

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201608001

引文格式: 石鹏, 王永, 雷新涛, 等. 油棕鲜果穗产量构成因素的相关性和回归分析 [J]. 广西植物, 2017, 37(9):1130-1136

SHI P, WANG Y, LEI XT, et al. Correlation and regression analysis of fresh fruit bunch yield components in oil palm (*Elaeis guineensis*) [J].*Guihaia*, 2017, 37(9):1130-1136

## 油棕鲜果穗产量构成因素的相关性和回归分析

石鹏<sup>1,2</sup>, 王永<sup>1,2</sup>, 雷新涛<sup>1,2\*</sup>, 曹红星<sup>1,2</sup>, 李东霞<sup>1,2</sup>

(1. 中国热带农业科学院 椰子研究所, 海南 文昌 571339; 2. 海南省热带油料作物生物学重点实验室, 海南 文昌 571339)

**摘要:** 为明确油棕鲜果穗产量构成因素之间的关系, 利用相关性、回归和通径等分析方法, 对 58 株油棕单株鲜果穗产量与其它性状相关性进行了研究。结果表明: 油棕鲜果穗产量与鲜果穗重和每株果穗数的相关性最为密切。另外, 在油棕高产品种选育过程中, 应着重对平均果穗重、每株果穗数、果实大小和含油量等性状进行选择, 并综合权衡这些产量性状之间的相互作用。产量性状变异和相关性分析表明, 平均种壳厚度变异程度最大 (88.34%), 平均果长变异最小 (11.99%), 鲜果穗产量与鲜果穗重、每株果穗数、平均果重呈极显著正相关关系 (0.882 \*\*, 0.714 \*\*, 0.439 \*\*), 与平均果长呈显著正相关关系 (0.334 \*)。多元线性回归和通径分析结果表明, 通过比较多元线性回归方程的相关参数, 建立了可实用的最优多元线性回归方程  $x_1 = -281.511 + 2.787x_4 + 3.455x_5 - 2.672x_6 + 0.411x_7 + 6.690x_8 + 3.664x_9$ , 平均鲜果穗重和每株果穗数对单株鲜果穗产量的直接作用最大 (0.670, 0.439), 其它性状对单株产量的直接作用较小, 平均果重和平均果长对单株鲜果穗产量的间接作用最大 (0.335, 0.322)。该研究结果为油棕高产品种选育提供了依据。

**关键词:** 油棕, 鲜果穗产量, 相关性分析, 回归分析, 通径分析

中图分类号: Q943, S722.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2017)09-1130-07

## Correlation and regression analysis of fresh fruit bunch yield components in oil palm (*Elaeis guineensis*)

SHI Peng<sup>1,2</sup>, WANG Yong<sup>1,2</sup>, LEI Xin-Tao<sup>1,2\*</sup>, CAO Hong-Xing<sup>1,2</sup>, LI Dong-Xia<sup>1,2</sup>

(1. Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang 571339, Hainan, China;

2. Hainan Key Biological Laboratory of Tropical Oil Crops, Wenchang 571339, Hainan, China)

**Abstract:** Oil palm is the most important oil crop all over the world, its production is 30% of the world's total vegetable oil, but there is still room for improving the yield. In order to verify relationship among fresh fruit bunch yield components, correlation between fresh fruit bunch yield and other traits were studied by using correlation, regression and path analysis. The results indicated that fresh fruit weight, number of bunch were the most closely related with fresh fruit bunch yield. Moreover, breeder should focused on average weight of fresh fruit bunch, number of fresh fruit bunch in

收稿日期: 2016-10-31 修回日期: 2016-11-22

基金项目: 海南省自然科学基金面上项目(20163145) [Supported by the Natural Science Foundation of Hainan Province (20163145)].

