

文章编号:1000 - 0615(2004)05 - 0481 - 06

中国鲤几个代表种群基因组 DNA 遗传多样性分析

常玉梅^{1,2}, 孙效文¹, 梁利群¹

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:中国鲤具有悠久的养殖历史和重要的经济价值,无论是天然种群还是养殖品种,年产量远超过其它鱼类。近几十年来,养殖新品种的开发获得成功,大大提高了产量,改善了品质。但是由于盲目的开发利用,许多重要的鲤养殖种类的种质资源遭到破坏。“江西三红”(*Cyprinus carpio* var. *xingguonensis*、*Cyprinus carpio* var. *wuyuanensis*、*Cyprinus carpio* var. *wananensis*)、黄河鲤 (*Cyprinus carpio* var.) 和黑龙江野鲤 (*Cyprinus carpio haematopterus*) 是中国鲤几个具有代表性的养殖品种和野生种,在我国鲤鱼遗传育种研究中均占有非常重要的地位。应用第二代分子标记,即微卫星标记 (microsatellite) 84 个,对以上 5 个具有代表性的中国鲤进行了全基因组 DNA 检测。结果表明,当退火温度提高至 60 时,有 43 对标记引物扩增出清晰的条带,其中有 14 对在群体间呈现多态性,扩增等位基因位点为 2~4 个。微卫星座位 MFW4, MFW19, MFW23 和 MFW26 在群体内显示了高度的多态性,扩增等位基因位点为 7~13 个。统计实验结果发现,“江西三红”3 个品种间遗传差异较小,兴国红鲤和荷包红鲤的亲缘关系较近 (0.93); 属于同一亚种不同地理种群的黄河鲤和黑龙江野鲤具有较高的遗传相似性 (0.89)。另外,根据微卫星多态性分析结果,探讨了这 5 种鲤的遗传多样性。

关键词:江西三红;黄河鲤;黑龙江野鲤;微卫星标记;遗传多样性

中图分类号: S917 **文献标识码:** A

Genetic diversity analysis of genomic DNAs of several representative populations of common carp in China

CHANG Yu-mei^{1,2}, SUN Xiao-wen¹, LIANG Li-qun¹

(1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;

2. College of Aquaculture Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: China carps have culturally long history and economically important values. Its annual yield is far more than those of other fishes. Recent decades, many innovate breeds have been exploited successfully, greatly increasing production and improving attribute. *Cyprinus carpio* var. *xingguonensis*, *Cyprinus carpio* var. *wuyuanensis*, *Cyprinus carpio* var. *wananensis*, called Three Kinds of Red Carp in Jiangxi Province, along with *Cyprinus carpio haematopterus* and *Cyprinus carpio* var. are typical cultural varieties and wild species in China, which play a prominent role in fish genetic breeding. The second molecular markers, called microsatellite markers about 84 were applied to detect genomic DNAs for the fishes above mentioned. As a result, there are 43 pairs of primers that can amplify clear bands when the annealing temperature risen to 60, of which 14 markers display polymorphisms between populations, which possess 2 - 4 allelic sites. Further, microsatellite loci MFW4,

收稿日期:2003-02-24

资助项目:中国水产科学研究院基金(2001 - 3 - 3)

作者简介:常玉梅(1978 -),女,内蒙古阿拉善盟人,研究方向为水产动物种质资源与遗传育种。E-mail: ymchang2002 @sohu. com, Tel:0451 - 8486314

MFW19, MFW23 and MFW26 express individual polymorphisms within populations, which have 7 - 13 allelic sites. The data collected indicate that there is slight difference in three kinds of red carp in Jiangxi province, of which *Cyprinus carpio* var. *xingguonensis* and *Cyprinus carpio* var. *wuyuanensis* are closer in genetic relationship (0.93). Again, there is a higher genetic similarity between *Cyprinus carpio* var. and *Cyprinus carpio haematopterus* (0.89), demonstrating that they belong to the same sub-species. According to these results obtained from microsatellite markers, genetic diversity of 5 carps is discussed.

