



我国油莎豆栽培品系表型特征的相关性分析

姜华武, 吴平治, 杨天顺, 李佳婷, 高静阳, 陈红华, 王僖蕊, 陈雅平, 李美茹, 吴国江

引用本文:

姜华武, 吴平治, 杨天顺, 李佳婷, 高静阳, 陈红华, 王僖蕊, 陈雅平, 李美茹, 吴国江. 我国油莎豆栽培品系表型特征的相关性分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(5): 636–644.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4510>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

油莎豆快速繁殖体系的研究

Studies on Rapid Propagation System of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) in vitro
热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 446–451 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4024>

星穗莎属, 缅甸莎草科一新记录属

Actinoschoenus, A Newly Recorded Genus of Cyperaceae from Myanmar
热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 418–420 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4219>

油橄榄品种间叶片性状及总黄酮含量分析

Analysis of Leaf Characteristics and Content of Total Flavonoids among Varieties of *Olea europaea* L.
热带亚热带植物学报. 2017, 25(4): 379–386 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3708>

李的孢粉学初步研究

Palynological Studies on the Nai Plum Germplasms
热带亚热带植物学报. 2016, 24(4): 429–436 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.010>

星油藤蒴果及种子的性状变异研究

Study on Phenotype Variations of Capsules and Seeds in *Plukenetia volubilis* L.
热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 264–270 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3683>

向下翻页, 浏览PDF全文

我国油莎豆栽培品系表型特征的相关性分析

姜华武¹, 吴平治¹, 杨天顺¹, 李佳婷^{1,2}, 高静阳^{1,2}, 陈红华^{1,2}, 王僖蕊^{1,2},
陈雅平¹, 李美茹¹, 吴国江^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 油莎豆(*Cyperus esculentus*)起源于地中海北非地区, 是一种在块茎器官中储藏油脂的特殊油料作物。为在我国推广油莎豆的种植, 急需对我国油莎豆品系的基本生物学特性进行研究。收集了国内油莎豆主要种植地的种质资源(品系), 经过大田种植后, 比较分析了品系间块茎和植株部分性状及其相关性。根据块茎的大小和形态, 将这些栽培油莎豆品系归为3个基本类型, 即长粒型、大粒型和圆粒型。在大田种植条件下, 油莎豆各品系都极少开花, 品系之间块茎芽点数和茎环数无显著性差异。但是这3个类型油莎豆在块茎含油量、叶片和植株形态、分蘖特性等方面具有很大差异。叶片长宽比与块茎高宽比显著正相关, 但叶片形态与块茎含油量的相关性不显著。该研究结果可为油莎豆的大田种植和品种选育提供重要参考。

关键词: 油莎豆; 含油量; 块茎形态; 株型; 性状相关性

doi: 10.11926/jtsb.4510

Correlation Analysis of Phenotypic Characterization of Cultivated Tiger Nuts (*Cyperus esculentus*) in China

JIANG Huawu¹, WU Pingzhi¹, YANG Tianshun¹, LI Jiating^{1,2}, GAO Jingyang^{1,2}, CHEN Honghua^{1,2},
WANG Xirui^{1,2}, CHEN Yaping¹, LI Meiru¹, WU Guojiang^{1*}

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Tiger nut (*Cyperus esculentus*) originated from the Mediterranean Coast in North Africa. It is a special oil crop that stores oil in tuber tissues. In order to popularize the cultivation of tiger nut, it is urgent to study the basic biological characteristics of cultivated tiger nut lines in China. Therefore, the germplasm lines from the main planting areas of tiger nut in China were collected. After field planting, some characters of tuber and plant and their correlation among lines were compared and analyzed. According to tuber size and tuber shape, these cultivated tiger nut lines could be divided into three basic types, namely long tuber, big tuber and round tuber. Under the field planting conditions, the flowering rates of each lines were very few, and there was no significant difference in the number of tuber buds and tuber rings among these lines. However, these three types of tiger nut have great differences in oil content, leaf and plant morphology, and tillering characters. The leaf length-width ratio was significantly positively correlated with the tuber height-width ratio, but the correlation between leaf morphology and tuber oil content was not significant. These would provide important reference for field planting and variety breeding of tiger nuts.

Key words: *Cyperus esculentus*; Oil content; Tuber shape; Plant architecture; Character correlation

收稿日期: 2021-08-24

接受日期: 2021-11-27

基金项目: 中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2017-2, KFZD-SW-113)资助

This work was supported by the Key Deployment Program of Chinese Academy of Sciences (Grant No. ZDRW-ZS-2017-2, KFZD-SW-113).

作者简介: 姜华武(1966生), 男, 博士, 研究员。研究方向为植物分子生理学。E-mail: hwjiang@scbg.ac.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wugj@scbg.ac.cn

油莎豆(*Cyperus esculentus*)又名虎坚果(tiger nut)、油莎草、铁荸荠、洋地栗等,属于莎草科(Cyperaceae)莎草属多年生C₄草本植物,极有可能是在晚新生代(5.1 Myr)起源于非洲^[1]。而油莎豆原始栽培种(*C. esculentus* var. *sativus*)起源于地中海区域,最早记载是公元前四世纪的古埃及^[1-3]。目前在欧洲南部、非洲和亚洲部分地区都有种植^[2-6]。在农业生产上以块茎和分株方式繁殖,常作1 a生作物栽培,是目前已知的唯一能够在块茎器官中贮藏大量油脂的作物。油莎豆干豆含油量在25%左右,出油率达20%。油莎豆油脂脂肪酸组分与橄榄油接近,其中油酸占比大于65%,且含有很高的维生素E,是非常优质的食用油^[7-10]。

