

DOI: 10.3724/SP.J.1005.2011.00081

离子注入诱变莲花突变体分子机理的初步研究

邓传良¹, 贾彦彦¹, 任映雪¹, 高武军¹, 张涛², 李鹏飞³, 卢龙斗¹

1. 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007;
2. 北京师范大学(北京市辐射中心), 北京 100875;
3. 北京莲花池公园, 北京 100055

摘要: 低能离子注入技术作为生物物理诱变的一种新型技术, 在园艺植物育种方面具有很大的应用潜力, 但其诱变的分子机理目前知之甚少。文章对 Fe^+ 离子注入诱变的白洋淀红莲(*Nelumbium speciosum* Willd)突变体及其对照的基因组进行 RAPD 研究, 并将突变体和对照在辐射敏感位点的条带进行克隆测序及 DNA 序列分析。在已优化好的 RAPD 体系下扩增, 从 110 条随机引物中筛选出了 10 条可以稳定扩增出显著特异条带的引物, 引物多态性为 9.09%。将这 10 条引物扩增出的辐射敏感位点的条带进行克隆测序, 并进行序列比对。结果显示: 突变体的总碱基突变频率为 0.87%, 6 个突变体的碱基突变频率存在着差异; 碱基突变类型包括碱基的颠换、转换、缺失、插入, 在检测到的 159 个碱基突变中, 单碱基置换的频率(61.01%)高于碱基插入或者缺失的频率(38.99%), 在碱基置换中, 转换的频率(44.65%)是颠换频率(16.35%)的 2.7 倍, 其中 C/T 之间的转换所占比例最大, A→G 和 A→T 也具有较高的替换频率; 构成 DNA 的 4 种碱基均可以被离子束辐照诱变发生变异, 除了没有 C→G 的置换外, 每一种碱基都可以被其他的几种碱基所置换, 但是胸腺嘧啶(T)具有较高的辐射敏感性。通过对碱基突变位点周边序列的分析发现, 嘌呤突变位点的周围嘌呤碱居多, 嘧啶突变位点的周围嘧啶碱居多。研究结果为揭示低能离子注入诱变作用分子机理提供了依据。

关键词: 白洋淀红莲; 离子注入; RAPD; 特异片段; 序列分析

Preliminary study on molecular mechanism of lotus mutants induced by ion implantation

DENG Chuan-Liang¹, JIA Yan-Yan¹, REN Ying-Xue¹, GAO Wu-Jun¹, ZHANG Tao², LI Peng-Fei³, LU Long-Dou¹

1. College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;
2. Beijing Normal University (Beijing Radiation Center), Beijing 100875, China;
3. Lotus Pond Park of Beijing City, Beijing 100055, China

Abstract: Ion implantation, as a new biophysically mutagenic technique, has shown a great potential for horticultural plant breeding. Up to date, little is known about the mutation mechanism of ion implantation at the DNA level. To reveal the mutation effect of Fe^+ ion implantation on Baiyangdian red lotus, the random amplified polymorphic DNA (RAPD) was used, and then the bands of mutants and the control in the radiation-sensitive sites were cloned to be sequenced for comparing their DNA sequences. The results indicated that the total base mutation rate of mutants was 0.87%, and there was dif-

收稿日期: 2010-07-18; 修回日期: 2010-10-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 30970211), 河南省重点攻关项目(编号: 102102310021)和河南师范大学生命科学学院与北京辐射中心合作项目资助

作者简介: 邓传良(1975-), 男, 副教授, 研究方向: 植物遗传学。E-mail: dcl75@163.com

贾彦彦(1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 植物遗传学。E-mail: j.y.girl-88@163.com

通讯作者: 卢龙斗(1954-), 男, 教授, 研究方向: 植物遗传学。E-mail: lld5910@yahoo.com.cn

ferent in the six mutants. The types of base changes included base transition, transversion, deletion, and insertion. Among the 159 base changes detected, the frequency of single base substitutions (61.01%) was higher than that of base deletions and insertions (38.99%), and the frequency of base transitions (44.65%) was 2.7 times of that of the base transversions (16.35%). The transitions between C and T accounted for largest proportion, A→G transitions and A→T transversions were also present at high frequency. Adenine, thymine, guanine or cytosine could be replaced by any of other three bases, except that there was no C → G substitution. However, thymine was more sensitive to the irradiation than other bases. In our study, we found many purine bases around the purine mutational sites, and many pyrimidine bases around the pyrimidine mutational sites. These will further help us to understand the mechanism of mutagenesis by ion implantation.

