂片果的生物产量最高, 平均果重和种子重均好于其他类型。

关键词: 星油藤; 蒴果; 裂片; 种子; 表型变异

doi: 10.11926/jtsb.3683

Study on Phenotype Variations of Capsules and Seeds in *Plukenetia volubilis* L.

LI Guang-you, XU Jian-min*

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: In order to selective breeding of *Plukenetia volubilis* L., the phenotype variations of its capsules and seeds were studied. The results showed that the capsules of *P. volubilis* had 3 types with 4, 5 or 6 pods, accounting for 49.71%, 37.69% and 12.60%, respectively, and the capsules with 4 or 5 pods were dominate. The variation coefficients of seed traits were lower than that of capsules, suggested that the stability of seed traits was higher than that of capsules. The traits of 4-pod capsule were the most stable among three pod types, there were 54.19%~95.63% variation ratio of traits came from different individuals. There were 79.81%~95.76% and 67.66%~93.0% variation ratio of capsule and seed traits came from pod type, respectively, which indicate the pod number had high effect on variations of traits. The most of traits of capsule and seed had significant differences among different pod types, the number of pod was main reason for trait difference. The seed germination rate was above 91% in the order of 6-pod>5-pod>4-pod. There were significant positive correlation between seed germination rate and weight per fruit, fruit morphology traits, such as fruit diameter, fruit thickness and thickness of pod, and weight per fruit, weight per seed and seed morphology, such as length, width and thickness. In conclusion, *Plukenetia volubilis* with 4-pod fruit had the highest yield, mean fruit and seed weight were higher than other types.

Key words: *Plukenetia volubilis*; Capsule; Pod; Seed; Phenotype variation

收稿日期: 2016-10-10 接受日期: 2016-12-05

基金项目: 广东林业科技创新项目(2015KJCX008)资助

This work was supported by the Innovation Projects of Forest Science and Technology in Guangdong (Grant No. 2015KJCX008)

作者简介: 李光友(1970~), 男, 副研究员, 农学博士, 从事林木遗传改良和栽培技术研究。E-mail: lgy@ritf.ac.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: jianmxu@163.com

星油藤(*Plukenetia volubilis* L.)又叫印加果(Inca Inchi), 亦称印加花生、南美油藤, 为大戟科(Euphorbiaceae)多年生木质藤本油料植物, 原生长在南美洲亚马逊河流域热带雨林^[1-3]。最初由印加人将其人工栽培后变野生为家种, 在南美洲印加地区种植栽培已达数千年。

星油藤种子含油率较高, 可达到30%~60%^[4-6], 油脂富含多元不饱和脂肪酸。星油藤种子油对调整血脂、预防心血管疾病、保养肌肤抗衰老等作用明显, 且不含芥酸和其他任何毒素, 可广泛用于食品、保健、制药、化妆品等领域, 被认为是世界上最好的植物油和天然保健化妆品原料, 被誉为植物脑黄金, 开发利用前景广阔^[3,7]。星油藤当年种植, 当年可挂果, 2~3年即进入盛产期。星油藤结实期很长, 可达75年, 田间种植植株盛产期可达10年以上^[1-3]。星油藤雌雄同株, 风媒传粉为主, 座果率高, 产量也高, 据报道^[1-3]产种子最高可达125~2050 kg hm⁻²。星油藤幼果表面光滑、绿色, 成熟时茶褐色, 蒴果, 具4~7个裂片, 7裂片果少见, 每裂片内含1种子^[8]。种子富含油脂、蛋白质、氨基酸, 还有多种维生素和生育酚^[9], 可用在医药、化工等方面, 是珍贵的经济植物。引种研究表明, 星油藤适宜在我国南方热带或亚热带地区70~2000 m海拔内栽培^[1-3,10], 适