Key words: three kinds of red carp in Jiangxi Province; *Cyprinus carpio* var.; *Cyprinus carpio haematopterus*; microsatellite marker; genetic diversity

生活在黄河流域和黑龙江流域的鲤,在分类上属于同一亚种的不同地理种群^[1]。“江西三红”是指兴国红鲤、荷包红鲤与玻璃红鲤,均产于江西省,且体色为橘红色,因此而得名。“江西三红”是经长期人工选育而培育成的形态特征显著和遗传性状稳定的3个养殖品种^[2]。上述这5种鱼类,无论是野生种还是养殖品种,在我国鲤鱼遗传育种研究中均占有非常重要的地位。如孙效文等用黑龙江野鲤和柏氏鲤的杂交子二代单倍型构建了世界上第一张鲤连锁图谱^[3];朱作言等将“全鱼”生长激素基因导入黄河鲤中,研究探讨了转基因鱼的可能性^[4];“江西三红”作为重要的杂交亲本,容易与其它鲤杂交,杂种优势明显。如丰鲤(兴国红鲤×散鳞镜鲤),荷元鲤(荷包红鲤×元江鲤)等^[5]。

微卫星标记是具有高度多态性的分子标记,它是指以少数几个核苷酸(1~6个)为单位,多次重复的简单序列,其中以双核苷酸重复最为常见。目前,微卫星标记的鉴定在哺乳类、鸟类、植物及鱼类中多有文献报道。鱼类遗传分子标记的研究中,微卫星标记已在大西洋鲑(*Salmo salar*)、斑马鱼(*Brachydanio rerio*)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和鲤(*Cyprinus carpio*)等均有报道^[6,7]。本文搜集已报道的鲤微卫星标记引物84对,对我国具有代表性的5种鲤的群体基因组DNA样品进行扫描,并在以往报道的基础上,将PCR程序进一步优化,获得了较为满意的结果。

1 材料与方法

1.1 材料来源

黑龙江野鲤(11尾)鳍条样品采自黑龙江抚远江段,黄河鲤(6尾)采自宁夏水产研究所,“江西三红”肌肉组织(各12尾)由上海水产大学楼允

东教授提供。参考实验鱼,柏氏鲤(*Cyprinus pellegrini pellegrini*)(6尾)采自云南江川养殖场,同上述鲤属于不同的种。

1.2 试剂和仪器

单核苷酸(dNTP),DNA分子量标准样品均为TaKaRa公司产品,Taq酶为本实验室自制,微卫星标记引物(表1)由上海生工合成,其它试剂均为国产分析纯试剂。DNA扩增仪为PE公司9600型和9700型,电泳仪为LKB公司2301型,凝胶成像系统为UVP公司GDS8000。

1.3 基因组DNA的提取

剪取上述6种鲤鱼的鳍条或肌肉组织约0.3g,加入300μL DNA提取裂解液(成分:10mmol·L⁻¹ EDTA, 200μg·mL⁻¹ proteinase K, 0.5% sarcosyl)于50℃消化2~3h,95℃灭活蛋白酶K 5min,加入等体积的饱和酚:氯仿:异戊醇(体积比为25:24:1)缓慢抽提20min,12000×g离心5min,吸取上清,再用等体积的饱和酚:氯仿:异戊醇抽提一次,吸取上清后,加入2.5倍体积的预冷无水乙醇,15000×g离心10min,再用预冷的70%乙醇洗涤两次,于室温干燥,并加入适量的1/10TE(10mmol·L⁻¹ Tris-HCl pH 8.0, 1mmol·L⁻¹ EDTA pH 8.0)溶解,于4℃保存备用。

1.4 PCR反应及产物的分离

PCR反应液含有50mmol·L⁻¹ KCl, 10mmol·L⁻¹ Tris-HCl pH 8.0, 1.5mmol·L⁻¹ MgCl₂, 100μg·mL⁻¹的明胶,4种dNTP 100μmol·L⁻¹,顺反引物终浓度为0.25μmol·L⁻¹,Taq酶(本实验室自制)1μL,模板0.1μg(各种鲤群体基因组DNA混合样),反应总体积25μL。PCR扩增在PE 9600和9700上进行,反应条件为:94℃预变性3min,之后93℃30s,60℃30s,72℃30s,共40个循环,最后72℃延伸5min。微卫星标记引物扩增产物用2%琼脂糖凝胶电泳分离,0.5μg·mL⁻¹ EB染色

后用 GDS8000 (UVP 公司) 凝胶成像系统进行观察拍摄,并用 GelWorks 1D 软件包(3.00 版本)对每组扩增带 DNA 含量进行估算。

1.5 数据处理

根据微卫星多态性分析结果计算每个座位的等位基因频率,再计算鲤 5 个种的群体间相似系数和标准遗传距离^[8]。

2 结果

2.1 微卫星标记引物扩增结果

用 84 对微卫星标记引物对 6 种鲤的基因组 DNA 进行 PCR 多态性引物筛选。作者在以往文献报道的基础上,对 PCR 扩增条件进行了优化,使退火温度由 50 - 55 - 60 递增,对比分析实验结果发现,将退火温度提升到 60 ,扩增条带清晰,重复性好。其中有 43 对微卫星标记引物扩增出清晰的条带,并且在这 6 种鲤群体基因组 DNA 中呈现“强弱和有无”的变化(图 1)。在这 43