作者简介: 石鹏 (1987-), 男, 湖南安乡人, 硕士, 助理研究员, 主要从事油棕种质资源评价与遗传育种研究, (E-mail) ship@catas.cn。

\*通信作者: 雷新涛, 博士, 研究员, 研究方向为热带油料作物遗传育种学, (E-mail) xtlei@263.net。

each plant, fruit length, fruit width and oil content of mesocarp, and balance interaction among these characters was related with fresh fruit bunch yield in the high yield oil palm varieties breeding. Analysis of variance and correlation showed that the average shell thickness had the most coefficient of variation ( $CV=88.34\%$ ), average fruit length had the least coefficient of variation ( $CV=11.99\%$ ), fresh fruit bunch yield had extremely significant positive correlation with average fresh fruit bunch weight, number of bunch produced, average fruit weight ( $r=0.882^{**}, 0.714^{**}, 0.439^{**}$ ), and had significant positive correlation with average fruit length ( $0.334^{*}$ ). Multiple regression and path analysis showed that practical regression equation  $x_1=-281.511+2.787x_4+3.455x_5-2.672x_6+0.411x_7+6.690x_8+3.664x_9$  was established by comparing parameters related with multiple linear regression equation. Average fresh fruit bunch weight and number of bunch had maximum direct effects (0.670, 0.439), other characters were relatively less, average fruit weight and average fruit length had maximum indirect effects (0.335, 0.322). The results provide information for the high yield varieties breeding.

**Key words:** Oil palm (*Elaeis guineensis*), fresh fruit bunch yield, correlation analysis, regression analysis, path analysis

油棕(*Elaeis guineensis*)作为重要的热带木本油料作物,其产油量高于其它油料作物,棕榈油的用途也非常广泛,为生物柴油、食品、工业品、化妆品及药品生产提供原料(雷新涛和曹红星,2013;Tan et al,2009;Sambanthamurthi et al,2000)。由于食用油和生物柴油需求的不断增加,全球油棕种植面积在过去 25 a 间增长了 3 倍,棕榈油如今已经成为世界贸易量最大的植物油。主要种植国都在大力发展油棕产业,其中印度尼西亚超过马来西亚成为了世界最大的棕榈油生产国,种植面积达到了 400 万  $\text{hm}^2$ ,非洲和南美洲等地区也在积极扩大油棕种植(Sumathi et al,2008;Vissoh et al,2010;Brandao & Schoneveld,2015)。

然而,油棕的大面积种植,对热带雨林产生的生物多样性破坏越来越严重(Graham et al,2016)。在扩大种植面积越来越难的情况下,提高油棕单株产量可以降低对生态环境的破坏(Murphy,2009;Gutiérrez et al,2011)。除了降雨量、光照、温度和养分等外在因素,油棕单株产油量受到鲜果穗产量和果穗含油量的影响,其中鲜果穗产量受到众多产量构成因素影响。如何进一步提高油棕鲜果穗产量成为重要课题,而明确油棕鲜果穗产量构成因素之间的关系是科研工作者的首要研究目标。国外研究表明,鲜果穗产量与果穗数量和平均果穗重呈正相关关系,通径分析表明果实占果穗比例是决定果穗数的重要因素,中果皮占果实比例对鲜果穗产量有较大的影响效应(Ataga,1995;Obisesan & Fatunla,1982;Obboh & Fakorede,1990)。回归分析表

明,可以用果穗数量和果穗重来预测鲜果穗产量(Eksomtramage et al,2001)。我国经历了两次油棕试种,最终因种种原因以失败告终,其中油棕单株产量不高是重要原因之一。本研究以收集保存在海南文昌油棕基地的油棕树为研究对象,收集鲜果穗产量及相关产量性状数据,采用相关性、回归和通径分析方法研究鲜果穗产量的影响因子(李树杏等,2015;吴春太等,2014;石鹏等,2015;李林锋等,2015;程晓彬等,2016)。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

在中国热带农业科学院椰子研究所四队油棕基地取样,所有油棕单株为从东南亚和我国收集的种质资源,本研究均选取 5 a 树龄的油棕树。

### 1.2 试剂与仪器

正己烷(西陇化工,分析纯),数显游标卡尺(桂林广陆 SF 2000),粗脂肪测定仪(上海精科 JK-CFD-6F),称重器(宁波汉狮 HS36721),电子天平(上海民桥 SL 502)。

