

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

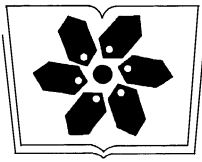
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚婧,李颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟希,张淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳林,王信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201208231190

岳兴建, 邹远超, 王永明, 李斌, 覃川杰, 王芳, 谢碧文, 陶敏, 王涓, 齐泽民. 元江鲤种群遗传多样性. 生态学报, 2013, 33(13): 4068-4077.

Yue X J, Zou Y C, Wang Y M, Li B, Qin C J, Wang F, Xie B W, Tao M, Wang Y, Qi Z M. Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4068-4077.

元江鲤种群遗传多样性

岳兴建*, 邹远超, 王永明, 李斌, 覃川杰, 王芳, 谢碧文, 陶敏, 王涓, 齐泽民

(内江师范学院生命科学院, 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 内江 641000)

摘要:选择 12 对微卫星标记检测了于 2011 年采集自元江(红河上游中国江段)5 个样点 192 尾鲤的群体遗传多样性。共检测到 201 个等位基因, 每个位点等位基因 2—27 个。各群体各位点平均等位基因(N_A) 12.25—14.67 个, 平均有效等位基因(N_E) 8.28—9.73 个, 平均观察杂合度(H_O) 0.7765—0.8037, 平均期望杂合度(H_E) 0.7761—0.8080, 平均多态信息含量(PIC) 0.7534—0.7843。元江鲤种群 192 个个体各位点 N_A 、 N_E 、 H_O 、 H_E 、 PIC 分别为 16.50、11.26、0.7927、0.8049、0.7966, 种群遗传多样性水平高。元江鲤群体之间遗传分化小, 可作为一个种群管理单元进行管理。增殖放流要防止遗传多样性丧失。

关键词:遗传多样性; 鲤; 微卫星; 元江

Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River

YUE Xingjian*, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, LI Bin, QIN Chuanjie, WANG Fang, XIE Biwen, TAO Min, WANG Yu, QI Zemin

College of Life Sciences, Neijiang Normal University; Key Laboratory of Sichuan Province for Fishes Conservation and Utilization in the Upper Reaches of the Yangtze River, Neijiang 641000, China

Abstract: Twelve microsatellite loci were used to investigate genetic diversity and population structure of common carp, *Cyprinus carpio* from Yuan River (the upper reaches of Red River in Yunnan Province, China). One hundred and ninety two samples of adult common carp were collected in 2011 from five sampling points. A total of 201 alleles were detected over all loci and the number of alleles per locus ranged from 2 to 27. There were 113 low frequencies alleles at the frequencies less than 0.05. Mean number of alleles (N_A) ranged from 12.25 to 14.67 per locus per population, effective number of alleles (N_E) ranged from 8.28 to 9.73, mean observed heterozygosity (H_O) and mean expected heterozygosity (H_E) at the 12 loci ranged from 0.7765 to 0.8037, and from 0.7761 to 0.8080, and mean polymorphism information content (PIC) ranged from 0.7534 to 0.7843. Mean number of alleles (N_A), mean effective number (N_E) of alleles, mean observed heterozygosity (H_O), mean expected heterozygosity (H_E) and mean polymorphism information content (PIC) were 16.50, 11.26, 0.7927, 0.8049, 0.7966 respectively for overall samples. The result indicated that the genetic diversity of common carp from Yuan River was abundant. An analysis on the distribution of genetic variation (AMOVA) indicated that the variation within population was very high (95.87%), while among populations was low (1.69%). The value of fixation index and gene flow were 0.0256, 9.5003 respectively for overall samples. Nei's unbiased measures of genetic identity and genetic distance among populations rang from 0.8632 to 0.9700, 0.0305 to 0.1471 respectively. This suggests that there were high genetic similarity among the 5 populations and significant genetic

基金项目: 四川省教育厅科技创新科研团队基金(KYTD201009); 内江市科学技术知识产权局科技支撑计划项目(11028)资助

收稿日期: 2012-08-23; 修订日期: 2013-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: silurus@sohu.com

differentiations among the common carp individuals from Yuan River. So, the common carp from Yuan River should be managed by a population management unit. The genetic background of artificial stocking of carp larvae should not only be taken into consideration in fisheries enhancement, but also a system of evaluating the stock enhancement effectiveness should be established to prevent losing genetic biodiversity.