Keywords: Baiyangdian red lotus; ion implantation; RAPD; specific fragment; sequence analysis

莲花(*Nelumbo nucifera*), 又名荷花, 为睡莲目睡莲科莲属宿根水生草本花卉, 是中国的传统名花和重要的经济植物。莲属在中国是最具特色, 栽培面积最大, 品种资源最丰富的水生经济作物^[1]。研究发现莲藕营养丰富, 全身是宝, 用途极广。在食用、药用、美容健美、美化绿化、轻工和外贸加工出口创汇等方面有巨大的潜力^[2]。

目前, 有不少学者致力于莲花分子细胞遗传学方面的研究。利用RAPD、ISSR、AFLP、SRAP等遗传标记技术对莲的研究已经相继报道, 在分子水平上对不同莲属品种的遗传多样性进行了分析, 并用聚类分析对它们的亲缘关系进行了初步认定^[3~7]; 也有一些学者通过对莲藕染色体上荧光原位杂交方法的研究, 得到了一种适合于莲的高效荧光原位杂交方法, 为莲的分子细胞遗传学研究提供了技术上的帮助^[8]。

离子注入技术用于生物诱变育种, 是近年来兴起的一项生物育种新技术。有关资料表明, 离子注入诱变育种, 具有变异率高、变异谱宽、易稳定等优点。离子注入诱变育种已经在农作物、观赏植物、药用植物以及微生物上得到了广泛应用^[9], 并且已经有学者利用RAPD和AFLP等分子标记技术对这些变异品种及正常品种进行了比较分析, 结果显示: 离子注入确实诱发基因组DNA发生了变异^[10~16]。已经有学者将离子注入技术应用到了莲花品种中, 但目前在分子水平上对离子注入莲花突变体的研究几乎是空白。

RAPD是在 20 世纪 90 年代初Williams等^[17]及Welsh等^[18]创立, 在对基因组进行分析时, 操作简单, 所需DNA量少, 其引物没有特异性, 不受环境条件和表达产物显隐性的影响; 当基因组发生突变、插入、缺失等引起RAPD引物结合位点的变化时,

RAPD可以快速直接地显示出DNA水平上的差异。因此, RAPD技术是检测基因组DNA发生诱变的一种简便、有效的方法。

本实验利用 RAPD 技术对同一剂量处理的离子注入莲花突变体和对照基因组进行扩增, 回收克隆辐照敏感位点的条带, 用 DNAMAN 软件对其测序结果进行分析, 为离子注入莲花突变体的检测提供分子水平上的依据, 并为进一步探讨离子注入诱变机理奠定基础。

1 材料和方法

1.1 实验材料

白洋淀红莲于 2005 年 12 月进行离子注入, 以未经处理的同一品种为对照。处理和对照各 100 粒种子, 离子种类 Fe^+ , 能量 2MeV, 注入剂量 1×10^{12} ions/cm²。2006 年 5 月 8 号浸种, 6 月 1 号分粒植于缸内。2006 年开展单株选育试验, 将筛选出的优良变异单株进行自交, 并对表型性状进行观察记载, 以未经离子注入处理的单株为对照。经离子注入后, 单缸种植植株性状变异非常明显, 主要表现在花期、花型和花色, 总变异株数达到 28 株, 变异频率为 28%。2008 年对获取的 10 株 M_2 代个体进行再次自交, 观察性状的稳定性。2009 年选取离子注入诱变并且性状可以稳定遗传的白洋淀红莲突变体(M_3 代): 莲花 1 号, 莲花 2 号, 莲花 3 号, 莲花 4 号, 莲花 5 号, 莲花 6 号及对照(由北京师范大学苏颖研究员提供)作为本次实验材料。

1.2 方法

1.2.1 总 DNA 的提取

选择莲花的 6 个突变体及其对照的幼嫩叶片, 用

改良的 2×CTAB法^[3]分别提取各个单株的总DNA, 0.8%琼脂糖凝胶电泳和紫外分光光度计检测其纯度。

1.2.2 RAPD 扩增

PCR 扩增引物购自上海生工生物工程技术有限公司, dNTP Mixture、Mg²⁺、Taq 酶均购自宝生物工程(大连)有限公司。

PCR 扩增体系为: 在 25 μL 反应体系中含双蒸水 17.1 μL, 10×buffer (Mg²⁺Free) 2.5 μL, dNTP Mixture 1 μL (各 2.5 mmol/L), Mg²⁺ 2 μL (25 mmol/L), Taq 酶 0.4 μL (5 U/μL), 引物 1 μL (10 μmol/L), 1 μL 的基因组 DNA(约 40 ~ 80 ng)。反应程序: 94℃预变性 5 min; 94℃ 30 s, 36℃ 60 s, 72℃ 2 min , 40 个循环; 最后 72℃再延伸 10 min。

