

不同产地木耳菜的染色体核型分析

孙 勃, 辜金花, 童袁桃, 罗嘉恒, 田玉肖, 张 芬, 汤浩茹*

(四川农业大学 园艺学院, 成都 611130)

摘 要: 为了研究木耳菜核型特征及不同产地间的进化关系, 以来自 7 个产地的 8 个木耳菜品种为材料, 采用常规压片法进行核型分析, 并进行核型进化趋势分析和主成分分析。结果表明: (1) 所有木耳菜的染色体数目均为 $2n=2x=44$, 未见异常染色体, 染色体类型均为中部着丝粒染色体(m)或近中部着丝粒染色体(sm), 且 m 数量多于 sm。(2) 不同产地的木耳菜在染色体核型公式、核型类型、随体位置、染色体长度比、臂比及核型不对称系数等指标均存在明显差异; 随体均为 1 对, 但随体位置不同。(3) 核型类型为 1A、1B 和 2A 型, 其中 1A 型 5 种, 数量最多。(4) 染色体长度比范围为 1.51~2.06, 平均臂比值范围为 1.30~1.48, 仅有吉林‘利丰’和江西‘航城’存在臂比大于 2 的染色体。(5) 核型不对称系数范围为 56.25%~59.17%, 核型的对称程度较高, 推测木耳菜的进化程度较为原始, 其中河北‘金发’是最原始, 江西‘航城’最进化。研究结果为木耳菜的细胞遗传学研究提供了参考依据。

关键词: 染色体; 核型分析; 木耳菜; 产地

中图分类号: Q343.2⁺2 文献标志码: A

Chromosome Karyotype Analysis of Malabar Spinach (*Basella alba*) from Different Origins

SUN Bo, GU Jinhua, TONG Yuantao, LUO Jiaheng,
TIAN Yuxiao, ZHANG Fen, TANG Haoru*

(College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to investigate the karyotype characteristics and evolutionary relationships among malabar spinach (*Basella alba*) from different producing origins, we used eight cultivars of malabar spinach from seven origins as plant materials, and analyzed chromosome karyotypes using conventional pressed slice method. We also conducted the karyotype evolutionary tendency and principal component analysis in the present study. The results showed that: (1) the chromosome numbers in all cultivars of malabar spinach were $2n=2x=44$, and no abnormal chromosomes was found. The chromosome types included metacentric chromosomes (m) and submetacentric chromosomes (sm), while the amount of m was more than sm in all cultivars. (2) The significant differences on karyotype formula, karyotype type, the location of satellites (SAT), ratio of chromosome length (L/S), arm ratio, and range of chromosome relative length were observed among malabar spinach from different origins. Although each cultivar of malabar spinach owned one pair SAT, the locations of SAT were distinct among different cultivars. (3) The karyotype types contained 1A, 1B and 2A according to Stebbins classification criteria, and the high frequency was found on 1A, which in five cultivars. (4) The ratio of chromosome length (L/S) ranged from 1.51 to 2.06, and average

收稿日期: 2017-05-04; 修改稿收到日期: 2017-07-18

基金项目: 四川省教育厅重点项目(14ZA0016); 四川农业大学本科教学改革研究项目(X2015020); 四川农业大学科研兴趣培养项目(2016111)

作者简介: 孙 勃(1983-), 男, 博士, 副教授, 主要从事蔬菜遗传育种研究。E-mail: 14099@sicau.edu.cn

* 通信作者: 汤浩茹, 教授, 主要从事园艺植物遗传育种研究。E-mail: htang@sicau.edu.cn

arm ratio ranked from 1.30 to 1.48 among malabar spinach from different origins. The chromosome, which the arm ratio was more than 2, was only found in Jilin ‘Lifeng’ and Jiangxi ‘Hangcheng’. (5) The karyotype asymmetry index (As. K) of eight cultivars were from 56.25% to 59.17%, which implied the karyotype of malabar spinach was symmetrical and primitive. Among the cultivars, the karyotype of Hebei ‘Jinfa’ was the most primitive, and the karyotype of Jiangxi ‘Hangcheng’ was the most evolutive. The results provide a reference basis for the cytogenetics study of malabar spinach (*Basella alba*).

Key words: chromosome; karyotype analysis; malabar spinach (*Basella alba*); origins

木耳菜 (*Basella alba* L.), 又称落葵、豆腐菜、软浆叶、滑菜等, 为落葵科落葵属, 一年生缠绕性草本植物, 原产亚洲热带地区^[1], 以嫩叶、嫩茎为食用部位, 因其叶子近似圆形, 肉质肥厚滑嫩, 口感似木耳, 所以俗称木耳菜。木耳菜为常见绿叶蔬菜, 在中国南北方均有栽培, 具有较高的营养价值和药用价值, 其叶片含有多种维生素、多糖及钙、铁等矿物质^[2], 且全株可供药用, 具有滑肠、散热、利大小便的功效^[3]。有关木耳菜的研究主要集中在栽培技术^[1]、贮藏加工^[2,4]及功能成分利用^[5]等方面。

