

利用流式细胞术快速鉴定 169 份香蕉种质资源的染色体倍性

吕 顺¹, 任 毅², 王 芳^{1*}, 胡桂兵², 黄秉智³, 刘文清¹,
何建齐¹, 刘建平¹, 曾莉莎¹, 周建坤^{1,4}, 麦景郁⁴, 张珂恒¹

¹东莞市香蕉蔬菜研究所, 广东东莞 523061; ²华南农业大学园艺学院, 广州 510642;

³广东省农业科学院果树研究所, 广州 510640; ⁴东莞市麻涌镇农业技术服务中心, 广东东莞 523135)

摘 要:【目的】利用流式细胞术快速测定 169 份香蕉种质资源的倍性, 以为香蕉遗传进化以及杂交育种研究提供理论依据。【方法】研究以‘小果野蕉’(AA)为内参, 分析香牙蕉(*Musa* AAA Cavendish)、大蕉(*Musa* Dajiao)、粉蕉(*Musa* ABB Pisang Awak)、棱指蕉(*Musa* ABB Bluggoe)、龙牙蕉(AAB)、贡蕉(AA)、野生蕉等不同类型香蕉种质资源的染色体倍性。【结果】野生蕉、贡蕉均为二倍体, 香牙蕉、棱指蕉、龙牙蕉均为三倍体, 大蕉和粉蕉多数为三倍体, ‘哇头大蕉’‘景洪野大蕉’‘粉杂 1 号’为四倍体。本研究中的香蕉杂交组合‘高州中把大蕉’×‘那邦野蕉’、‘高州中把大蕉’×‘广宁野生蕉’、‘高州中把大蕉’×‘阿宽蕉’、‘华农中把大蕉’×‘阿宽蕉’的后代均为四倍体, 而‘广粉 1 号’×‘那邦野蕉’为三倍体。‘海南红蕉’和‘飞亚-25’为三倍体。【结论】香蕉基因组和倍性十分复杂, 根据形态特征鉴定香蕉染色体倍性, 其结果可靠性很低。以嫩叶为材料, 采用 FCM 技术可以快速、准确鉴定香蕉资源的倍性。

关键词: 香蕉; 流式细胞术; 染色体倍性; 快速鉴定

中图分类号: S668.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)06-0668-17

Ploidy identification of 169 *Musa* germplasms by flow cytometry

LÜ Shun¹, REN Yi², WANG Fang^{1*}, HU Guibing², HUANG Bingzhi³, LIU Wenqing¹, HE Jianqi¹, LIU Jianping¹, ZENG Lisha¹, ZHOU Jiankun^{1,4}, MAI Jingyu⁴, ZHANG Keheng¹

¹(Dongguan Banana and Vegetable Institute, Dongguan 523061, Guangdong, China; ²College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China; ³Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; ⁴Agriculture Technology Service Center of Machong Town, Dongguan 523135, Guangdong, China)

Abstract: 【Objective】Banana (*Musa* spp.) is one of the most important fruits in the world and one of the important economic crops in southern China. Banana germplasms are rich and diverse. Its chromosomal ploidy is quite complicated due to the long evolution. The identification of chromosomal ploidy is the basis for studying the genetic evolution, classification and breeding of banana. The identification of chromosomal ploidy by chromosome squashing is difficult because the banana chromosome are small, and the satellite DNA is easy to mix with the small chromosome. Flow cytometry (FCM) is now the prevailing method for identification of chromosomal ploidy in plants, because of the ease of sample preparation and the high sample throughput. In this study, the chromosomal ploidy levels of 169 *Musa* germplasms were identified by flow cytometry in order to provide theoretical basis for the study of genetic evolution and hybridization of banana. 【Methods】The leaves unopened of 169 *Musa* germplasms were selected with ice boxes from Banana Germplasm Resource Garden of Dongguan Banana and Vegetable Institute and Banana and Litchi Germplasm Resource Garden in Guangzhou of Na-

收稿日期: 2017-11-02 接受日期: 2018-03-23

基金项目: 东莞市社会科技发展项目(2013108101043); 广东省现代农业科技创新联盟建设项目(2016LM1027)

作者简介: 吕顺, 男, 高级农艺师, 研究方向为香蕉种质资源、香蕉新品种选育及高效栽培技术。Tel: 13602380653, E-mail: shunlv@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13712255936, E-mail: 29333689@qq.com

tional Fruit tree Germplasm. 20–30 mg fresh leaves contained an equal number of sample and standard sample were chopped with a sharp razor blade in a Petri dish containing 1.5 mL OTTO buffer I which was precooled. The mixture was placed on ice 5–10 min and filtered with a 22 μ m strainer to remove large cellular materials and the remaining 50 μ L sample was mixed again after discarding the upper liquid. Then, 200 μ L OTTO buffer II was added to the mixture. The cell suspension was stained by Propidium Iodide and RNase 5–10 min. In the end, 200 μ L cell suspension was used for the analysis of cell flow analyzer. Xiaoguo Yejiao, a known diploid wild banana (*M. acuminata*) was used as the internal standard, and we analyzed the relative genome size of *Musa* germplasms containing cavendish, pisang awak, pisang mas, bluggoe, wild banana etc. by Beckman Cell Lab Quanta SC, and the chromosomal ploidy levels were then estimated. 【Results】According to the analysis, thirty-seven different types of wild bananas from Yunnan, Guangxi, Guangdong, Jiangxi, Hunan and Shaanxi were all diploid. The existing triploidy and tetraploid bananas were originated from intra- and interspecific hybridization between two wild diploid species: *Musa acuminata* Colla. and *M. balbisiana* Colla, so the genomes and ploidy of these bananas were very complex. In this study, pisang mas are all diploid. All of the germplasms belonged to cavendish, longyajiao, bluggoe, and most of germplasms derived from dajiao and pisang awak were triploid except for three varieties: ‘Qitou Dajiao’ ‘Yunnan Jinghong Yedajiao’ ‘Fenza No.1’. They were tetraploid due to the calculation values of ploidy levels were 3.84, 3.59, 3.43. ‘Hainan Hongjiao’ was triploid. The plant of ‘FHIA-25’ whose genotype and ploidy were unknown in the Banana Germplasm System (*Musa* Germplasm Information System) is very thick, and it was found to be triploid according to the results of repeated detection and analysis. Similarly, ‘Indonesia Dafenjiao’ which was very strong, was found to be triploid. In contrast, ‘FX2’ which was thin, and ‘Jinghong Yedajiao’ which was thin and short, were tetraploid. The individuals derived from ‘Gaozhou Zhongba Dajiao’ \times ‘Nabang Yejiao’, ‘Gaozhou Zhongba Dajiao’ \times ‘Gangning Yeshengjiao’, ‘Gaozhou Zhongba Dajiao’ \times ‘Akuanjiao’, ‘Huanong Zhongba Dajiao’ \times ‘Akuanjiao’ (The hybrid offsprings of triploid Dajiao and Akuanjiao) were all tetraploid, while those derived from ‘Guangfen No.1’ \times ‘Nabang Yejiao’ were triploid in this study. The point of the average DNA relative content of the diploid was $AA > M. basjoo > M. itinerans > AA$ (cultivar) $> BB$ wild. The point of the average DNA relative content of the the triploid was $AAA > AAB > ABB$. 【Conclusion】After a long period of evolution, the genome and the ploidy of bananas, especially cultivars are complex. The reliability of identification of banana chromosomal ploidy according to the size of the plant and other morphological characteristics, especially some allopolyploid bananas, is very low. FCM is suitable for quickly identification of the ploidy of bananas because of its simplicity, high sensitivity, resolution and accuracy.

Key words: *Musa* spp.; Flow cytometry; Chromosomal ploidy; Quick identification

香蕉是世界上重要的水果之一,也是我国华南地区重要的经济作物之一。香蕉在某些发展中国家是当地居民的主要食物来源,是继水稻、小麦和玉米的主要粮食作物^[1]。香蕉主要起源于东南亚热带地区,全世界有 130 多个国家种植香蕉,2014 年全球香蕉种植面积 539.38 万 hm^2 ,产量达 11 413.02 万 t;2014 年国内香蕉种植面积为 39.2 万 hm^2 ,产量为 1 179.19 万 t^[2]。中国是香蕉的起源地之一,有 3 000 多年的栽培历史,拥有丰富的蕉类种质资源,在中国有记录的野生种有 *Musa*

acuminata Colla、*M. balbisiana* Colla、*M. basjoo* Siebold & Zucc. ex Iinuma 等 11 种^[3-5],在广东、广西、云南、福建等地有丰富的地方栽培品种^[6-10]。由于香蕉特殊的生物学特性(如多倍体、单性结实、无性繁殖、高度不育、小染色体等)及其极为相似的形态特征,香蕉种质资源的分类及系统演化研究成为一个难题^[11-12]。

根据 Simmonds 分类系统^[13],香蕉主要起源于尖苞片蕉(*M. acuminata* Colla,记为 A 基因组)和长梗蕉(*M. balbisiana* Colla,记为 B 基因组),现存的三

倍体和四倍体栽培蕉都是由二者自然加倍或杂交加倍后经人工选择而来,根据形态特征评分结合染色体倍数分析,栽培蕉分为AA、AAA、AAB、ABB、AAAB等类型。香蕉的倍性分析是研究香蕉遗传进化、系统分类以及开展杂交育种工作的基础。但是由于香蕉的染色体属于小型染色体^[12],且存在的随体易与小染色体混在一起,干扰染色体数目的确定,同时染色体制片对于取材时间、部位、染色体处理等技术环节的要求较高,特别是同时对大量的样品进行染色体倍性鉴定时,传统的染色体制片观测手段耗时、耗力,具有明显的局限性^[14-15]。