Key Words: genetic diversity; *Cyprinus carpio*; microsatellite; Yuan River

鲤 *Cyprinus carpio* 是重要的经济鱼类,早在春秋战国时期已进行池塘养殖^[1],目前我国淡水养殖业中占有较大比例。该种分布于我国西藏以外的江河、湖泊、水库,国外广泛分布于欧亚两大洲^[2]。我国有元江鲤等多个地方种群和建鲤 *C. c. var jian* 等人工养殖品种^[3],元江分布的鲤亦称为华南鲤 *C. c. rubrofuscus*^[4]。随着元江梯级水电站的建设^[5]和外来物种入侵,对元江鲤种群多样性带来严重影响,对其种群遗传资源存在潜在威胁。为了保护元江鲤这一重要水产种质资源,2008 农业部批准建立元江鲤国家级水产种质资源保护区。我国各地鲤种群均有遗传资料^[6-12],元江鲤种质资源数据缺乏。因此了解元江鲤种群遗传多样性现状对这一优质地方种群的种质资源保护和利用、防止外来基因的渗透非常必要。本研究以元江 5 个鲤群体为材料,采用微卫星技术分析元江流域鲤种群结构,评估其种群遗传多样性,了解其种群间和种群内的遗传分化和基因流,为元江鲤种质资源保护、利用及资源恢复提供基础资料和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2011 年 7—8 月,元江流域(红河上游中国江段)根据规划或已建水电站位置以及一定地理距离(50km 以上)设置采样点 5 个(表 1,图 1),河口县新街镇以下至河口县城江段由于涉及中越边界,未取样。5 个群体 192 尾鲤样本经当地渔民捕获后,取鳍条或肌肉,保存于 100% 乙醇备用。

表 1 元江各采样点信息
Table 1 Sampling size and sites for *C. carpio* populations from Yuan River

种群代号 Code	样本量 Sample size	行政区划 Administrative division	海拔/m Altitude	经纬度 Latitude and longitude
GS	33	新平县嘎洒镇	506—518	101°34'—101°36', 24° 6'— 24° 2'
YJ	48	元江县澧江镇	376—390	101°59'—102° 2', 23°37'— 23°35'
HH	48	红河县迤萨镇	327	102°24', 23°23'
YY	34	元阳县南沙镇	214—216	102°51'—102°54', 23°13'— 23°12'
HK	29	河口县新街镇	117—127	103°33'—103°37', 22°53'— 22°49'

1.2 方法

1.2.1 基因组 DNA 提取

双蒸水浸泡样本 1—4 h 以除去乙醇。剪碎鳍条后放入 1.5 mL 的离心管中,高盐法提取总 DNA^[13]。

1.2.2 PCR 反应与产物检测

本研究使用的已发表的 18 对微卫星^[14-15]由上海生工合成。PCR 扩增体系 25 μL,包括:10× PCR 缓冲液 2.5 μL,10 mmol/L dNTPs 0.2 μL,Taq DNA 聚合酶 0.8 U,10 μmol/L 引物各 1 μL,DNA 模板 0.7 μL,灭菌去离子水补至 25 μL。反应程序如下:94℃ 预变性 5 min;94℃ 变性 40 s,各温度退火(表 2)40 s,72℃ 延伸 40 s,35 个循环;72℃ 再延伸 10 min。扩增产物用 12% 聚丙烯酰胺凝胶电泳检测,银染^[16],拍照保存。

1.2.3 数据处理

通过 Quantity one 确定等位基因大小。利用种群遗传分析软件 Popgene32 V1.32 计算等位基因频率(P)、有效等位基因数(N_e)、基因观测杂合度(He)、基因期望杂合度(Ho)、遗传相似系数(G_s)、遗传距离(D)、