染色体是生物细胞核中最重要而稳定的成分, 是决定物种繁衍的遗传物质的载体。染色体核型分析是细胞遗传学的一项基本技术, 明确识别染色体的核型特征, 不仅有助于了解生物的遗传组成和发育机制, 而且对植物资源的鉴定、分类、起源、进化和种族关系等研究具有重要的参考价值^[6-7]。近年来, 研究人员已通过核型分析技术对不同产地或居群的百合^[8-9]、苦参^[10]、岳麓紫菀^[11]、藿香^[12]等植物种质资源进行了评价, 但对不同产地的木耳菜染色体核型的研究尚未见报道。本试验在前期建立的木耳菜染色体制片最优条件的基础上^[13], 以8种不同产地的木耳菜品种为试验材料, 对其进行核型分析, 进一步通过核型进化趋势分析和主成分分析, 揭示不同产地间的变异规律, 以期为木耳菜的遗传变异及种质资源多样性研究提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

木耳菜材料为来自吉林、北京、河北、四川、重庆、江西和广东7个地区的地方品种, 详情见表1。

1.2 方法

每份材料种子经机械破除种皮后播于穴盘, 基质成分为草炭: 蛭石: 珍珠岩=3:1:1, 于光照培养箱中25℃恒温培养至主根根尖1~1.5 cm, 上午9:00切取根尖约1 cm, 在4℃下, 0.002 mol·L⁻¹ 8-羟基喹啉中预处理6 h, 卡诺固定液(冰醋酸: 无水乙醇=1:3)固定24 h, 95℃、85℃、75℃乙醇分别浸泡10 min, 转入75℃乙醇中保存备用。用1 mol·L⁻¹ HCl 60℃下解离8 min, 卡宝品红染色5~10 min, 常规压片后镜检, 将分散良好的中期分裂相细胞在Olympus CX21显微镜100倍油镜下观察并拍照, Image Pro 6.0软件进行测量等分析^[13]。

分别选取30个染色体数目清晰的中期分裂相细胞进行染色体计数, 核型分析采用李懋学和陈瑞阳提出的标准进行^[14], 染色体的相对长度、臂比及类型按照Levan等^[15]的命名法则计算, 核型不对称系数采用Arano方法计算^[16], 核型类型按照Stebbins的标准划分^[17]。参照李璇^[8]的方法绘制核型不对称性程度散点图。以核型参数进行主成分分析(PCA), 采用Simca-P11.5软件完成^[18]。

表1 试验材料

Table 1 Experimental materials

| 编号 No | 产地 Origin | 品种 Cultivar | 生产商 Manufacturer |
|-------|--------------|--------------|--|
| JLLF | 吉林 Jilin | 利丰 Lifeng | 天津市津科力丰种苗有限公司 Tianjin Jinke Lifeng Seedlings Co., Ltd. |
| BJJX | 北京 Beijing | 京旭 Jingxu | 北京万隆裕丰种子有限公司 Beijing Wanlong Yufeng Seed Co., Ltd |
| HBJFu | 河北 Hebei | 京福 Jingfu | 青县京福种苗育种中心 Qingxian Jingfu Seedling Breeding Center |
| HBJFa | 河北 Hebei | 金发 Jingfa | 沧州市金发种苗销售中心 Cangzhou Seedling Sales Center |
| SCNF | 四川 Sichuan | 南峰 Nanfeng | 绵阳市南峰蔬菜研究所 Mianyang Nanfeng Vegetable Research Institute |
| CQQY | 重庆 Chongqing | 奇研 Qiyán | 重庆奇研种子经营部 Chongqing Qiyán Seed operating Department |
| JXHC | 江西 Jiangxi | 航城 Hangcheng | 丰城市航城种业有限公司 Fengcheng Hangcheng Seed Industry Co., Ltd |
| GDLS | 广东 Guangdong | 绿帅 Lvshuai | 广州市越秀区张水江菜种店 Zhangshuijiang Vegetable Shop in Yuexiu District of Guangzhou |

2 结果与分析

2.1 染色体数目及特征

针对不同产地木耳菜的中期分裂相细胞观察计数,结果(图 1)表明,8 种木耳菜的染色体均为 $2n=44$,占计数细胞的 100%,未见异常染色体数目及形态,说明木耳菜染色体数目相对稳定。由于木耳菜各品种的 44 个染色体根据大小和形态特征均可二二归组匹配,且均具有 2 条染色体带有随体,因此推测它们都是 $x=22$ 的同源二倍体。不同产地木耳菜的染色体形态、核型和模式图见图 1。

2.2 核型特征分析

不同产地木耳菜的主要核型参数见表 2 和表 3。结果表明:所有木耳菜品种的染色体类型均为中部着丝粒染色体(m)或近中部着丝粒染色体(sm),且 m 型染色体数量多于 sm 型染色体。不同产地的木耳菜在染色体核型公式、核型类型、随体位置、染色体长度比、臂比及核型不对称系数等指标均存在明显差异。从核型公式可以分为两类,一类是 m 型染色体(16 或 17 对)与 sm 型染色体(5 或 6 对)数量差较小的,包括 GDLS 和 BJXX,另一类则是 m 型染色体(19 或 20 对)与 sm 型染色体(2 或 3 对)数量差较大的,包括其余 6 种。依据核型类型可分为 3 类,分别是 1A、1B 和 2A 型,其中 1A 型最多,为 5 种,1B 型仅有 HBJFu,2A 型为 JLLF 和 JXHC,其余 5 种均为 1A 型。虽然本试验中不同产地木耳菜的随体数量均相同(2 个),但随体位置并不相同,所在的染色体序号从小到大依次为第 5、9、12、13、17、18 和 20 号染色体。此外,除 CQQY 和 GDLS 的随体在 sm 型染色体上外,其余产地的随体均在 m 型染色体上。BJXX 的染色体相对长度变化范围最小,仅为 3.77%~5.68%,其次是 SCNF、GDLS 和 HBJFa,而 JXHC、CQQY、JLLF 和 HBJFu 的变化范围最大,对应的,不同产地的染色体长度比范围为 1.51~2.06,存在明显差异。此外,各产地的平均臂比值范围为 1.30~1.48,且仅 JLLF 和 JXHC 存在臂比大于 2 的染色体,分别占全部染色体数量的 13.6% 和 4.5%。各产地的核型不对称系数范围为 56.25%~59.17%。

