

文章编号: 1001-1498(2003)03-0358-08

# 竹类植物遗传改良研究进展

邢新婷, 傅懋毅

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:**竹子是森林资源的重要组成部分,由于其本身所具有的特殊性和产生的巨大经济效益,其研究愈来愈受到重视。目前在竹子分类、生长、繁殖、形态结构、竹材理化性质和加工利用等方面的研究已取得很多成果并得到推广,在竹子遗传改良方面的研究也取得了一定进展。本文从竹类植物的种质资源收集、良种繁育、细胞生物工程、分子生物学等方面系统综述了近几十年来国内外竹子遗传改良的研究现状,试提出竹类植物遗传改良研究中应重点加强的几个方面工作。

**关键词:**竹子;遗传改良;种质资源;分子遗传;研究进展

**中图分类号:** S795      **文献标识码:** A

竹类植物是禾本科(Gramineae)竹亚科(Bambusoidea)植物的总称。我国幅员广大,南方各省气候温暖湿润,地理环境复杂,处于世界竹类分布中心和范围之内,竹类资源非常丰富。世界三大类竹种,即散生竹、丛生竹、混生竹我国都有。据统计,我国竹类大约共有39属500多种,竹林面积400多万公顷,占全国森林总面积的3%<sup>[1]</sup>,竹种和竹林面积约占世界的1/4<sup>[2]</sup>。我国的竹类科学技术人员围绕着发掘、扩大、保护和综合利用竹林资源等方面,在竹子分类、生长、繁殖、形态结构和竹材理化性质、加工利用等领域开展了研究并取得了很大进展。在竹子种质资源收集、良种繁育等方面进行了较多的试验研究工作,取得了可喜成果。

竹子作为一类生物学特性很特殊的植物,其开花有时间和空间的不确定性,且成片(大面积)开花后植株即死亡,这在很大程度上限制了其有性杂交育种工作的开展。在竹子生物工程育种方面,组织培养开展了较多的研究工作,并取得了较大的进展,但组培成功也仅限于萌生能力较强的丛生竹,散生竹的组织培养技术至今仍未解决,因此对竹子进行基因工程改良仍受到上述问题的严重困扰。目前,有关竹子良种选育研究仍处于较低水平,急需根据国内外竹子遗传育种研究发展现状和育种目标,制定竹子遗传改良的策略和方法并予以实施,使这一重要的种质资源得到科学的开发和利用。

## 1 国内竹子遗传育种研究现状

### 1.1 种质资源收集、研究及保存

林木种质资源的收集和保存,是当今全球性关切的问题之一。我国虽是世界竹类植物资源最为丰富的国家,但由于人为破坏使上百种经济价值较高或有育种价值的竹种已处于濒危

收稿日期: 2002-11-07

基金项目: 2001—2004年国际热带木材组织合作项目“中国南方丛生竹可持续经营和利用”(PD10/00Rev.2(F,I))

作者简介: 邢新婷(1972—),女,河北藁城人,博士生。

境地,有的珍稀竹种甚至已趋枯竭灭绝。因此开展竹子种质资源的收集与保存,在今天已成为迫在眉睫的问题。

对我国竹类种质资源大规模地、广泛地、系统地调查和分类研究则是70年代中期开始。中国林科院亚热带林业研究所对竹类植物种质资源的收集和评价始于70年代中期,到目前在安吉竹种园已收集并引种了约300个竹种,使安吉竹种园成为我国很重要的竹类科研、教学的基地之一。80年代,广东省林科所<sup>[3,4]</sup>对国内外20多种丛生笋用竹品种种质资源进行收集、评价,为开展丛生笋用竹遗传改良提供了重要依据。同时期,在我国许多地方,一批以收集竹类种质资源为目的的竹种园、竹类植物园或竹类标本园正在建立或完善,规模较大和收集竹种较齐全的除了浙江安吉竹种园外还有福建华安竹种园、浙江省林科所的竹类植物园、杭州植物园、南京林业大学竹类标本园、广西林科所竹类园、成都望江公园等。这些竹种园的建立,对开展竹类植物种质资源异地保护技术的研究具有现实借鉴意义。