在我国,油莎豆最早于1952年由中国科学院植物研究所北京植物园从前苏联引进少量试种,又于1960年从保加利亚引进并试种成功,亩产达500 kg以上。上世纪70年代,从朝鲜引进了大粒型油莎豆,该品种块茎较大^[11]。油莎豆地域适应性极强,现在在我国云南、广西、河北、河南、山东、湖南、湖北、新疆、宁夏和吉林等地有小面积种植^[12-15]。

鉴于我国食用植物油短缺的严峻形势,农业农村部在《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》中建议适宜地区示范推广种植油莎豆,以调整种植结构和增加新的食用油来源。为了推进油莎豆的栽培育种工作,有必要对油莎豆栽培品种进行表型性状分析。本研究对收集的国内油莎豆品系进行了多年大田栽培试验,比较分析了其基本生物学性状并将之归为3个基本类型。该研究确定了油莎豆栽培品系的基本遗传性状与品种特性,对于遗传育种工作中种质材料的选择、以及大田生产上适宜品系的确定等方面都具有较好的参考价值。

1 材料和方法

1.1 材料种植

从国内收集的油莎豆(*Cyperus esculentus*)品系共33份,主要栽培地点为银川市金沙林场。播种时间为4月下旬到5月上旬。试验小区面积5.0 m×4.0 m,行距为30 cm,株距为25 cm。播种前施有机肥30 000 kg/hm²,在6月上旬和8月上旬分别追肥1次(3*18%复合肥,300 kg/hm²)。除草2~3次,每月灌溉5~6次,采用微喷管带进行喷灌。

1.2 叶片宽度和长度的测量

于分蘖末期(8月上旬,3月龄左右)测量叶片。选取具有代表性植株,统一挑选具有12片叶的单分蘖,用直尺测量叶片的最大叶宽(一般离地面约10 cm)和叶长(从叶片基部到顶端),每个株系3个重复。

1.3 块茎百粒质量与三围测定

于10月成熟期随机挑选块茎(0.5 cm筛去沙去杂),根据个体大小分成大(第1级)、中(第2级)、小(第3级),各取40粒。各级块茎中随机挑选6粒块茎,使用游标卡尺测量高度(H,顶芽与悬茎方向)、宽度(D1,块茎中部最宽处)和厚度(D2,最宽处同圆周的最薄处)。另取100粒块茎烘干,测量百粒质量,3个重复。

1.4 含油量测定

油莎豆块茎去除表面沙土,晒至含水量小于10%,称取10~20 g块茎,使用mq-one台式核磁共振分析仪(布鲁克公司,Minispec)测定含油量,6个重复。

1.5 数据分析

采用Excel 2010软件进行数据处理,计算平均值(Average)、标准差(Stdev)、相关系数(Pearson)及相关统计分析。

2 结果和分析

根据油莎豆品系块茎的形态和大小,以及3 a种植后子代稳定性,我们将收集和种植的33个品系分为3个大类,即长粒(L,5个品系)、大粒(B,9个品系)和圆粒(R,19个品系)(表1)。块茎茎环数绝大部分是4~5个,芽点数多为1~3个(表1),植株开花少(图1:A)。这些性状在品系间没有显著性差异,但是有些性状如块茎形态、大小和含油量,叶片形态、植株形态和分蘖特性等在品系间存在显著性差异。