应性较强, 引种区域广泛。

星油藤最先由中国科学院西双版纳植物园引种成功, 贵州省于2010年从西双版纳引入干热河谷地区^[11]。由于星油藤栽培品种少且处于引种初步阶段, 国内对其研究主要集中在引种驯化、种子萌发、育苗栽培技术^[11-13]及油成分等^[3,6,14]方面, 因此不同品种或类型间的差异研究仍处于空白, 而对其遗传多样性研究也较少, 其蒴果大、产量高及饱满优质种子是生产的经济目的。本文通过研究星油藤果实、种子形态、重量等性状指标在不同裂片类型间的变异, 分析其变异大小和来源, 以期星油藤良种选育或进一步分类培育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集及研究区域自然概况

2015年11月在云南西双版纳植物园种植基地(21°56' N, 101°15' E, 海拔560 m)随机采收栽培种星油藤(*Plukenetia volubilis* L.)蒴果, 待蒴果自然风干后按果裂片数进行归类, 有4、5、6裂片及混合裂片共4类蒴果。在广东省佛山市(22°47'36" N, 112°41'48" E, 海拔80 m)进行播种, 测定种子萌发率。产地及播种地基本气象情况见表1。

表1 星油藤蒴果收集地和播种地的气候资料

Table 1 Meteorological and elevation conditions of *Plukenetia volubilis* in trial areas

试验区 Area	海拔 Altitude (m)	年均温度(°C) Average annual temperature	年均最低温(°C) Average annual minimum temperature	年均最高温(°C) Average annual maximum temperature	年降水量 Annual rainfall (mm)	年日照时数 Annual sunshine hours
云南西双版纳 Xishuangbanna, Yunnan	560	21.0	6.0	30.0	1650	1850
广东佛山 Fushan, Guangdong	80	21.6	7.0	30.5	1700	1800

1.2 蒴果和种子形态特征的测定

在种植地随机采收约5 kg自然风干果实, 将全部果实按裂片数归类复原, 不能复原的归为混合裂片类, 4、5、6裂片和混合裂片的果实分别获得517、392、131和200个, 各分为4个重复, 混合裂片类为随机抽取。对每果测量蒴果直径、果厚、单裂片厚、蒴果重、单裂片果重、果形指数(果厚/蒴果直径)等指标, 其中混合片裂片还测定蒴果含水率。每蒴果根据裂片数取出种子, 测定种子长、种子宽、种子厚及种形指数(种子宽/种子长)、单粒种子重及种子含水率等指标。果实及种子形状指标用电子游标

卡尺测量最长、最宽、最厚处; 重量用精度为0.001 g电子天平测定; 含水率通过烘干(85°C烘6 h)前后测定的果壳和种子重量变化求得。种子萌芽率按种子播种后的萌发株数/播种粒×100计算。

1.3 数据统计

利用SAS统计分析软件统计和采用GLM模型进行方差分析^[15], 参照王葆芳等^[16]的方法分别计算裂片数间、裂片数内、种子间和种子内的平均值、变异系数和变异程度; 利用t检验法^[16]比较不同裂片两两间各项调查指标均值的差异显著性; 按不同果

裂数分别对每果重量与果形态性状、单粒种子重与种子形态性状进行相关性分析。播种按果裂数随机取种子植入苗袋，3 排 ×10 株为 1 小区，4 次重复。

2 结果和分析

2.1 果实和种子性状变异特征

对星油藤果实和种子性状进行测量，从表 2 可

见，星油藤所有参试性状的变异系数均低于 11%，变异系数最小的是种子厚，最大的是单果重量，种子的变异系数一般低于果实的，种子间的性状差别小于果实间的。

2.2 不同裂片类型的果实和种子性状变异特征

对果实和种子性状按裂片数分别统计，计算其平均值及变异系数(表 3)。可见，4 裂片果中变异系

表 2 星油藤蒴果及种子性状及其变异系数

Table 2 Trait variation coefficient of fruits and seeds of *Plukenetia volubilis*