1.2.3 扩增产物的回收

将样品用 2.0%的琼脂糖凝胶电泳后, 于紫外灯下观察, 切下尽可能小的含有目的 DNA 的凝胶块, 放入 1.5 mL 离心管中进行回收, 回收步骤参考所用 UNIQ-10 DNA 凝胶回收试剂盒(购自上海生工生物工程技术有限公司)的说明书。取少量回收后的产物电泳估计浓度。

1.2.4 回收片段的克隆、测序及序列比对

将纯化好的目的 DNA 连接到 pMD19-T 载体 (TaKaRa 公司), 转入感受态大肠杆菌 *E.coli* DH5α 中, 随机挑取 10 个克隆用于 PCR 检测, 若有条带, 且大小与预期相符, 则说明克隆成功。每个条带挑取 3 个重复克隆, 由上海生工生物工程技术有限公司

司测序。用软件 DNAMAN 对测序的结果进行比对。

2 结果与分析

2.1 RAPD扩增

用 2×CTAB 法提取到了较好的莲花总 DNA, 可以用于 PCR 扩增。以 6 个突变体和对照的总 DNA 为模板, 用 110 条随机引物进行扩增, 筛选出 10 条具有特异条带的引物, 即 S1339、S2083、S2068、S1500、S1368、S1163、S1155、S503、S411、S2112(引物序列见表 1), 引物多态性为 9.09%, 扩增条带大小在 200~2 000 bp 之间。这 10 条引物扩增出的结果显示: 突变体材料扩增出的条带与对照相比, 出现了一些辐照敏感位点, 主要表现为扩增片段的减少和增加, 扩增片段长度的变化, 以及扩增谱带颜色深浅的变化, 这些结果在一定程度上表明 Fe⁺离子注入白洋淀红莲种子可导致基因组 DNA 发生突变。部分引物的扩增结果见图 1。

表 1 扩增出特异条带的 RAPD 随机引物

引物编号	引物序列(5' 3')
S411	GTCCACTGTG
S503	ACACAGAGGG
S1155	GAAGGCTCCC
S1163	GTAAGGCGCA
S1339	CCCTGTGCGA
S1368	TCGCTCGTAG
S1500	CTCCGCACAG
S2068	CATACGGGCT
S2083	TGGACTCGGT
S2112	CTTCGCTGTC

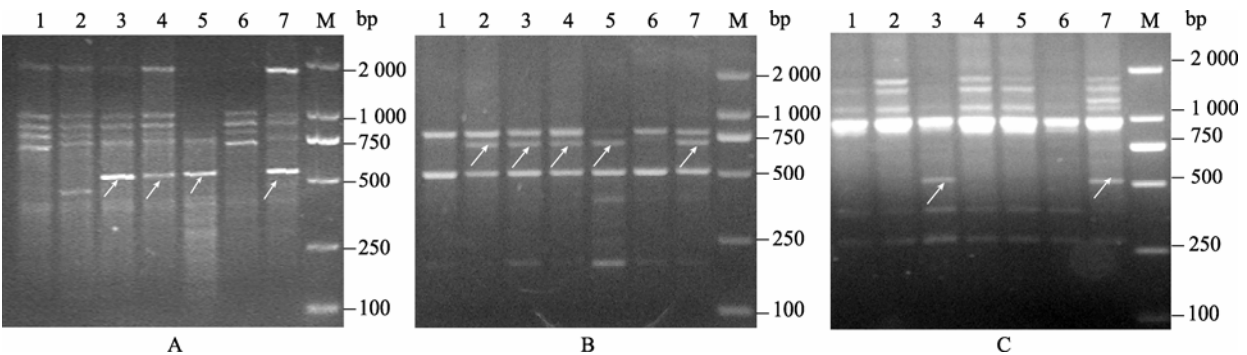


图 1 白洋淀红莲及其 6 个突变体的 RAPD 图谱比较

A: 引物 S2068 的扩增结果; B: 引物 S1339 的扩增结果; C: 引物 S503 的扩增结果。1: 莲花 1 号; 2: 莲花 2 号; 3: 莲花 3 号; 4: 莲花 4 号; 5: 莲花 5 号; 6: 莲花 6 号; 7: 对照。箭头所示为克隆的目的条带。