2.3 核型进化趋势分析

植物界的核型进化趋势是从对称向不对称发展,依据核型不对称系数的大小可对植物在系统进化的程度进行判断。本试验中的不同产地木耳菜的核型不对称系数范围为 56.25%~59.17%,接近

50%,核型对称程度较高,因此推测木耳菜的进化程度较为原始,其中 HBJFa(核型不对称系数为 56.25)是 8 个品种中最原始的,JXHC(核型不对称系数为 59.17)是最进化的(表 3)。

核型不对称系数和平均臂比能够表示不同种源间核型的不对称性,值越大,其核型越不对称。本研究以平均臂比为横坐标,以核型不对称系数为纵坐标制作了不同产地木耳菜的核型不对称性程度散点图(图 2)。由图 2 可知,HBJFu 和 HBJFa 位于图 2 左下角,最为原始;JXHC 和 GDLS 位于图 2 右上角,最为进化;SCNF、JLLF、CQQY 和 BJXX 位于中间。

2.4 主成分分析

为了更为直观地反映不同产地间的木耳菜核型差异,本试验对其核型参数进行了主成分分析(图 3)。通过降维处理得到 2 个主成分,其中主成分 1(PC1)占比 25.0%,主成分 2(PC2)占比 19.3%,两者之和接近 50%。从图 3 可知,HBJFa 与其他品种差异最大,其次是 GDLS 和 JXHC,其余品种核型较为接近。此外,依据主成分 1,即横坐标从右到左,其分布规律与图 2 中的从原始到进化趋势相似,表明核型不对称系数和平均臂比等核型进化趋势指标对主成分 1 贡献较大。

3 讨论

染色体制片质量受到诸多因素的影响,其中较为关键的影响因素包括取材、预处理和解离等条件^[19]。我们先前的研究对木耳菜染色体制片的优化条件为:采集主根根尖,0.002 mol·L⁻¹ 8-羟基喹啉预处理 6 h,1 mol·L⁻¹ HCl 解离 8 min^[13],本试验均在此条件下进行,以保证制片效果的稳定性和准确性。

前人研究表明,物种间的染色体差异,除了表现在染色体数目上外,还体现在染色体形态上,特别是一些近缘种,常常含有相同数目的染色体^[10]。而染色体形态则是研究属下或种下物种或居群亲缘关系和演化趋势的主要核型特征^[20]。本试验中,虽然不同产地木耳菜的染色体数目相同,但其在染色体核型公式、核型类型、随体位置染色体长度比、臂比及核型不对称系数等诸多染色体形态及核型参数上存在明显差异。不同产地在生态环境上的巨大差异,可能会导致不同产地的品种为了适应当地环境逐渐演化成具有不同表型的生态居群,表型的变化又会导致染色体结构变异的发生,进而产生种内的核型变化^[10,12]。