Shannon 多样性指数 (I) 等参数, 并对各位点进行 Hardy-Weinberg 平衡 χ^2 检验, 采用 UPGMA 法构建种群系统树^[17]。Hardy-Weinberg 平衡偏离指数 (d) 由公式 $d = (H_o - H_e) / H_e$ 计算, 多态信息含量 (PIC) 由公式 $PIC = 1 - (\sum_{i=1}^n P_i^2) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n 2P_i P_j$ 计算, 式中 n 为某位点等位基因数, P_i 、 P_j 分别为第 i 、 j 个等位基因在种群中的频率, $j = i + 1$ 。使用 Arlequin 3.5^[18] 计算种群间的分化指数 (F_{ST}) 值并进行种群间进行分子方差分析 (AMOVA), 根据 $Nm = (1 - F_{ST}) / 4F_{ST}$ 计算种群之间基因流。

2 结果

2.1 引物扩增情况、等位基因组成和遗传平衡

在 18 对鲤的微卫星引物中, 筛选出重复性好且具有多态性的 12 (表 2) 对引物用于 5 个鲤群体的遗传多样性分析。

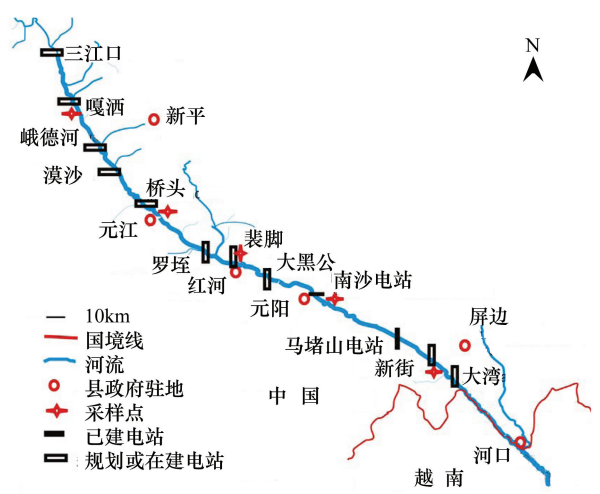


图 1 元江采样点位置及规划电站位置 (规划电站坝址为大致区域)
Fig. 1 Geographical location for sampling sites for *C. carpio* populations from Yuan River and the 12 programming hydropower station dams (approximate location)

表 2 微卫星引物及特征

Table 2 Sequences, specific annealing temperatures and the range of allele sizes of 12 pairs of microsatellite primers from *C. carpio* used in PCR amplification

位点 Locus	引物序列 Primer sequence	重复序列 Repeat sequence	等位基因片段长度/bp Size range	退火温度/℃ Annealing temperature
MFW1	F:GTCCAGACTGTCATCAGGAG R:GAGGTGTACACTGAGTCACGC	CA	176—224	62
MFW5	F:GAGATGCCTGGGGAAGTCAC R:AAAGAGAGCGGGCTAAAGGAG	CA	160—176	62.9
MFW6	F:ACCTGATCAATCCCTGGCTC R:TGGGACTTTTAAATCACGTTG	CA	100—180	62
MFW7	F:TACTTTGCTCAGGACGGATGC R:ATCACCTGCACATGGCCACTC	CA	160—294	61.5
MFW9	F:GATCTGCAAGCATATCTGTCTG R:ATCTGAACCTGCAGCTCCTC	CA	82—136	60
MFW14	F:CAGAAGCTTCTGGAATCTGAG R:GCGAGAAGATTGATGGACAAC	CA	104—190	60
MFW16	F:GTCCATTGTGTCAAGATAGAG R:TCTTCATTTTCAGGCTGCAAAG	CA	118—192	60
MFW18	F:GTCCCTGGTAGTGAGTGAGT R:GCGTTGACTTGTATTATACTAG	CA	88—204	55
MFW19	F:GAATCCTCCATCATGCAAAC R:GCACAACTCCACATTGTGCC	CA	134—242	55
MFW26	F:CCCTGAGATAGAAACCACTG R:CACCATGCTTGGATGCAAAAG	CA	80—156	55
MFW30	F:GGTCAACAAGTACTTGTGCAG R:CCATCTCTGTCAATTGCAACAG	CA	220—300	51
HLJ1066	F:ATGCCCTGGTTCAAGCAAAAT R:AAAGCATAGCCCCAATAAATCTCTG	ACA	176—224	60