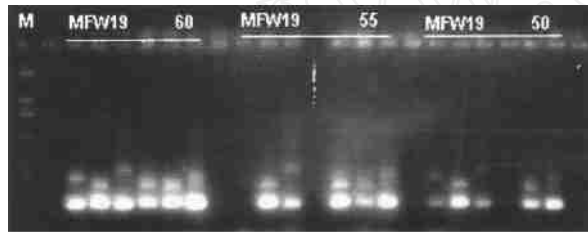


图 1 MFW19 对鲤 6 个种在不同复性温度的 PCR 结果

Fig.1 PCR results of 6 kinds of carps at different temperatures amplified by primer MFW19

M:分子量标记;从左 - 右依次为:柏氏鲤,野鲤,兴国红鲤,荷包红鲤,玻璃红鲤,黄河鲤

M: standard molecular weight; From left to right: *C. pellegrini pellegrini*, *C. c haematopterus*, *C. c var. xingguonensis*, *C. c var. wuyuanensis*, *C. c var. wananensis* and *C. c var.*

对引物中,14 对在群体间呈现多态性,每个微卫星标记产生的等位位点在 2 ~ 4 个之间(表 1)。其中 MFW4、MFW19、MFW23 和 MFW26 在不同群体的随机抽取的个体样品中显示了高度的多态性(图 2)获得的等位基因数分别为 10、13、7 和 7,并且符合孟德尔遗传规律(表 2)。

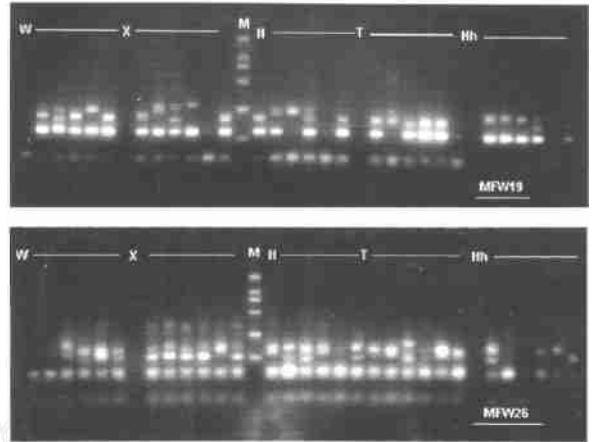


图 2 微卫星标记引物 MFW26 和 MFW19 对鲤 5 个种基因组扩增后所获得的指纹图谱

Fig.2 Genomic fingerprinting patterns of 5 kinds of carps used microsatellite primers MFW26 and MFW19
W: 野鲤; X: 兴国红鲤; H: 荷包红鲤; T: 玻璃红鲤; Hh: 黄河鲤; M: 分子量标准

W: *C. c haematopterus*; X: *C. c var. xingguonensis*; H: *C. c var. wuyuanensis*; T: *C. c var. wananensis*; Hh: *C. c var.* M: standard molecular weight