## 1.2 引种

我国有为数众多的优良经济竹种,但有不少分布范围却很窄。近几十年来,各地广泛开展了优良经济竹种的引种栽培试验。武汉植物园<sup>[5]</sup>从1979年开始进行竹类植物的引种驯化研究,先后从南方诸省引进了15个属的竹子150余种;四川省林科所<sup>[6]</sup>自7省引入竹种20属、130种,并对竹类进行引种初步区划。此后,浙江、江西、江苏、安徽、福建、贵州等省也分别开展了引种技术研究,引种获得初步成功的竹种有:观赏竹——方竹(*Chimonobambusa quadrangularis* (Fenzi) Makino)<sup>[7]</sup>;笋用竹——雷竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)<sup>[8]</sup>、角竹(*Phyllostachys fimbriiligula* Wen)<sup>[9]</sup>、乌哺鸡竹(*Phyllostachys vivax* McClure),黄秆乌哺鸡竹(*Phyllostachys vivax* f. *aureocaulis* N. X. Ma),白哺鸡竹(*Phyllostachys dulcis* McClure),花哺鸡竹(*Phyllostachys glabrata* S. Y. Chen et C. Y. Yao)<sup>[10,11]</sup>、青皮竹(*Bambusa textilis* McClure),吊丝竹(*Dendrocalamus minor* (McClure) Chia et H. L. Fung),高节竹(*Phyllostachys prominens* W. Y. Xiong)<sup>[12]</sup>、尖头青竹(*Phyllostachys acuta* C. D. Chu et C. S. Chao),红竹(*Phyllostachys iridescens* C. Y. Yao et S. Y. Chen),安吉金竹(*Phyllostachys parvifolia* C. D. Chu et H. Y. Chou)<sup>[13]</sup>等;材用竹——粉单竹(*Bambusa chungii* McClure)<sup>[14]</sup>;笋材两用竹——角竹(*Phyllostachys fimbriiligula* Wen)、刚竹(*Phyllostachys sulphurea* cv. *Viridis*)、桂竹(*Phyllostachys propinqua* McClure)、金竹(*Phyllostachys sulphurea* (Carr.) A. et C. Riv)等;笋、材、观赏三用竹种——绿竹(*Dendrocalamus oldhami* (Munro) Keng f.)<sup>[15]</sup>。此外,我国的“南竹北移”也取得了一定的成果。毛竹(*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens* (Mazel) Ohwi)已在山东的崂山、文登、日照,河南的午阳,陕西周至、临潼能适应生长。刚竹、淡竹(*Phyllostachys glauca* McClure)已跨过渤海在旅顺、大连地区适应下来。由此可见,竹子的适应能力是很强的,虽然其耐寒、耐旱、耐湿、耐盐碱等方面的遗传特性对其适应和分布有影响,但只要注意原产地与引种地的小气候条件,选择适生的种源,结合栽培及驯化技术,扩大竹类种质资源分布是可行的。

## 1.3 无性繁殖与无性系改良

竹子由于其自身的生物学特性,种子不易获得而很少有性繁殖,多以埋鞭、主枝、侧枝扦插、高空压条等方式进行无性繁殖。通过无性繁殖可以将选出的优良无性系进行扩大繁殖,获得最大的遗传增益。谭宏超等<sup>[16]</sup>对分布在云南境内的近20个丛生竹种进行了多种方法的无性繁殖试验,取得良好效果。李文斌<sup>[17]</sup>和许来玉<sup>[18]</sup>等分别对麻竹(*Dendrocalamus latiflorus* Munro)和甜

竹 (*Phyllostachys flexuosa* A. et C. Riviere) 利用高空压条育苗定植获得了较高的成活率。许昌棠<sup>[19]</sup>发现雷竹等刚竹属 (*Phyllostachys*) 竹种埋鞭育苗法具有时间短、成苗率高的特点。董文渊<sup>[20]</sup>对斑竹 (*Phyllostachys bambusoides* f. *lacrima-deae* Keng f. et Wen)、桂竹的无性繁殖育苗技术进行了研究。张遵强等<sup>[21]</sup>对稀有珍贵竹种——紫竹 (*Phyllostachys nigra* (Lodd. ex Lindl.) Munro) 以鞭段进行埋鞭繁殖, 得出了紫竹鞭段繁殖的最佳鞭龄和鞭长。这些成功的无性繁殖育苗技术为竹类植物走无性系改良的途径, 获得更为直接和显著的遗传增益开辟了有效的途径。

#### 1.4 杂交育种和良种选育

竹子杂交育种的研究起步较晚, 始于 70 年代。广东省林科所<sup>[22, 23]</sup>开展竹类杂交育种研究, 利用竹类植物自然开花进行有性杂交, 获得了性状优良的杂交后代。在优良竹种选育方面, 黄伯惠等<sup>[24]</sup>为了培育优良的笋用竹, 提高竹笋的营养价值、改善其风味, 对 10 个主要的散生竹种进行有性杂交和良种选育研究, 评选出 4 个优良竹种。竹类容易无性繁殖, 只要得到一个优良杂种就能较快地大量繁殖, 而且不会产生性状分离, 杂种优势亦得以保存。因此, 竹子常规改良的途径是及时利用田间竹子开花进行杂交授粉、人工选择, 然后通过无性系途径来繁殖优良杂种。