5 个群体在 12 个微卫星位点上共检测出 201 个等位基因, 每个种群的等位基因数分别为 164、176、169、161、147。种群中频率低于 0.05 的低频率等位基因 113 个, 频率低于 0.01 的稀有等位基因 19 个。每个位点的等位基因数 2—27 个。位点 MFW7 等位基因数最多, 为 27 个, 在 5 个种群分别为 24、23、21、25、15 个。位点 MFW5 在 5 个种群中的等位基因数最少仅为 2 个 (表 2, 3)。位点 MFW19 在种群 HK、YY、HH 的等位基因

数也较少,仅为2—3个。位点 MFW5、MFW19 的有效等位基因分别为 1.19、1.37 个。种群所共有等位基因 108 个,其中频率低于 0.01 的稀有基因有 16 个(表 3)。

表 3 元江鲤 12 个位点等位基因频率
Table 3 Frequencies of 12 microsatellites DNA loci for *C. carpio* populations from Yuan River

位点 Locus	基因 Allele	频率 Frequency	位点 Locus	基因 Allele	频率 Frequency	位点 Locus	基因 Allele	频率 Frequency	位点 Locus	基因 Allele	频率 Frequency	位点 Locus	基因 Allele	频率 Frequency
MFW1	A *	0.1615	MFW7	E	0.0105	MFW14	A	0.0055	MFW18	H	0.0321	MFW26	R *	0.0576
	B *	0.0573		F	0.0342		B *	0.0301		I *	0.0963		S *	0.0576
	C *	0.0521		G	0.0579		C	0.0191		J *	0.0882		T	0.0419
	D *	0.1224		H *	0.0421		D	0.0219		K *	0.1096		U *	0.0366
	E *	0.1458		I *	0.0658		E *	0.0355		L *	0.1096		V *	0.0288
	F *	0.1016		J	0.0421		F *	0.0628		M *	0.0348	MFW30	A	0.0079
	G *	0.0859		K *	0.0474		G	0.0410		N *	0.0668		B	0.0476
	H *	0.1172		L *	0.0632		H	0.0383		O	0.0214		C	0.0106
	I *	0.0885		M	0.0474		I *	0.1093		P	0.0428		D	0.0291
	J	0.0234		N *	0.0342		J *	0.1120		Q	0.0321		E	0.0873
	K	0.0313		O *	0.0632		K *	0.0820		R *	0.0615		F	0.0185
	L	0.0052		P *	0.0342		L	0.0628		S	0.0374		G	0.0238
	M	0.0078		Q *	0.0500		M *	0.1612		T	0.0348		H	0.0688
				R *	0.0526		N *	0.0847		U	0.0107		I *	0.0370
MFW5	A *	0.9115		S	0.0658		O *	0.0546	MFW19	V	0.0053		J *	0.1376
	B *	0.0885		T *	0.0316		P *	0.0273		A *	0.8457		K	0.0370
MFW6				U *	0.0395		Q *	0.0273		B	0.0027		L *	0.1005
	A	0.0053		V	0.0237		R	0.0137		C	0.0027		M *	0.1032
	B *	0.0265		W	0.0342		S	0.0109		D *	0.1223		N *	0.0688
	C *	0.0608		X	0.0289	MFW16	A	0.0027		E	0.0080		O	0.0423
	D *	0.0503		Y	0.0079		B	0.1054		F	0.0027		P *	0.1058
	E *	0.0529		Z	0.0158		C *	0.0973		G	0.0106		Q	0.0106
	F	0.0476		a	0.0184		D	0.0405		H	0.0053		R *	0.0635
	G *	0.0714					E	0.0568				HLJ1066	A	0.0208
	H *	0.0397	MFW9	A	0.0842		F	0.0324	MFW26	A	0.0052		B	0.0156
	I *	0.0556		B *	0.1684		G *	0.1595		B	0.0105		C *	0.0599
	J *	0.0661		C *	0.0763		H *	0.1378		C *	0.0628		D *	0.0339
	K *	0.0820		D *	0.0684		I *	0.1000		D *	0.0524		E	0.0234
	L *	0.0608		E *	0.0947		J *	0.0459		E	0.0550		F	0.0521
	M *	0.0450		F *	0.0421		K	0.0297		F *	0.1047		G *	0.0807
	N *	0.0476		G *	0.0605		L *	0.0378		G *	0.0471		H *	0.1276
MFW7	O *	0.0899		H *	0.0395		M *	0.0541		H *	0.0419		I *	0.2188
	P *	0.0767		I *	0.0474		N *	0.0865		I	0.0524		J	0.0182
	Q *	0.0370		J *	0.0711		O	0.0135		J	0.0262		K *	0.0964
	R *	0.0370		K	0.0395	MFW18	A	0.0160		K	0.0366		L *	0.0781
	S	0.0159		L *	0.0500		B	0.0027		L *	0.0942		M *	0.0573
	T	0.0317		M *	0.0526		C	0.0080		M	0.0314		N	0.0182
				N	0.0211		D	0.0321		N	0.0314		O *	0.0365
	A	0.0026		O	0.0132		E	0.0374		O	0.0419		P	0.0313
	B	0.0026		P	0.0421		F *	0.0695		P *	0.0471		Q	0.0156
	C	0.0053		Q	0.0105		G *	0.0508		Q *	0.0366			
	D *	0.0842		R	0.0184									