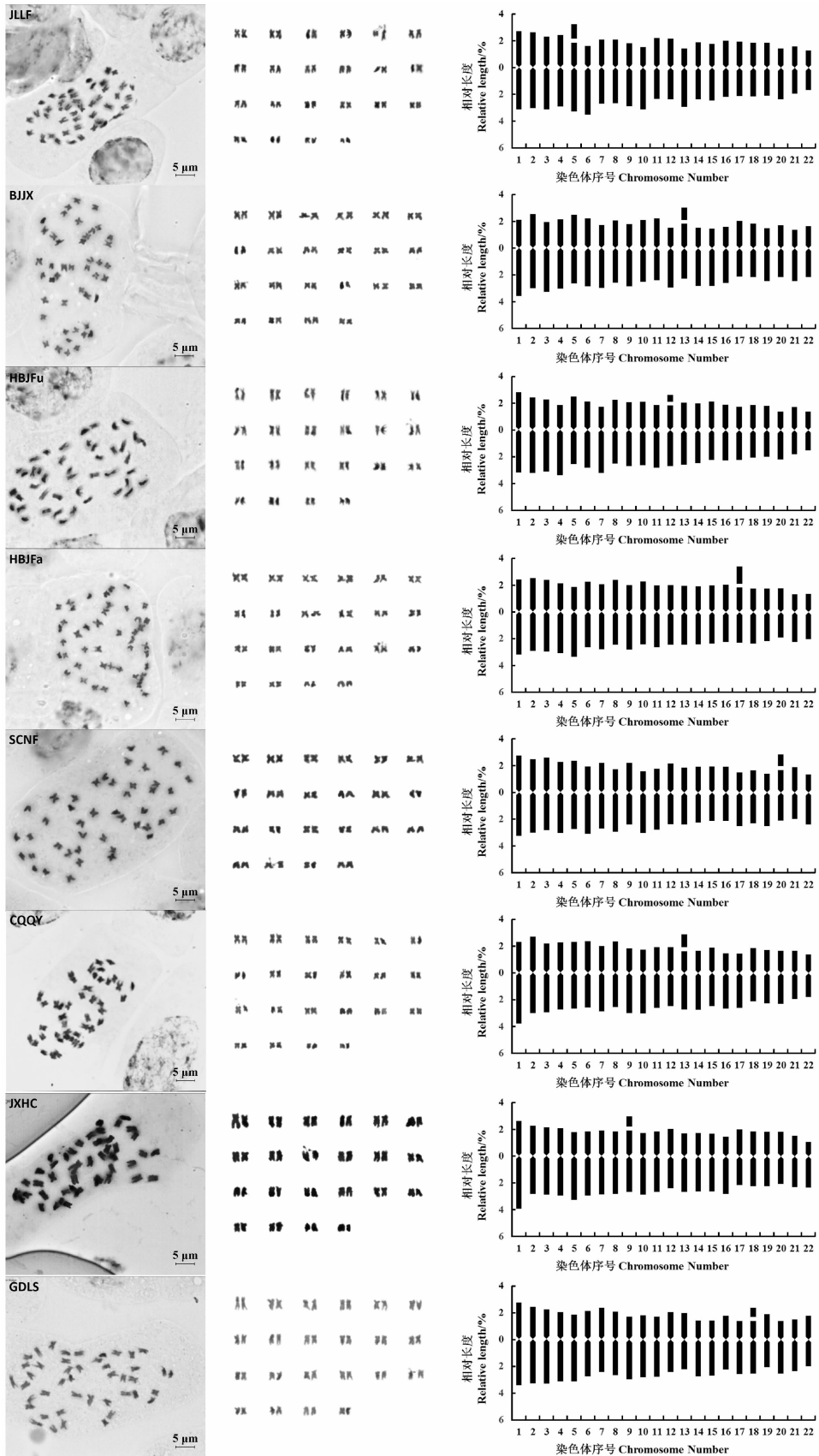


图 1 不同产地木耳菜的中期染色体形态、核型及模式图

Fig. 1 Metaphase chromosomes, karyotypes and idiograms of malabar spinach from different origins

表 2 不同产地木耳菜的染色体参数

Table 2 The parameters of chromosomes of malabar spinach from eight different origins