#### 1.5 组织培养与细胞工程育种

相对于其它木本植物, 竹子组织培养和细胞工程育种研究直至 90 年代才真正开始令人关注<sup>[25]</sup>。张桂和等<sup>[26]</sup>利用麻竹胚进行了组织培养和快速繁殖研究; 张光楚等<sup>[27]</sup>对麻竹、绿竹、勃氏甜龙竹 (*Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz)、杂种撑麻 7 号 (*Bambusa pervariabilis* McClure × *Dendrocalamus latiflorus* Munro No. 7) 等丛生竹进行了组织培养, 取得了重大突破。谢庆华等<sup>[28]</sup>对毛竹进行了组培技术的研究。阙国宁<sup>[29]</sup>等对黄竹 (*Dendrocalamus membranaceus* Munro) 和茨竹 (*Bambusa blumeana* Schult. f.) 以带芽的外植体为材料, 采用不同的培养基配方诱导出了愈伤组织; 马艳梅等<sup>[30]</sup>对麻竹笋进行组织培养也获得了成功。

在细胞悬浮培养和原生质体分离方面, 黄丽春等<sup>[31]</sup>对竹子悬浮细胞和原生质体培养作了详细研究。阙国宁等<sup>[32]</sup>对黄竹、吴益民等<sup>[33]</sup>对孝顺竹 (*Bambusa multiplex* (Lour.) Raeuschel ex Schult. f.)、绿竹、乌角绿竹 (*Dendrocalamupisis edulis* (Odashima) Keng f.) 分别建立了分散性良好的悬浮细胞系, 为进行竹子基因工程育种、提高竹类植物遗传品质带来了契机。

#### 1.6 分子遗传育种

分子标记作为一种新型的遗传标记和重要的育种工具, 在竹子品种鉴定、分类、分子遗传学基础、遗传变异等方面得到了不同程度的应用。

同工酶标记是 60 年代出现并应用于植物研究中的分子标记<sup>[34]</sup>。四川省林业科学研究所种质资源组<sup>[35]</sup>利用过氧化物酶同工酶对 6 个竹种的酶谱进行了差异分析; 袁文海等<sup>[36]</sup>通过对刚竹属 20 种 3 变种 8 变型共 31 个竹子类群的淀粉酶同工酶的研究, 发现淀粉酶同工酶非常特殊, 酶谱简单, 酶带清晰易辨认, 种间变异明显。李升峰<sup>[37]</sup>利用酯酶同工酶和过氧化物酶同工酶对青篱竹属 (*Arundinaria*) 中的几种竹子进行了分类上和属种间亲缘关系的探讨, 为竹子的生物系统演化规律及在属种区分上提供了很有价值的资料。

RAPD 分子标记近几年才应用于竹子研究上。杨光耀等利用 RAPD 技术对大明竹属苦竹类 (*Pleioblastus*) 和倭竹亚族 (*Shibataeinae*) 竹种进行了种间遗传相似性分析<sup>[38, 39]</sup>。方伟等<sup>[40]</sup>、师丽华等<sup>[41]</sup>分别对不同栽培类型的雷竹和毛竹种下等级进行了 RAPD 分析, 从分子水平探讨了

它们之间的遗传变异。李淑娴等<sup>[42]</sup>将水稻微卫星引物应用到竹子分子系统的研究上。吴益民等<sup>[43]</sup>以 RAPD 技术对孝顺竹、凤尾竹(*Bambusa multiplex* cv. *nana* (Roxb.) Keng f.)、绿竹 3 个种进行 PCR 扩增,构建了 RAPD 指纹图谱,为今后早熟、高产、优质、抗逆竹子遗传性状改良提供了分子鉴定基础。