### 1.3 产量性状测定

2015 年 8 月份,选取 58 株油棕树,记录每株果穗数量,测定平均鲜果穗重、果肉果实比、平均果重、平均果长、平均果宽、平均种壳厚、果肉含油量和种仁含油量。平均鲜果穗重=单株鲜果穗重/每株果穗数,果肉果实比=10 个果实的果肉重量/10 个果实重量,平均果重=10 个果实重/10,平均果

长、平均果宽和平均种壳厚同平均果重算法。平均果长、平均果宽、平均种壳厚测定时随机取 10 个样本,均使用数显游标卡尺测量。果肉和种仁含油量测定采用索氏提取法,提取后用电子天平称重。每个样品 3 次重复,含油量取 3 次重复平均值,每个重复含油量 =  $100 \times \text{油重} / \text{样品重量}$ ,此处含油量均为鲜重含油量。

#### 1.4 数据统计分析

利用 SAS 9.1 统计软件进行相关性、回归和通径分析,软件参数为默认值。

## 2 结果与分析

### 2.1 油棕鲜果穗产量性状变异分析

油棕鲜果穗产量相关性状变异幅度不一,其中

平均种壳厚变异系数最大,平均果长最小,说明种壳厚度变异很大,而果实长度则变异很小。油棕单株产量变异较大,单株鲜果穗产量在 7.62~245.43 kg 之间。果肉占果实比例是衡量果实出油率的重要指标,平均值为 86.29%,说明收集的种质资源果肉占比普遍较高。种壳厚度平均值为 1.31 mm,种壳厚度普遍偏薄。果肉含油量和种仁含油量平均值达到了较高的水平,单株果穗数与国外高产品种水平相近(表 1)。初步看来,单株鲜果穗产量与每株果穗数量之间有一定的相关性,果穗数可能是影响单株产量的重要因素(图 1)。

### 2.2 油棕鲜果穗产量性状间的相关性分析

油棕鲜果穗产量受众多因素影响,其中与果穗和果实相关性状间的关系密切(表 2)。油棕单株鲜果穗产量与单果穗重、每株果穗数和平均果重存在

表 1 油棕鲜果穗产量性状变异分析  
Table 1 Variation analysis of fresh fruit bunch yield

性状 Trait	代号 Code	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Average	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
单株鲜果穗产量 Fresh fruit bunch yield (kg)	$x_1$	7.62	245.43	75.34	49.22	65.33
平均鲜果穗重 Average fresh fruit bunch weight (kg)	$x_2$	1.27	9.98	4.49	2.04	45.41
单株果穗数(个) No. of bunch	$x_3$	3	27	16	5	33.00
果肉果实比 Mesocarp / Fruit (%)	$x_4$	56.09	100.00	86.29	10.58	12.27
平均果重 Average fruit weight (g)	$x_5$	2.92	30.34	13.25	5.78	43.63
平均果长 Average fruit length(mm)	$x_6$	26.54	48.31	37.45	4.49	11.99
平均果宽 Average fruit width (mm)	$x_7$	14.70	37.63	27.53	4.67	16.95
平均种壳厚 Average shell thickness (mm)	$x_8$	0.00	5.64	1.31	1.16	88.34
果肉含油量 Oil content of mesocarp (%)	$x_9$	32.90	56.67	47.80	5.76	12.06
种仁含油量 Oil content of kernel (%)	$x_{10}$	20.80	43.22	33.81	6.12	18.09

极显著正相关关系,与平均果长呈显著正相关关系;平均果穗重与每株果穗数、平均果重和平均果长存在极显著正相关关系;果肉果实比与平均果重、平均果宽和平均种壳厚存在极显著正相关关