2.1 块茎的形态、大小和含油量差异

3种类型油莎豆块茎的外观形态见图2:A。长粒型块茎呈长粒状或长椭圆球形;大粒型块茎颗粒大,椭圆球形或卵形;圆粒型块茎为卵形或近圆球形。

表 1 不同油莎豆品系块茎的百粒重和含油量

Table 1 100-tuber weight and oil content of tubers of *Cyperus esculentus* lines

品系 Line	来源 Origin	百粒质量 100-tuber weight (g)	含油量 Oil content /%	茎环数 Number of ring	芽数 Number of bud
L6	辽宁 Liaoning	51.72±5.16c	26.16±0.91a	4.8±0.6a	2.3±1.2a
L14	云南 Yunnan	49.05±4.34c	26.44±1.30a	4.7±0.6a	1.7±1.0a
L13	辽宁 Liaoning	48.05±3.92c	24.22±0.72a	4.8±0.4a	1.9±0.8a
L12	云南 Yunnan	47.19±3.24c	22.39±2.30a	4.5±0.5a	2.1±1.0a
L19	北京 Beijing	43.34±3.42c	28.34±2.13a	4.6±0.5a	1.8±1.2a
平均 Ave		47.87±3.05c	25.51±2.27a	4.7±0.6a	2.0±1.0a
B4	北京 Beijing	143.68±7.14a	15.90±1.57b	4.7±0.7a	2.1±1.1a
B63	新疆 Xinjiang	141.69±5.29a	15.40±1.17b	4.9±0.8a	2.5±1.2a
B3	新疆 Xinjiang	135.91±8.44a	14.65±2.34b	4.8±0.8a	1.9±0.9a
B2	河南 Henan	134.72±7.48a	16.20±1.67a	4.6±0.9a	2.1±0.7a
B16	新疆 Xinjiang	126.56±5.22a	15.40±1.19b	4.9±0.7a	1.7±1.3a
B9	山西 Shanxi	125.28±2.35a	16.10±1.82b	4.8±0.7a	2.1±1.1a
B14a	河南 Henan	118.47±8.89a	15.30±2.39b	4.7±0.6a	2.2±0.9a
B14b	河南 Henan	109.97±6.03a	19.79±2.16ab	4.8±0.9a	2.3±1.4a
B7	新疆 Xinjiang	109.85±4.45a	16.65±1.45b	4.7±0.7a	1.7±0.7a
平均 Ave		127.35±12.71a	16.19±1.58b	4.8±0.8a	2.1±1.1a
R25	山东 Shandong	88.20±3.20b	28.19±0.77a	4.8±0.5a	1.9±1.1a
R18	河北 Hebei	86.22±1.48b	22.12±1.07a	4.7±0.5a	2.0±1.3a
R1b	河北 Hebei	84.37±4.44b	28.26±1.10a	4.8±0.4a	2.1±1.1a
R17	新疆 Xinjiang	83.46±1.75b	26.27±1.81a	4.8±0.5a	2.0±0.8a
R8	河北 Hebei	83.36±2.10b	26.38±0.92a	4.7±0.4a	2.1±0.9a
R1c	河北 Hebei	82.48±5.15b	26.69±2.08a	4.7±0.3a	1.7±0.8a
R9	山西 Shanxi	82.04±5.54b	27.00±0.74a	4.8±0.6a	1.6±1.6a
R4	湖南 Hunan	81.77±6.35b	26.12±1.59a	4.8±0.5a	2.3±1.2a
R22	内蒙古 Inner Mongolia	81.53±5.63b	27.75±1.59a	4.7±0.6a	1.9±1.0a
R2	山西 Shanxi	80.71±5.73b	26.24±1.37a	4.7±0.4a	2.1±1.0a
R24	北京 Beijing	79.88±2.65b	26.28±1.60a	4.8±0.5a	1.8±0.9a
R20c	辽宁 Liaoning	79.77±2.95b	27.22±1.38a	4.7±0.4a	1.6±1.2a
R16	新疆 Xinjiang	79.37±3.30b	26.28±1.44a	4.8±0.6a	1.8±0.9a
R15	河南 Henan	79.36±2.35b	27.00±1.13a	4.7±0.3a	2.1±1.0a
R11	湖南 Hunan	77.82±4.04b	27.10±1.63a	4.8±0.5a	2.1±1.2a
R26	湖北 Hubei	77.59±2.69b	25.88±0.90a	4.6±0.6a	1.9±1.2a
R10	北京 Beijing	77.45±3.38b	27.40±1.05a	4.8±0.5a	1.9±0.9a
R7	新疆 Xinjiang	77.04±4.24b	26.09±1.21a	4.6±0.5a	1.9±1.6a
R20b	辽宁 Liaoning	76.35±1.01b	26.59±1.66a	4.6±0.4a	1.8±1.1a
平均 Ave		80.99±3.22b	26.57±1.29a	4.7±0.5a	1.9±1.1a

同列数据后不同字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.01 level. The same is following Tables.

长粒型品系块茎平均百粒质量最小, 小于 60 g, 而大粒型品系百粒质量大于 100 g, 圆粒型品系块茎的百粒质量为 70~90 g (表 1)。通过连续 3 a 的种植和测试, 我们发现不同品系的含油量不同, 大粒品系含油量较低(小于 20%), 而圆粒和长粒品系含油量都高于 20%, 且平均大于 25%。但是圆粒和长粒品系百粒质量与含油量之间没有显著相关性, 相关系数为 0.249。

油莎豆粒型和长宽比差异较大。将收获的油莎

豆用 0.5 cm 孔径筛网去杂后, 随机挑选块茎, 根据其大小可分成 3 个等级: 第 1 级(大)、第 2 级(中)和第 3 级(小)。各品系的第 1 级块茎的高(H)、宽(最大直径, D1)、厚(最大直径同心圆上的最小直径, D2) (图 1: B)及其比例有较大差异(表 2), (1) 长粒型和大粒型品系块茎的高度都大于 2 cm, 而圆粒型品系为 1.5~1.9 cm, 圆粒型与长粒型/大粒型品系差异显著; (2) 绝大部分长粒型块茎的宽度和厚度低于 1.3 cm, 而大粒型和圆粒型品系块茎的宽度大于 1.6 cm, 长

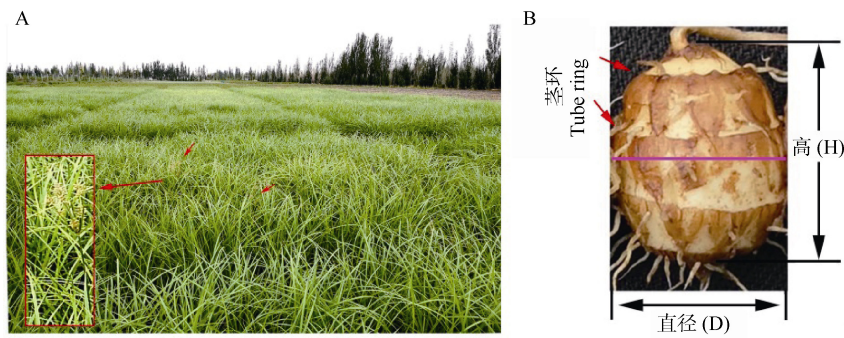


图 1 大田油莎豆与块茎形态。A: 大田生长的油莎豆很少开花, 红色箭头示开花植株及放大图; B: 新鲜块茎, 箭头示茎环形态及高度和直径的测量位点。
 Fig. 1 Flowering of *Cyperus esculentus* in the field and tuber morphology. A: Cultivated tiger nut rarely bloom when growing in the field, red arrows indicate flowering plants and its enlarged view; B: Fresh tuber, arrows show shape of stem ring and the measurement sites of tuber height and diameter.