## 2 国外竹子遗传育种研究现状

### 2.1 种质资源的收集和保存

国外十分重视对竹子资源尤其是对中国竹子基因资源的引种繁殖研究。印度是主要产竹国之一,竹种繁多,在 80 年代就开始了竹子遗传资源的收集与保存工作,对竹子原地保存及异地保存技术进行了研究<sup>[44,45]</sup>。Hban 等<sup>[46]</sup>在对越南重要的园艺和工业竹种的种质资源及其保护进行回顾时报道,在越南优势竹林面积约 580 120 hm<sup>2</sup>,占竹林面积的 11.4%。Stapleton 等<sup>[47]</sup>总结了竹类遗传资源保护工作进展,对异地保存种子、植株、组织,建立田间基因库和保护林分、组织培养、冷冻保存及原地保存技术作了详细介绍。在亚洲许多国家也都开展了如何保护竹子生物多样性的研究,以使得竹子遗传资源得到永续利用<sup>[48]</sup>。

### 2.2 引种和选择育种

19 世纪以来美国先后从中国、日本、印度及其它亚洲国家引进竹种共计约 750 号。前苏联从 19 世纪 70 年代开始也先后从中国、日本、东南亚国家或间接从欧洲等国家转引竹子。此外,英国、意大利、法国、荷兰和西班牙等国家的植物园都曾从产竹地区引种不同数量的竹种。Anita 等<sup>[49]</sup>对阿根廷南部 5 个地点 7 年生香竹族(*Chusqueae*)种进行了遗传变异和开花生物学特性研究。在印度东北地区,Beniwal 和 Singh<sup>[50]</sup>对 8 个竹种进行了选择遗传改良研究。Singh 等<sup>[51]</sup>系统地研究了大薄竹(*Bambusa pallida* Munro)的竹秆高度、粗度和每丛新竹数的遗传变异情况,估算了这些性状的遗传力及遗传增益等重要遗传参数。Mandal 等<sup>[52]</sup>研究印度竹子时发现竹类种间大小、形状差异很明显,提出了对竹子进行实生苗选择、优良竹丛选择、突变体选择及杂交育种等一系列遗传改良措施。

### 2.3 竹子开花机理及杂交育种

在竹子开花机理研究方面,多数人认为许多竹种的开花时间间隔特性受某种内在生物钟的调控。Charles Adamson<sup>[53]</sup>对甜笋竹(*Phyllostachys elegans* McClure)的开花间隔期进行了研究,为准确预测竹子开花进行杂交育种提供信息。Rajani 等<sup>[54]</sup>对茨竹自然开花和离体成花的时间及花粉育性进行了分析研究,认为改善培养基质对增加花粉育性是很有必要的。同时他<sup>[55]</sup>还对牡竹(*Dendrocalamus strictus* (Roxb) Nees)的杂交育种进行了试验,认为雌雄异熟在育种方案中是很有用的,它消除了杂交中繁杂的去雄工作。

### 2.4 组织培养和生物工程育种

竹子组织培养的研究,在 1968 年 Alexander 和 Rao<sup>[56]</sup>首先进行竹子合子胚的组织培养并萌芽为植株后,直到 80 年代才开始令人关注。Huang 和 Murashige<sup>[57]</sup>以刚竹属、赤竹属(*Sasa*)、茨竹属(*Bambusa*)的叶片和嫩茎为材料诱导出了愈伤组织。Yeh 和 Chang<sup>[58,59]</sup>分别以绿竹的花序、吊丝球竹(*Dendrocalamopsis beecheyana* (Munro) Keng f.)的花序和花序衍生的根组织进行组织培养再生了植株。Sanjay Saxena<sup>[60]</sup>研究了马甲竹(*Bambusa tulda* Roxb)的离体繁殖,发现 90%以上的笋能够诱导出根而再生植株。1992 年,Prutpongse<sup>[61]</sup>对竹子 15 个属、54 个种以不同

的外植体——种子、花序、节间组织、叶片、顶端分生组织等为材料进行了组织培养研究,均获得了成功。

在体细胞胚胎发生和植株再生方面,Anas等<sup>[62]</sup>利用刚竹的叶外植体诱导出大量的胚状体,进而萌发为胚并且成功地育出小植株。Tsay等<sup>[63]</sup>用麻竹花药在 $N_6$ 培养基上培养获得了小植株。Susan等<sup>[64]</sup>对马来麻竹(*Dendrocalamus asper* (Schult.f.) Backer ex Heyne)合子胚诱导植株再生进行了研究,摸索出最适的体细胞胚胎发生和植株再生条件,为其大量繁殖提供了科学依据。从国外组织培养来看,愈伤组织培养和体细胞胚胎发生再生竹子已经逐渐成为竹子遗传改良的基础技术之一。