| 编号 No | 染色体序号 Chromosome number | 相对长度 Relative length/% | 臂比 Arm ratio | 类型 Type | 编号 No | 染色体序号 Chromosome number | 相对长度 Relative length/% | 臂比 Arm ratio | 类型 Type |
|--------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|------------|--------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|------------|
| <i>JLLF</i> | 1 | 2.74+3.13=5.86 | 1.14 | m | <i>BJJX</i> | 1 | 2.12+3.56=5.68 | 1.68 | m |
| | 2 | 2.62+3.03=5.65 | 1.16 | m | | 2 | 2.53+2.99=5.52 | 1.18 | m |
| | 3 | 2.29+3.12=5.41 | 1.37 | m | | 3 | 1.95+3.26=5.20 | 1.67 | m |
| | 4 | 2.43+2.91=5.35 | 1.20 | m | | 4 | 2.15+3.02=5.17 | 1.40 | m |
| | 5 | 2.08+3.27=5.34 | 1.57 | m | | 5 | 2.49+2.63=5.11 | 1.06 | m |
| | 6 | 1.61+3.52=5.12 | 2.19 | sm | | 6 | 2.22+2.86=5.07 | 1.29 | m |
| | 7 | 2.11+2.70=4.80 | 1.28 | m | | 7 | 1.73+2.95=4.68 | 1.71 | sm |
| | 8 | 2.08+2.65=4.73 | 1.28 | m | | 8 | 2.06+2.59=4.65 | 1.25 | m |
| | 9 | 1.83+2.89=4.72 | 1.58 | m | | 9 | 1.80+2.85=4.64 | 1.58 | m |
| | 10 | 1.52+3.13=4.65 | 2.06 | sm | | 10 | 2.08+2.52=4.61 | 1.21 | m |
| | 11 | 2.22+2.34=4.56 | 1.05 | m | | 11 | 2.20+2.39=4.59 | 1.09 | m |
| | 12 | 2.15+2.35=4.50 | 1.10 | m | | 12 | 1.52+2.93=4.45 | 1.92 | sm |
| | 13 | 1.43+2.93=4.36 | 2.05 | sm | | 13 | 2.06+2.28=4.34 | 1.11 | m |
| | 14 | 1.87+2.37=4.24 | 1.26 | m | | 14 | 1.51+2.80=4.32 | 1.85 | sm |
| | 15 | 1.76+2.46=4.22 | 1.40 | m | | 15 | 1.46+2.81=4.27 | 1.92 | sm |
| | 16 | 2.00+2.19=4.18 | 1.10 | m | | 16 | 1.59+2.60=4.19 | 1.64 | m |
| | 17 | 1.94+2.11=4.06 | 1.09 | m | | 17 | 2.02+2.11=4.13 | 1.04 | m |
| | 18 | 1.85+2.16=4.01 | 1.16 | m | | 18 | 1.83+2.17=3.99 | 1.19 | m |
| | 19 | 1.85+2.09=3.93 | 1.13 | m | | 19 | 1.48+2.45=3.93 | 1.65 | m |
| | 20 | 1.44+2.37=3.80 | 1.65 | m | | 20 | 1.71+2.15=3.86 | 1.26 | m |
| | 21 | 1.58+1.95=3.53 | 1.23 | m | | 21 | 1.37+2.44=3.81 | 1.78 | sm |
| | 22 | 1.28+1.69=2.96 | 1.32 | m | | 22 | 1.63+2.14=3.77 | 1.32 | m |
| <i>HBJFu</i> | 1 | 2.82+3.19=6.01 | 1.13 | m | <i>HBJFa</i> | 1 | 2.41+3.17=5.59 | 1.31 | m |
| | 2 | 2.42+3.21=5.63 | 1.32 | m | | 2 | 2.50+2.91=5.41 | 1.17 | m |
| | 3 | 2.27+3.11=5.38 | 1.37 | m | | 3 | 2.39+2.98=5.37 | 1.24 | m |
| | 4 | 1.85+3.40=5.25 | 1.84 | sm | | 4 | 2.11+3.10=5.21 | 1.47 | m |
| | 5 | 2.49+2.55=5.04 | 1.02 | m | | 5 | 1.84+3.35=5.19 | 1.82 | sm |
| | 6 | 2.13+2.80=4.94 | 1.31 | m | | 6 | 2.26+2.64=4.90 | 1.17 | m |
| | 7 | 1.72+3.20=4.92 | 1.86 | sm | | 7 | 2.07+2.80=4.87 | 1.35 | m |
| | 8 | 2.25+2.53=4.77 | 1.12 | m | | 8 | 2.38+2.46=4.84 | 1.03 | m |
| | 9 | 2.05+2.69=4.74 | 1.31 | m | | 9 | 1.99+2.81=4.80 | 1.41 | m |
| | 10 | 2.11+2.63=4.73 | 1.25 | m | | 10 | 2.27+2.42=4.69 | 1.07 | m |
| | 11 | 1.85+2.82=4.67 | 1.53 | m | | 11 | 1.98+2.63=4.61 | 1.33 | m |
| | 12 | 1.95+2.69=4.64 | 1.38 | m | | 12 | 1.99+2.46=4.45 | 1.24 | m |
| | 13 | 2.03+2.59=4.63 | 1.27 | m | | 13 | 1.95+2.46=4.41 | 1.26 | m |
| | 14 | 1.98+2.48=4.46 | 1.25 | m | | 14 | 1.91+2.44=4.34 | 1.28 | m |
| | 15 | 2.12+2.25=4.37 | 1.06 | m | | 15 | 1.96+2.36=4.32 | 1.20 | m |
| | 16 | 1.89+2.26=4.15 | 1.20 | m | | 16 | 2.02+2.23=4.26 | 1.10 | m |
| | 17 | 1.73+2.23=3.97 | 1.29 | m | | 17 | 1.83+2.30=4.13 | 1.26 | m |
| | 18 | 1.84+2.06=3.91 | 1.12 | m | | 18 | 1.74+2.36=4.09 | 1.36 | m |
| | 19 | 1.78+2.00=3.77 | 1.12 | m | | 19 | 1.74+2.17=3.91 | 1.25 | m |
| | 20 | 1.38+2.22=3.60 | 1.61 | m | | 20 | 1.76+1.92=3.68 | 1.09 | m |
| | 21 | 1.69+1.82=3.50 | 1.08 | m | | 21 | 1.31+2.25=3.56 | 1.72 | sm |
| | 22 | 1.38+1.54=2.92 | 1.11 | m | | 22 | 1.34+2.04=3.38 | 1.53 | m |