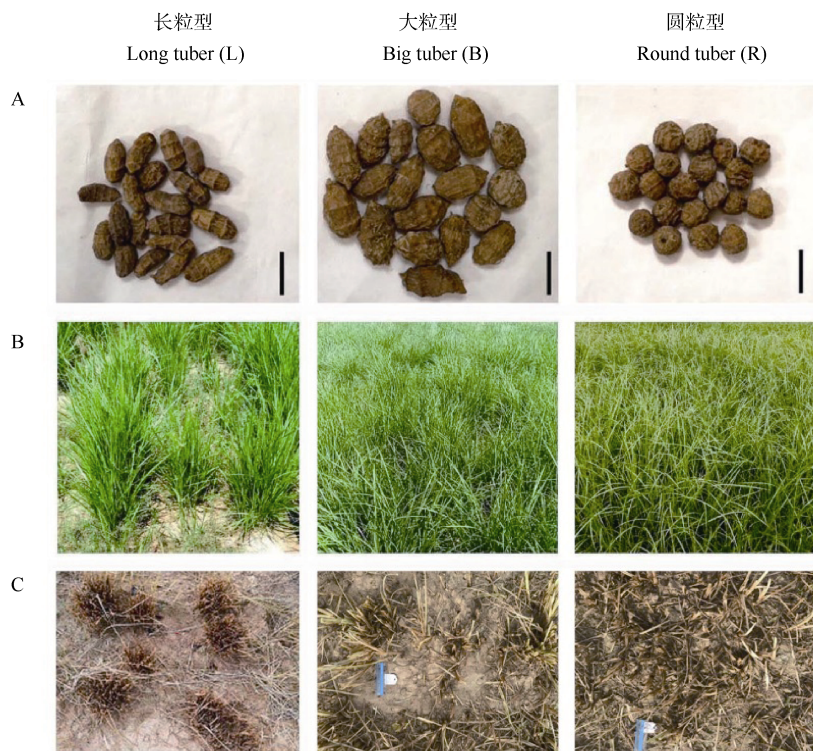


图 2 油莎豆块茎和植株形态。A: 块茎形态, 标尺=2 cm; B: 植株形态; C: 分蘖/留茬形态。
 Fig. 2 Tuber and plant morphology off *Cyperus esculentus*. A: Tuber morphology, Bars=2 cm; B: Plant morphology; C: Tiller/stubble morphology.

粒型与圆粒型/大粒型差异显著; (3) 长粒型株系的块茎具有最大的高宽比(大于 1.8), 圆粒型品系的高宽比最低(0.83~1.03), 大粒型品系高宽比位于长粒和圆粒品系之间, 且变化区间较大; (4) 块茎宽厚比反映的是其圆度, 从统计数据来看, 3 个类型间的差异不显著。3 种类型油莎豆的第 2 级块茎也存在类似的差异(表 3)。各品系第 3 级块茎形状变化大, 多不规则, 数据未列出。油莎豆块茎含油量与第 1 级块茎高宽比和圆度之间的相关性也不显著, 相关系数分别为-0.460 和 0.450。

2.2 植株形态差异

除了块茎形态不同外, 3 种类型油莎豆的植株形态和分蘖形态也具有很大差异(图 2: B, C): (1) 长粒型的植株分蘖分布直径小、叶片夹角小且较为直立, 植株整体株型表现为紧凑型; (2) 圆粒型植株的分蘖辐射范围大、叶片夹角大并易成倒披状, 整体株型表现为分散型; (3) 大粒型植株分蘖分散度与株型介于长粒型与圆粒型之间。在秋季油莎豆收获时, 割草后留茬形态非常清晰地显示出了这 3 种类型植株的分蘖分布特性: 长粒型品系分蘖分布非常

集中, 绝大多数植株簇拥在较小区间内; 而圆粒型株系的分蘖分布在整地地表, 各植株间具有一定间隙; 大粒型的形态则居于两者之间。

2.3 叶片形态差异

3 种类型油莎豆植株的叶片形态也具有较大差异。图 3 为不同类型油莎豆前 1~6 位的叶片长度、宽度和长宽比, 结果表明, (1) 各株系最长叶片均约为 80 cm, 大粒型叶片长度大于圆粒和长粒类型, 但差异不显著, 第 2~6 长度叶片在各类型间的差异

也不显著; (2) 大粒型和圆粒型植株叶片宽度相近, 且显著大于长粒型的叶片宽度; (3) 长粒型的叶片长宽比最大, 外观表现最为狭长, 圆粒型的叶片长宽比最小。

2.4 块茎和叶片主要形态指标间的相关性

油莎豆块茎外形有的偏长, 表现为长粒形或长椭圆形, 有的偏圆球形。同时, 油莎豆叶片长宽比也具有很大区别。为了确定其块茎形态与叶片形态间是否具有相关性, 分析了块茎形态指标特别是高