系,与种仁含油量存在显著正相关关系;平均果长与平均种壳厚度存在极显著正相关关系,与果肉含油量存在显著负相关关系;平均种壳厚与果肉含油量存在显著负相关关系。

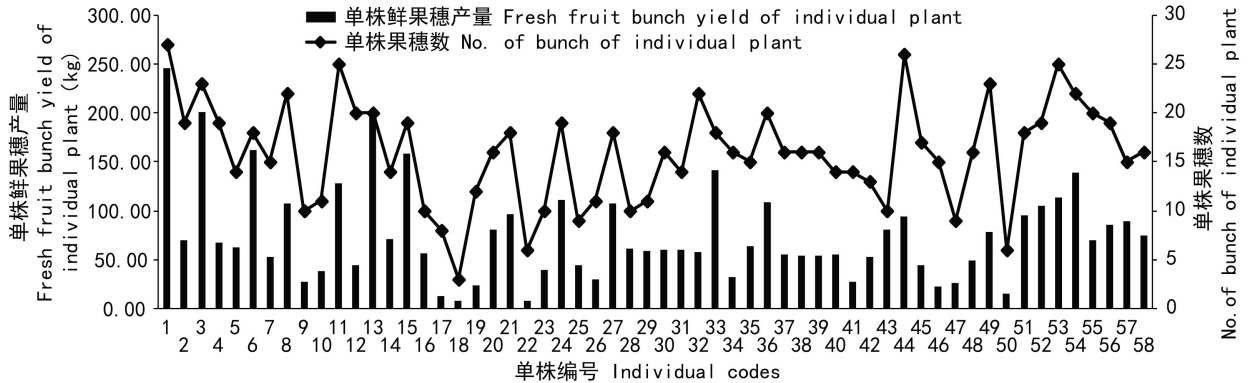


图 1 单株鲜果穗产量和每株果穗数分析

Fig. 1 Analysis of fresh fruit bunch yield and number of bunch

表 2 油棕鲜果穗产量性状间的相关性

Table 2 Correlation analysis of fresh fruit bunch yield

代号 Code	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$x_1$										
$x_2$	0.882 **									
$x_3$	0.714 **	0.376 **								
$x_4$	-0.052	-0.230	0.230							
$x_5$	0.439 **	0.502 **	0.201	-0.429 **						
$x_6$	0.334 *	0.481 **	0.057	-0.349 **	0.849 **					
$x_7$	0.185	0.137	0.155	-0.094	0.362 **	0.173				
$x_8$	0.060	0.173	-0.106	-0.720 **	0.422 **	0.388 **	0.143			
$x_9$	0.339	0.194	0.354	0.099	-0.205	-0.424 *	0.106	-0.479 *		
$x_{10}$	0.143	0.046	0.211	0.390	0.468 *	0.162	0.040	-0.375	0.376	

注: \* 表示在 0.05 水平下显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平下极显著相关。

Note: \* indicates a correlation at 0.05 level, \*\* indicates a correlation at 0.01 level.

### 2.3 鲜果穗产量的多元线性回归分析

由于单株鲜果穗产量是以单株果穗数乘以平均果穗重计算出来的,所以只用其它 7 个性状对单株产量进行多元回归分析。通过比较建立的多元线性回归方程复决定系数、校正后的复决定系数、马洛斯的  $C(p)$  统计量、赤池信息量、剩余均方和、剩余平方和这些重要标准,最终确定最优的多元线性回归方程为  $x_1 = -281.511 + 2.787x_4 + 3.455x_5 - 2.672x_6 + 0.411x_7 + 6.690x_8 + 3.664x_9$  (表 3)。随后对回归方程进行共线性诊断,发现 6 个模型变量的方

差膨胀因子均小于 10,容许度均大于 0.1。说明回归方程的这 6 个自变量之间没有共线性,建立的最优多元线性回归方程具有应用价值。

### 2.4 鲜果穗产量与其它性状的通径分析

用其它 9 个产量相关性状对油棕单株鲜果穗产量进行通径分析,得到线性回归方程为  $x_1 = -128.910 + 18.847x_2 + 5.445x_3 + 0.202x_4 - 0.076x_5 - 0.610x_6 + 0.156x_7 + 2.925x_8 + 0.459x_9 + 0.258x_{10}$ ,对线性回归方程进行方差分析,线性回归方程达到极显著水平 ( $P < 0.0001$ ),说明这 9 个主要产量性状对单株