2.2 序列分析

为了研究低能 Fe^+ 离子注入白洋淀红莲诱导的突变体基因组 DNA 序列变化及碱基突变的类型及特点, 我们用 DNAMAN 软件将对照及突变体测序的结果进行序列比对, 并对序列变化位点、类型进行了统计, 如表 2~9 所示。

由表 2~9 可知: 克隆的突变体 RAPD 条带与克隆的对照 RAPD 条带相比, 总的 18 377 个碱基中,

共有 159 个位点发生了碱基突变, 碱基变异率为 0.87%; 莲花 1 号克隆出的 2 257 个碱基中, 18 个位点发生了碱基突变, 碱基变异率为 0.80%; 莲花 2 号克隆出的 3 530 个碱基中, 20 个位点发生了碱基突变, 碱基变异率为 0.57%; 莲花 3 号克隆出的 5 354 个碱基中, 86 个位点发生了碱基突变, 碱基变异率为 1.61%; 莲花 4 号克隆出的 2 199 个碱基中, 碱基突变位点为 12 个, 碱基变异率为 0.55%; 莲花 5 号克

表 2 S1339 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	32 位	140 和 141 位	164 位	319 位	364 位	399 位
对照(693 bp)	T	TT	T	C	A	C
1339-2(693 bp)	A	缺失	C	C	A	T
1339-3(693 bp)	T	TT	C	C	G	T
1339-4(693 bp)	T	TT	C	A	A	T
1339-5(693 bp)	T	TT	T	C	A	T

表 3 S2068 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	43 位	60 位	75 位	113 位	128 位	297 位	357 位
对照(546 bp)	T	A	T	T	T	T	T
2068-3(546 bp)	A	A	T	T	T	T	C
2068-4(546 bp)	T	T	C	C	C	C	T
2068-5(546 bp)	T	A	T	T	T	T	T

表 4 S2083 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	63 位	102 位	104,105 位	111 位	254 位	304 位	348 位	351 位
对照(384 bp)	A	A	TT	C	T	A	A	T
2083-1(382 bp)	G	A	缺失	T	C	A	A	C
2083-2(384 bp)	A	A	TT	T	T	A	A	T
2083-3(382 bp)	G	T	缺失	T	C	G	A	C
2083-4(382 bp)	G	A	缺失	T	C	A	G	C
2083-5(384 bp)	G	A	TT	T	C	A	A	C

表 5 S1368 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	93 位	138 位	232 位	234 位	257 位	420~437 位	501 位	669 位	721 位
对照(795 bp)	缺失	A	T	缺失	G	TGGTGGTGAGCTACCTAG	G	G	A
1368-3(779 bp)	A	G	C	A	T	缺失	C	T	C

表 6 S1500 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	133 位	149 位	173 位	180 位	201 位	297 位	359 位	366 位	484 位	629 位	642 位	783 位	918 位	936 位	942 位
对照(960 bp)	T	C	A	A	T	T	A	A	T	C	G	T	A	C	缺失
1500-1(959 bp)	T	T	T	A	C	T	缺失	A	T	T	A	T	A	C	T
1500-2(960 bp)	T	T	T	A	T	C	A	A	C	T	A	缺失	A	C	T
1500-3(960 bp)	C	T	T	T	T	T	A	A	T	T	A	T	A	T	T
1500-5(960 bp)	T	T	T	A	T	T	A	G	T	T	A	T	A	C	T
1500-6(960 bp)	T	T	T	A	T	C	A	A	T	T	A	T	缺失	C	T

表 7 S1155 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	24 位	86 位	97 位	125 位	220 位	256 位	490 位	555 位	725 位	789 位	870 位
对照(917 bp)	C	缺失	A	T	G	C	C	A	A	A	A
1155-1(916 bp)	T	缺失	G	T	G	T	C	缺失	G	A	T
1155-2(916 bp)	T	缺失	A	T	G	T	T	缺失	A	G	T
1155-3(917 bp)	T	C	A	G	A	T	T	缺失	A	A	T
1155-6(916 bp)	T	缺失	A	T	G	T	C	缺失	A	A	T

表 8 S503 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	12 位	14 位	18~38 位	42 位	132 位	242 位	489 位	491 位	494~498 位
对照(520 bp)	G	A	AGGAGATAGTGAAATATGATC	A	T	G	T	A	TTGG
503-3(499 bp)	A	G	缺失	G	C	A	A	T	GGTT