流式细胞术(flow cytometry, FCM)是20世纪70年代发展起来的一项技术,它集计算机技术、激光技术、流体力学、细胞化学、细胞免疫学于一体,可以定量地测定某一细胞中的DNA、RNA或某种特异蛋白的含量,以及细胞群体中上述成分含量不同的细胞数量。流式细胞术不受植物取材部位和细胞所处时期的限制,制样简单,灵敏度、分辨率及准确性较高,数据的可重复性好,测试速度快,适合于样品较多的倍性检测分析^[16]。目前流式细胞术已经普遍应用于植物基因组大小^[17-20]或者植物倍性研究^[21-22]。Lysák等^[23]利用FCM技术对香蕉的A和B基因组进行研究,发现A、B基因组大小的差异。Roux等^[1]利用流式细胞术分析检测三倍体香蕉非整倍性,认为流式细胞术是一种方便和快速的检测方法。闫佼^[24]利用流式细胞术完成了国家香蕉种质资源圃内183份栽培香蕉和野生香蕉以及杂交后代的倍性分析,97.1%的试验结果与已报道结果一致,79份国内栽培品种及野生资源与通过形态学特征描述的结果一致。不同倍性水平的香蕉种质其2C值均在一个范围内,二倍体(2x)平均范围为0.92~1.28 pg;三倍体(3x)为1.50~1.80 pg;四倍体(4x)为1.97~2.37 pg。郭计华等^[25]利用FCM技术对11份香蕉种质资源进行分析,认为FCM准确揭示了DNA含量与倍性的关系,能更好地反映香蕉种质资源之间的遗传特征。笔者利用FCM技术分析169份香蕉种质资源及杂交后代的倍性,以期对香蕉的遗传进化、系统分类研究以及香蕉的杂交育种提供基础。

1 材料和方法

1.1 供试材料

倍性分析的材料为169份香蕉资源及杂交后

代,所有品种均种植于东莞市香蕉蔬菜研究所香蕉种质资源圃或国家果树种质广州香蕉荔枝圃。倍性分析参照品种‘小果野蕉’(*M. acuminata*)为二倍体,2n=22。169份香蕉资源包括野生蕉37份、贡蕉11份、香牙蕉31份、龙牙蕉12份、大蕉35份、粉蕉6份、棱指蕉8份、大蕉或粉蕉与野生蕉人工杂交后代5份、其他类型的香蕉资源24份,其中‘景洪野大蕉’和‘粉杂1号’分别为大蕉和粉蕉偶然实生苗后代。

1.2 样品预处理

用剪刀剪取新抽出未展开的叶片,放入冰盒带回实验室,用预冷的清水洗去叶片表面的灰尘,然后用吸水纸洗干净备用。

1.3 细胞悬浮液制备

参照Doležel等^[15]的方法,有所改进。在冰上预冷的培养皿中加入1.5 mL预冷的细胞核提取液I [OTTO buffer I : 0.1 mol·L⁻¹柠檬酸、0.5%(φ)Tween 20, pH=2.3],然后取20~30 mg(样品、标样各10~15 mg)放入培养皿中,用单面刀片快速切碎,冰上静置5~10 min后,用22 μm滤头过滤至1.5 mL离心管中,1 200 r·min⁻¹离心5 min,弃去上清,剩余约50 μL,手指弹管壁,悬浮颗粒,加入200 μL细胞核提取液II (OTTO buffer II : 0.4 mol·L⁻¹ Na₂HPO₄·12H₂O, pH=8.9),加入碘化丙啶(propidium iodide)与RNase(终质量浓度均为50 mg·L⁻¹)室温染色5~10 min,取200 μL上机(流式细胞仪)检测。

对香蕉不同品种(系)进行倍性分析时,将参照品种样品和待测品种(系)样品混合制备成细胞核悬浮液,设3次重复。

1.4 流式细胞仪测定

PI染色的样品在488 nm激光的激发下发出橘红色荧光,利用美国Beckman公司Cell Lab Quanta SC的FL3荧光通道检测其荧光强度。上机后调整FL3荧光通道电压使参照样品G₀/G₁峰的荧光均值在200左右,稳定后电压不变。样品G₀/G₁峰的荧光均值和变异系数(CV)由Cell Lab Quanta SC分析软件计算得到。当CV<5%时,所测数据是理想的;当CV<10%时,所测数据是比较理想的;当CV>10%时,所测数据是不理想的。

待测样品的倍性值的估算方法:待测样品的倍性值(ploidy value)=参照样品的倍性×(待测样品G₀/G₁峰的荧光均值/参照样品G₀/G₁峰的荧光均值)。

2 结果与分析

2.1 样品倍性分析

以二倍体‘小果野蕉’(*M. acuminata*, $2n=22$)为内参,待测样品和内参样品同时进样的方法分析 169 份香蕉资源的倍性,图 1 展示部分样品倍性测定的直方图。内参的峰值控制在 200 左右,当只出现 1 个 200 左右的峰时,则样品和内参的峰无法区分,两者的倍性相同;出现 2 个峰时,则 200 左右的峰值为内参,另一峰值为样品。

除‘Calcutta 4’(11.89%)、‘BB 野蕉’(10.30%)、‘芭蕉 1’(10.72%)、‘黄苞蝎尾蕉’(10.06%)外,其余样品 *CV* 均小于 10%,所测数据较为理想。样品倍性计算值范围为 2.00~3.96,其中样品倍性值为 2 的为二倍体;样品倍性值 2.74~3.34 的为三倍体,样品倍性值 3.43~3.96 的为四倍体。从倍性计算值看,二倍体品种有 48 份,其中 37 份为正常结籽或有正常花粉的野生蕉,11 份为贡蕉品种;三倍体品种 109 份,其中 31 份香牙蕉(Cavendish)、7 份龙牙蕉、31 份大蕉、8 份棱指蕉、5 份粉蕉;四倍体品种 12 份,各品种倍性鉴定结果见表 1。169 份品种中有 157 份品种与预期结果一致,占 92.90%;有 12 份品种与预期的结果不一致,占 7.10%,其中‘FX2’‘飞亚-25’‘印尼大粉蕉’以及‘广粉 1 号’×‘那邦野蕉’杂种 4 份鉴定为三倍体,‘畦头大蕉’‘景洪野大蕉’‘粉杂 1 号’‘WS6’以及 4 份大蕉与阿宽蕉或长梗蕉的杂交组合(‘高州中把大蕉’×‘广宁野生蕉’、‘高州中把大蕉’×‘阿宽蕉’、‘华农中把大蕉’×‘阿宽蕉’、‘高州中把大蕉’×‘那邦野蕉’)的后代鉴定为四倍体(表 1)。

2.2 不同类型香蕉品种 G_0/G_1 峰的荧光均值和倍性值分析

内参‘小果野蕉’品种单独测定 G_0/G_1 峰荧光均值为 206.96,所有能正常结籽的野生蕉或 AA 型栽培蕉与‘小果野蕉’DNA 含量接近,样品和内参的 G_0/G_1 峰无法区分,只出现 1 个 200 左右的混合峰,在这些品种中 G_0/G_1 峰荧光均值实为样品和内参的平均值,介于 168.44~235.19,不同野生蕉的 G_0/G_1 峰荧光均值有一定差异。‘黄苞蝎尾蕉’与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值最大(235.19);其次是‘红花蕉’与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值(227.80);‘手指蕉’‘增城野生蕉’和‘芭蕉 2’与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值较小,分别为

169.90、169.77 和 168.44。其中 5 份尖苞片蕉(*M. acuminata* Colla, AA)与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值介于 200.31~214.07,平均为 205.00;长梗蕉(*M. balbisiana* Colla, BB)与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值介于 172.23~208.65,平均为 185.46,除‘野蕉 1 号’和‘凭祥野蕉’为 200 左右外,其余品种为 180 左右;15 份阿宽蕉(*M. itinerans*)与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值介于 169.77~219.75,平均为 200.72,除‘增城野生蕉’稍小外,其余品种在 200 左右;5 份芭蕉(*M. basjoo*)与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰的荧光均值介于 168.44~218.51,平均为 203.83,除‘芭蕉 2’外,其余品种大于 200;11 份 2 倍体栽培蕉(AA 栽培品种)与‘小果野蕉’的混合 G_0/G_1 峰荧光均值介于 169.90~216.12,平均为 195.20,除‘YN2’和‘手指蕉’稍小外,其余品种在 200 左右。可见从 DNA 相对含量平均值来看,野生尖苞片蕉 AA>芭蕉>阿宽蕉>AA(栽培品种)>长梗蕉 BB(表 2)。

AAA、AAB、ABB 等基因型三倍体香蕉以及三倍体中国大蕉均产生 2 个 G_0/G_1 峰,不同类型和不同品种之间倍性值有一定差异。其中 AAA 基因型香蕉的 G_0/G_1 峰荧光均值介于 242.50~343.44,平均为 292.68;样品的倍性值为 2.75~3.34,平均为 2.96。AAB 基因型香蕉的 G_0/G_1 峰荧光均值介于 266.81~335.02,平均为 297.46;样品的倍性值为 2.75~3.10,平均为 2.92。ABB 基因型香蕉的 G_0/G_1 峰荧光均值介于 211.15~315.90,平均为 289.99;样品的倍性值为 2.74~3.03,平均为 2.87。中国大蕉的 G_0/G_1 峰荧光均值介于 268.43~361.49 之间,平均为 306.04;样品的倍性值为 2.84~3.26,平均为 2.98。AAA 基因型的‘巴西蕉’倍性值最大(3.34),ABB 基因型的‘灰大蕉’倍性值最小(2.74);总体上不同类型品种倍性值大小顺序为大蕉、AAA>AAB>ABB(表 3~表 6)。

12 份四倍体香蕉的 G_0/G_1 峰荧光均值介于 336.48~415.36 之间,平均为 376.23;样品的倍性值介于 3.43~3.96 之间,平均为 3.77。ITC1307(‘SH-3640’,AAAB)品种倍性值最大(3.96),‘粉杂 1 号’(ABBB)品种的倍性值最小(3.43)(表 7)。