表 3 单株鲜果穗产量的最优回归方程  
Table 3 Optimum regression equation of fresh fruit bunch yield

参数 Parameter	复决定系数 R-square	校正后的 复决定系数 Adjusted R-square	马洛斯的 C(p)统计量 Mallows C(p)	赤池信息量 AIC	剩余均方和 MSE	剩余平方和 SSE	
数值 Value	0.235	-0.093	6.001	179.831	4032.705	56458	
最优回归方程 Optimum regression equation	常数项 Constant terms	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
	-281.511	2.787	3.455	-2.672	0.411	6.690	3.664
方差膨胀因子 Variance inflation		1.727	6.139	5.332	1.493	2.102	1.901
容许度 Tolerance		0.579	0.163	0.188	0.670	0.476	0.526

表 4 其它产量性状对单株鲜果穗产量的通径分析  
Table 4 Path analysis of other yield traits on fresh fruit bunch yield

代号 Code	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficients								
		$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$x_2$	0.670		0.167	-0.005	-0.003	-0.020	0.002	0.009	0.008	0.001
$x_3$	0.439	0.255		0.005	-0.001	-0.003	0.002	-0.006	0.015	0.005
$x_4$	0.021	-0.154	0.101		0.003	0.015	-0.001	-0.037	0.004	0.009
$x_5$	-0.007	0.335	0.088	-0.009		-0.036	0.005	0.021	-0.009	0.011
$x_6$	-0.042	0.322	0.026	-0.007	-0.006		0.002	0.020	-0.019	0.004
$x_7$	0.014	0.094	0.070	-0.002	-0.003	-0.007		0.007	0.005	0.001
$x_8$	0.051	0.114	-0.048	-0.015	-0.003	-0.016	0.002		-0.021	-0.009
$x_9$	0.044	0.127	0.154	0.002	0.001	0.018	0.002	-0.024		0.009
$x_{10}$	0.023	0.034	0.092	0.008	-0.003	-0.007	0.001	-0.019	0.017	

鲜果穗产量的通径分析是有意义的。这 9 个主要产量性状的决定系数为 0.982, 误差造成的剩余通径系数为 0.191, 说明这 9 个主要产量性状基本构成了单株鲜果穗产量形成的因素。与之前建立的最优多元线性回归方程不同的是, 这里的回归方程包含了平均果穗重、每株果穗数和种仁含油量, 着重于揭示各性状对单株产量的贡献。以下着重对通径系数较大的性状进行阐述(表 4)。

平均果穗重对单株产量的直接作用最大(0.670), 每株果穗数次之(0.439), 其它的性状对单

株鲜果穗产量的直接作用较小, 说明单株鲜果穗产量主要还是受到平均果穗重和每株果穗数的影响。同时平均果穗重通过每株果穗数对单株鲜果穗产量的通径系数为 0.167, 每株果穗数通过平均果穗重对单株鲜果穗产量的通径系数为 0.255, 说明平均果穗重和每株果穗数之间相互促进, 共同提高油棕单株鲜果穗产量。平均果重和平均果长对单株鲜果穗产量的直接作用均为负值(-0.007 和 -0.042), 但是通过平均果穗重对单株鲜果穗产量的作用为正值(0.335 和 0.322), 说明平均果重和平均果长对单



株鲜果穗产量的整体效应为正。平均种壳厚、果肉含油量和种仁含油量对单株鲜果穗产量的直接作用为正值(0.051、0.044 和 0.023),通过平均果穗重对单株鲜果穗产量的间接作用也是正值(0.114、0.127 和 0.034),说明这三个性状对单株鲜果穗产量的提高是正向效应。因此,在油棕高产品种选育过程中,要着重对平均果穗重、每株果穗数、果实大小和含油量等性状进行选择,综合权衡主要产量性状之间的相互作用。