表 2 油莎豆各品系的第 1 级块茎形态

Table 2 Tuber morphology of *Cyperus esculentus* lines at grade I

品系 Line	高度 (H, cm) Height	最大直径 (D1, cm) Max. diameter	最小直径 (D2, cm) Min. diameter	H/D1	D1/D2
L13	2.41±0.23s	1.31±0.09b	1.12±0.12b	1.85±0.18a	1.18±0.08a
L6	2.26±0.13a	1.25±0.06b	1.01±0.10b	1.81±0.16a	1.25±0.10a
L14	2.24±0.40s	1.14±0.11b	1.05±0.07b	2.01±0.60a	1.09±0.10a
L12	2.22±0.22s	1.24±0.16b	1.00±0.13b	1.83±0.40a	1.25±0.24a
L19	2.16±0.17s	1.20±0.10b	1.04±0.07b	1.80±0.21a	1.16±0.10a
平均 Ave	2.26±0.09	1.23±0.06	1.04±0.085	1.86±0.08	1.19±0.07
B3	3.02±0.32a	1.76±0.08a	1.57±0.13a	1.72±0.22b	1.13±0.06a
B16	2.76±0.17a	1.78±0.07a	1.58±0.10a	1.55±0.13b	1.13±0.07a
B63	2.74±0.23a	1.69±0.13a	1.45±0.11a	1.64±0.25b	1.17±0.08a
B4	2.74±0.18a	1.81±0.10a	1.54±0.11a	1.52±0.17b	1.18±0.08a
B9	2.57±0.20a	1.80±0.14a	1.62±0.09a	1.43±0.14b	1.11±0.05a
B14a	2.48±0.22a	1.80±0.13a	1.55±0.21a	1.39±0.10b	1.16±0.09a
B7	2.35±0.15a	1.80±0.11a	1.55±0.12a	1.31±0.12b	1.17±0.17a
B2	2.26±0.11a	1.85±0.07a	1.49±0.13a	1.22±0.08b	1.25±0.14a
B14b	2.15±0.09a	1.82±0.06a	1.56±0.12a	1.18±0.08b	1.18±0.08a
平均 Ave	2.56±0.28	1.79±0.05	1.55±0.05	1.44±0.18	1.16±0.04
R18	1.87±0.10b	1.83±0.14a	1.59±0.13a	1.03±0.06c	1.16±0.08a
R17	1.82±0.17b	1.78±0.04a	1.58±0.07a	1.03±0.10c	1.12±0.06a
R1c	1.74±0.10b	1.86±0.05a	1.30±0.17a	0.94±0.07c	1.38±0.14a
R7	1.73±0.11b	1.76±0.13a	1.34±0.10a	0.99±0.12c	1.31±0.04a
R9	1.72±0.10b	1.75±0.10a	1.37±0.09a	0.99±0.08c	1.29±0.05a
R11	1.71±0.07b	1.74±0.06a	1.36±0.10a	0.99±0.07c	1.28±0.11a
R26	1.70±0.13b	1.77±0.05a	1.27±0.12a	0.96±0.10c	1.34±0.07a
R1b	1.70±0.11b	1.80±0.15a	1.60±0.14a	0.95±0.10c	1.13±0.08a
R16	1.69±0.17b	1.79±0.07a	1.38±0.19a	0.94±0.11c	1.31±0.14a
R4	1.69±0.15b	1.78±0.10a	1.25±0.08a	0.95±0.12c	1.43±0.16a
R10	1.68±0.16b	1.66±0.12a	1.36±0.06a	0.95±0.07c	1.25±0.07a
R24	1.68±0.06b	1.75±0.05a	1.41±0.08a	0.96±0.05c	1.24±0.08a
R20c	1.68±0.05b	1.70±0.04a	1.30±0.11a	0.99±0.04c	1.31±0.11a
R8	1.65±0.09b	1.79±0.10a	1.28±0.08a	0.93±0.09c	1.40±0.16a
R2	1.63±0.13b	1.74±0.09a	1.32±0.10a	0.94±0.11c	1.32±0.13a
R25	1.61±0.11b	1.80±0.05a	1.50±0.08a	0.90±0.08c	1.20±0.08a
R15	1.57±0.16b	1.89±0.26a	1.60±0.14a	0.83±0.14c	1.19±0.20a
R22	1.57±0.08b	1.78±0.05a	1.43±0.08a	0.89±0.06c	1.24±0.05a
R20b	1.52±0.03b	1.60±0.06a	1.30±0.09a	0.96±0.04c	1.24±0.12a
平均 Ave	1.68±0.08b	1.77±0.07a	1.40±0.12a	0.95±0.05c	1.27±0.09a