### 2.5 分子遗传育种

同工酶标记在70年代初就被用于研究竹子的分类和基因型鉴定上。Boonsermuk<sup>[65]</sup>用同工酶标记研究了牡竹属(*Dendrocalamus*)的不同群体,结果发现过氧化物酶同工酶在竹种间存在明显差异,酯酶的差异不是很大。Heng等<sup>[66]</sup>对5个属的竹种进行了同工酶分析。Huang和Murashige<sup>[57]</sup>比较了4个竹子类群的谷草转氨酶同工酶,证明了它是一种合适的区分种、属的同工酶。虽然同工酶在物种鉴别和分类上很有帮助,但由于同工酶种类较少,其应用范围具有很大的局限性。

Friar等<sup>[67]</sup>利用RFLP技术对刚竹属竹种的遗传变异、分类学及进化系统进行了研究,通过计算遗传距离检测种内和种间遗传变异的程度。Kobayashi等<sup>[68]</sup>借助RFLP技术研究了竹子叶绿体DNA的多态性。Hsiao等<sup>[69]</sup>利用RAPD技术分析了台湾玉山竹(*Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f.)5个样品的群体遗传结构并对无性系进行了鉴定。Lai等<sup>[70]</sup>将RAPD-PCR技术应用于台湾重要经济竹种的无性系鉴定及遗传变异分析上。AFLP标记技术产生的DNA多态性远远地超过了RFLP、RAPD等。目前仅Loh等<sup>[71]</sup>运用AFLP技术对竹子的遗传变异和种的相互关系作了有益的尝试。他们对15个竹种利用8个引物组合进行AFLP分析,并成功地根据AFLP产生的特异性条带区分了不同的竹种、鉴别了特殊竹种的基因型。

## 3 讨论及建议

由于竹子本身特殊的生物学特性限制了其遗传改良进程。常规的改良手段多集中于种质资源收集、引种驯化研究等;有性遗传改良因其开花的不确定性和开花后即死亡而受到很大限制;此外,竹子稳定的组织培养技术尚未成功,使组织培养技术的应用具有很大的局限性;通过分子生物学手段从基因水平研究竹子的遗传基础才刚刚起步。有鉴于此,作者认为今后竹子遗传改良研究应重点加强的有以下几个方面:

(1)应进一步加强种质资源的收集与保存,同时重视竹子遗传多样性研究。为了防止竹类基因资源尤其是珍稀濒危竹种资源的丢失,维持竹子种质资源的多样性和永续性,需要进一步加强种质资源保存新技术的研究,同时重视其遗传多样性研究,因为遗传多样性是生物进化的基础和前提,一个物种没有遗传多样性就不能进化。

(2)加强竹子开花机理的研究。虽然许多植物学家对竹子的开花生物学及其开花机理、育种行为进行了有益的探讨,但控制竹子开花的内在机制还需要深入研究,从根本上消除竹子开花周期长给竹子杂交育种工作带来的障碍。

(3)重视竹子稳定的组织培养体系技术的研究,开展基因工程育种。组织培养和植株再生

是竹子基因工程育种的基础,其培养体系已成为研究植物形态、生理生化反应和进行遗传改良的良好载体。应重视竹子组织培养的深化研究,特别是竹子愈伤组织、胚状体诱导等机理的探讨与规律的总结,进一步完善竹子组织培养技术,充分发挥其在竹子生理、细胞、遗传等研究中的基础作用。一旦具备了完善的组织培养技术,就可以开展竹子遗传转化技术的研究,为竹子基因工程改良带来美好前景。

(4)传统的育种方法宜与高新技术相结合。目前有关竹子育种程序、群体结构遗传变异规律、抗性改良方面的基础理论性研究还很少,遗传改良研究中至关重要的细胞、分子遗传学基础研究相当薄弱,高新技术的应用明显落后于其它阔叶树种。因此应更多地引入分子生物学和遗传学的最新成就,将传统的选择、杂交育种和高新的分子遗传技术有机结合,从而降低其遗传改良难度,加快育种进程。