### 3 讨论与结论

作物产量一般受多基因控制,在表型上表现为受到多个性状的影响。研究结果表明,油棕主要产量性状变异较大,说明收集的油棕种质资源多样性丰富。与世界平均水平相比,果穗数量和果实含油量较高,种壳厚度较薄。但是平均果穗重量较低,造成单株鲜果穗产量较低。相关性分析表明,油棕单株果穗产量与平均果穗重、果穗数和果实大小有密切关系。对单株鲜果穗产量性状进行多元线性回归分析,发现果肉果实比、平均果重、平均果长、平均果宽、平均种壳厚和果肉含油量对单株鲜果穗产量的最优多元回归方程是有应用价值的。通径分析表明,9 个主要产量性状基本涵盖了单株鲜果穗产量形成的因素,其中平均果穗重、每株果穗数、果实大小和含油量是主要的产量构成因素。

油棕产量性状相关性研究已有一些报道,在鲜果穗产量性状之间的相关性和相互作用效应方面的研究结果与该文基本一致,油棕鲜果穗产量主要受到果穗数和平均果穗重的影响。泰国和尼日利亚的油棕鲜果穗产量每株每年约为 36.18 kg 和 38.61 kg,本试验测定的每株鲜果穗产量平均值为 75.34 kg,说明本试验的产量比较可观。泰国 3 个地点的分析结果表明,果穗产量、平均果穗重量、果肉占果实比例和每果穗果实数量与产油量之间存在正相关关系。通径分析表明,果穗产量、果肉占果实比例和每果穗果实数量与产油量之间存在正向直接效应。因此,产油量改良应该考虑果穗产量、果肉占果实比例和每果穗果实数量(Krualee et al, 2013)。对尼日利亚 3 个油棕育种群体产量相关性状进行分析时,发现鲜果穗产量与果穗数量之间存

在极显著正相关关系,果穗数量与平均果穗重量之间是极显著负相关关系,Okwuagwu et al (2008) 和 Okoye et al (2009) 也得到了相同的结果。与本研究结果不一致的是果穗数量与平均果穗重量的关系,原因可能是本研究中的油棕树水肥供应充足,果穗数多的同时也能保证平均果穗重量大。在泰国南部连续 4 a 对 55 株油棕进行产量数据收集,分析发现在厚壳种和薄壳种油棕中与产油量和果穗含油量存在极显著正相关且有较大直接和间接正向效应的性状是总果穗重量、果穗含油量、果穗果实比例和果实含油量。而在无壳种油棕中,则是总果穗重量、果穗数量、平均果重、果穗含油量和果实含油量(Eksomtramage et al, 2001)。本研究虽然对油棕鲜果穗产量性状进行了相关性、通径和回归分析,但是相较于国外多年多点的试验还有不足。下一步需要收集多年多点的产量数据,分析不同年份、不同地点等环境因素和不同类型对油棕鲜果穗产量的影响。

### 参考文献:

- ATAGA CD, 1995. Character interrelationships and path coefficient analysis for oil yield in the oil palm [J]. *Ann Appl Biol*, 127(127): 157-162.
- BRANDAO F, SCHONEVELD G, 2015. The state of oil palm development in the Brazilian Amazon: Trends, value chain dynamics, and business models [J]. *Brit Med J*, 21(1): 103-110.
- CHENG XB, ZHAO G, XUE WT, et al, 2016. Analysis of phenophase and agronomic characters of wild barley (*Hordeum spontaneum*) originated from Jordan in western Sichuan plateau [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 29(5): 1027-1031. [程晓彬, 赵刚, 薛文韬, 等, 2016. 约旦野生二棱大麦在川西高原的物候期和农艺性状分析 [J]. *西南农业学报*, 29(5): 1027-1031.]
- EKSOMTRAMAGE, JUNTARANIYOM, TONGKUM, et al, 2001. Predicting fresh fruit bunch yield of oil palm [J]. *Songklanakarin J Sci Technol*, 23(Suppl.).
- EKSOMTRAMAGE, SONGSRI, JUMTARANIYOM, et al, 2001. Correlation, path coefficient analysis and heritability for agronomic characters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) [J]. *Songklanakarin J Sci Technol*, 23(Suppl.).
- GUTIERREZ VVH, DEFRIES R, PINEDO VM, et al, 2011. High-yield oil palm expansion spares land at the expense of forests in the Peruvian Amazon [J]. *Burl Magaz*, 6(4): 67-81.