表 9 S411 序列比对结果

突变体 \ 突变位点	559 位
对照(578 bp)	T
411-2(578 bp)	T
411-3(578 bp)	C
411-4(578 bp)	T
411-5(578 bp)	T

隆出的 3 161 个碱基中, 碱基突变位点位 12 个, 碱基变异率为 0.38%; 莲花 6 号克隆出的 1 876 个碱基中, 碱基突变位点为 11 个, 碱基变异率为 0.59%。由于突变体与对照的所有实验条件都一样, 排除一些 PCR 反应条件和测序误差的影响, 我们可以初步认为离子注入白洋淀红莲突变体与对照相比, 确实在 DNA 序列上发生了变异。

2.3 突变体DNA碱基变异情况分析

克隆的莲花突变体序列与克隆的对照序列相比, 共有 159 个位点发生了碱基突变, 碱基突变类型见表 10。由表 10 可知: 碱基突变类型包括碱基的颠换、转换、缺失、插入, 其中单碱基置换的频率(61.01%)高于碱基插入和缺失的频率(38.99%)。在碱基置换中, 转换的频率(44.65%)是颠换频率(16.35%)的 2.7 倍。构成 DNA 的 4 种碱基均可以被离子注入诱变发生变异, 除了没有 C→G 的置换外, 每一种碱基都可以被其他的几种碱基所置换, 其中 C/T 之间的转换所占比例最大, A→G 和 A→T 也具有较高的替换频率。腺嘌呤(A)发生变异 47 次(包括 18 次缺失和 2 次插入突变), 鸟嘌呤(G)发生变异 26 次(包括 13 次缺失突变), 胞嘧啶(C)发生变异 36 次(包括 4 次缺失和 1 次插入突变), 胸腺嘧啶(T)发生变异 50 次(包括

19 次缺失和 5 次插入突变), 相对而言, 胸腺嘧啶(T)具有更高的辐射敏感性。

分析 159 个碱基突变位点的周边序列发现, 嘌呤突变位点的周围嘌呤碱居多, 嘧啶突变位点的周围嘧啶碱居多。

表 10 莲花突变体 DNA 碱基突变的类型

碱基突变的类型	发生次数	突变频率(%)
碱基置换	97	61.01
转 换	71	44.65
T C	20	12.58
C T	30	18.87
G A	8	5.03
A G	13	8.18
颠 换	26	16.35
T A	3	1.89
A T	13	8.18
T G	3	1.89
G T	4	2.52
G C	1	0.63
C A	1	0.63
A C	1	0.63
缺 失	54	33.96
-A	18	11.32
-G	13	8.18
-C	4	2.52
-T	19	11.95
插 入	8	5.03
+A	2	1.26
+C	1	0.63
+T	5	3.14
总 计	159	100

3 讨 论

近年来, 对离子注入诱变的材料进行分子方面

的研究相当活跃,已经利用RAPD技术对紫色苜蓿(*Medicago sativa* L.)^[11]、西瓜(*Cucumis melo* L.)^[12]、拟南芥(*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh)^[13]、野牛草(*Buchlo dactyloides* (Nutt.) Engelm.)^[15]等离子注入突变体进行了相关分子生物学研究。他们的研究表明:利用RAPD技术可以为离子诱变育种提供分子上的证据,通过对相关片段的克隆测序,也为离子注入诱发突变的机理提供了实验依据。

RAPD 技术可以简便、有效地检测突变体。但是, RAPD 分析技术容易出现假阳性条带,并且在试验条件不稳定的情况下,其结果重复性较差。在本实验过程中,对试验条件和操作手法进行了严格的控制和规范,并且对条带清晰的引物进行了多次重复,因此,本次 RAPD 分析结果具有一定的可靠性。

白洋淀红莲具有较高的经济价值和观赏价值,本实验以白洋淀红莲为材料,研究了经 Fe^{+} 离子注入诱变的六种突变体和对照基因组之间的差异。RAPD 扩增中出现了扩增片段的减少和增加、扩增片段长度的变化、以及扩增谱带颜色深浅的变化几种情况,这些变化的出现可能是由于离子注入引起了引物结合位点的碱基突变,导致结合位点的减少或增加,从而使扩增片段减少或增加;结合位点间 DNA 的插入或缺失使扩增片段长度发生了相应的变化;多拷贝引物结合位点上某些碱基发生突变,使其与引物结合量减少,造成扩增出的DNA量减少,或者是出现新的扩增片段与原有某条片段具有相似的分子量,从而电泳后出现谱带加深现象^[11,12]。总之,离子注入诱变的分子机理在于使DNA结构中的碱基发生替换、缺失及插入等形式的突变,进而引起诱变的材料发生变异。