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	变异系数(%) Variation coefficient
A: 单裂片果重 Fruit weight per pod (g)	3.13	1.10	2.22	9.69
B: 单蒴果重 Weight per capsule (g)	14.63	7.22	10.68	10.64
C: 蒴果直径 Diameter of fruit (mm)	64.30	40.98	51.94	3.90
D: 果厚 Thickness of fruit (mm)	30.20	20.04	24.49	4.25
E: 裂片厚 Thickness of pod (mm)	26.52	12.00	16.22	3.04
F: 单粒种子重 Seed weight (g)	1.76	0.48	1.19	10.33
G: 种子宽 Width of seed (mm)	23.99	13.90	20.38	3.84
H: 种子长 Length of seed (mm)	19.99	12.79	17.10	3.84
I: 种子厚 Thickness of seed (mm)	11.80	6.70	8.78	2.24
J: 单果种子净重 Seed weight per fruit (g)	7.94	3.79	5.74	9.52
K: 种形指数 Seed index	0.96	0.72	0.84	3.12
L: 果形指数 Fruit index	0.56	0.36	0.47	4.48
M: 种子含水率 Water rate of seed (%)	8.23	6.46	7.01	6.37

数最大的是蒴果重，最小的是裂片厚；5 裂片果中变异系数最大的是蒴果重，最小的是果厚；6 裂片果中变异系数最大的也是蒴果重，最小的是种形指数；混合裂片蒴果中变异系数最大的是单裂果重，最小

的是种形指数。在与蒴果有关的 7 项指标中，稳定性最好的是果厚，其次为裂片厚，再次为果形指数。以 4 裂片果的性状变异最小，各性状较为稳定。

同时，在与种子有关的 7 个性状中，均以混合

表 3 不同裂片类型的果实和种子性状及其变异系数

Table 3 Trait variation coefficients of fruits and seeds in different pod types

性状 Trait	4 裂片 4-pod/fruit	5 裂片 5-pod/fruit	6 裂片 6-pod/fruit	混合裂片 Mixture pods/fruit
A: 单裂片果重 Fruit weight per pod (g)	2.25 (8.08)*	2.28 (7.32)	2.02 (11.13)	2.25 (13.60)
B: 单蒴果重 Weight per capsule (g)	9.01 (11.99)	11.42 (10.50)	12.14 (14.85)	/
C: 蒴果直径 Diameter of fruit (mm)	49.50 (3.60)	53.76 (4.51)	53.07 (4.78)	51.50 (9.80)
D: 果厚 Thickness of fruit (mm)	24.08 (3.38)	24.76 (3.39)	24.54 (4.54)	24.59 (5.62)
E: 裂片厚 Thickness of pod (mm)	16.39 (3.14)	15.60 (5.46)	15.13 (5.23)	16.14 (8.41)
F: 单粒种子重 Seed weight (g)	1.19 (10.25)	1.24 (7.72)	1.11 (11.10)	1.21 (13.25)
G: 种子宽 Width of seed (mm)	16.63 (2.86)	17.40 (3.20)	17.13 (4.80)	17.22 (5.54)
H: 种子长 Length of seed (mm)	19.77 (2.83)	20.85 (3.64)	20.78 (5.32)	20.27 (5.61)
I: 种子厚 Thickness of seed (mm)	9.11 (3.80)	8.71 (3.81)	8.04 (5.11)	8.98 (6.96)
J: 单果种子净重 Seed weight per fruit (g)	4.72 (11.12)	6.18 (8.55)	6.65 (12.73)	/
K: 种形指数 Seed index	0.84 (2.62)	0.84 (2.82)	0.83 (3.67)	0.85 (3.86)
L: 果形指数 Fruit index	0.49 (4.30)	0.46(4.18)	0.46 (4.39)	0.48 (6.13)
M: 种子含水率 Seed water content (%)	/	/	/	7.01 (6.37)
N: 蒴果含水率 Fruit water content (%)	/	/	/	9.24 (5.14)

*: 括号内为变异系数(%).