* 各种群共有等位基因 Shared allele

在 5 个群体的 12 个位点中仅 8 个符合 Hardy-Weinberg 平衡,全部个体仅 1 个位点(MFW5)符合,其余均偏离。位点 MFW1、MFW7、MFW9、MFW14、MFW16、MFW18、MFW26、MFW30 等等位基因数目较多的种群均偏离 Hardy-Weinberg 平衡。整个元江种群除了 MFW9、HLJ1066 杂合子缺失外,偏离幅度均不大,MFW1、MFW6、MFW7、MFW14、MFW16、MFW19、MFW26、MFW30 表现出杂合子过剩,MFW9、MFW18、HLJ1066 则为杂合子不足;偏离数值较大者为 MFW9、HLJ1066(表 4)。

表 4 元江鲤 5 个种群卫星 DNA 分析统计结果

Table 4 Genetic variability of 12 loci in 5 common carp populations from Yuan River																																			
位点	嘎洒群体 Population GS (n=33)										元江群体 Population YJ (n=48)										红河群体 Population HH (n=48)														
	Locus	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I		
MF1	13	8.71	0.8485	0.8988	0.8741	-0.0560	*	*	2.3007	11	7.13	0.8958	0.8689	0.8456	0.0310	*	*	2.1407	12	8.55	1.0000	0.8923	0.8719	0.1207	*	*	2.2896	13	8.93	1.0000	0.8923	0.8719	0.1207	*	2.2896
MF5	2	1.31	0.2727	0.2392	0.2078	0.1401	ns	ns	0.3983	2	1.16	0.1458	0.1366	0.1260	0.0673	ns	ns	0.2611	2	1.16	0.1458	0.1366	0.1260	0.0674	ns	ns	0.2611	2	1.16	0.1458	0.1366	0.1260	0.0674	ns	0.2611
MF6	15	12.00	1.0000	0.9322	0.9181	0.0727	ns	ns	2.5734	18	14.27	0.9792	0.9397	0.9305	0.0420	*	*	2.7523	19	10.15	0.9375	0.9110	0.9113	0.0291	*	*	2.5894	15	12.00	1.0000	0.9322	0.9181	0.0727	ns	2.5894
MF7	24	15.45	0.9394	0.9497	0.9317	-0.0110	*	*	2.9513	23	17.86	0.9792	0.9539	0.9411	0.0265	*	*	2.9899	21	13.40	0.9792	0.9351	0.9208	0.0472	*	*	2.8152	24	15.45	0.9394	0.9497	0.9317	-0.0110	*	2.8152
MF9	15	9.71	0.7812	0.9112	0.8908	-0.1430	*	*	2.4836	17	10.86	0.8298	0.9176	0.9049	-0.0957	*	*	2.5548	17	13.24	0.8125	0.9342	0.9209	-0.1303	*	*	2.6947	15	9.71	0.7812	0.9112	0.8908	-0.1430	*	2.6947
MF14	11	5.25	0.9000	0.8232	0.7865	0.0933	*	*	1.9416	18	9.73	0.9787	0.9069	0.8887	0.0792	*	*	2.5159	16	7.39	0.9778	0.8744	0.8521	0.1183	*	*	2.3169	11	5.25	0.9000	0.8232	0.7865	0.0933	*	2.3169
MF16	12	7.53	1.0000	0.8819	0.8534	0.1339	*	*	2.1903	14	9.38	0.9773	0.9036	0.8840	0.0816	*	*	2.3919	14	8.55	0.9792	0.8923	0.8722	0.0974	*	*	2.3391	12	7.53	1.0000	0.8819	0.8534	0.1339	*	2.3391