表 3 油莎豆各品系的第 2 级块茎形态

Table 3 Tuber morphology of *Cyperus esculentus* lines at grade II

品系 Line	高度 Height (H, cm)	最大直径 Maximum diameter (D1, cm)	最小直径 Minimum diameter (D2, cm)	H/D1	D1/D2
L13	1.89±0.16a	1.18±0.08b	1.00±0.09b	1.61±0.16a	1.19±0.09a
L6	1.74±0.08a	1.10±0.03b	0.92±0.11b	1.43±0.07a	1.21±0.20a
L14	1.73±0.10a	1.10±0.10b	0.94±0.050b	1.58±0.15a	1.16±0.08a
L12	1.82±0.11a	1.05±0.11b	0.91±0.05b	1.74±0.16a	1.15±0.08a
L19	1.92±0.12a	1.03±0.06b	0.91±0.06b	1.87±0.20a	1.14±0.70a
平均 Ave	1.79±0.14	1.09±0.06	0.94±0.04	1.65±0.16	1.17±0.03
B3	2.24±0.12a	1.69±0.08a	1.48±0.07a	1.33±0.05b	1.14±0.04a
B16	1.63±0.08a	1.52±0.07a	1.25±0.08a	1.08±0.03bc	1.23±0.03
B4	2.19±0.18a	1.59±0.18a	1.41±0.10a	1.41±0.27b	1.12±0.08a
B9	2.16±0.13a	1.53±0.05a	1.36±0.07a	1.42±0.12b	1.13±0.04a
B14a	2.03±0.13a	1.45±0.08a	1.29±0.10a	1.40±0.17b	1.13±0.04a
B7	1.77±0.13a	1.54±0.13a	1.41±0.24a	1.16±0.14b	1.11±0.11a
B2	1.89±0.06a	1.56±0.07a	1.38±0.07a	1.22±0.05b	1.13±0.09a
B14b	1.81±0.21a	1.62±0.13a	1.38±0.14a	1.13±0.20b	1.18±0.13a
平均 Ave	1.98±0.21	1.55±0.07	1.36±0.08	1.29±0.14	1.15±0.04
R18	1.45±0.09b	1.54±0.10a	1.37±0.09a	0.94±0.09c	1.13±0.09a
R17	1.46±0.15b	1.52±0.07a	1.39±0.08a	0.96±0.12c	1.09±0.07a
R1c	1.48±0.07b	1.56±0.06a	1.31±0.16a	0.95±0.05c	1.20±0.14a
R7	1.42±0.14b	1.63±0.07a	1.38±0.04a	0.87±0.12c	1.18±0.05a
R9	1.46±0.04b	1.49±0.09a	1.26±0.10a	0.99±0.13c	1.19±0.09a
R11	1.35±0.13b	1.39±0.10a	1.16±0.11a	1.00±0.16c	1.20±0.17a
R26	1.42±0.09b	1.47±0.06a	1.21±0.13a	0.97±0.09c	1.22±0.11a
R1b	1.33±0.15b	1.40±0.07a	1.25±0.10a	0.95±0.10c	1.13±0.11a
R16	1.43±0.06b	1.48±0.12a	1.26±0.13a	0.97±0.09c	1.19±0.09a
R4	1.50±0.12b	1.46±0.06a	1.19±0.11a	1.03±0.11c	1.23±0.10a
R10	1.44±0.04b	1.48±0.10a	1.27±0.11a	0.98±0.07c	1.17±0.08a
R24	1.44±0.05b	1.55±0.06a	1.26±0.09a	0.93±0.04c	1.23±0.11a
R20c	1.45±0.08b	1.55±0.07a	1.34±0.07a	0.94±0.09c	1.16±0.08a
R8	1.42±0.15b	1.48±0.05a	1.24±0.10a	0.96±0.12c	1.20±0.13a
R2	1.54±0.11b	1.46±0.09a	1.32±0.06a	1.05±0.12bc	1.11±0.09a
R25	1.30±0.16b	1.44±0.07a	1.29±0.06a	0.91±0.02c	1.12±0.09a
R15	1.46±0.13b	1.52±0.06a	1.32±0.07a	0.97±0.11c	1.15±0.07a
R22	1.28±0.09b	1.45±0.10a	1.30±0.13a	0.89±0.09c	1.13±0.08a
R20b	1.41±0.07b	1.44±0.06a	1.22±0.05a	0.98±0.06c	1.18±0.06a
平均 Ave	1.42±0.06b	1.49±0.06a	1.28±0.06a	0.96±0.04c	1.17±0.04a

宽比与叶片形态指标长宽比相关系数。结果表明(表 4), 块茎和叶片形态之间具有较高相关性。3 种类型油莎豆最长叶片的长宽比与第 1 级块茎和第 2 级块茎的高宽比均显著正相关, 相关系数大于 0.592。但块茎含油量与叶片形态的相关性不显著, 同 3 种类型最长叶片的长宽比相关系数为-0.172~0.066。

2.5 品系类型分类及基本性状

本研究确定了油莎豆不同品系的一些差异性性状。根据能够稳定遗传的主要性状及其差异, 这些

油莎豆品系可以归为 3 大类: 即长粒型、大粒型和圆粒型。从表 5 可见, 长粒型的各品系块茎为长粒状、百粒质量低于 60 g、含油量大于 20%、外观呈棕褐色, 株型紧凑、分蘖分布直径小、叶片偏窄较直立。大粒型的各品系块茎百粒质量大于 100 g、卵形或椭圆球形、含油量一般低于 20%、外观呈棕褐色, 株型较为紧凑, 叶片比其他类型大而壮且较直立, 抗倒伏性强。圆粒型的各品系块茎外观呈棕褐色或黑色、卵形或近圆球形、百粒质量居中、含油量大于 20%, 分蘖分布直径大, 叶片易倒伏(图 3)。

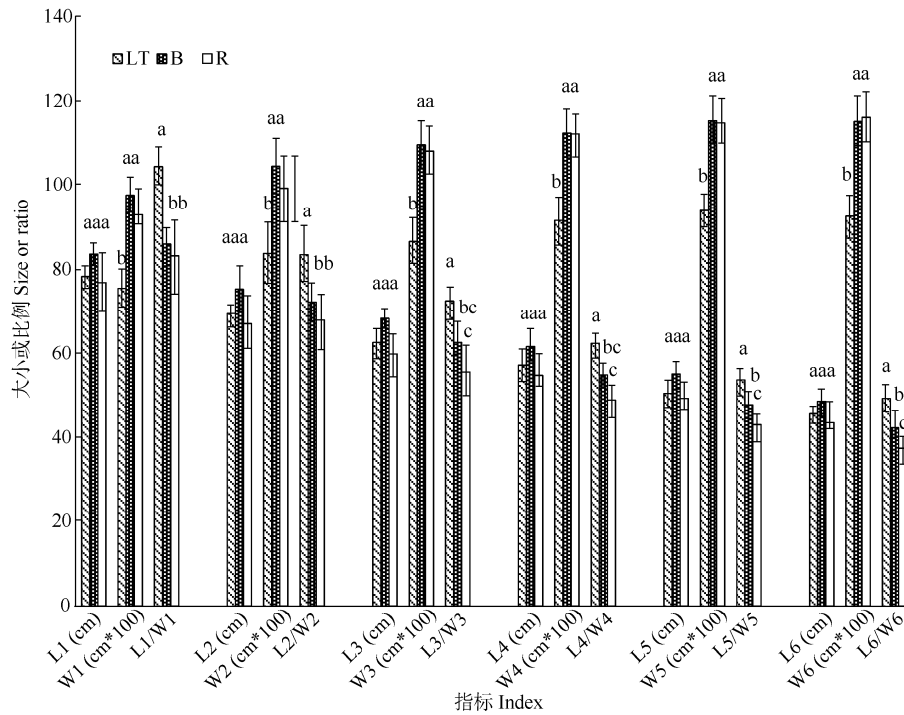


图 3 油莎豆的叶片形态比较。L: 长度; W: 最大宽度; 1: 最长叶片; 2: 次长叶片; 3~6 依次类推。L: 长粒型品系; B: 大粒型品系; R: 圆粒型品系。柱上不同字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