*: Variation coefficient (%) was in bracket.

裂片种子性状的变异系数最大(5.54%~13.25%),仍以 4 裂片果种子的变异系数最小(2.83%~10.25%);种子长和宽均以 5 裂片果的最大,4 裂片果的最小;种子厚和种形指数则以 4 裂片果的最大,6 裂片果的最小。性状综合分析仍以 4 裂片果的变异最小,各性状较为稳定。种子含水率较低,约为 7%,且不同种子间含水率变异系数不超过 6.5%。如以产油为目的,单裂片果重及单粒果重均以 5 裂片果为最佳,但根据现有栽培种的 4、5、6 裂片果在自然状态下的产出比例来看(49.71%、37.69%和 12.60%),最终 4 和 5 裂片果的生物产量基本相同,6 裂片果的较少。

综合比较蒴果类型间裂片数和种子性状的变异系数,蒴果的性状变异系数均比种子的大,说明种子性状比果实性状相对稳定。

2.3 不同裂片数的果实与种子性状变异来源及分化特征

对果及种子不同性状按裂片数分别进行变量组分来源及 *F* 值进行统计分析,获得果实与种子的变异大小来源和特征(表 4)。

从表 4 可见,星油藤蒴果和种子的所有性状变异均达极显著差异。3 种裂片数的果实性状(A、C、D、L 和 E)指标有显著性分化,且 55%以上的变异来自不同蒴果间,来自蒴果间变异最低(54.19%)的为 5 裂片果的单裂片厚,最高(95.63%)为混合蒴果的单裂片厚。种子性状指标(F、H、G、I 和 K)也有显著性分化,不同裂片间的变异基本上是蒴果间大于蒴果内,仅 5 裂片的种形指数(47.40%个体间)、6 裂片的种子厚(49.60%蒴果间)和种形指数(38.79%蒴果间)变异是蒴果内大于蒴果间。果实性状的显著性分化变异的 79.81%~95.76%来自裂片内,而仅 4.24%~20.19%来自裂片间;种子变异也有相同的规律,变异来自裂片内的分化(67.66%~93.0%)显著大于裂片间分化(7.0%~32.34%)。这表明星油藤栽培种不同裂片数的蒴果和种子形态分化受裂数的影响不大,变异主要来源于裂片数内部即同裂果的不同个体;在相同裂片数下比较果实和种子变异,其主要来自蒴果个体间的差异,而蒴果内不同种子间对变异影响较小。这与塔拉(*Caesalpinia spinosa*)的研究结论一致^[16]。

表 4 不同裂片数类型的星油藤果实和种子性状变异来源

Table 4 Variance resource of fruits and seeds traits in different pod types

裂数 Number of pods	变量来源 Source of variance	A	C	D	E	F	G	H	I	K	L
4	蒴果间 Inter capsule (%)	74.94	73.43	74.42	86.54	62.56	78.48	80.76	72.64	75.33	56.96
	蒴果内 Intra- capsule (%)	25.06	26.57	25.58	13.46	37.44	21.52	19.24	27.36	24.67	43.04
	<i>F</i>	8.43**	7.80**	8.20**	18.12**	4.71**	10.28**	11.84**	7.49**	8.61**	3.73**
5	蒴果间 Inter capsule (%)	78.79	60.89	68.70	54.19	69.48	68.43	64.14	70.52	47.40	61.21
	蒴果内 Intra- capsule (%)	21.21	39.11	31.30	45.81	30.52	31.57	35.86	29.48	52.60	38.79
	<i>F</i>	13.88**	5.82**	8.21**	4.42**	8.51**	8.10**	6.68**	8.94**	3.37**	5.90**
6	蒴果间 Inter capsule (%)	66.30	69.48	61.97	71.60	64.24	66.24	67.29	49.60	38.79	58.00
	蒴果内 Intra- capsule (%)	33.70	30.52	38.03	28.40	35.76	33.76	32.71	50.40	61.21	42.00
	<i>F</i>	8.67**	10.04**	7.19**	11.11**	7.92**	8.65**	9.07**	4.34**	2.79**	6.09**
混合蒴果 Mix-fruit	蒴果间 Inter capsule (%)	66.54	78.21	58.53	95.63	58.78	72.44	67.42	93.39	55.21	60.05
	蒴果内 Intra- capsule (%)	33.46	21.79	41.47	4.37	41.22	27.56	32.58	6.61	44.79	39.95
	<i>F</i>	7.25**	13.09**	5.15**	79.79**	5.20**	9.58**	7.55**	51.57**	4.49**	5.48**
混合裂片 Mix-pod	裂片间 Inter pod (%)	9.14	20.19	4.24	13.46	7.84	11.95	9.90	32.34	7.00	13.72
	裂片内 Intra-pod (%)	90.86	79.81	95.76	86.54	92.16	88.05	90.10	67.66	93.00	86.28
	<i>F</i>	11.82**	27.92**	5.20**	18.28**	10.00**	15.94**	12.91**	56.17**	8.85**	18.68**