3 讨论

1994 年,捷克 Dolezel 博士首次将流式细胞术应用到香蕉染色体鉴定上,可以准确测定核酸 DNA 含

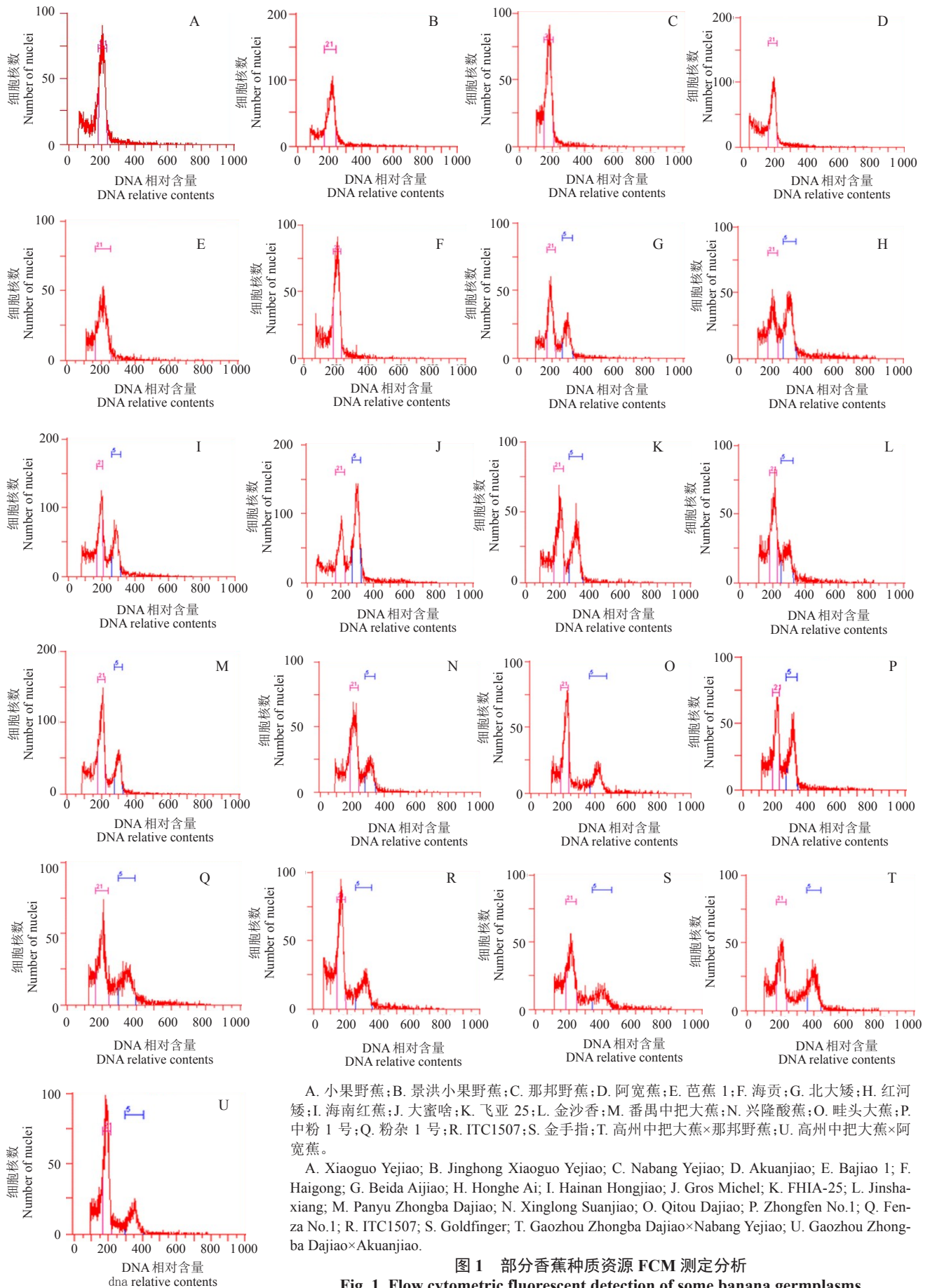


图 1 部分香蕉种质资源 FCM 测定分析
Fig. 1 Flow cytometric fluorescent detection of some banana germplasm

表 1 169 份香蕉种质资源及 FCM 倍性分析
Table 1 Expected ploidy levels of the 169 banana accessions and the observed ploidy levels after analysis using the flow cytometry method

序号 S/N	品种名称 Accession name	种/组/亚组 Species/Group/SubGroup	来源 Origin	预期倍性 Expected ploidy	倍性值 Ploidy value	测定倍性 Observed ploidy	变异系数 CV/%
1	小果野蕉 Xiaoguo Yejiao	尖苞片蕉 AA (野生型) <i>M. acuminata</i> AA (Wild-type)	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong	2n	2.00	2n	6.82
2	Calcutta 4	尖苞片蕉 AA (野生型) <i>M. acuminata</i> AA (Wild-type)	Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	11.89
3	景洪小果野蕉 Jinghong Xiaoguo Yejiao	尖苞片蕉 AA (野生型) <i>M. acuminata</i> AA (Wild-type)	云南 Yunnan	2n	2.00	2n	7.32
4	楚雄小果野蕉 Chuxiong Xiaoguo Yejiao	尖苞片蕉 AA (野生型) <i>M. acuminata</i> AA (Wild-type)		2n	2.00	2n	6.55
5	美叶芭蕉 Meiye Bajiao	尖苞片蕉 AA (野生型) <i>M. acuminata</i> AA (Wild-type)	未知 Unknown	2n	2.00	2n	6.97
6	五山野蕉 Wushan Yejiao	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	7.74
7	野蕉 1 号 Yejiao No.1	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	云南 Yunnan	2n	2.00	2n	8.27
8	那邦野蕉 Nabang Yejiao	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB		2n	2.00	2n	7.56
9	凭祥野蕉 Pingxiang Yejiao	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	广西 Guangxi	2n	2.00	2n	7.68
10	增城野蕉 Zengcheng Yejiao	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	广东 Guangdong	2n	2.00	2n	9.02
11	BB 野蕉 BB Yejiao	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	广西农业科学院园艺研究所 Horticultural Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	10.30
12	天宝野蕉 Tianbao Yejiao	长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	福建 Fujian	2n	2.00	2n	8.05
13	阿宽蕉 Akuanjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	7.06
14	增城野生蕉 Zengcheng Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	广东 Guangdong	2n	2.00	2n	9.70
15	罗坝野生蕉 Luoba Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>		2n	2.00	2n	7.04
16	广宁野生蕉 Guangning Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>		2n	2.00	2n	8.41
17	宾阳野生蕉 Binyang Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	广西农业科学院园艺研究所 Horticultural Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	8.41
18	龙州野生蕉 Longzhou Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>		2n	2.00	2n	6.13
19	贺州野生蕉 Hezhou Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	广西 Guangxi	2n	2.00	2n	6.44
20	三明野生蕉 Sanming Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	福建 Fujian	2n	2.00	2n	6.40
21	龙岩野生蕉 Longyan Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>		2n	2.00	2n	7.69
22	漾濞野生蕉 Yangbi Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	云南 Yunnan	2n	2.00	2n	8.86
23	五指山野生蕉 1 Wuzhishan Yeshengjiao 1	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	海南 Hainan	2n	2.00	2n	6.47
24	五指山野生蕉 2 Wuzhishan Yeshengjiao 2	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>		2n	2.00	2n	7.94
25	五指山野生蕉 3 Wuzhishan Yeshengjiao 3	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>		2n	2.00	2n	7.39
26	武功山野生蕉 Wugongshan Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	江西 Jiangxi	2n	2.00	2n	7.38
27	永州野生蕉 Yongzhou Yeshengjiao	阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	湖南 Hunan	2n	2.00	2n	5.89
28	芭蕉 1 Bajiao 1	芭蕉 <i>M. basjoo</i>	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	10.72
29	芭蕉 2 Bajiao 2	芭蕉 <i>M. basjoo</i>		2n	2.00	2n	9.61

表1(续) Table 1(continued)

序号 S/N	品种名称 Accession name	种/组/亚组 Species/Group/SubGroup	来源 Origin	预期倍性 Expected ploidy	倍性值 Ploidy value	测定倍性 Observed ploidy	变异 系数 CV/%
30	沐阳芭蕉 Muyang Bajiao	芭蕉 <i>M. basjoo</i>	江苏 Jiangsu	2n	2.00	2n	7.16
31	板蕉 Banjiao	芭蕉 <i>M. basjoo</i>	四川 Sichuan	2n	2.00	2n	6.48
32	商洛芭蕉 Shangluo Bajiao	芭蕉 <i>M. basjoo</i>	陕西 Shaanxi	2n	2.00	2n	5.86
33	粉芭蕉 Fen Bajiao	粉芭蕉 <i>M. nagensium</i>	云南 Yunnan	2n	2.00	2n	7.03
34	红花蕉 Honghuajiao	红花蕉 <i>M. coccinea</i>		2n	2.00	2n	6.96
35	紫蕉 Zijiao	紫蕉 <i>M. velutina</i>	未知 Unknown	2n	2.00	2n	8.32
36	黄苞蝎尾蕉 Huangbao Xieweijiao	蝎尾蕉 <i>Heliconia</i> sp.		2n	2.00	2n	10.06
37	麻蕉 Majiao	未知野生蕉 Unknown wild banana		2n	2.00	2n	8.20
38	贡选 Gongxuan	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)	东莞市香蕉蔬菜研究所 Dongguan Banana and Vegetable Research Institute	2n	2.00	2n	8.28
39	YN2-1	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	5.80
40	FRAZ	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	6.91
41	海贡 Haigong	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	2n	2.00	2n	5.93
42	贡蕉 Gongjiao	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	5.04
43	YN2	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	6.26
44	WS5	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	5.83
45	玫瑰蕉 Rose	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	9.36
46	佳丽 Jiali	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	8.32
47	手指蕉 Finger	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	8.86
48	佛手蕉 Foshoujiao	贡蕉 AA(品种) Sucrier AA(Cultivar)		2n	2.00	2n	8.37
49	FX2	非洲高原蕉 AA/AAA African highland bananas AA/ AAA		2n/3n	3.03	3n	5.58
50	ITC1287 Pisang Berangan	香蕉 AAA Banana AAA		3n	2.90	3n	4.54
51	粤丰1号 Yuefeng No.1	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.01	3n	6.20
52	抗枯5号 Kangku No.5	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.93	3n	7.10
53	南天黄 Nantianhuang	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.82	3n	6.18
54	南天青 Nantianqing	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.92	3n	4.78
55	巴西蕉 Baxijiao	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.34	3n	6.50
56	泰国 Thailand	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.75	3n	7.73
57	菲律宾 Philippines	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.87	3n	5.91
58	WGH	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.16	3n	7.76
59	WG	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.93	3n	5.88
60	LW412	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.89	3n	7.63
61	宝岛蕉 Baodaojiao	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	海南 Hainan	3n	2.93	3n	6.86
62	北大矮 Beida Aijiao	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.02	3n	5.35
63	天宝矮蕉 Tianbao Aijiao	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	福建 Fujian	3n	2.92	3n	3.56
64	登科1号 Dengke No.1	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.96	3n	5.78
65	漳选2号 Zhangxuan No.2	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.24	3n	6.72
66	漳选8号 Zhangxuan No.8	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.85	3n	6.14
67	龙州中把 Longzhou Zhongba	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	广西 Guangxi	3n	2.86	3n	5.57
68	那龙矮蕉 Nalong Aijiao	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.86	3n	5.64

表1(续) Table 1(continued)