2.2 数据分析

根据 Nei 指数法^[8]得出 5 种鲤的遗传距离和遗传相似性指数(表 3)。从表 3 可以看出,“江西三红”3 个品种间,兴国红鲤和荷包红鲤的遗传相

表 1 基因组扫描分析所用微卫星标记及其引物

Tab.1 Microsatellite markers and their primers used in genomic scanning

微卫星标记 MS marker	等位基因 alleles	顺向引物 forward primer	反向引物 reverse primer	退火温度() annealing temperature
HLJ001	2	GCTTGATTGCAAGCCAAT	TCCTCGATGGTAGAGGGTTG	60
HLJ003	3	CATAACCGCTCTGCTGAACA	GGCCTTTAGATCAAGGTCAGG	60
HLJ007	2	TCACGGGGGAAA TGTGTTTA	GTGTGTGGTCTCCAAAAG	60
HLJ009	3	GGGGTCTGTGTGTTGGTCTT	CGGGGAAA TGTGTTAAAGT	60
HLJ0013	2	AAAAAGGCTGAAGCAGCAAT	GATCAGCCA TGTCAAGGAAG	60
MFW1	2	GTCACAGCTGTCA TCAGGAG	GAGGTGTACACTGAGTCACGC	60
MFW4	4	FTCCAAGTCAGTTTAA TCACCG	GGGAAGCGTTGAAGAAGC	60
MFW14	2	CAGAAAGCTTCTGAAA TCTGAG	GCGAGAAGATTGATGGACAAC	60
MFW15	2	CTCGTGTTTTGTGTTGTA	GTTTCCAGC	60
MFW18	2	GTCCTGGTAGTGAGTGAGT	GCGTTGACTTGTGTTTACTAG	60
MFW19	4	GAA TCCTCCA TCA TGC	GCACAACTCCACATTGAAC	60
MFW23	3	GTATAA TTGGGATTTTAGGG	CAGGTTTACTATTGGAC	60
MFW26	4	FCCCTGAGATAGAAACCACTG	ACAGTGAGGTCGAAGTCG	60
MFW30	2	GGTCAACAAGTAGTTGTGCAG	CCATCTCTGTCAATTGCAACAG	60

表 2 鲤 5 个种多态性微卫星基因频率

Tab. 2 Allelic frequencies of microsatellite polymorphisms in 5 kinds of carps

微卫星 loci	等位 基因 allele	片段大小 (bp) size	黑龙江野鲤 <i>C. c haematopterus</i>	兴国红鲤 <i>C. c var. xingguonensis</i>	荷包红鲤 <i>C. c var. wuyuanensis</i>	玻璃红鲤 <i>C. c var. wananensis</i>	黄河鲤 <i>C. c var.</i>
MFW4	a	170	0	0.167	0	0	0
	b	164	0	0.083	0	0	0
	c	159	0.167	0.167	0	0	0
	d	154	0.250	0	0.417	0.167	0
	e	149	0.083	0.083	0.083	0.083	0
	f	144	0	0	0	0.417	0
	g	126	0.083	0	0.167	0	0.167
	h	118	0	0	0	0	0.500
	i	111	0.427	0.500	0.250	0.083	0
	j	100	0	0	0	0.167	0.334
MFW19	a	275	0	0.0769	0	0	0
	b	258	0	0.154	0	0	0
	c	242	0.083	0	0	0	0
	d	234	0.083	0.0769	0.231	0	0
	e	203	0.083	0.0769	0	0	0
	f	196	0.083	0	0	0	0.214
	g	189	0.083	0.154	0.231	0.167	0.143
	h	168	0	0	0	0.333	0.0714
	i	144	0.167	0	0	0	0.143
	j	133	0.083	0	0	0	0
	k	123	0.333	0.462	0.534	0	0
l	113	0	0	0	0.500	0	
m	104	0	0	0	0	0.429	
MFW23	a	279	0.083	0	0	0	0
	b	138	0	0.333	0	0	0
	c	126	0.334	0.083	0	0	0
	d	110	0.416	0.250	0.583	0.167	0.083
	e	96	0	0.083	0	0.833	0.0167
	f	74	0.167	0.250	0.417	0	0
	h	59	0	0	0	0	0.750
MFW26	a	175	0	0	0	0.333	0
	b	167	0.125	0.167	0	0	0
	c	153	0	0.083	0.167	0	0
	d	146	0	0.250	0.583	0.167	0.300
	e	139	0	0	0	0.333	0.400
	f	127	0.375	0	0	0.167	0
	g	115	0.125	0.333	0	0	0.200
	h	105	0.375	0.083	0.250	0	0.100

似性程度高(0.93),兴国红鲤和玻璃红鲤次之(0.82),而荷包红鲤和玻璃红鲤最远(0.80)。两个地理种群黄河鲤和黑龙江野鲤的遗传相似性指数为0.89,表现出较高的同源性。

3 讨论

3.1 微卫星标记的多态性

微卫星标记多态性产生的原因一般认为是由

于减数分裂过程中的不对等交换和复制过程中的滑动造成的^[9,10]。本文通过对传统的微卫星扩增条件稍加改进,将退火温度提高至60℃以增加扩增的特异性,并用2%琼脂糖凝胶电泳检测分离。通过实验发现,退火温度提高至60℃时,依然可以获得比较清晰的条带。在扩增出条带的43对微卫星标记引物中,有14对在群体扩增中呈现多态性,其中HLJ系列扩增等位基因位点2~3个,