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$, 下表同。所有数据混合后形成混合蒴果及混合裂片的裂片间、裂片内数据。

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$. The same is following Tables. Mix data of all 4, 5 and 6 pods form the mix-fruit and mix-pod analysis data.

2.4 生长性状差异性和萌发率变异特征

比较不同裂片类型间果实和种子性状的差异,通过 *t* 检验其显著性(表 5)。与果有关的 6 个性状(A、B、C、D、E 和 L),除 4、5 裂片内的单裂片果重、5 和 6 裂片内的单果种子净重、果直径、果厚和果形

指数外,其他性状均达极显著差异;与种子有关的 6 个性状,除 5、6 裂片的种子长未达显著差异外,其他性状均达显著或极显著差异,这表明 4 与 5 裂片、4 与 6 裂片的果实或种子性状都差异极显著,而 5 与 6 裂片果实的性状差异小,种子性状差异较大。

表 5 不同裂片类型的果实和种子性状的变异特征及 *t*-检验Table 5 Variance and *t*-test of fruit and seed traits in different pod types

性状 Trait	4 裂 / 5 裂 4-pod / 5-pod	5 裂 / 6 裂 5-pod / 6-pod	4 裂 / 6 裂 4-pod / 6-pod
A: 单裂片果重 Fruit weight per pod	0.95	-6.78**	-6.05**
B: 单蒴果重 Weight per capsule	9.50**	1.81	9.15**
C: 蒴果直径 Diameter of fruit	13.62**	-1.78	8.85**
D: 果厚 Thickness of fruit	4.96**	-1.31	2.67**
E: 裂片厚 Thickness of pod	-6.73**	-3.33**	-8.56**
F: 单粒种子重 Seed weight	3.17**	-6.67**	-3.71**
G: 种子宽 Width of seed	9.64**	-0.41	6.31**
H: 种子长 Length of seed	8.74**	-2.22*	4.16**
I: 种子厚 Thickness of seed	-7.05**	-10.80**	-16.57**
J: 单果种子净重 Seed weight per fruit	12.48**	2.51*	11.51**
K: 种形指数 Seed index	-1.98*	-2.60**	-3.75**
L: 果形指数 Fruit index	-9.46**	0.78	-7.34**

播种后调查不同裂片数的种子萌发率和苗高生长状况(表 6)。广东 4 月播种, 条件适宜时, 10 d 内出苗完毕。种子萌发率以混合裂片的最高, 变异系数也最小; 种子萌发 1 个月后以 5 裂片果的苗高最高, 4 和 6 裂片果的苗高相近, 变异系数以 6 裂片果最小。结合表 3 和表 6, 不同裂数的单果重与萌发率呈显著正相关, 而 1 个月苗高与单粒种子重呈正相关, 这与梭梭(*Haloxylon ammodendron*)种子的研究结果一致^[17]。