续表 2 Continued Table 2

| 编号 No | 染色体序号 Chromosome number | 相对长度 Relative length/% | 臂比 Arm ratio | 类型 Type | 编号 No | 染色体序号 Chromosome number | 相对长度 Relative length/% | 臂比 Arm ratio | 类型 Type |
|----------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|------------|----------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|------------|
| SCNF | 1 | 2.75+3.23=5.98 | 1.17 | m | CQQY | 1 | 2.29+3.77=6.06 | 1.65 | m |
| | 2 | 2.47+3.01=5.48 | 1.22 | m | | 2 | 2.70+2.99=5.68 | 1.11 | m |
| | 3 | 2.60+2.83=5.43 | 1.09 | m | | 3 | 2.17+2.93=5.10 | 1.35 | m |
| | 4 | 2.28+3.03=5.31 | 1.33 | m | | 4 | 2.27+2.73=5.01 | 1.20 | m |
| | 5 | 2.38+2.73=5.11 | 1.15 | m | | 5 | 2.30+2.66=4.96 | 1.15 | m |
| | 6 | 1.93+3.07=5.01 | 1.59 | m | | 6 | 2.37+2.58=4.96 | 1.09 | m |
| | 7 | 2.22+2.71=4.93 | 1.22 | m | | 7 | 2.00+2.88=4.88 | 1.44 | m |
| | 8 | 1.74+2.92=4.67 | 1.68 | m | | 8 | 2.32+2.54=4.87 | 1.09 | m |
| | 9 | 2.21+2.41=4.62 | 1.09 | m | | 9 | 1.83+2.99=4.81 | 1.64 | m |
| | 10 | 1.58+3.01=4.59 | 1.91 | sm | | 10 | 1.75+3.03=4.77 | 1.73 | sm |
| | 11 | 1.76+2.78=4.54 | 1.58 | m | | 11 | 1.92+2.62=4.54 | 1.36 | m |
| | 12 | 2.15+2.36=4.50 | 1.10 | m | | 12 | 1.92+2.49=4.41 | 1.30 | m |
| | 13 | 1.84+2.40=4.24 | 1.31 | m | | 13 | 1.69+2.72=4.40 | 1.61 | m |
| | 14 | 1.92+2.23=4.15 | 1.16 | m | | 14 | 1.64+2.75=4.39 | 1.67 | m |
| | 15 | 1.93+2.12=4.06 | 1.10 | m | | 15 | 1.88+2.50=4.37 | 1.33 | m |
| | 16 | 1.90+2.14=4.04 | 1.12 | m | | 16 | 1.46+2.66=4.13 | 1.82 | sm |
| | 17 | 1.49+2.51=4.00 | 1.69 | m | | 17 | 1.42+2.61=4.02 | 1.84 | sm |
| | 18 | 1.65+2.30=3.95 | 1.39 | m | | 18 | 1.86+2.12=3.98 | 1.14 | m |
| | 19 | 1.39+2.52=3.91 | 1.81 | sm | | 19 | 1.69+2.29=3.98 | 1.36 | m |
| | 20 | 1.78+2.10=3.89 | 1.18 | m | | 20 | 1.63+2.31=3.94 | 1.42 | m |
| | 21 | 1.89+1.96=3.85 | 1.04 | m | | 21 | 1.65+1.94=3.59 | 1.17 | m |
| | 22 | 1.35+2.39=3.74 | 1.77 | sm | | 22 | 1.35+1.78=3.13 | 1.31 | m |
| JXHC | 1 | 2.63+3.92=6.55 | 1.49 | m | GDLS | 1 | 2.76+3.42=6.18 | 1.24 | m |
| | 2 | 2.26+2.82=5.08 | 1.24 | m | | 2 | 2.42+3.28=5.70 | 1.35 | m |
| | 3 | 2.17+2.88=5.05 | 1.33 | m | | 3 | 2.23+3.31=5.53 | 1.48 | m |
| | 4 | 2.09+2.95=5.04 | 1.41 | m | | 4 | 2.05+3.11=5.16 | 1.52 | m |
| | 5 | 1.79+3.26=5.04 | 1.82 | sm | | 5 | 1.86+3.13=4.98 | 1.68 | m |
| | 6 | 1.86+2.93=4.79 | 1.57 | m | | 6 | 2.11+2.76=4.87 | 1.31 | m |
| | 7 | 1.91+2.84=4.75 | 1.48 | m | | 7 | 2.36+2.43=4.78 | 1.03 | m |
| | 8 | 1.86+2.82=4.68 | 1.52 | m | | 8 | 2.06+2.67=4.73 | 1.30 | m |
| | 9 | 1.96+2.68=4.64 | 1.37 | m | | 9 | 1.71+2.96=4.66 | 1.73 | sm |
| | 10 | 1.73+2.87=4.61 | 1.66 | m | | 10 | 1.80+2.82=4.62 | 1.57 | m |
| | 11 | 1.84+2.66=4.50 | 1.44 | m | | 11 | 1.71+2.79=4.50 | 1.63 | m |
| | 12 | 2.04+2.40=4.44 | 1.17 | m | | 12 | 2.03+2.43=4.46 | 1.20 | m |
| | 13 | 1.70+2.66=4.36 | 1.57 | m | | 13 | 1.98+2.21=4.18 | 1.12 | m |
| | 14 | 1.72+2.64=4.35 | 1.53 | m | | 14 | 1.41+2.75=4.17 | 1.95 | sm |
| | 15 | 1.67+2.64=4.31 | 1.58 | m | | 15 | 1.40+2.70=4.11 | 1.92 | sm |
| | 16 | 1.46+2.83=4.28 | 1.94 | sm | | 16 | 1.76+2.24=4.00 | 1.27 | m |
| | 17 | 2.00+2.17=4.16 | 1.08 | m | | 17 | 1.38+2.58=3.97 | 1.87 | sm |
| | 18 | 1.86+2.25=4.11 | 1.21 | m | | 18 | 1.41+2.54=3.95 | 1.79 | sm |
| | 19 | 1.83+2.24=4.06 | 1.22 | m | | 19 | 1.87+2.06=3.93 | 1.10 | m |
| | 20 | 1.83+2.07=3.91 | 1.13 | m | | 20 | 1.37+2.55=3.92 | 1.86 | sm |
| | 21 | 1.53+2.32=3.85 | 1.51 | m | | 21 | 1.47+2.37=3.85 | 1.61 | m |
| | 22 | 1.07+2.34=3.42 | 2.18 | sm | | 22 | 1.77+1.99=3.76 | 1.13 | m |