表 3 鲤 5 个种的遗传相似性指数和遗传距离

Tab. 3 Genetic similarity indices and genetic distances in 5 kinds of carps

	兴国红鲤 <i>C. c. var. xingguonensis</i>	荷包红鲤 <i>C. c. var. wuyuanensis</i>	玻璃红鲤 <i>C. c. var. wananensis</i>	黄河鲤 <i>C. c. var.</i>	黑龙江鲤 <i>C. c. haematopterus</i>
兴国红鲤		0.07	0.18	0.08	0.17
荷包红鲤	0.93		0.20	0.05	0.23
玻璃红鲤	0.82	0.80		0.29	0.22
黄河鲤	0.92	0.95	0.71		0.11
黑龙江鲤	0.83	0.77	0.78	0.89	

注:表中右上角为遗传距离(D),左下角为遗传相似性指数(I)

Notes: Genetic distance are showed in the upper diagonal and genetic similarity indices in the lower diagonal

这与魏东旺等^[11]的报道是一致的(退火温度 50 ~ 51)。MFW 系列的等位基因扩增位点为 2 ~ 4 个,比 Crooijmans 等^[6]报道的 2 ~ 7 个(退火温度 55),稍有差别,但是不同群体内遗传变异较大,同一座位等位基因数可高达 10 个以上(表 2)。O'Reilly 等^[12]认为对于具有较少等位位点的微卫星标记,比较适合用于群体遗传学研究,而对于多态性较高的微卫星标记,则可以用于构建遗传图谱和家系分析等。

3.2 “江西三红”基因组 DNA 的遗传多样性

目前,有关“江西三红”的分子遗传学方面的研究报道并不多见,而且应用的分子标记技术多为 RAPD 技术。RAPD 技术重复性比较差,而且实验结果不具有可比性,在某种程度上降低了实验结果的可靠性。本文首次应用微卫星标记技术对“江西三红”基因组 DNA 进行扫描,通过计算遗传相似性指数和遗传距离,发现兴国红鲤和荷包红鲤的亲缘关系比较近(0.93),兴国红鲤和玻璃红鲤次之(0.82),而荷包红鲤和玻璃红鲤最远(0.80),实验结果基本与孙景春等^[13]应用 RAPD 技术得出的结果一致,而且“江西三红”之间的遗传差异较小(表 3),说明三者之间的分化时间不长,这与孙景春等的观点也是相符的。“江西三红”不仅具有重要的养殖价值,同时荷包红鲤和兴国红鲤还是重要的杂交亲本,从表 3 数据显示,“江西三红”与野鲤的遗传距离分别为 0.17、0.23 和 0.22,即与野鲤的遗传距离较大,为杂交育种中亲本的选择提供一定的数据资料。

3.3 黄河鲤、黑龙江野鲤基因组 DNA 的遗传多样性

产自黄河干流的黄河鲤,因其形状、色泽及肉质均优于其它水体的鲤鱼而著称。但是随着我国西部水产养殖业的兴起,生态环境的破坏和过度

捕捞,致使纯黄河鲤数量急剧下降。更为严重的是流经黄河的不同干流水域,混进了多种杂交鲤,如丰鲤、散鳞镜鲤等致使黄河鲤品质下降,种质资源遭到破坏^[14]。

目前保护这一宝贵种质资源所采取的比较有效的措施就是进行人工选育。最近,河南省水产科学研究所历经 15 年,选育到第 7 代,才使其优良性状基本恢复,并首次将 20 万尾人工选育的黄河鲤投放母亲河。但是人工选育周期长,种质资源恢复慢,而分子标记可以辅助品种纯度的检测,从而加快选择速度,但目前对黄河鲤分子遗传学的研究只有零星报道^[4]。本实验通过对黄河鲤的基因组 DNA 扫描,发现它与黑龙江野鲤的亲缘关系较近(0.89),属于同一亚种,由于生活环境的不同,而形成各具特色的地理种群。

黑龙江野鲤是一个起源悠久,易于变异的类群。它具有很强的抗逆性能,这些优良的基因组资源为鲤鱼的遗传育种研究提供了丰富的物质基础^[1]。但是随着人类对自然水体的开发利用,一些优良物种的种质资源遭到破坏,那么具有优良性状的黑龙江野鲤是否还算得上是一个真正的野生种群,尚待讨论。孙效文等^[15]曾用 110 对斑马鱼的微卫星标记引物来检测黑龙江野鲤的遗传多样性,结果显示了丰富的多态性,表明黑龙江野鲤依然保留有许多优良的原始性状。本研究表明从遗传角度分析,黑龙江野鲤显示了丰富的遗传多样性,在 MFW4, MFW19, MFW23 和 MFW26 4 个微卫星座位中,等位基因为 4 ~ 8 个(表 2)。但是从生态角度出发,由于大部分自然生境遭到破坏,野鲤天然种群数量急剧下降,生态多样性十分匮乏。就目前状况而言,仅黑龙江抚远江段野鲤的遗传资源尚未遭到破坏,这已从分子遗传学得到证明^[3,11,15]。