表 6 不同裂片类型的种子萌发率和苗高

Table 6 Germination ratio of seed and seedling height growth in different pod types

性状 Trait	4 裂片果 4-pod fruit	5 裂片果 5-pod fruit	6 裂片果 6-pod fruit	混合裂片 Mix-pod
萌发率 Germination rate (%)	80.30 (8.06)*	88.94 (10.48)	90.69 (12.04)	97.10 (3.01)
苗高 Height (cm)	11.52 (26.75)	11.94 (21.17)	11.52 (17.70)	10.70 (28.72)

*: 括号内为变异系数(%)。

*: Variance coefficient (%) was in bracket.

表 7 不同裂片类型的果重和种子重与形态性状间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients of fruit weight and seed weight with their related traits

裂片类型 Pod type	果重 Fruit weight			种子重 Seed weight		
	果直径 Fruit diameter	果厚度 Fruit thickness	裂片厚 Thickness of pod	种子长 Seed length	种子宽 Seed width	种子厚 Seed thickness
4	0.521**	0.735**	0.529**	0.565**	0.634**	0.506**
5	0.454**	0.733**	0.368**	0.732**	0.727**	0.684**
6	0.627**	0.748**	0.600**	0.692**	0.662**	0.586**

3 结论和讨论

本研究结果表明, 随机收集的栽培种星油藤果实, 4、5、6 裂片果实分别为 49.71%、37.69% 和 12.60%, 表明 4 裂片和 5 裂片果是星油藤主要的果

2.5 果实和种子性状间的相关性

对单果重量与果实形态性状、种子重和种子形态性状进行相关分析(表 7)。果实或种子重量与形态性状间均呈显著正相关, 表明果实和种子形态性状决定其重量, 而果实和种子重量也决定其形态变异。果实性状的相关性以果厚 > 单裂片厚度 > 果直径, 而种子则以种子宽 > 种子长 > 种子厚, 表明不同果裂片数的果重对果厚、种子重对种子宽的影响大于其他性状。

实类型。未收集到 7 裂片果, 足见其量少, 较难发现和收集。在收集的果实和种子中, 4 裂片和 5 裂片果的种子总重量和单果重量基本相同, 说明具有大致相同的生物质产量, 但二者含油率是否存在差异, 裂片数是否影响油脂产量等, 需今后进一步研究。

星油藤种子的性状变异系数比果实的小, 说明种子的性状较稳定, 这与皂角(*Gleditsia sinensis*)种子的研究结果^[18]一致。种子性状的变异系数一般低于果的变异系数, 这是由于裂片数影响了单果的种子数量, 从而影响了果实性状, 显示出种子的性状更为稳定。

在果实和种子性状中, 以4裂片果性状更为稳定, 这与自然状态下4裂片果数量占优势相符。

不同裂片数的果实和种子, 其性状指标有显著性分化, 分化变异率有54.19%~95.63%来自蒴果间, 蒴果内的变异率则相对较低; 果实性状显著性分化的79.81%~95.76%来自裂片内, 仅4.24%~20.19%来自裂片间; 种子性状的分化变异率与果实有相同的规律, 变异来自裂片内的分化(67.66%~93.0%)显著大于裂片间(7.0%~32.34%)。这表明星油藤果实和种子性状分化变异受不同裂片的影响小, 主要受裂片内不同蒴果个体间的分化差异影响, 而相同裂片内不同种子间的分化变异则较低。

不同裂片的果实与种子大多数性状间均达显著到极显著差异, 说明4、5和6裂片果性状存在着显著或极显著差异, 4裂片果与5、6裂片果间差异较大, 而5与6裂片果间性状差异较小。

种子萌发率以6裂片果>5裂片果>4裂片果, 萌发1个月的苗高以5裂片果的最好, 而4裂片果和6裂片果的苗高差别不大。在适宜环境中星油藤种子的平均萌发率超过91%, 种子萌发率与单果重、苗高与种子重存在较高的正相关关系。