序号 S/N	品种名称 Accession name	种/组/亚组 Species/Group/SubGroup	来源 Origin	预期倍性 Expected ploidy	倍性值 Ploidy value	测定倍性 Observed ploidy	变异 系数 CV/%
69	红河矮 Honghe Aijiao	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	云南 Yunnan	3n	2.98	3n	6.30
70	河口中把 Hekou Zhongba	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.91	3n	6.01
71	河口高把 Hekou Gaoba	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.89	3n	5.64
72	红研2号 Hongyan No.2	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	红河热带农业科学研究所 Honghe Tropical Agriculture Science Institute	3n	3.20	3n	7.55
73	齐尾 Qi Wei	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	广东 Guangdong	3n	2.90	3n	4.95
74	农科1号 Nongke No.1	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	广州市农业科学研究院 Guangzhou Academy of Agricultural Sciences	3n	2.82	3n	4.03
75	8818-1	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	中国热带农业科学院南亚热带作物研究所 South Subtropical Crops Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences	3n	2.96	3n	5.06
76	粤优抗 Yueyoukang	香牙蕉 AAA Cavendish AAA	东莞市香蕉蔬菜研究所 Dongguan Banana and Vegetable Research Institute	3n	2.85	3n	4.64
77	BXM51	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.93	3n	5.39
78	R1-2-1N5H	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.89	3n	5.34
79	G20-1K	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.11	3n	7.74
80	G20-3	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	2.78	3n	7.91
81	WGHD51	香牙蕉 AAA Cavendish AAA		3n	3.07	3n	6.20
82	ITC1442 GCTCV-106	香蕉 AAA banana AAA	台湾 Taiwan	3n	3.00	3n	4.88
83	荷兰 Holland	香蕉 AAA banana AAA	未知 Unknown	3n	2.97	3n	8.75
84	马来西亚香蕉 Malaysia	香蕉 AAA banana AAA		3n	3.18	3n	5.96
85	WS1	香蕉 AAA banana AAA	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	3n	2.90	3n	4.01
86	贵妃蕉 Guifeijiao	香蕉 AAA banana AAA		3n	2.94	3n	0.99
87	大蜜啥 Gros michel	大蜜啥 AAA Gros Michel AAA		3n	2.97	3n	4.30
88	海南红蕉 Hainan Hongjiao	红蕉 AAA Red banana AAA		3n	2.92	3n	4.31
89	飞亚-25 FHIA-25	香蕉 AAA/AAAA banana AAA/AAAA		3n/4n	2.92	3n	5.31
90	千指蕉 Thousand Finger	千指蕉 AAB <i>M. chiloicarpa</i> AAB		3n	2.77	3n	7.07
91	中山龙牙蕉 Zhongshan Longyajiao	丝蕉 AAB Silk AAB	广东 Guangdong	3n	2.84	3n	6.34
92	过山香 Guoshanxiang	丝蕉 AAB Silk AAB		3n	2.75	3n	5.93
93	金指 Jinzhi	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	3n	3.04	3n	6.70
94	金沙香 Jin Shaxiang	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB		3n	2.79	3n	7.00
95	DW	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB		3n	2.90	3n	6.01
96	紫茎蕉 Zijingjiao	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB		3n	3.02	3n	5.47
97	老鼠尾巴 Laoshuweiba	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB		3n	2.86	3n	6.19
98	香粉1号 Xiangfen No.1	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB	中国热带农业科学院南亚热带作物研究所 South Subtropical Crops Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences	3n	2.97	3n	2.47
99	鸡蕉 Jijiao	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB	广西 Guangxi	3n	3.04	3n	5.32
100	蛋黄蕉 Danhuangjiao	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB	未知 Unknown	3n	2.84	3n	7.06
101	LK	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB		3n	3.10	3n	5.98
102	巴西 994 Baxi 994	龙牙蕉 AAB Longyajiao AAB	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	3n	3.03	3n	6.15

表1(续) Table 1(continued)

序号 S/N	品种名称 Accession name	种/组/亚组 Species/Group/SubGroup	来源 Origin	预期倍性 Expected ploidy	倍性值 Ploidy value	测定倍性 Observed ploidy	变异 系数 CV/%
103	兴隆酸蕉 Xinglong Suanjiao	大蕉 Dajiao	中国热带农业科学院南亚热带作物研究所 South Subtropical Crops Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences	3n	2.88	3n	4.41
104	海南芭蕉 Hainan Bajiao	大蕉 Dajiao	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	3n	3.09	3n	7.17
105	海南牛角蕉 Hainan Niujiao	大蕉 Dajiao		3n	2.93	3n	5.81
106	海南酸大蕉 Hainan Suandajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.88	3n	6.34
107	海南大蕉 Hainan Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.07	3n	7.17
108	海南牛角芭蕉 Hainan Niubajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.98	3n	5.53
109	云南牛角蕉 Yunnan Niujiao	大蕉 Dajiao		3n	2.88	3n	2.90
110	广西中把大蕉 Guangxi Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.95	3n	5.65
111	四川大蕉 Sichuan Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.87	3n	4.69
112	饭芭蕉 Fan Bajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.10	3n	4.49
113	三江大蕉 Sanjiang Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.16	3n	4.46
114	中山中把大蕉 Zhongshan Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.93	3n	7.68
115	番禺中把大蕉 Panyu Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.96	3n	3.99
116	顺德中把大蕉 Shunde Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.94	3n	7.00
117	龙华大蕉 Longhua Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.88	3n	4.13
118	沙田大蕉 Shatian Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.87	3n	5.57
119	木棉蕉 Mu Mianjiao	大蕉 Dajiao		3n	2.99	3n	6.05
120	美大蕉 Mei Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.97	3n	4.78
121	牛奶蕉 Niunaijiao	大蕉 Dajiao		3n	2.98	3n	5.48
122	畦头大蕉 Qitou Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.84	4n	5.69
123	雷高大蕉 Leigao Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.92	3n	6.10
124	封开大蕉 Fengkai dajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.10	3n	5.71
125	高脚大蕉 Gaojiao Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.96	3n	5.12
126	高州中把大蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao	广东 Guangdong	3n	2.91	3n	3.79
127	东莞中把大蕉 Dongguan Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.08	3n	5.04
128	东莞高把大蕉 Dongguan Gaoba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	3.03	3n	5.32
129	华农中把大蕉 Huanong Zhongba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.84	3n	6.19
130	罗坝大蕉 Luoba Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.98	3n	5.72
131	矮大蕉 Ai Da Jiao	大蕉 Dajiao		3n	3.26	3n	5.39
132	防城大蕉 Fangcheng Dajiao	大蕉 Dajiao	广西农业科学院园艺研究所 Horticultural Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences	3n	2.89	3n	5.83
133	巴马大蕉 Bama Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.91	3n	4.22
134	桂平大蕉 Guiping Dajiao	大蕉 Dajiao		3n	2.90	3n	4.35
135	柴蕉 Chaijiao	大蕉 Dajiao	福建 Fujian	3n	3.09	3n	5.64
136	永州大蕉 Yongzhou Dajiao	大蕉 Dajiao	湖南 Hunan	3n	2.92	3n	6.85
137	景洪野大蕉 Jinghong Yedajiao	大蕉 Dajiao	云南 Yunnan	3n	3.59	4n	5.40
138	沙巴 Saba	沙巴 ABB Saba ABB	广东省农业科学院果树研究所 Institute of Fruit Tree Research,	3n	2.89	3n	5.64
139	四方粉大蕉 Sifang Fendajiao	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB		3n	3.01	3n	6.41

表1(续) Table 1(continued)

序号 S/N	品种名称 Accession name	种/组/亚组 Species/Group/SubGroup	来源 Origin	预期倍性 Expected ploidy	倍性值 Ploidy value	测定倍性 Observed ploidy	变异 系数 CV/%
140	银丰1号 Yin Feng No.1	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB		3n	2.83	3n	7.95
141	灰大蕉 Hui Dajiao	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB		3n	2.74	3n	4.70
142	孟加拉粉大蕉 Bangladesh Fendajiao	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB		3n	2.76	3n	5.65
143	南海粉大蕉 Nanhai Fendajiao	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB	广东 Guangdong	3n	3.03	3n	6.84
144	东莞粉大蕉 Dongguan Fendajiao	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB		3n	2.95	3n	5.78
145	ITC0643 Cachaco	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB	未知 Unknown	3n	2.76	3n	5.10
146	粉大蕉 Fendajiao	棱指蕉 ABB Bluggoe ABB		3n	2.87	3n	5.36
147	东莞细粉 Dongguan Xifen	粉蕉 ABB Pisang Awak ABB	广东 Guangdong	3n	3.02	3n	6.35
148	祥粉 Xiangfen	粉蕉 ABB Pisang Awak ABB		3n	2.82	3n	4.71
149	FJ-20	粉蕉 ABB Pisang Awak ABB		3n	2.82	3n	5.41
150	广粉1号 Guangfen No.1	粉蕉 ABB Pisang Awak ABB	广东省农业科学院果树研究所	3n	2.78	3n	6.59
151	粉杂1号 Fenza No.1	粉蕉 ABB/ABBB Pisang Awak ABB/ABBB	Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	3n/4n	3.43	4n	7.62
152	中粉1号 Zhongfen No.1	粉蕉 ABB Pisang Awak ABB		3n	2.94	3n	5.51
153	孟加拉菜蕉 Bangladesh Caijiao	ABB		3n	2.86	3n	6.47
154	马来西亚大粉蕉 Malaysia Dafenjiao	ABB	未知 Unknown	3n	2.85	3n	5.96
155	印尼大粉蕉 Indonesia Dafenjiao	ABB		3n/4n	2.80	3n	5.78
156	千旁培 Qianpangpei	未知 Unknown	广东省农业科学院果树研究所	3n	2.93	3n	6.59
157	坦多蕉 Dundok	未知 Unknown	Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	3n	2.86	3n	5.01
158	云南滑蕉 Yunnan Huajiao	未知 Unknown		3n	3.15	3n	6.29
159	ZJ-9	未知 Unknown	未知 Unknown	3n	2.94	3n	5.33
160	WS6	未知 Unknown	广东省农业科学院果树研究所	3n/4n	3.73	4n	6.99
161	LF	未知 Unknown	Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	4n	3.91	4n	5.83
162	ITC1297 BITA 3	AAAB	尼日利亚 Nigeria	4n	3.87	4n	5.69
163	ITC0504 Goldfinger	AAAB	洪都拉斯 Honduras	4n	3.72	4n	7.42
164	ITC1307 SH-3640	AAAB	尼日利亚 Nigeria	4n	3.96	4n	6.96
165	高州中把大蕉×广宁野生蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao× Gangning Yeshengjiao	未知 Unknown	东莞市香蕉蔬菜研究所 Dongguan Banana and Vegetable Research Institute	3n/4n	3.65	4n	7.30
166	高州中把大蕉×阿宽蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao× Akuanjiao	未知 Unknown		3n/4n	3.92	4n	7.84
167	华农中把大蕉×阿宽蕉 Huanong Zhongba Dajiao× Akuanjiao	未知 Unknown		3n/4n	3.63	4n	6.47
168	高州中把大蕉×那邦野蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao× Nabang Yejiao	未知 Unknown		3n/4n	3.90	4n	5.22
169	广粉1号×那邦野蕉 Guangfen No.1×Nabang Yejiao	未知 Unknown		3n/4n	2.88	3n	7.59