Fig. 3 Comparison of leaf morphology of *Cyperus esculentus*. L: Length; W: Maximum width; 1: The longest leaf; 2: The second longest leaf; and 3 to 6 so on; L: Long tuber line; B: Big tuber line; R: Round tuber line. Different letters upon column indicate significant difference at 0.01 level. The same is following Table.

表 4 油莎豆块茎和叶片主要形态指标间的相关系数

Table 4 Correlative coefficient in main morphologic indexes of tubers and leaves in *Cyperus esculentus*

指标 Index	IH/ID1	ID1/ID2	IIH/IID1	IID1/IID2	L1/W1	L2/W2	L3/W3
IH/ID1	1.000	-0.534	0.929	-0.076	0.592**	0.611**	0.708**
ID1/ID2		1.000	-0.441	0.529	-0.215	-0.251	-0.352
IIH/IID1			1.000	-0.172	0.631**	0.648*	0.694**
IID1/IID2				1.000	0.016	0.023	-0.065
L1/W1					1.000	0.877	0.834
L2/W2						1.000	0.920
L3/W3							1.000

I: 第 1 级块茎; II: 第 2 级块茎; **: $P < 0.01$ 。

I: Grade 1 tuber; II: Grade 2 tuber; **: $P < 0.01$.

表 5 3 种类型油莎豆的主要区别

Table 5 Main differences among three types of *Cyperus esculentus*

指标 Index	长粒型 Long tuber	大粒型 Big tuber	圆粒型 Round tuber
块茎形态 Tuber morphology	长椭圆球形 Oblong	卵形, 椭圆球形 Oval, ovoid	卵形, 近圆球形 Oval, near sphericity
块茎表皮色 Tuber color	棕色 Brown	棕色 Brown	棕色 / 黑色 Brown/black
块茎高宽比(第 1 级) Tuber height/width (grade 1)	1.8~2.0	1.0~1.7	0.9~1.0
块茎含油量 Tuber oil content /%	>20	<20	>20
块茎百粒干质量 100-tuber dry weight (g)	<60	>100	60~90
植株形态 Plant type	紧凑 Compact	半紧凑 Semi-compact	分散 Dispersion
叶片长度与宽度 Leaf length and width	宽度最小 The smallest width	最大 The biggest	宽度较大 Large width
最长叶长宽比 Length/width of the longest leaf	最大 The biggest	居中 Middle	最小 The smallest
叶片形态 Leaf type	较直立 Upright	较直立 Upright	易下垂 Easy to droop

3 结论和讨论

目前有关油莎豆种质资源的性状比较研究很少有报道。Asare 等^[6]分析了非洲国家加纳种植的油莎豆的基本特性, 只有块茎形态等少数形态指标有遗传多样性和相关性。国内只有少数油莎豆品系的油脂含量比较研究和遗传研究^[12-17]。虽然小粒圆粒型油莎豆品系有过报道^[10], 但我们收集的油莎豆圆粒品系种植后没有发现能够稳定遗传的小粒圆粒型油莎豆品系, 需要在今后的研究中进一步完善。由于油莎豆块茎在地下的分布位于分蘖附近, 如长粒型植株块茎分布范围小, 因此在大田生产中要根据不同类型油莎豆株型的特性选择不同种植密度, 如长粒型品系可以适度密植。

另一方面, 相关性分析结果表明, 油莎豆叶片形态(长宽比)与块茎高宽比相关性显著; 但是油脂含量与块茎形态指标和百粒重等指标没有相关性, 长粒型和圆粒型品系含油量较高。此外, 不同类型或品系的油莎豆虽然含油量具有较大差异, 但是具体组分油酸的含量变异较小^[10,14]。这些结果说明在性状形成方面, 块茎形态指标与油脂积累相关决定因子不同, 而高油酸含量特性相对稳定, 这种性状的遗传特性有利于选育过程中获得综合性状好的品系, 如大粒高油品系。油莎豆叶片形态与块茎形态呈现正相关, 暗示其块茎形态和叶片形态的控制可能具有相同的调节基因。

由于油莎豆各品系很少开花且极少结实, 通过有性杂交进行遗传育种非常困难。本研究确立了不同类型油莎豆品系的基本特性及其稳定性、性状之间的相关性等, 对于油莎豆的育种具有一定的参考价值。如通过理化诱变等方式培育高含油量、块茎大、易收获品系, 可以将叶片较大且长宽比居中的株系作为筛选指标, 初步筛选出抗倒伏力强且块茎较大的品系, 再通过块茎含油量的测定进一步筛选出含油量高的品系等。