不同裂片数的果重与果形态指标、种子重与种子形态指标间均存在极显著的相关关系, 说明无论果实或种子, 其重量与形态指标间存在相互影响, 其中果重对果厚、种子重对种子宽的影响大于其他性状, 同时表明果厚和种子宽具有性状的相对稳定性。

星油藤不同裂片数果实和种子的形态性状具有丰富的变异, 是良种选育的基础。其中4裂片果的果重和种子重比其他类型的要好, 单位数量的生物物质产量更高, 今后可借鉴黄瓜(*Cucumis sativus*)、结缕草(*Zoysia japonica*)^[19-20]等采用分子标记辅助育种的方法, 选育出单一果型的星油藤, 使蒴果和种子等提高产量的目标经济性性状聚合到同一果型品系上, 从而满足生产需求。

究材料, 广东省高明林业科学研究所卢灿章、区锦玮、李伟梅等参与部分工作, 在此一并致谢!

参考文献

- [1] SEMINO C A, ROJAS F C, ZAPATA E S. Protocolo del Cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) [M]. Peru: La Merced, 2008: 1-87.
- [2] PARIONA MENDOZA N. Obtención de los ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia volubilis* L. "Sacha Inchi" para la utilización en la industria y estudio fitoquímico cualitativo de la almendra [D]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2008: 1-79.
- [3] CAI Z Q. Advance in research on a special woody oilseed crop of *Plukenetia volubilis* L. [J]. China Oils Fats, 2011, 36(10): 1-6. 蔡志全. 特种木本油料作物星油藤的研究进展 [J]. 中国油脂, 2011, 36(10): 1-6.
- [4] BONDIOLI P, DELLA B L, RETTKE P. Alpha linolenic acid rich oils: Composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) oil from Peru [J]. Riv Ital Sostanze Gr, 2006, 83(3): 120-123.
- [5] PRADO I M, GIUFRIDA W M, ALVAREZ V H, et al. Phase equilibrium measurements of Sacha Inchi oil (*Plukenetia volubilis*) and CO₂ at high pressures [J]. J Amer Oil Chem Soc, 2011, 88(8): 1263-1269. doi: 10.1007/s11746-011-1786-z.
- [6] CAI Z Q, YANG Q, TANG S X, et al. Nutritional evaluation in seeds of a woody oil crop *Plukenetia volubilis* Linneo [J]. Acta Nutri Sin, 2011, 33(2): 193-195. 蔡志全, 杨清, 唐寿贤, 等. 木本油料作物星油藤种子营养价值的评价 [J]. 营养学报, 2011, 33(2): 193-195.
- [7] FUKUSHIMA M, TAKEYAMA E, SHIGA S, et al. Dietary intake of green nut oil decreases levels of oxidative stress biomarkers [J]. J Lipid Nutri, 2010, 19(1): 111-119. doi: 10.4010/jln.19.111.
- [8] AIRY SHAW H K. The *Euphorbiaceae* of Sumatra [J]. Kew Bull, 1981, 36(2): 239-374. doi: 10.2307/4113612.
- [9] GUTIÉRREZ L F, ROSADA L M, JIMÉNEZ Á. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction [J]. Grasas Aceites, 2011, 62(1): 76-83. doi: 10.3989/gya044510.
- [10] MANCO E I. Cultivo de Sacha Inchi [M]. Peru: INIEA-SUDIRGEB-EEA, 2006: 1-11.
- [11] GONG D Y, ZHANG Y, WANG X M, et al. Experimental study on introduction and cultivation of featured health-care oil plant *Plukenetia volubilis* [J]. Acta Agri Jiangxi, 2013, 25(10): 5-9. doi: 10.3969/j.issn.1001-8581.2013.10.002. 龚德勇, 张燕, 王晓敏, 等. 特色保健油料植物星油藤引种栽培试