通过对此实验中出现的辐照敏感位点处片段的回收克隆测序,及碱基突变类型的分析,发现碱基替换的频率高于缺失和插入突变的频率,在碱基替换中转换所占的比例较高,在缺失突变中,不仅出现了单个碱基的缺失,还出现了小片段的缺失,同时,也发现胸腺嘧啶(T)具有更高的辐射敏感性。这与常凤启^[13]对于低能 N^{+} 辐照拟南芥诱导基因组DNA碱基变异分析中的结果相似。

在本实验中,C/T之间的替换所占比例最大, $\text{A} \rightarrow \text{G}$ 和 $\text{A} \rightarrow \text{T}$ 也具有较高的替换频率。对于发生G/C-A/T转换最简单的解释就是腺嘌呤与胞嘧啶的辐射脱氨基产物错配造成的,而约有一半胞嘧啶的辐射产物是脱氨基作用引起的,这些脱氨基产物可

以作为胸腺嘧啶与腺嘌呤配对而发生错配^[19],离子注入和传统的辐射处理方法:X射线、 γ 射线以及UV等都可以导致A/T-G/C和C/G-A/T的发生。这两种情况的发生与基团脱落(五嘌呤位点或脱氨基)密切相关^[13,20],曾有报道低能离子照射 5'-dTTP时会发生脱磷和脱碱基现象^[21],因此,基团脱落可能是低能离子注入诱发碱基突变的重要原因之一;对于A \rightarrow T之间的颠换,能引起此类颠换的诱变剂很少,只有部分烷化剂才有,而在 Fe^{+} 离子注入诱变中却出现了较高的频率,并且发现其两侧的碱基以嘧啶碱居多,在发生A \rightarrow T颠换的 13 个位点中,两侧碱基都为嘧啶碱的比例占 76.92%,其原因还有待于进一步探索。

通过对碱基突变位点的周边序列分析,发现嘌呤突变位点的周围嘌呤碱居多,嘧啶突变位点的周围嘧啶碱居多,这一结果与张根发^[14]的研究结果相似。这说明 Fe^{+} 离子注入诱发的突变可能存在着突变热点,为进一步探讨离子注入的诱变机制奠定了基础。

参考文献(References):

- [1] 柯卫东,李峰,刘玉平,孙冰.我国莲资源及育种研究综述(上).长江蔬菜,2003,(4):5-9. [\[DOI\]](#)
- [2] 周明全,何建君,胡中立.湖北莲藕产业发展的若干设想及建议.氨基酸和生物资源,2002,24(4):22-24. [\[DOI\]](#)
- [3] 郭宏波,柯卫东,李双梅,彭静.不同类型莲资源的RAPD聚类分析.植物遗传资源学报,2004,5(4):328-332. [\[DOI\]](#)
- [4] 汪岚,韩延闯,彭欲率,滕彩珠,周明全,胡中立,宋运淳.ISSR标记技术在莲藕遗传研究中的运用.氨基酸和生物资源,2004,26(3):20-22. [\[DOI\]](#)
- [5] 彭欲率,韩延闯,汪岚,滕彩珠,周明全,胡中立,宋运淳.应用AFLP技术检测莲藕遗传多样性的初步研究.分子植物育种,2004,2(6):823-827. [\[DOI\]](#)
- [6] 瞿桢,魏英辉,李大威,肖丽丹,徐金星,谢克强,周明全,胡中立.莲品种资源的SRAP遗传多样性分析.氨基酸和生物资源,2008,30(3):21-25. [\[DOI\]](#)
- [7] Han YC, Teng CZ, Chang FH, Robert GW, Zhou MQ, Hu ZL, Song YC. Analyses of genetic relationships in *Nelumbo nucifera* using nuclear ribosomal ITS sequence data, ISSR and RAPD markers. *Aquat Bot*, 2007, 87: 141-146. [\[DOI\]](#)
- [8] 刁英.莲藕染色体上荧光原位杂交方法的初探.氨基酸和生物资源,2004,26(2):23-25. [\[DOI\]](#)
- [9] 王庆,庞长民,刘安成,张瑞博.离子束生物技术应用研究进展.陕西林业科技,2008,(4):71-75. [\[DOI\]](#)
- [10] 丁亮,陈睦传,沈明山,徐金森,蒋先志,陈亮,舒世珍,陆挺. RAPD分析氮离子注入甜菊种子后的幼苗基因组DNA变异.生物物理学报,1999,15(4):798-803. [\[DOI\]](#)
- [11] 陈若雷,宋道军,余增亮,李玉峰,梁运章. RAPD分析 N^{+} 注入紫花苜蓿种子后幼苗基因组DNA变异.高技术通讯,2001,11(11):12-16. [\[DOI\]](#)
- [12] 陈若雷,宋道军,李玉峰,吴李君,余增亮.低能 N^{+} 离子束注入西瓜种子引起的变异及后代基因组的RAPD分析.激