参考文献

- [1] DE CASTRO O, GARGIULO R, DEL GUACCHIO E, et al. A molecular survey concerning the origin of *Cyperus esculentus* (Cyperaceae, Poales): Two sides of the same coin (weed vs. crop) [J]. *Ann Bot*, 2015, 115(5): 733–745. doi: 10.1093/aob/mcv001.
- [2] PASCUAL B, MAROTO J V, LÓPEZ-GALARZA S, et al. Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.): An unconventional crop. Studies related to applications and cultivation [J]. *Econ Bot*, 2000, 54(4): 439–448. doi: 10.1007/BF02866543.
- [3] DE VRIES F T. Chufa (*Cyperus esculentus*, Cyperaceae): A weedy cultivar or a cultivated weed? [J]. *Econ Bot*, 1991, 45(1): 27–37. doi: 10.1007/BF02860047.
- [4] SCHIPPERS P, TER BORG S J, BOS J J. A revision of the infra-specific taxonomy of *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) with an experimentally evaluated character set [J]. *Syst Bot*, 1995, 20(4): 461–481. doi: 10.2307/2419804.
- [5] DEFELICE M S. Yellow nutsedge *Cyperus esculentus* L.: Snack food of the Gods [J]. *Weed Technol*, 2002, 16(4): 901–907. doi: 10.1614/0890-037X(2002)016[0901:YNCELS]2.0.CO;2.
- [6] ASARE P A, KPANKPARI R, ADU M O, et al. Phenotypic characterization of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from major growing areas in Ghana [J]. *Sci World J*, 2020, 2020: 7232591. doi: 10.1155/2020/7232591.
- [7] BAMISHAIYE E I, BAMISHAIYE O M. Tiger nut: As a plant, its derivatives and benefits [J]. *Afr J Food Agric Nut Dev*, 2011, 11(5): 5157–5170. doi: 10.4314/ajfand.v11i5.70443.
- [8] SÁNCHEZ-ZAPATA E, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, PÉREZ-ALVAREZ J A. Tiger nut (*Cyperus esculentus*) commercialization: Health aspects, composition, properties, and food applications [J]. *Comp Rev Food Sci Food Saf*, 2012, 11(4): 366–377. doi: 10.1111/j.1541-4337.2012.00190.x.
- [9] ALLOUH M Z, DARADKA H M, ABU GHAIIDA J H. Influence of *Cyperus esculentus* tubers (tiger nut) on male rat copulatory behavior [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2015, 15: 331. doi: 10.1186/s12906-015-0851-9.
- [10] BADO S, BAZONGO P, SON G, et al. Physicochemical characteristics and composition of three morphotypes of *Cyperus esculentus* tubers and tuber oils [J]. *J Anal Methods Chem*, 2015, 2015: 673547. doi: 10.1155/2015/673547.
- [11] YANG Z L. Characteristics and research progress of *Cyperus esculentus* [J]. *N Hort*, 2017(17): 192–201. doi: 10.11937/bfy.20170541. 阳振乐. 油莎豆的特性及其研究进展 [J]. *北方园艺*, 2017(17): 192–201. doi: 10.11937/bfy.20170541.
- [12] ZONG Y F, LU H C, WANG Y, et al. Population quality characteristics and yield performances of different types of chufa varieties [J]. *Hunan Agric Sci*, 2011(15): 21–22. doi: 10.16498/j.cnki.hnykx.2011.15.029. 宗宜方, 陆洪川, 王怡, 等. 不同类型油莎豆品种的群体质量特征与产量表现 [J]. *湖南农业科学*, 2011(15): 21–22. doi: 10.16498/j.cnki.hnykx.2011.15.029.

- [13] YANG M, TIAN L P, XUE L. Quality and production potential of different chufa varieties in arid climate region of Xinjiang [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2013, 35(4): 451–454. doi: 10.7505/j.issn.1007-9084.2013.04.017.
杨敏, 田丽萍, 薛琳. 不同油莎豆品种在新疆干旱气候区的产量表现与品质差异 [J]. *中国油料作物学报*, 2013, 35(4): 451–454. doi: 10.7505/j.issn.1007-9084.2013.04.017.
- [14] LI G H, WANG X J, ZHANG B, et al. Study on yield and quality of different chufa varieties in Shandong Province [J]. *Shandong Agric Sci*, 2021, 53(3): 61–64. doi: 10.14083/j.issn.1001-4942.2021.03.011.
厉广辉, 王兴军, 张斌, 等. 不同油莎豆品种在山东种植的产量与品质研究 [J]. *山东农业科学*, 2021, 53(3): 61–64. doi: 10.14083/j.issn.1001-4942.2021.03.011.
- [15] DUAN S, LI R S, WU X T, et al. Analysis of nutrient components of main cultivars of *Cyperus esculentus* in Inner Mongolia [J]. *China Oils Fats*, 2022, 47(3): 100–104. doi: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210199.
段帅, 李睿思, 吴晓彤, 等. 内蒙古油莎豆主要栽培品种的营养成分分析 [J]. *中国油脂*, 2022, 47(3): 100–104. doi: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210199.
- [16] WEI Z M, WANG Z H, YANG X D, et al. RAPD analysis on genetic diversity of *Cyperus esculentus* germplasm resources [J]. *Mol Plant Breed*, 2021, 19(16): 5428–5434. doi: 10.13271/j.mpb.019.005428.
魏尊苗, 王占海, 杨向东, 等. 油莎豆种质资源遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. *分子植物育种*, 2021, 19(16): 5428–5434. doi: 10.13271/j.mpb.019.005428.
- [17] LIU Y L, WANG X N, SHU Y, et al. Character and composition of *Cyperus esculentus* from different origins [J]. *Chin Oil Fat*, 2020, 45(8): 125–129. doi: 10.12166/j.zgyz.1003-7969/2020.08.025.
刘玉兰, 王小宁, 舒焱, 等. 不同产地油莎豆性状及组成分析研究 [J]. *中国油脂*, 2020, 45(8): 125–129. doi: 10.12166/j.zgyz.1003-7969/2020.08.025.