量,而DNA含量与染色体数目成正比,因此该方法可以用于染色体倍数的分析,简单、快速,在香蕉倍性分析中得到广泛应用^[26-29]。笔者分析了37份来自云南、广西、广东、江西、湖南、陕西的能正常结籽(或

花粉)的不同类型野生蕉,均为二倍体,未发现其他倍性,与前人结果一致^[30-31]。现存的三倍体和四倍体栽培蕉都是由野生蕉自然加倍或杂交加倍后经人工选择而来,栽培蕉的基因组十分复杂。根据植株形

表 2 野生蕉和二倍体栽培蕉香蕉种质资源的 FCM 分析
Table 2 FCM analysis of wild banana germplasms and diploid cultivar bananas

种/组 Species/Group	品种 Variety	样品峰值 Samples peak	内参峰值 References peak	倍性值 Ploidy value
尖苞片蕉 AA(野生型) <i>M. acuminata</i> AA (Wild-type)	小果野蕉 Xiaoguo Yejiao	206.96	206.96	2.00
	Calcutta 4	214.07	214.07	2.00
	景洪小果野蕉 Jinghong Xiaoguo Yejiao	206.95	206.95	2.00
	楚雄小果野蕉 Chuxiong Xiaoguo Yejiao	196.73	196.73	2.00
	美叶芭蕉 Meiye Bajiao	200.31	200.31	2.00
	平均 Mean	205.00	205.00	2.00
	标准差 σ	6.71	6.71	
	变异系数 CV/%	3.27	3.27	
长梗蕉 BB <i>M. balbisiana</i> BB	五山野蕉 Wushan Yejiao	178.78	178.78	2.00
	野蕉 1 号 Yejiao No.1	193.87	193.87	2.00
	那邦野蕉 Nantang Yejiao	179.13	179.13	2.00
	凭祥野蕉 Pingxiang Yejiao	208.65	208.65	2.00
	增城野蕉 Zengcheng Yejiao	180.43	180.43	2.00
	BB 野蕉 BB Yejiao	172.23	172.23	2.00
	天宝野蕉 Tianbao Yejiao	185.11	185.11	2.00
	平均 Mean	185.46	185.46	2.00
	标准差 σ	12.20	12.20	
	变异系数 CV/%	6.58	6.58	
阿宽蕉 <i>M. itinerans</i>	阿宽蕉 Akuanjiao	193.03	193.03	2.00
	增城野生蕉 Zengcheng Yeshengjiao	169.77	169.77	2.00
	罗坝野生蕉 Luoba Yeshengjiao	198.54	198.54	2.00
	广宁野生蕉 Guangning Yeshengjiao	194.16	194.16	2.00
	宾阳野生蕉 Binyang Yeshengjiao	191.89	191.89	2.00
	龙州野生蕉 Longzhou Yeshengjiao	188.67	188.67	2.00
	贺州野生蕉 Hezhou Yeshengjiao	201.74	201.75	2.00
	三明野生蕉 Sanming Yeshengjiao	200.54	200.54	2.00
	龙岩野生蕉 Longyan Yeshengjiao	208.51	208.51	2.00
	漾濞野生蕉 Yangbi Yeshengjiao	208.85	208.85	2.00
	五指山野生蕉 1 Wuzhishan Yeshengjiao 1	205.15	205.15	2.00
	五指山野生蕉 2 Wuzhishan Yeshengjiao 2	215.38	215.38	2.00
	五指山野生蕉 3 Wuzhishan Yeshengjiao 3	219.75	219.75	2.00
	武功山野生蕉 Wugongshan Yeshengjiao	206.39	206.39	2.00
	永州野生蕉 Yongzhou Yeshengjiao	208.47	208.47	2.00
	平均 Mean	200.72	200.72	2.00
	标准差 σ	12.26	12.26	
变异系数 CV/%	6.11	6.11		
芭蕉 <i>M. basjoo</i>	芭蕉 1 Bajiao 1	210.23	210.23	2.00
	芭蕉 2 Bajiao 2	168.44	168.44	2.00
	沐阳芭蕉 Muyang Bajiao	206.78	206.78	2.00
	板蕉 Banjiao	218.51	218.51	2.00
	商洛芭蕉 Shangluo Bajiao	215.2	215.2	2.00
	平均 Mean	203.83	203.83	2.00
	标准差 σ	20.29	20.29	
	变异系数 CV/%	9.95	9.95	
贡蕉 AA(栽培品种) Sucrier AA (Cultivar)	贡选 Gongxuan	186.02	186.02	2.00
	YN2-1	211.41	211.41	2.00
	FRAZ	191.85	191.85	2.00
	海贡 Haigong	206.22	206.22	2.00
	贡蕉 Gongjiao	204.48	204.48	2.00
	YN2	174.47	174.47	2.00
	WS5	193.43	193.43	2.00
	玫瑰蕉 Rose	187.66	187.66	2.00
	佳丽 Jiali	205.62	205.62	2.00
	手指蕉 Finger	169.90	169.90	2.00
	佛手蕉 Foshoujiao	216.12	216.12	2.00
	平均 Mean	195.20	195.20	2.00
	标准差 σ	14.97	14.97	
	变异系数 CV/%	7.67	7.67	
粉芭蕉 <i>M. nagensium</i>	粉芭蕉 Fen Bajiao	184.30	184.30	2.00
红花蕉 <i>M. coccinea</i>	红花蕉 Honghuajiao	227.80	227.80	2.00
紫蕉 <i>M. velutina</i>	紫蕉 Zijiao	214.56	214.56	2.00
蝎尾蕉 <i>Heliconia</i> sp.	黄苞蝎尾蕉 Huangbao Xieweijiao	235.19	235.19	2.00
野生型 Wild-type	麻蕉 Majiao	201.61	201.61	2.00

表 3 AAA 基因型三倍体香蕉种质资源的 FCM 分析
Table 3 FCM analysis of AAA genotype triploid banana germplasms

亚组 Subgroup	品种 Variety	样品峰值 Samples peak	内参峰值 References peak	倍性值 Ploidy value
香牙蕉 Cavendish	粤丰 1 号 Yuefeng No.1	297.90	197.74	3.01
香牙蕉 Cavendish	抗枯 5 号 Kangku No.5	265.19	181.03	2.93
香牙蕉 Cavendish	南天黄 Nantianhuang	298.75	212.15	2.82
香牙蕉 Cavendish	南天青 Nantianqing	305.77	209.73	2.92
香牙蕉 Cavendish	巴西蕉 Baxijiao	312.68	187.14	3.34
香牙蕉 Cavendish	泰国 Thailand	290.30	211.11	2.75
香牙蕉 Cavendish	菲律宾 Philippines	327.22	228.00	2.87
香牙蕉 Cavendish	WGH	297.87	188.60	3.16
香牙蕉 Cavendish	WG	288.10	196.37	2.93
香牙蕉 Cavendish	LW412	274.31	190.06	2.89
香牙蕉 Cavendish	宝岛蕉 Baodaojiao	292.76	200.05	2.93
香牙蕉 Cavendish	北大矮 Beida Aijiao	293.49	194.43	3.02
香牙蕉 Cavendish	天宝矮蕉 Tianbao Aijiao	325.46	223.17	2.92
香牙蕉 Cavendish	登科 1 号 Dengke No.1	258.17	174.27	2.96
香牙蕉 Cavendish	漳选 2 号 Zhangxuan No.2	269.89	166.40	3.24
香牙蕉 Cavendish	漳选 8 号 Zhangxuan No.8	293.52	205.76	2.85
香牙蕉 Cavendish	龙州中把 Longzhou Zhongba	288.76	201.95	2.86
香牙蕉 Cavendish	那龙矮蕉 Nalong Aijiao	289.66	202.33	2.86
香牙蕉 Cavendish	红河矮 Honghe Aijiao	304.09	204.14	2.98
香牙蕉 Cavendish	河口中把 Hekou Zhongba	281.40	193.24	2.91
香牙蕉 Cavendish	河口高把 Hekou Gaoba	254.31	176.01	2.89
香牙蕉 Cavendish	红研 2 号 Hongyan No.2	262.46	164.22	3.20
香牙蕉 Cavendish	齐尾 Qiwei	337.00	232.06	2.90
香牙蕉 Cavendish	农科 1 号 Nongke No.1	284.25	201.56	2.82
香牙蕉 Cavendish	8818-1	327.55	221.57	2.96
香牙蕉 Cavendish	粤优抗 Yueyoukang	314.95	220.73	2.85
香牙蕉 Cavendish	BXM51	295.63	201.63	2.93
香牙蕉 Cavendish	R1-2-1N5H	297.89	206.46	2.89
香牙蕉 Cavendish	G20-1K	270.48	173.88	3.11
香牙蕉 Cavendish	G20-3	281.68	202.84	2.78
香牙蕉 Cavendish	WGHD51	313.15	204.06	3.07
AAA	ITC1442 GCTCV-106	343.44	228.69	3.00
AAA	荷兰 Holland	242.50	163.28	2.97
AAA	马来西亚香蕉 Malaysia	299.13	202.05	2.96
AAA	WS1	287.05	197.80	2.90
AAA	贵妃蕉 Guifeijiao	304.00	198.64	3.06
AAA	飞亚-25 FHIA-25	305.31	206.39	2.96
非洲高原蕉 AAA				
African highland bananas				
AAA	FX2	295.36	195.22	3.03
AAA	ITC1287 Pisang Berangan	256.77	177.30	2.90
大蜜啥 Gros Michel	大蜜啥 Gros Michel	298.41	201.15	2.97
红蕉 Red banana	海南红蕉 Hainan Hongjiao	273.19	187.00	2.92
	平均 Mean	292.68	198.30	2.96
	标准差 σ	22.59	17.13	0.12
	变异系数 CV/%	7.72	8.64	4.09