“江西三红”、黄河鲤和黑龙江野鲤是我国比较具有代表性的几个鲤鱼种群,在水产养殖业和鱼类遗传育种方面占有十分重要的地位,因此保护中国鲤及其它鱼类的天然种质基因库就变得越来越重要。

在鱼类样品采集中,得到了宁夏水产研究所杨利明副所长和上海水产大学楼允东教授的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Shen J B, Liu M H. Study on breeding of common carp [M]. Harbin: Heilongjiang Scientific Technology Press, 1999. [沈俊宝,刘明华. 鲤鱼种研究[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1999.]
- [2] Lou Y D, Sun J C. Progress on studies of origin and genetic diversity of three breeds of red carp in Jiangxi Province [J]. J Fish China, 2001, 25(6): 570 - 575. [楼允东,孙景春. 江西三种红鲤起源与遗传多样性研究的进展[J]. 水产学报, 2001, 25(6): 570 - 575.]
- [3] Sun X W, Liang L Q. A genetic linkage map of common carp [J]. J Fish Sci China, 2000, 7(1): 1 - 5. [孙效文,梁利群. 鲤鱼的遗传连锁图谱(初报)[J]. 中国水产科学, 2000, 7(1): 1 - 5.]
- [4] Zhao H B, Zhu Z Y. Nuclear transplantation of somatic cells of transgenic red carp [J]. Acta Genetica Sinica, 2002, 29(5): 406 - 412. [赵浩斌,朱作言. 转基因红鲤体细胞的核移植[J]. 遗传学报, 2002, 29(5): 406 - 412.]
- [5] Lou Y D. Fish breedings [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. [楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京:中国农业出版社, 1999.]
- [6] Crooijmans R P M A, Beirbooms V A F, Komen J, et al. Microsatellite markers in common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Animal Genetics, 1997, 28: 129 - 132.
- [7] Thomas D K, Woo J L, Halina S, et al. A genetic linkage map of a cichlid fish, the tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Genetics, 1998, 148: 1225 - 1232.
- [8] Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals [J]. Genetics, 1978, 89: 583 - 590.
- [9] O'Connell M, Danzmann R G, Cornuet J M, et al. Differentiation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) population models using microsatellite variability [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 54: 1391 - 1399.
- [10] Kruglyak S, Durrett R T, Schug M D, et al. Equilibrium distribution of microsatellite repeat length resulting from a balance between slippage events and point mutations [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 1998, 95: 10774 - 10778.
- [11] Wei D W. Isolation of microsatellite markers in the common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Zoological Research, 2001, 22(3): 238 - 241. [魏东旺. 鲤鱼微卫星分子标记的筛选[J]. 动物学研究, 2001, 22(3): 238 - 241.]
- [12] O'Reilly P, Wright J M. The evolving technology of DNA fingerprinting and its application to fisheries and aquaculture [J]. J Fish Bio, 1995, 47(suppl): 29 - 35.
- [13] Sun J C, Lou Y D, Yao J H. Application of RAPD technology to analyze the genetic diversity of three breeds of red carp [J]. J Shanghai Fish Uni, 2001, 10(3): 207 - 212. [孙景春,楼允东,姚纪花. 应用 RAPD 技术分析三种红鲤遗传多样性[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(3): 207 - 212.]
- [14] Investigating Group of Ningxia Fishery Resource. Ningxia branch resource of Huangher River [R]. Agriculture Bureau of Ningxia Hui Autonomous Regiog, 1987. 42 - 45. [宁夏渔业资源调查领导小组. 黄河流域宁夏段资源[R]. 宁夏回族自治区农业厅, 1987, 42 - 45.]
- [15] Sun X W, Liang L Q. Identification of the genetic polymorphism between the 2 stains of carp using zebrafish SSLP markers [J]. J Fish Sci China, 2001, 8(2): 5 - 6. [孙效文,梁利群. 斑马鱼 SSLP 标记检测鲤鱼种间的遗传多态性[J]. 中国水产科学, 2001, 8(2): 5 - 6.]