### 参考文献:

- [1] Fu Maoyi. Management of monopodial bamboo stands: past and present research and future research direction [A]. In: INBAR Technical Report No. 5, Constraints to Production of Bamboo and Rattan [M]. First edition. India: Venus Printers & Publishers, 1993. 166 ~ 174
- [2] Fu Maoyi. Bamboo resources and utilization in China [A]. In: Rao A N, Rao V R. Bamboo Conservation, Diversity, Ecogeography, Germplasm, Resource Utilization and Taxonomy (First edition) [M]. India: Thomson Press, 1999. 157 ~ 163
- [3] Fu Maoyi, Xiao Jianghua, Lou Yiping. Cultivation and utilization on bamboos (First edition) [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999. 9
- [4] Fu Maoyi. Criteria for selection of superior bamboo varieties, propagation and plantation establishment [A]. In: Rao A N, Rao V R. Bamboo Conservation, Diversity, Ecogeography, Germplasm, Resource Utilization and Taxonomy (First edition) [M]. India: Thomson Press, 1999. 105 ~ 112
- [5] 王诗云,张炳坤. 武汉植物园竹类植物引种驯化初报[J]. 竹类研究, 1985, (2): 78 ~ 83
- [6] 向性明. 四川省竹类引种的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(2): 1 ~ 14
- [7] 张培新, 兰林富, 吴玲玲, 等. 方竹引种栽培试验及其地下茎特性观察初报[J]. 竹子研究汇刊, 1991, 10(2): 40 ~ 46
- [8] 方贞雄. 雷竹引种试验与栽培技术[J]. 福建林业科技, 1998, 25(4): 70 ~ 73
- [9] 徐绍清, 张自立. 滨海盐土角竹引种试验初报[J]. 浙江林业科技, 1993, 13(2): 53 ~ 55
- [10] 令狐克胜, 杨道平, 陈章跃, 等. 桐樟县不同海拔引种笋用竹初报[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(1): 42 ~ 47
- [11] 刘仙校, 许丽算. 11种高产优质笋用竹引种试验调查[J]. 林业科技开发, 1999, 13(6): 48 ~ 49
- [12] 吴炳生, 谢双喜, 令狐克胜, 等. 优良笋用竹引种与栽培技术的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(4): 41 ~ 48
- [13] 张自立, 陈建军, 徐绍清, 等. 八个竹种海涂引种试验报告[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(2): 15 ~ 21
- [14] 李桥明, 廖宏柏. 青皮竹粉单竹引种栽培试验总结[J]. 竹子研究汇刊, 1995, 14(3): 54 ~ 60
- [15] 杨文端. 绿竹引种试验初报[J]. 竹子研究汇刊, 1994, 13(4): 37 ~ 41
- [16] 谭宏超, 起禄培. 丛生竹无性繁殖育苗试验研究[J]. 竹子研究汇刊, 1994, 13(1): 62 ~ 73
- [17] 李文斌, 许来玉, 邱小强. 竹苗快速繁殖技术的研究[J]. 热带作物科技, 1996, (3): 40 ~ 43
- [18] 许来玉, 许安民, 许斌. 热带亚热带甜竹笋竹枝高空压枝繁殖种苗的研究[J]. 热带作物科技, 1998, (4): 39 ~ 41
- [19] 徐昌棠. 雷竹等7个竹种埋鞭育苗试验初报[J]. 林业科技开发, 1993, (2): 9 ~ 13
- [20] 董文渊, 谢泽轩, 龙友和. 散生竹无性繁殖育苗技术[J]. 云南林业科技, 1999, 30(1): 55 ~ 56
- [21] 张遵强, 何希诚, 胡超宗, 等. 紫竹鞭段繁殖研究[J]. 竹子研究汇刊, 1998, 17(2): 40 ~ 43
- [22] Fu Maoyi. A review on crossing between bamboo species in China [A]. In: Williams J T, Ramanuja R, Rao A N. Genetic Enhancement of Bamboo and Rattan (First edition) [M]. India: Scenario publications, 1995. 87 ~ 98
- [23] 张光楚. 竹子育种工作近况[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(3): 13 ~ 15
- [24] 黄伯惠, 华锡奇, 陈伯翔, 等. 优质高产笋用竹种评选和配置[J]. 竹子研究汇刊, 1995, 14(3): 18 ~ 29