态特征和经济性状,我国主栽鲜食蕉有香牙蕉(AAA)、大蕉、棱指蕉(粉大蕉,ABB)、粉蕉(ABB)、龙牙蕉(AAB)、贡蕉(AA)等^[32]。从本研究分析结果看,供试的贡蕉均为二倍体,香牙蕉、龙牙蕉、棱指蕉

均为三倍体,但是大蕉和粉蕉并非均为三倍体,‘哇头大蕉’倍性计算结果为3.84,‘云南景洪野大蕉’的计算结果为3.59,可能为四倍体;‘粉杂1号’倍性计算结果为3.43,可能为四倍体或者非整倍体。流式

表 4 AAB 基因型三倍体香蕉种质资源的 FCM 分析

Table 4 FCM analysis of AAB genotype triploid banana germplasms

亚组 Subgroup	品种 Variety	样品峰值 Samples peak	内参峰值 References peak	倍性值 Ploidy value
丝蕉 Silk	中山龙牙蕉 Zhongshan Longyajiao	335.02	236.08	2.84
丝蕉 Silk	过山香 Guoshanxiang	267.11	194.41	2.75
迈索尔 Mysore	金指 Jinzhi	312.36	205.62	3.04
迈索尔 Mysore	金沙香 Jinshaxiang	288.11	206.47	2.79
皇蕉 Raja	DW	312.92	215.99	2.90
AAB	老鼠尾巴 Laoshuweiba	292.98	204.68	2.86
AAB	鸡蕉 Jijiao	300.07	197.29	3.04
AAB	蛋黄蕉 Danhuangjiao	292.62	205.99	2.84
AAB	LK	289.14	186.59	3.10
千指蕉 <i>M. chiliocarpa</i>	千指蕉 Thousand Finger	307.33	222.14	2.77
迈索尔 Mysore	紫茎蕉 Zhijingjiao	292.37	193.90	3.02
AAB	巴西 994 Baxi 994	310.08	204.53	3.03
AAB	香粉 1 号 Xiangfen No.1	266.81	179.41	2.97
	平均 Mean	297.46	204.08	2.92
	标准差 σ	18.76	14.89	0.12
	变异系数 CV/%	6.31	7.30	4.09

表 5 三倍体大蕉香蕉种质资源的 FCM 分析

Table 5 FCM analysis of dajiao triploid banana germplasms

亚组 Subgroup	品种 Variety	样品峰值 Samples peak	内参峰值 References peak	倍性值 Ploidy value
大蕉 Dajiao	兴隆酸蕉 Xinglong Suanjiao	313.76	217.54	2.88
大蕉 Dajiao	海南芭蕉 Hainan Bajiao	304.73	197.41	3.09
大蕉 Dajiao	海南牛角蕉 Hainan Niujiao	299.72	204.78	2.93
大蕉 Dajiao	海南酸大蕉 Hainan Suandajiao	289.29	200.58	2.88
大蕉 Dajiao	海南大蕉 Hainan Dajiao	306.79	200.01	3.07
大蕉 Dajiao	海南牛芭蕉 Hainan Niubajiao	321.69	215.59	2.98
大蕉 Dajiao	云南牛角蕉 Yunnan Niujiao	299.72	204.78	2.93
大蕉 Dajiao	广西中把大蕉 Guangxi Zhongba Dajiao	308.16	209.23	2.95
大蕉 Dajiao	四川大蕉 Sichuan Dajiao	273.51	190.60	2.87
大蕉 Dajiao	饭芭蕉 Fan Bajiao	322.51	207.98	3.10
大蕉 Dajiao	三江大蕉 Sanjiang Dajiao	336.66	212.96	3.16
大蕉 Dajiao	中山中把大蕉 Zhongshan Zhongba Dajiao	274.73	187.65	2.93
大蕉 Dajiao	番禺中把大蕉 Panyu Zhongba Dajiao	299.15	202.02	2.96
大蕉 Dajiao	顺德中把大蕉 Shunde Zhongba Dajiao	298.75	203.23	2.94
大蕉 Dajiao	龙华大蕉 Longhua Dajiao	295.22	204.99	2.88
大蕉 Dajiao	沙田大蕉 Shatian Dajiao	322.46	220.65	2.92
大蕉 Dajiao	木棉蕉 Mumianjiao	331.82	222.20	2.99
大蕉 Dajiao	美大蕉 Mei Dajiao	343.53	231.60	2.97
大蕉 Dajiao	牛奶蕉 Niunaijiao	287.82	192.89	2.98
大蕉 Dajiao	雷高大蕉 Leigao Dajiao	302.87	207.27	2.92
大蕉 Dajiao	封开大蕉 Fengkai Dajiao	318.88	205.66	3.10
大蕉 Dajiao	高脚大蕉 Gaojiao Dajiao	315.69	213.12	2.96
大蕉 Dajiao	高州中把大蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao	315.31	216.54	2.91
大蕉 Dajiao	东莞中把大蕉 Dongguan Zhongba Dajiao	314.68	204.23	3.08
大蕉 Dajiao	东莞高把大蕉 Dongguan Gaoba Dajiao	296.18	195.36	3.03
大蕉 Dajiao	华农中大 Huanong Zhongba Dajiao	268.43	188.84	2.84
大蕉 Dajiao	罗坝大蕉 Luoba Dajiao	291.62	195.96	2.98
大蕉 Dajiao	矮大蕉 Ai Dajiao	297.35	182.48	3.26
大蕉 Dajiao	防城大蕉 Fangcheng Dajiao	277.97	192.60	2.89
大蕉 Dajiao	巴马大蕉 Bama Dajiao	295.25	202.81	2.91
大蕉 Dajiao	桂平大蕉 Guiping Dajiao	361.49	249.61	2.90
大蕉 Dajiao	柴蕉 Chaijiao	305.07	197.17	3.09
大蕉 Dajiao	永州大蕉 Yongzhou Dajiao	308.55	211.55	2.92
	平均 Mean	306.04	205.75	2.98
	标准差 σ	20.17	13.42	0.10
	变异系数 CV/%	6.59	6.52	3.21

表 6 ABB 基因型三倍体香蕉种质资源的 FCM 分析
Table 6 FCM analysis of ABB genotype triploid banana germplasms

亚组 Subgroup	品种 Variety	样品峰值 Samples peak	内参峰值 References peak	倍性值 Ploidy value
沙巴 Saba	沙巴 Saba	296.69	205.04	2.89
棱指蕉 Bluggoe	四方粉大蕉 Sifang Fendajiao	315.90	210.11	3.01
棱指蕉 Bluggoe	银丰 1 号 Yinfeng No.1	282.88	200.17	2.83
棱指蕉 Bluggoe	灰大蕉 Hui Dajiao	289.81	211.58	2.74
棱指蕉 Bluggoe	孟加拉粉大蕉 Bangladesh Fendajiao	266.09	193.02	2.76
棱指蕉 Bluggoe	南海粉大蕉 Hainan Fendajiao	310.40	205.02	3.03
棱指蕉 Bluggoe	东莞粉大蕉 Dongguan Fendajiao	299.96	203.42	2.95
棱指蕉 Bluggoe	ITC0643 Cachaco	301.22	218.12	2.76
棱指蕉 Bluggoe	粉大蕉 Fendajiao	293.68	204.42	2.87
粉蕉 Pisang Awak	东莞细粉 Dongguan Xifen	292.39	193.71	3.02
粉蕉 Pisang Awak	祥粉 Xiangfen	286.44	203.42	2.82
粉蕉 Pisang Awak	FJ-20	301.62	213.56	2.82
粉蕉 Pisang Awak	广粉 1 号 Guangfen No.1	211.15	152.05	2.78
粉蕉 Pisang Awak	中粉 1 号 Zhongfen No.1	301.36	205.15	2.94
ABB	孟加拉菜蕉 Bangladesh Caijiao	300.20	209.68	2.86
ABB	马来西亚大粉蕉 Malaysia Dafenjiao	304.96	214.01	2.85
ABB	印尼大粉蕉 Indonesia Dafenjiao	275.03	196.63	2.80
	平均 Mean	289.99	202.30	2.87
	标准差 σ	23.78	14.72	0.09
	变异系数 $CV/\%$	8.20	7.28	3.28

表 7 四倍体香蕉种质资源的 FCM 分析

Table 7 FCM analysis of tetraploid banana germplasms

亚组 Subgroup	品种 Variety	样品峰值 Samples peak	内参峰值 References peak	倍性值 Ploidy value
大蕉 Dajiao	景洪野大蕉 Jinghong Yedajiao	347.08	193.24	3.59
大蕉 Dajiao	畦头大蕉 Qitou Dajiao	415.36	216.26	3.84
未知 Unknown	高州中把大蕉×广宁野生蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao×Gangning Yeshengjiao	344.82	188.96	3.65
未知 Unknown	高州中把大蕉×阿宽蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao×Akuanjiao	359.98	183.86	3.92
未知 Unknown	华农中把大蕉×阿宽蕉 Huanong Zhongba Dajiao×Akuanjiao	371.96	204.88	3.63
未知 Unknown	高州中把大蕉×那邦野蕉 Gaozhou Zhongba Dajiao×Nabang Yejiao	397.94	204.01	3.90
未知 Unknown	WS6	397.58	212.97	3.73
AAAB	ITC1297 BITA 3	377.33	194.94	3.87
AAAB	ITC0504 Goldfinger	396.75	213.34	3.72
AAAB	ITC1307 SH-3640	336.48	170.06	3.96
AAAB	LF	410.92	209.93	3.91
粉蕉 ABBB Pisang Awak ABBB	粉杂 1 号 Fenza No.1	343.54	200.15	3.43
	平均 Mean	374.98	199.38	3.76
	标准差 σ	28.34	13.80	0.16
	变异系数 $CV/\%$	7.56	6.92	4.34

细胞术只适用于同质多倍体的准确鉴定,对于香蕉异源多倍体和通过有性杂交获得的多倍体品种,无法确定其染色体的来源^[33],‘粉杂 1 号’的倍性需结合染色体计数进一步确认。