- 光生物学报, 2002, 11(1): 75–78. [\[DOI\]](#)
- [13] 常凤启, 刘选明, 李银心, 贾庚祥, 马晶晶, 刘公社, 朱至清. 低能 N^+ 辐照拟南芥诱导基因组DNA碱基变异分析. 中国科学(C辑), 2003, 33(2): 117–124. [\[DOI\]](#)
- [14] 张根发, 聂艳丽, 石小明, 梁前进, 王纯, 张飞雄. 低能离子注入拟南芥DNA变异的AFLP检测及差异片段的序列分析. 遗传学报, 2004, 31(9): 1021–1021. [\[DOI\]](#)
- [15] 肖尊安, 武菊英, 孙振元. 低能碳离子注入野牛草种子的变异分析. 北京师范大学学报(自然科学版), 2004, 40(4): 518–523. [\[DOI\]](#)
- [16] 余丽霞, 李文建, 董喜存, 周利斌, 马爽. 碳离子辐射大丽花矮化突变体的RAPD分析. 核技术, 2008, 31(11): 830–832. [\[DOI\]](#)
- [17] Williams JG, Kubelik AR, Livak KJ, Rafalski JA, Tingey SV. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res*, 1990, 18(22): 6531–6535. [\[DOI\]](#)
- [18] Welsh J, McClelland M. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Res*, 1990, 18(24): 7213–7218. [\[DOI\]](#)
- [19] Tindall KR, Stein J, Hutchinson F. Changes in DNA base sequence induced by gamma-ray mutagenesis of Lambda Phage and Prophage. *Genetics*, 1988, 118(4): 551–560. [\[DOI\]](#)
- [20] 杨剑波, 吴李君, 李莉, 吴家道. 离子束辐照M13mp18DNA(RFI)诱导 *lacZ* 突变的序列分析. 中国科学(B 辑), 1995, 25(12): 1273–1278. [\[DOI\]](#)
- [21] Shao CL, Yu ZL. Research into releasing inorganic phosphate and base from 5'-dTTP irradiated by a low energy ion beam. *Radiat Physics Chem*, 1994, 44(6): 651–654. [\[DOI\]](#)

2010 年《遗传》审稿专家名单

2010 年, 有 450 余位专家协助《遗传》审稿。现将 2010 年度参加审稿的专家名单予以公布, 以示谢意!