- [25] 张春霞, 谢寅峰, 张幼法, 等. 竹子组织培养研究的进展及应用前景[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(3): 46~49
- [26] 张桂和. 麻竹茎尖培养及离体快繁研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 1997, 15(4): 298~303
- [27] 张光楚, 陈富枢, 王裕霞. 麻竹离体快速繁殖技术的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(4): 7~15
- [28] 谢庆华, 邢溪燕, 谭汝学. 毛竹种子组培技术初步研究[J]. 林业科技通讯, 2000, 12: 18~20
- [29] 阙国宁, 诸葛强. 竹子愈伤组织培养与植株再生[J]. 竹子研究汇刊, 1991, 10(4): 79~80
- [30] 马艳梅, 何远康, 何琼英, 等. 麻竹愈伤组织的诱导培养[J]. 华南农业大学学报, 1993, 14(3): 131~140
- [31] Huang L C, Huang B L, Chen W L. Tissue culture investigation of bamboo : Recovery of from protoplast of suspension-cultured *Bambusa* cells [J]. *Botanical Bulletin Academia Sinica*, 1990, 31: 29~34
- [32] 阙国宁, 诸葛强. 黄竹细胞悬浮培养和原生质体分离[J]. 林业科学研究, 1994, 7(1): 44~47
- [33] 黄益民, 边红武, 王军晖, 等. 竹子悬浮细胞系的建立和组织培养试管苗移栽观察[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(1): 52~56
- [34] 周奕华, 陈正华. 分子标记在植物学中的应用及前景[J]. 武汉植物学研究, 1999, 17(1): 75~86
- [35] 四川省林业科学研究所种质资源组. 不同竹种同工酶差异性研究[J]. 四川林业科技, 1984, 5(1): 15~18
- [36] 袁文海, 梁根桃. 刚竹属竹种淀粉酶同工酶分析及其在竹种鉴别上的应用[J]. 浙江林学院学报, 1993, 10(3): 263~269
- [37] 李升峰. 同工酶在青篱竹族分类中的应用[J]. 竹子研究汇刊, 1989, 8(4): 12~21
- [38] 杨光耀, 赵奇僧. 苦竹类植物 RAPD 分析及其系统学意义[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(4): 551~553
- [39] 杨光耀, 赵奇僧. 用 RAPD 分子标记探讨倭竹族的属间关系[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(2): 1~5
- [40] 方伟, 何祯祥, 黄坚钦, 等. 雷竹不同栽培类型 RAPD 分子标记的研究[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(1): 1~6
- [41] 师丽华, 杨光耀, 林新春, 等. 毛竹种下等级的 RAPD 研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(3): 65~68
- [42] 李淑娴, 尹俊明, 邹惠渝, 等. 用水稻微卫星引物进行竹子分子系统学研究初探[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 42~48
- [43] 吴益民, 黄纯农, 王军晖. 四种竹子的 RAPD 指纹图的初步研究[J]. 竹子研究汇刊, 1998, 17(3): 10~14
- [44] Thomas T A, Arora R K, Ranbir S. Genetic resources of bamboos in India—their diversity, utilization and socio-economic role [A]. In: Rao A N, Sastry C B. Recent reasearch on bamboo (First edition) [M]. India: Scenario Publications, 1985. 6~16
- [45] Sharma B D, Hore D K, Pandey G. Genetic resources of bamboos in the north-eastern region of India [J]. *Indian Journal of Forestry*, 1992, 15(1): 44~51
- [46] Hoan T L, James F, Hancock Trink T T, et al. Germplasm resources in Vietnam: major horticultural and industrial crops [J]. *Horticulture*, 1999, 34(2): 175~180
- [47] Stapleton C M, Rao A, Ramanatha V. Progress and prospects in genetic diversity studies on bamboo and its conservation [A]. In: I. . Ramanuja Rao, Cherla B. Sastry. Bamboo, People and the Environment. Volume : Biodiversity and Genetic Conservation (First Edition) [M]. India: Thomson Press, 1995. 23~24
- [48] Jeffery A. Mcneely. Bamboo, Diversity and Conservation in Asia [A]. In: I. . Ramanuja Rao, Cherla B. Sastry. Bamboo, People and the environment. Volume : Biodiversity and Genetic Conservation (First edition) [M]. India: Thomson Press, 1995. 19~22
- [49] Anita K Pearson, Oliver P Pearson, Isabel A Gomez. Biology of the bamboo *Chusquea culeou* (Poaceae: Bambusoideae) in southern Argentina [J]. *Vegetatio*, 1994, 111: 93~126
- [50] Beniwal B S, Singh N B. Genetic improvement of forest trees in Arunachal pradesh [J]. *Indian Forester*, 1990, (1): 3~10
- [51] Singh N B. Estimation of variance, heritability, genetic gain and correlations among some growth characters in *Bambusa pallida* Roxb [J]. *Indian Journal of Forestry*, 1993, 16(1): 33~38
- [52] Mandal A K. Genetic improvement of bamboo [J]. *Indian forester*, 1992, 118(1): 55~59
- [53] Charles Adamson W. Flowering interval of sweetshoot bamboo [J]. *Economic Botany*, 1978, 32(4): 360~362
- [54] Rajani S Nadgauda, John C K, Parasharami V A, et al. A comparison of *in vitro* with *in vitro* flowering in bamboo: *Bambusa arundinacea* [J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1997, 48: 181~188
- [55] Rajani S Nadgauda, John C K, Mascarenhas A F. Floral biology and breeding behavior in the bamboo *Dendrocalamus strictus* Nees [J]. *Tree Physiology*, 1993, 13: 401~408
- [56] Alexander M P, Rao T C. *In vitro* culture of bamboo embryos [J]. *Current Science*, 1968, 37: 415
- [57] Huang C L, Murashige T. Tissue culture investigation of bamboo I: callus cultures of *Bambusa*, *Phyllostachys*, and *Sasa* [J]. *Botanical Bulletin Academia Sinica*, 1983, 24: 31~52