香蕉研究者常根据植株大小或植株叶片形态等特征对种质进行初步分类,如植株特别粗壮或叶姿

下垂被认为是四倍体(但部分二倍体野生蕉也具有叶姿下垂特征),具有直立叶姿的植株被认为是二倍体,而叶姿介于直立和下垂之间(半开张)的被认为是三倍体植株,这种倍性测定的方法比较主观,结果不可靠^[27]。本研究中引进品种‘FHIA-25’植株十分粗壮,在香蕉种质系统(*Musa Germplasm Informa-*

tion System)中查询,‘FHIA-25’的基因型和倍性为未知,有研究者认为其为四倍体AAAA^[34-35],也有人认为是三倍体AAB^[32,36-38]。本研究中经多次重复检测分析,发现‘FHIA-25’为三倍体,与Karamura等^[26]的鉴定结果一致;同样,‘印尼大粉蕉’十分粗壮,也为三倍体。相反,植株瘦小的‘FX2’为三倍体,植株矮小的‘云南景洪野大蕉’、‘高州中把大蕉’×‘广宁野生蕉’及植株中等的‘高州中把大蕉’×‘阿宽蕉’、‘华农中把大蕉’×‘阿宽蕉’、‘高州中把大蕉’×‘那邦野蕉’3个杂种均为四倍体。对比FCM鉴定结果,植株的可育性(结籽情况和花粉数量与活力)在香蕉倍性鉴定方面有较高参考价值,一般育性正常的为二倍体植株;植株大小、叶姿等形态结合基因型鉴定,在AA(栽培品种)与同源AAA之间的倍性鉴定有一定参考价值,如贡蕉类(AA品种)植株一般相对较小,叶片细长,叶姿直立。但植株大小等形态在异源多倍体香蕉(大蕉、粉蕉等)的染色体倍性鉴定中,尤其是对三倍体与四倍体之间进行判断时可靠性非常低,形态鉴定对非国内常见品种或国外引进品种更加要慎重,对香蕉遗传背景不熟识、香蕉分类经验少的初学者要慎重。

郭计华等^[25]基于FCM,以‘陵水野蕉’(AA)为参照品种,测定香蕉种质的倍性,发现香牙蕉‘红河矮’为二倍体,‘Cachaco’为四倍体。本研究中‘红河矮’倍性值为2.98,为三倍体,未发现香牙蕉有二倍体的情况,本研究中‘Cachaco’倍性值为2.76,为三倍体,与在Musa Germplasm Information System (MGIS, <https://www.crop-diversity.org/mgis/>)中的查询结果一致。这可能是由于在引种、标记过程中出现错误,造成异物同名现象。郭计华等^[25]还发现,‘红香蕉’在FCM分析中出现了2个峰值,推测可能是由二倍体和四倍体的混倍形成的。龚玉莲等^[38]对‘红皮香蕉’进行核型分析,发现‘红皮香蕉’为三倍体。本研究中‘海南红蕉’的倍性计算结果为2.92,为三倍体,并且笔者团队进行了多个来源红蕉的多次重复取样测定,结果均为三倍体;采用外参法测定(参照品种与待测品种不混合同时测定)检验,结果均未出现双峰现象,但偶尔G₀/G₁峰荧光均值在200左右,这可能是机器不稳定引起的,说明所测品种不是混倍体。

植物染色体倍性FCM检测中,参照样品分内标(内参)和外标(外参)。参照样品应具备如下特点:(1)参照样品DNA含量已知且稳定,同待测样品

DNA含量相近,减少零位偏移;(2)参照样品和待测样品的染色体结构应相似;(3)参照样品峰不能同待测样品峰重叠,最好也不与待测样品的G₂或M期峰值重叠。常规的倍性分析多采用外标,而更精确的倍性分析推荐采用内标^[39-40]。本研究中的参照品种采用同属(*Musa*)内的‘小果野蕉’,倍性已知为二倍体,符合要求。检测中主要采用内标法,经采用外标法和用已测定倍性的三倍体作内标验证,虽然对同是二倍体的香蕉品种会出现内标与待测样品峰重叠,影响倍性值,但不影响倍性结果和DNA相对含量。内标法可避免因样品的变异、机器的不稳定等因素造成的误差^[39],避免了若采用外标法可能会使‘粉杂1号’‘齐尾’‘中山龙牙蕉’‘美大蕉’‘木棉蕉’‘桂平大蕉’‘广粉1号’‘SH-3640’‘高州中把大蕉’×‘广宁野生蕉’、‘海南红蕉’等多个品种出现倍性误判的可能性。

香蕉的A基因组大小591~615 Mbp,其亚种之间差异为11%;B基因组大小平均537 Mbp,种内差异不明显;A和B基因组大小不同,B基因组平均少12%。二倍体的2C值范围为1.16~1.33 pg,三倍体基因组2C值范围为1.61~2.23 pg,四倍体品种的基因组2C值范围为1.94~2.37 pg,三倍体和四倍体之间有部分重叠(如三倍体‘Simili Radjah’的2C值为2.23 pg,四倍体‘IC2’的2C值为1.94 pg);三倍体的基因组大小变化较大,这种变化可能是由于不同的基因组构型以及它们的A基因组大小的差异引起的。比较分析二倍体与三倍体基因组大小,有助于鉴定栽培香蕉(三倍体)的基因组组成(AAA、AAB、ABB),也有助于推断其二倍体祖先,进一步可用于分析异源多倍体植物的进化关系^[41-42]。本研究中按不同类型品种的倍性值或平均DNA相对含量,四倍体(3.43~3.96)>三倍体(2.74~3.34)>二倍体(2.0左右),野生尖苞片蕉AA>芭蕉>阿宽蕉>AA(栽培品种)>长梗蕉BB,大蕉(2.84~3.26,平均为2.98)、AAA(2.75~3.34,平均为2.96)>AAB(2.75~3.10,平均为2.92)>ABB(2.74~3.03,平均为2.87),总体上与前人结果一致。三倍体与四倍体之间能区分但界线不明确,对个别品种如‘粉杂1号’(3.43)等品种最好能通过染色体直接计数进一步确认。同类型的三倍体之间倍性值范围交叉重叠,这对于单个品种来说仅通过基因组大小难于判断其亲本来源和基因组构成。中国大蕉的起源与进化一直存在争议,按

Simmonds 的分类系统其基因型为 ABB^[32], 但从减数分裂、染色体配对以及核型分析结果认为是同源多倍体 BBB^[43], 应用 SSR 分析^[44] 及笔者课题组应用 SRAP 分析(未发表)发现大蕉与阿宽蕉有较近的亲缘关系, 本研究中大蕉 DNA 相对含量(或倍性值)与其他 ABB 有一定差异, 人工杂交初步结果也有差异, 大蕉与长梗蕉或阿宽蕉杂交后代均为四倍体, 而粉蕉与长梗蕉杂交后代为三倍体或四倍体, 按前人研究大蕉基因型为 ABB 或 BBB, 其 DNA 相对含量应该小一些, 其杂种后代应以三倍体为主。因此, 大蕉的起源和进化有待进一步研究。

参考文献 References:

- [1] ROUX N, TOLOZA A, RADECKI Z, ARIAS FJZL, DOLEŽEL J. Rapid detection of aneuploidy in *Musa* using flow cytometry [J]. *Plant Cell Reports*, 2003, 21(5): 483-490.
- [2] FAOSTAT[EB/OL]. 2014. [2017-06-30]. <http://apps.fao.org>.
- [3] 刘爱忠. 芭蕉科的系统演化与生物地理学[D]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 2001.
LIU Aizhong. Phylogeny and biogeography of Musaceae (s.s.) [D]. Kunming: Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2001.
- [4] HAKKINEN M. New species and variety of *Musa* (Musaceae) from Yunnan, China[J]. *Novon*, 2007, 17(4): 440-446.
- [5] 陈友, 冯慧敏, 武耀廷. 中国芭蕉属植物新种: *Musa tongbiguanensis* (Musaceae)[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(4): 425-429.
CHEN You, FENG Huimin, WU Yaoting. *Musa tongbiguanensis* (Musaceae), a new species in Yunnan, China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(4): 425-429.
- [6] 李丰年, 李载忠, 郭富华. 广东香蕉菠萝图谱[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1998: 1-42.
LI Fengnian, LI Zaizhong, GUO Fuhua. The atlas of banana and pineapple in Guangdong[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998: 1-42.
- [7] 张显努. 云南香蕉芭蕉主要种与品种及病虫害的初步调查(上)[J]. *云南农业科技*, 1988(1): 23-25.
ZHANG Xiannu. Preliminary investigation into major banana's species, varieties and pest and diseases in Yunnan (former part) [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*. 1988(1): 23-25.
- [8] 尧金燕, 彭宏祥, 秦献泉, 曹辉庆. 广西蕉类种质资源概况及其育种创新利用前景[J]. *广西农业科学*, 2008, 39(4): 527-529.
YAO Jinyan, PENG Hongxiang, QIN Xianquan, CAO Huiqing. General situation of *Musa* spp. germplasm and its breeding prospect in Guangxi[J]. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2008, 39(4): 527-529.
- [9] 李英豪. 福建香蕉种质资源遗传多样性的 RAPD 分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
LI Yinghao. RAPD analysis of genetic diversity in Fujian banana germplasm resources[D]. Fuzhou: Fujian Forestry College, 2007.
- [10] 代立春, 刘金福, 潘东明, 赖钟雄, 吴少华, 李英豪. 福建香蕉种质资源的研究与利用现状[J]. *亚热带农业研究*, 2008, 4(4): 254-257.
DAI Lichun, LIU Jinfu, PAN Dongming, LAI Zhongxiong, WU Shaohua, LI Yinghao. Current status of Fujian banana germplasm resources study and exploitation[J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2008, 4(4): 254-257.
- [11] 张如莲, 傅小霞, 洪彩香, 漆智平, 谢振宇, 谢子四. 30 份香蕉品种遗传多样性的 ISSR 分析[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(3): 366-370.
ZHANG Rulian, FU Xiaoxia, HONG Caixiang, QI Zhiping, XIE Zhenyu, XIE Zisi. ISSR analysis of genetic diversity on 30 varieties of banana[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(3): 366-370.
- [12] 郭计华, 李绍鹏, 张蕾, 谢子四, 李新国. 不同基因组类型的香蕉核型分析[J]. *果树学报*, 2013, 30(4): 567-572.
GUO Jihua, LI Shaopeng, ZHANG Lei, XIE Zisi, LI Xinguo. Karyotype analysis of bananas with different genotypes[J]. *Journal of Fruit Science*, 2013, 30(4): 567-572.
- [13] SIMMONDS N W, SHEPHERD K. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. *Botanical Journal of the Linnean Society*[J]. *Botanical*, 1955, 359(55): 302-312.
- [14] DOLEŽEL J, GREILHUBER J, SUDA J. Estimation of nuclear DNA content in plants using flow cytometry[J]. *Nature Protocols*, 2007, 2(9): 2233-2244.
- [15] DOLEŽEL J, DOLEŽELOVÁ M, ROUX N, VAN DEN HOUTE I. A novel method to prepare slides for high resolution chromosome studies in *Musa* spp.[J]. *Infomusa*, 1998, 1(7): 3-4.
- [16] PILLAY M, TENKOUANO A. Genomes cytogenetics and flow cytometry of *Musa*[M]. Nigeria: Banana Breeding, 2011.
- [17] FAVORETO F C, CARVALHO C R, LIMA A B P, FERREIRA A, CLARINDO W R. Genome size and base composition of Bromeliaceae species assessed by flow cytometry[J]. *Plant Systematics & Evolution*, 2012, 298(6): 1185-1193.
- [18] NATH S, MALLICK S K, JHAL S. An Improved method of genome size estimation by flow cytometry in five mucilaginous species of Hyacinthaceae[J]. *Cytometry Part A*, 2014, 85(10): 833-840.
- [19] 张宁宁, 杨静, 孙卫邦. 利用流式细胞仪测定莨菪属植物的基因组大小[J]. *植物分类与资源学报*, 2014, 36(6): 730-736.
ZHANG Ningning, YANG Jing, SUN Weibang. Genome size estimation of *Viburnum* (Adoxaceae) species by using flow cytometry[J]. *Plant Diversity and Resources*, 2014, 36(6): 730-736.
- [20] 柳颀, 李开雄, 孔广红, 倪书邦. 云南芒果种质基因组大小测定与变异分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2015, 23(4): 386-390.
LIU Jin, LI Kaixiong, KONG Guanghong, NI Shubang. Genome size and variation analysis of mango (*Mangifera indica* L.) germplasms in Yunnan by flow cytometry[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2015, 23(4): 386-390.
- [21] 杨转英, 吴传龙, 丰锋, 吕庆芳, 王俊宁, 叶春海. 不同株系菠萝蜜染色体倍性及基因组大小分析[J]. *果树学报*, 2015, 32(4): 567-571.
YANG Zhuanying, WU Chuanlong, FENG Feng, LÜ Qingfang, WANG Junning, YE Chunhai. Determination and analysis of ploidy and genome size of different jack-fruit lines[J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(4): 567-571.
- [22] 张志珂, 王永清, 林顺权, 杜奎. 借助细胞流式仪进行枇杷基因组测序材料的倍性鉴定[J]. *果树学报*, 2012, 29(3): 498-504.
ZHANG Zhike, WANG Yongqing, LIN Shunquan, DU Kui. Ploidy identification of loquats for genome sequencing project by flow cytometry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(3): 498-504.