表 3 不同产地木耳菜染色体的核型

Table 3 The karyotypes of malabar spinach from eight different origins

| 编号 No | 核型公式 Karyotype fomula | 随体 SAT | | 最长/最短 L/S | 平均臂比 Arm ratio | 核型类型 Karyotype type | 核不对称系数 As. K/% |
|----------|---------------------------|--------------|----------------------------|--------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | 数量 Number | 染色体序号 Chromosome number | | | | |
| JLLF | $2n=2x=44=38m(2SAT)+6sm$ | 2 | 5 | 1.99 | 1.38 | 2A | 57.34 |
| BJJX | $2n=2x=44=34m(2SAT)+10sm$ | 2 | 13 | 1.51 | 1.45 | 1A | 58.50 |
| HBJFu | $2n=2x=44=40m(2SAT)+4sm$ | 2 | 12 | 2.06 | 1.30 | 1B | 56.26 |
| HBJFa | $2n=2x=44=40m(2SAT)+4sm$ | 2 | 17 | 1.65 | 1.30 | 1A | 56.25 |
| SCNF | $2n=2x=44=38m(2SAT)+6sm$ | 2 | 20 | 1.60 | 1.35 | 1A | 56.76 |
| CQQY | $2n=2x=44=38m+6sm(2SAT)$ | 2 | 13 | 1.93 | 1.40 | 1A | 57.89 |
| JXHC | $2n=2x=44=38m(2SAT)+6sm$ | 2 | 9 | 1.92 | 1.48 | 2A | 59.17 |
| GDLS | $2n=2x=44=32m+12sm(2SAT)$ | 2 | 18 | 1.64 | 1.48 | 1A | 59.08 |

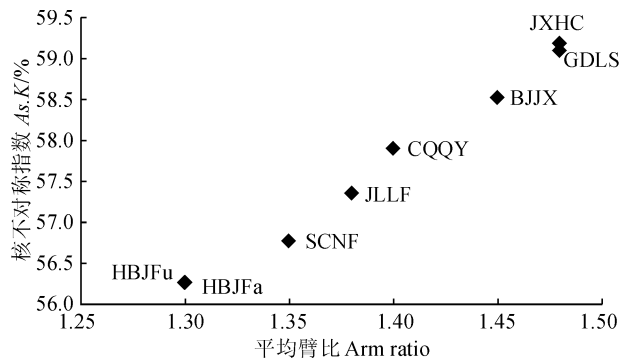


图 2 不同产地木耳菜的核型不对称性程度散点图

Fig. 2 Scatter diagram of malabar spinach from eight different origins based on the degree of karyotype asymmetry

本研究中 7 个产地的木耳菜均为二倍体,染色体基数为 22,共 44 条染色体,未发现染色体变异,说明木耳菜是一个比较稳定的物种。一般认为,核型进化的基本趋势是由对称向不对称发展的,系统演化上处于比较古老或原始的植物,大多具有较对称的核型,而不对称的核型则常见于衍生的、特化的以及比较进化的植物类群中^[21],核型的对称程度越高,进化程度越原始。7 个产地的木耳菜核不对称系数均接近 50%,具有较大的对称性;核型均为 1A、1B 或 2A 型,平均臂比提高趋势较慢,差异较小,表明木耳菜在进化类型上属于较原始类型,与苦参^[10]、菜用大黄^[22]的研究结果较为类似。综合核型不对称系数和平均臂比,7 个产地的木耳菜的进化从高到低为:江西>广东>北京>重庆>吉林>四川>河北,表明它们在系统进化中的地位不同。

本试验中选用的木耳菜品种分属东北(JLLF)、

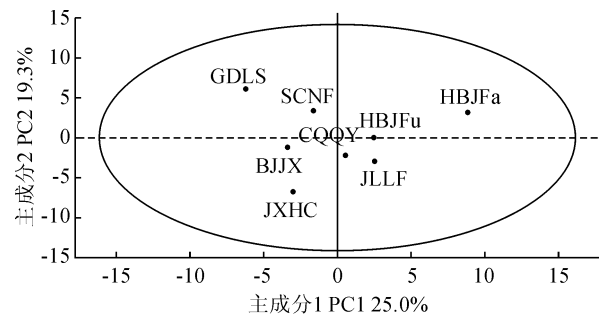


图 3 不同产地木耳菜核型参数的主成分得分图

Fig. 3 PCA Score plot of karyotypes parameters of malabar spinach from eight different origins

华北(BJJX、HBJFu 和 HBJFa)、西南(SCNF 和 CQQY)、华东(JXHC)和华南(GDLS)5 个大区,且均为各自区域地方品种提纯的商品种,具有较强的地域特征及表型。木耳菜原产于亚洲热带地区,理论上应由低纬度向高纬度进化和扩散,但本研究结果表明华东、华南等低纬度区域反而更进化,以及华北地区的 3 个材料进化程度差异明显,这与藜香从高纬度地区向低纬度地区进化和扩散的研究结果并不一致^[12],这可能是由于蔬菜作物相比中药、野生植物等材料,接受了更多的引种、杂交等人工选择过程,不同产区间的遗传物质交流更为密切,从而淡化或部分改变了进化和扩散方向与结果。本研究首次较为系统从细胞学水平上对不同产地的木耳菜核型进行了报道,为其起源、演化及遗传育种提供一定理论依据,但木耳菜具体的进化和扩散规律尚不清楚,这一问题有待于将来收集更多的种质资源材料并在分子水平上进行深入研究。

参考文献:

- [1] 王亚静, 徐小洲, 秦一统, 等. 不同施肥处理对木耳菜产量及产值的影响[J]. 长江蔬菜, 2015, (14): 65-66.
WANG Y J, XU X Z, QIN Y T, *et al.* Effects of different fertilizer treatments on yield and production value of malabar spinach[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2015, (14): 65-66.
- [2] GIMENA E F, KAZUHIDE K, *et al.* Effects of storage temperature on the keeping quality of malabar spinach (*Basella alba* L.) [J]. *Food Preservation Science*, 2000, **26** (4): 211-217.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 44.
- [4] 李建芳, 豆成林, 王荣荣. 不同干燥方式对木耳菜品质特性的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2012, **33**(9): 61-63.
LI J F, DOU C L, WANG R R. Effects of drying methods on quality of *Gynura cusimbua* [J]. *Food Research and Development*, 2012, **33**(9): 61-63.
- [5] 张孔海. 木耳菜果实红色素的提取、纯化、稳定性及其在肉制品中的应用研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2008.
- [6] 袁艺, 王莲, 王小娟. 不同居群鱼腥草的核型比较[J]. 园艺学报, 2008, **35**(9): 1 377-1 383.
YUAN Y, WANG L, WANG X J. Comparative analysis on karyotype of different populations of *Houttuynia cordata* Thunb. [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, **35** (9): 1 377-1 383.
- [7] 高天鹏, 王转莉, 郭怀清, 等. 青藏高原东缘3种风毛菊属植物的核型研究[J]. 草业学报, 2009, **18**(2): 169-174.
GAO T P, WANG Z L, GUO H Q, *et al.* Karyomorphology of 3 *Saussurea* species from the eastern of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, **18** (2): 169-174.
- [8] 李璇, 段青, 王祥宁, 等. 云南泸定百合12个野生居群的核型研究[J]. 园艺学报, 2014, **41**(5): 935-945.
LI X, DUAN Q, WANG X N, *et al.* Karyotypes of 12 wild populations of *Lilium sargentiae* from Yunnan Province [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2014, **41**(5): 935-945.
- [9] 段青, 崔光芬, 贾文杰, 等. 云南泸定百合8个野生居群的染色体核型分析[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(3): 472-478.
DUAN Q, CUI G F, JIA W J, *et al.* Karyotypes of eight wild populations of *Lilium sargentiae* from Yunnan Province [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(3): 472-478.
- [10] 段永红, 渠云芳, 王玉庆, 等. 不同产地苦参核型及近似系数聚类分析[J]. 中国药理学杂志, 2014, **49**(14): 1 194-1 199.
DUAN Y H, QU Y F, WANG Y Q, *et al.* Analysis of karyotypes and resemblance-near coefficients of *Sophora flavescens* from different producing origins [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2014, **49**(14): 1 194-1 199.
- [11] 李志, 刘雷, 谢驰, 等. 岳麓紫菀(菊科)的分布及形态学与核型研究[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(7): 1 486-1 492.
LI Z, LIU L, XIE C, *et al.* Distribution, morphology of *As-*
- ter sinianus* Hand.-Mazz. (Asteraceae: Astereae) and its karyotypic study [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(7): 1 486-1 492.
- [12] 苏芸芸, 王康才. 不同产地藿香核型及近似系数聚类分析[J]. 核农学报, 2017, **31**(6): 1 053-1 060.
SU Y Y, WANG K C. Analysis of karyotypes and resemblance-near coefficients of *Agastache rugosa* from different areas [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, **31**(6): 1 053-1 060.
- [13] 孙勃, 辜金花, 等. 木耳菜染色体制片优化及核型分析[J]. 华南农业大学学报, 2016, **37**(6): 105-109.
SUN B, GU J H, *et al.* Optimization of chromosome preparation and karyotype analysis of *Basella alba* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2016, **37** (6): 105-109.
- [14] 李懋学, 陈瑞阳. 关于植物核型分析的标准化问题[J]. 武汉植物学研究, 1985, **3**(4): 297-302.
LI M X, CHEN R Y. The standardization about the karyotype analysis [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1985, **3**(4): 297-302.
- [15] LEVAN A, FRADGA K, SANDBERG A A. Nomenclature for centromeric position on chromosomes [J]. *Hereditas*, 1964, **52**: 197-201.
- [16] ARANO H. The karyotypes and the speciations in subfamily Cardioideae (Compositae) of Japan [J]. *Japanese Journal of Botany*, 1965, **19**(3): 31-67.
- [17] STEBBINS G L. Chromosomal evolution in higher plants [M]. London: Edward Arnold Press, 1971: 87-123.
- [18] 孙勃, 夏雪, 辜金花, 等. 笋子芥和茎瘤芥生物活性物质与抗氧化能力分析[J]. 核农学报, 2016, **30**(3): 485-492.
SUN B, XIA X, GU J H, *et al.* Analysis of bioactive compounds and antioxidant capacities in *Brassica juncea* var. *crassicauii* and *Brassica juncea* var. *tumida* [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, **30**(3): 485-492.
- [19] 徐洪国, 祁宏英, 顾灵杰. 黄果龙葵和龙葵染色体制片优化及核型分析[J]. 西北植物学报, 2017, **37**(2): 387-393.
XU H G, QI H Y, GU L J. Optimization of chromosome sectioning technique and karyotype analysis of *Solanum nigrum* var. *suaveolens* and *Solanum nigrum* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, **37**(2): 387-393.
- [20] 李贵全. 细胞学研究基础 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 79-80.
- [21] 李懋学, 张赞平. 作物染色体及其研究技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [22] 任文娟, 郭小菲, 姜立娜, 等. 菜用大黄染色体制片优化及核型分析[J]. 华北农学报, 2013, **28**(5): 128-132.
REN W J, GUO X F, JIANG L N, *et al.* Optimization of chromosome mounting technique and karyotype analysis of culinary rhubarb [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, **28**(5): 128-132.

(编辑: 宋亚珍)