安调过	白逢彦	白 静	白秀娟	白艳玲	包满珠	包其郁	包文斌	包振民	鲍时来	鲍晓明	毕利军	毕玉平	才宏伟
蔡得田	蔡志明	曹贵方	曹祥荣	曹晓风	曹宗富	柴 敏	常重杰	陈大华	陈大洲	陈 凡	陈范骏	陈 放	陈宏权
陈金中	陈科力	陈克平	陈宽维	陈 坤	陈立国	陈丽娜	陈 念	陈庆山	陈晓静	陈信波	陈 雁	陈玉林	陈月琴
陈照丽	程安春	程汉华	程在全	程治军	程祝宽	丛维涛	丛羽生	崔继哲	代应贵	邓志辉	董长征	杜炳旺	杜少陵
杜卫东	杜卫华	段康民	樊 红	范礼斌	范双喜	方福德	房静远	冯建灿	冯 永	付凤玲	傅彬英	傅永福	傅正伟
富伟能	高彩霞	高 飞	高会江	高晓彩	高 旭	葛少钦	龚朝辉	苟克勉	顾明亮	顾鸣敏	顾 蔚	管 峰	郭长虹
郭建英	郭俊明	郭 宁	郭旺珍	郭新红	郭奕斌	韩春生	韩方普	韩建林	韩敬东	韩凌霄	何光存	何光华	何俊琳
何 群	何瑞锋	何舜平	何奕昆	何玉科	何中虎	贺 光	贺雄雷	贺竹梅	侯岁稳	胡建广	胡文革	胡晓湘	胡玉欣
华进联	华学军	滑国华	黄百渠	黄 辰	黄代新	黄京飞	黄青阳	黄 原	黄 粤	黄占景	霍克克	贾 斌	贾孟春
贾 青	贾士荣	姜 森	姜运良	蒋玮莹	蒋永清	焦仁杰	焦新安	金 锋	金海国	金润铭	景 强	景蕊莲	瞿礼嘉
康现江	康向阳	康振生	孔秀英	赖松家	雷明刚	李长岭	李成奇	李大金	李冬娜	李 凡	李海燕	李洪义	李 华
李剑虹	李 杰	李金泉	李 磊	李 力	李 岭	李 明	李木旺	李秋莉	李仕贵	李思发	李锁平	李 涛	李铁民
李伍举	李校堃	李新海	李学伟	李雅轩	李 瑶	李银心	李永春	李玉玲	李越中	李再云	李赞东	连林生	连正兴
梁国华	梁景青	梁康逢	梁前进	林凤娟	林秀坤	刘 榜	刘本叶	刘丑生	刘楚吾	刘 娣	刘 峰	刘 钢	
刘关君	刘桂丰	刘国世	刘国艺	刘国振	刘合焜	刘红林	刘焕章	刘进元	刘静宇	刘 立	刘利英	刘录祥	刘木根
刘 鹏	刘清波	刘庆昌	刘 爽	刘维瑜	刘伟华	刘文玲	刘文忠	刘小林	刘学群	刘用生	刘忠华	刘忠权	柳 楠
柳小春	卢宝荣	卢欣石	鲁 成	鲁绍雄	鲁迎青	吕 申	吕占军	罗 阳	罗 瑛	马 端	马恩波	马厚勋	马克学
马旭东	马月辉	马正强	芒 来	毛 龙	孟 和	孟庆文	孟庆勇	苗向阳	闵令江	聂品	潘 登	潘 杰	潘庆华
潘庆杰	潘沈元	潘星华	潘学峰	庞卫军	庞有志	彭宣宪	祁晓廷	钱 程	秦海霞	秦宏敏	秦巧平	邱长春	全迎春
任 军	任晓慧	任兆瑞	邵根宝	邵宏波	邵 群	余朝文	沈春梅	沈 伟	沈文洁	石春海	石美森	石铁流	史宏伟
寿森炎	舒跃龙	司龙亭	宋林生	宋文芹	苏长青	苏 瑛	苏永全	孙君明	孙振兴	谭 铮	汤赛君	陶跃之	滕俊琳
滕 应	田大成	田 云	童金苟	汪亚平	王傲雪	王长法	王 栋	王 罡	王恒樑	王红艳	王继文	王嘉福	王建波
王建康	王绿娅	王宁宁	王 柠	王启贵	王日昕	王天宇	王 艇	王兴智	王秀杰	王秀利	王绪敏	王亚军	王亚平
王义琴	王翼飞	王应雄	王 瑛	王永飞	王永红	王幼平	王玉凤	吴建国	吴建平	吴建新	吴克复	吴若菁	吴小锋
吴孝兵	吴星伟	吴玉萍	伍晓明	夏庆友	夏新莉	肖兵南	肖国樱	谢传晓	谢先芝	谢 毅	邢沈阳	邢秀梅	徐刚毅
徐国良	徐吉臣	徐家萍	徐建龙	徐明良	徐湘民	徐云远	许强华	许尚忠	薛红卫	薛慧良	薛 雷	薛庆中	严卫丽
阎春霞	杨 光	杨光圣	杨焕民	杨 晖	杨建平	杨金水	杨康鹏	杨利国	杨述华	杨武德	杨 元	杨悦俭	杨章平
姚永刚	叶棋浓	叶兴国	叶 星	易著文	于黎	于丽杰	余懋群	余 鹰	俞 雁	俞 英	喻子牛	袁世山	袁秀云
袁育康	岳 颖	曾 辉	曾宪录	曾勇庆	翟光华	张成岗	张崇本	张海燕	张红卫	张利生	张令强	张 敏	张绮纹
张如旭	张淑君	张西臣	张细权	张宪省	张相歧	张晓光	张新全	张秀军	张学勇	张 勇	张智英	张祖新	章元明
赵德明	赵团结	赵彦艳	赵志辉	郑炳松	郑 英	郑志红	周道绣	周伏圣	周国华	周欢敏	周建光	周克元	周明东
朱宝利	朱猛进	朱 庆	朱新宇	朱有勇	庄东红	邹曙明	邹珍友	左 伋	左先波				