- [23] LYSÁK M A, DOLEŽELOVÁ M, HARRY J P, SWENNEN R, DOLEŽEL J. Flow cytometric analysis of nuclear DNA content in *Musa*[J]. *Theoretical & Applied Genetics*, 1999, 98(8): 1344-1350.
- [24] 闫佼. 香蕉种质资源基因组类型的分子标记及倍性鉴定[D]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
YAN Jiao. Ploidy and genome type identification in *Musa* germplasm by molecular markers and flow cytometry[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2016.
- [25] 郭计华, 李绍鹏, 周丽, 桂腾琴, 谢子四, 李新国. 基于 FCM 测定的香蕉种质倍性分析[J]. *果树学报*, 2017, 34(1): 12-18.
GUO Jihua, LI Shaopeng, ZHOU Li, GUI Tengqin, XIE Zisi, LI Xinguo. Ploidy investigation of bananas (*Musa* spp.) by flow cytometry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(1): 12-18.
- [26] KARAMURA D, TUMUHIMBISE R, MUHANGI S, NYINE M, PILLAY M, TENDO R S, TALENGERA D, NAMANYA P, KUBIRIBA J, KARAMURA E. Ploidy level of the banana (*Musa* spp.) accessions at the germplasm collection centre for the east and central Africa[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2016, 15(31): 1692-1698.
- [27] CHRISTELOVÁ P, LANGHE E D, HRIBOVÁ E, ČÍŽKOVÁ J, SARDOS J, HUŠÁKOVÁ M, VAN DEN HOUWE I, SUTANTO A, KEPLERA K, SWENNEN R, ROUX N, DOLEŽEL J. Molecular and cytological characterization of the global *Musa* germplasm collection provides insights into the treasure of banana diversity[J]. *Biodiversity & Conservation*, 2017, 26(4): 801-824.
- [28] IRISH B M, CRESPO A, GOENAGA R, NIEDZ R, AYALASILVA T. Ploidy level and genomic composition of *Musa* spp. accessions at the USDA-ARS Tropical Agriculture Research Station[J]. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 2009, 93(1/2): 1-21.
- [29] PILLAY M, OGUNDWIN E, TENKOUANO A, DOLEŽEL J. Ploidy and genome composition of *Musa* germplasm at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2006, 106(3): 142-147.
- [30] 陈豫梅. 中国香蕉种质资源形态学与细胞学鉴定[D]. 广州: 华南农业大学, 2002.
CHEN Yumei. Characterization and classification of China *Musa* germplasm on the morphological and cytological level[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2002.
- [31] 秦献泉. 广西野生蕉资源调查、分类及遗传多样性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2009.
QIN Xianquan. Investigation, characterization and genetic diversity study on wild banana germplasm in Guangxi[D]. Nanning: Guangxi University, 2009.
- [32] 宁淑萍, 许林兵, 魏平, 葛学军. 中国主栽香蕉品种和 INIBAP 引进品种的 SSR 分析研究[J]. *热带亚热带植物学报*, 2007, 15(1): 16-22.
NING Shuping, XU Linbing, WEI Ping, GE Xuejun. Genetic diversity of Chinese main banana cultivars (*Musa* spp.) and introduced accessions from INIBAP using simple sequence repeats (SSRs)[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2007, 15(1): 16-22.
- [33] 石庆华, 刘平, 刘孟军. 果树倍性育种研究进展[J]. *园艺学报*, 2012, 39(9): 1639-1654.
SHI Qinghua, LIU Ping, LIU Mengjun. Advances in ploidy breeding of fruit trees[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(9): 1639-1654.
- [34] 黄秉智, 许林兵, 杨护, 唐小浪, 魏岳荣, 邱继水, 李贯球. 香蕉种质资源枯萎病抗性田间评价初报[J]. *广东农业科学*, 2005(6): 9-10.
HUANG Bingzhi, XU Linbing, YANG Hu, TANG Xiaolang, WEI Yuerong, QIU Jishui, LI Guanqiu. Preliminary results of field evaluation of banana germplasm resistant to *Fusarium wilt disease*[J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2005(6): 9-10.
- [35] 郭计华, 李新国, 李丽, 李绍鹏, 罗轩, 魏守兴, 谢子四. 基于 ISSR 分析 28 份香蕉种质的基因组 DNA 多样性[J]. *基因组学与应用生物学*, 2012, 31(5): 492-497.
GUO Jihua, LI Xinguo, LI Li, LI Shaopeng, LUO Xuan, WEI Shouxing, XIE Zisi. Based on the ISSR analysis of genomic DNA diversity of 28 banana germplasms[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2012, 31(5): 492-497.
- [36] GONZÁLEZ D R, TORRES J L, RAYAS A, PÉREZ N M, PINO A S, PÉREZ M B, ALVAREZ D R, GARCÍA Y B, VEGA V M. Somatic embryogenesis in plantain cultivar 'FHIA-25' (AAB) from meristem tips[J]. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2015, 17(2): 65-75.
- [37] MABONGA L, PILLAY M. SCAR marker for the a genome of bananas (*Musa* spp. L.) supports lack of differentiation between the A and B genomes[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2017, 9(6): 64.
- [38] 龚玉莲, 曾碧健, 陈坚毅, 赖海娟. 红皮香蕉的核型分析初报[J]. *广东教育学院学报*, 2002, 22(2): 73-75.
GONG Yulian, ZENG Bijian, CHEN Jianyi, LAI Haijuan. Karyotype analysis of *Musa* AAA red green[J]. *Journal of Guangdong Education Institute*, 2002, 22(2): 73-75.
- [39] 田新民, 周香艳, 弓娜. 流式细胞术在植物学研究中的应用——检测植物核 DNA 含量和倍性水平[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(9): 21-27.
TIAN Xinming, ZHOU Xiangyan, GONG Na. Applications of flow cytometry in plant research—analysis of nuclear DNA content and ploidy level in plant cells[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(9): 21-27.
- [40] DOLEŽEL J, DOLEŽELOVÁ M, NOVÁK F J. Flow cytometric estimation of nuclear DNA amount in diploid bananas (*Musa acuminata*, and *Musa balbisiana*) [J]. *Biologia Plantarum*, 1994, 36(3): 351-357.
- [41] 金亮, 徐伟伟, 李小白, 刘建新, 田丹青, 葛亚英, 潘晓韵, 王炜勇. DNA 流式细胞术在植物遗传及育种中的应用[J]. *中国细胞生物学学报*, 2016, 38(2): 225-234.
JIN Liang, XU Weiwei, LI Xiaobai, LIU Jianxin, TIAN Danqing, GE Yaying, PAN Xiaoyun, WANG Weiyong. Application of DNA flow cytometry to plant genetics and breeding[J]. *Chinese Journal of Cell Biology*, 2016, 38(2): 225-234.
- [42] KAMATÉ K, BROWN S C, DURAND P, BUREAU J M, DE N D, TRINH T H. Nuclear DNA content and base composition in 28 taxa of *Musa*[J]. *Genome*, 2001, 44(4): 622-627.
- [43] 王正询, 林兆平, 潘坤清. 蕉类的细胞遗传学研究[J]. *遗传学报*, 1994, 21(6): 453-462.
WANG Zhengxun, LIN Zhaoping, PAN Kunqing. Cytogenetical studies in *Musa* (*Eumusa*) [J]. *Acta Genetica Sinica*, 1994, 21(6): 453-462.
- [44] WANG J Y, ZHENG L S, HUANG B Z, LIU W L, WU Y T. Development, characterization, and variability analysis of microsatellites from a commercial cultivar of *Musa acuminata*[J]. *Genetic Resources & Crop Evolution*, 2010, 57(4): 553-563.