- [58] Yeh M L, Chang W C. Somatic embryogenesis and subsequent plant regeneration from inflorescence of *Bambusa beecheyana* Munro var. *beecheyana*[J]. Plant Cell Reports, 1986, 5:409 ~ 411
- [59] Yeh M L, Chang W C. Plant regeneration through somatic embryogenesis in callus culture of green bamboo (*Bambusa oldhamii* Munro) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1986, 73:161 ~ 163
- [60] Sanjay Saxena. *In vitro* propagation of the bamboo (*Bambusa tulda* Roxb) through shoot proliferation[J]. Plant Cell Reports, 1990, 7:431 ~ 434
- [61] Prutpongse P, Gavinlertvatana P. *In vitro* micropropagation of 54 species from 15 genera of bamboo [J]. Hortscience, 1992, 27(5): 453 ~ 454
- [62] Anas A E, Hassan Pierre Debergh. Embryogenesis and plantlet development in the bamboo *Phyllostachys viridis* (Young) McClure[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 1987, 10:73 ~ 77
- [63] Tsay H S, Yeh C C, Hsu J Y. Embryogenesis and plant regeneration from anther culture of bamboo (*Sinocalamus latiflorus* (Munro) McClure) [J]. Plant Cell Reports, 1990, 9:349 ~ 351
- [64] Susan H Woods, Gregory C Phillips, John E Woods, et al. Somatic embryogenesis and plant regeneration from zygotic embryo explants in Mexican weeping bamboo, *Oatea Acuminata* Aztecorum[J]. Plant Cell Reports, 1992, 11:257 ~ 261
- [65] Boonsermuk S, Vongvijitra R, Suebka A. Isozyme study of *Dendrocalamus asper*[J]. Bamboo Abstracts, INBAR, Bamboo information center, China, Abstract 920006, 1992
- [66] Heng H P, Yeoh H H, Tan C K C, et al. Leaf isozyme polymorphism in bamboo species[J]. Journal of the Singapore National Academy of Science, 1996, 22:10 ~ 14
- [67] Friar E, Köchert G. A study of genetic variation and evolution of *Phyllostachys* (Bambusoideae: Poaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1994, 89, 265 ~ 270
- [68] Kobayashi M. Phylogeny of world bamboos analysed by restriction fragment length polymorphism of chloroplast DNA[A]. In: Chapman G P. The bamboos. Linnean Society Symposium Series[M]. UK: Linnean Society of London, 1997. 227 ~ 234
- [69] Hsiao J Y, Rieseberg L H. Population genetic structure of *Yushania nitakayamensis* (Bambusoideae, Poaceae) in Taiwan[J]. Molecular Ecology, 1994, 3:201 ~ 208
- [70] Lai C C, Hsiao J Y. Genetic variation of *Phyllostachys pubescences* (Bambusoideae, Poaceae) in Taiwan based on DNA polymorphisms [J]. Botanical Bulletin Academia Sinica, 1997, 38:145 ~ 152
- [71] Loh Jin Phang, Ruth Kiew, Ohn Set, et al. A study of genetic variation and relationships within the bamboo subtribe Bambusinae using amplified fragment length polymorphism [J]. Annals of Botany, 2000, 85:607 ~ 612

## Advances in Genetic Improvement of Bamboo Plants

XING Xin-ting, FU Maoyi

(Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** Bamboo is an important part of forest resources. Because of its particularity and the huge economic benefit, more and more people attach importance to its research. Now studies in taxonomy, growth, propagation, morphosis structure, physical and chemical property of bamboo wood, process and utilization of bamboo had gained more achievements which had been extended, as well as great progress in genetic improvement of bamboo. This paper reviews the present study status in genetic improvement of bamboo plants involving collection of germ plasma resources, improved seeds breeding, biological engineering and molecular biology in domestic and abroad. This paper also discussed several aspects in genetic improvement of bamboo plants, which should be emphasized.

**Key words:** bamboo; genetic improvement; germplasm; molecular genetics; advances