- GRAHAM WP, JAMES JG, HAUGAASEN T, et al, 2016. Reducing the impacts of Neotropical oil palm development on functional diversity [J]. *Biol Conserv*, 197: 139-145.
- KRUALEE S, SDOODEE S, EKSOMTRAMAGE T, et al, 2013. Correlation and path analysis of palm oil yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) [J]. *Nat Sci*, 48(4): 895-901.
- LEI XT, CAO HX, 2013. Oil palm [M]. Beijing: China Agriculture Press; 103-127. [雷新涛, 曹红星, 2013. 油棕 [M]. 北京: 中国农业出版社; 103-127.]
- LI SX, XIANG G, YANG ZL, et al, 2015. Correlation and path analysis of yield components of hybrid rice combinations 'Xieyou385' [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 31(18): 15-19. [李树杏, 向关伦, 杨占烈, 等, 2015. 杂交水稻'协优385'主要产量构成因子与产量的相关分析和通径分析 [J]. 中国农学通报, 31(18): 15-19.]
- LI LF, WU XF, LIU SQ, 2015. Characteristics of photosynthesis and photosynthetic carbon fixation capacity of five mangrove tree species in Zhanjiang City [J]. *Guihaia*, 35(6): 825-832. [李林锋, 吴小凤, 刘素青, 2015. 湛江5种红树林树种光合作用特性及光合固碳能力研究 [J]. 广西植物, 35(6): 825-832.]
- MURPHY DJ, 2009. Oil palm: future prospects for yield and quality improvements [J]. *Lipid Technol*, 21(11-12): 257-260.
- OBOH BO, FAKOREDE MA, 1990. Interrelations among vegetative, yield and bunch quality traits in short-stem oil palm progenies [J]. *Euphytica*, 46(1): 7-14.
- OBISESAN IO, FATUNLA T, 1982. Heritability of fresh fruit bunch yield and its components in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) [J]. *Theoret Appl Genet*, 64(1): 65-68.
- OKWUAGWU CO, OKOYE MN, OKOLO EG, et al, 2008. Genetic variability of fresh fruit bunch yield in Deli/dura x tenera breeding populations of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Nigeria [J]. *J Trop Agric*, 46(1): 40-45.
- OKOYE MN, OKWUAGWU CO, UGURU MI, 2009. Population improvement for fresh fruit bunch yield and yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). [J]. *Res Nurs Health*, 36(3): 257-70.
- SAMBANTHAMURTHI R, SUNDRAM K, TAN YA, 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil [J]. *Prog Lipid Res*, 9(6): 507-558.
- SUMATHI S, CHAI SP, MOHAMED AR, 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia [J]. *Renew Sustain Energy Rev*, 12(9): 2404-2421.
- SHI P, FENG ML, LEI XT, et al, 2015. Path and principal component analysis of yield traits in oil palm fruit bunch [J]. *Guangdong Agric Sci*, 42(17): 18-25. [石鹏, 冯美利, 雷新涛, 等, 2015. 油棕果穗产量性状主成分及通径分析 [J]. 广东农业科学, 42(17): 18-25.]
- TAN KT, LEE KT, MOHAMED AR, et al, 2009. Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development [J]. *Renew Sustain Energy Rev*, 13(2): 420-427.
- VISSOH PV, NSIAH SA, HUIS AV, et al, 2010. Opportunities for oil palm development in Benin and Ghana: institutional conditions for technological change [J]. *Asp Appl Biol*, 96: 207-214.
- WU CT, MA ZY, LIU HW, et al, 2014. Correlation and path analysis on yield of *Hevea brasiliensis* PR107 and its components [J]. *J Centr S Univ For Technol*, 34(12): 46-51. [吴春太, 马征宇, 刘汉文, 等, 2014. 橡胶树 PR107 产量与其构成因素的相关及通径分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 34(12): 46-51.]