致谢 中国科学院西双版纳植物园蔡志全研究员提供研

- 验研究 [J]. 江西农业学报, 2013, 25(10): 5–9. doi: 10.3969/j.issn.1001-8581.2013.10.002.
- [12] ZHANG K Y, SONG Z S, LONG Y, et al. Study on seedling technique from featured oil plant *Plukenetia volubilis* seeds [J]. Agri Res Appl, 2012(5): 63–64. doi: 10.3969/j.issn.2095-0764.2012.05.017.
张可元, 宋泽霜, 龙英, 等. 特色油料植物星油藤种子育苗技术初探 [J]. 农业研究与应用, 2012(5): 63–64. doi: 10.3969/j.issn.2095-0764.2012.05.017.
- [13] JIAO D Y, TAN Y H, TANG S X, et al. Ecological characteristics of germination of *Plukenetia volubilis* seeds [J]. J Trop Subtrop Bot, 2011, 19(6): 529–535. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.06.007.
焦冬英, 谭运红, 唐寿贤, 等. 星油藤种子萌发的生态学特性研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(6): 529–535. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.06.007.
- [14] WU X Y. Study on the effects of *Plukenetia volubilis* oils on supplement human essential fatty acids [J]. Sci Ser Phys, 2008(5): 54–55.
吴小玉. 印加果油补充人体必需脂肪酸作用浅析 [J]. 健身科学, 2008(5): 54–55.
- [15] HUANG S W, XIE W H. The Examples of SAS Program and Data Analysis in Forestry Trial [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press Inc, 2001: 1–58.
黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001: 1–58.
- [16] BAO S L, LI Z G, ZHANG J Y, et al. Primarily study on morphological variations of pods and seeds in Tara (*Caesalpinia spinosa*) [J]. Guizhou Agri Sci, 2010, 38(4): 171–174. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2010.04.050.
包松莲, 李志国, 张建云, 等. 塔拉豆荚和种子形态特征的变异研究 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38(4): 171–174. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2010.04.050.
- [17] WANG B F, ZHANG J B, JIANG Z P, et al. Genetic variation of seed traits and its reproductive capacity of *Haloxylon ammodendron* [J]. J Arid Land Resour Environ, 2008, 22(1): 167–173. doi: 10.3969/j.issn.1003-7578.2008.01.033.
王葆芳, 张景波, 江泽平, 等. 梭梭种子性状和繁殖力的遗传变异与评价 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(1): 167–173. doi: 10.3969/j.issn.1003-7578.2008.01.033.
- [18] LI W, LIN F R, ZHENG Y Q, et al. Phenotypic diversity of pods and seeds in natural populations of *Gleditsia sinensis* in southern China [J]. Chin J Plant Ecol, 2013, 37(1): 61–69. doi: 10.3724/SP.J.1258.2013.00007.
李伟, 林富荣, 郑勇奇, 等. 皂荚南方天然群体种实表型多样性 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(1): 61–69. doi: 10.3724/SP.J.1258.2013.00007.
- [19] SUN Z J, WANG Y J, ZHANG X. Progress in molecular marker-assisted breeding of cucumber [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2006, 26(6): 1290–1294. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2006.06.035.
孙振久, 王亚娟, 张显. 黄瓜分子标记辅助育种研究进展 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(6): 1290–1294. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2006.06.035.
- [20] CHEN X, GUO H L, XUE D D, et al. Identification of SRAP molecular markers linked to salt tolerance in *Zoysia* grasses [J]. Acta Pratac Sin, 2009, 18(2): 66–75. doi: 10.3321/j.issn:1004-5759.2009.02.011.
陈宣, 郭海林, 薛丹丹, 等. 结缕草属植物耐盐性 SRAP 分子标记研究 [J]. 草业学报, 2009, 18(2): 66–75. doi: 10.3321/j.issn:1004-5759.2009.02.011.