MF18	18	12.33	1.0000	0.9345	0.9132	0.0701	*	*	2.6660	20	13.63	0.8542	0.9364	0.9219	-0.0878	*	*	2.7644	15	10.65	0.9149	0.9158	0.8985	-0.0010	*	*	2.4946	18	12.33	1.0000	0.9345	0.9132	0.0701	*	2.4946
MF19	7	1.62	0.3636	0.3883	0.3580	-0.064	*	*	0.8308	5	1.47	0.3333	0.3239	0.2950	0.0290	*	*	0.6483	3	1.51	0.4255	0.3429	0.2985	0.2409	*	*	0.5598	7	1.62	0.3636	0.3883	0.3580	-0.064	*	0.5598
MF26	18	11.97	0.8485	0.9305	0.9128	-0.0880	*	*	2.6674	18	14.14	0.9792	0.9390	0.9320	0.0428	*	*	2.7480	19	12.62	1.0000	0.9305	0.9240	0.0747	*	*	2.7019	18	11.97	0.8485	0.9305	0.9128	-0.0880	*	2.7019
MF30	14	9.72	0.8182	0.9110	0.8834	-0.1020	*	*	2.4314	15	10.64	0.9792	0.9156	0.8983	0.0695	*	*	2.4790	17	12.19	0.9583	0.9276	0.9123	0.0331	*	*	2.6465	14	9.72	0.8182	0.9110	0.8834	-0.1020	*	2.6465
HLJ066	15	8.44	0.5455	0.8951	0.8705	-0.3910	*	*	2.3626	15	6.45	0.5435	0.8543	0.8440	-0.3638	*	*	2.2071	14	7.09	0.5106	0.8682	0.8524	-0.4119	*	*	2.2541	15	8.44	0.5455	0.8951	0.8705	-0.3910	*	2.2541
mean	13.67	8.67	0.7765	0.8080	0.7834				2.1498	14.67	9.73	0.7896	0.7997	0.7843				2.2045	14.08	8.87	0.8034	0.7968	0.7801	0.0083			2.1636	13.67	8.67	0.7765	0.8080	0.7834		2.1636	
位点	元阳群体 Population YY (n=48)										河口群体 Population HK (n=29)										全部 Over all (N=192)														
	Locus	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I	N _A	N _E	H _O	H _E	PIC	d _{HW}	P _{HW}	I		
MF1	10	8.93	1.0000	0.9012	0.8771	0.1096	*	*	2.2382	11	8.54	0.9310	0.8984	0.8705	0.0363	*	*	2.2355	13	9.17	0.9375	0.8932	0.8807	0.0496	*	*	2.3247	10	8.93	1.0000	0.9012	0.8771	0.1096	*	2.3247
MF5	2	1.19	0.1765	0.1633	0.1479	0.0808	ns	ns	0.2984	2	1.19	0.1724	0.1603	0.1451	0.0755	ns	ns	0.2937	2	1.19	0.1771	0.1618	0.1483	0.0946	ns	ns	0.2992	2	1.19	0.1765	0.1633	0.1479	0.0808	ns	0.2992
MF6	17	12.84	0.9118	0.9359	0.9184	-0.026	*	*	2.6785	17	11.29	0.8966	0.9274	0.9072	-0.0332	*	*	2.6277	19	15.49	0.9471	0.9379	0.9380	0.0098	*	*	2.8229	17	12.84	0.9118	0.9359	0.9184	-0.026	*	2.8229
MF7	25	19.98	1.0000	0.9646	0.9476	0.0367	*	*	3.1001	15	12.46	0.9655	0.9359	0.9140	0.0316	*	*	2.5947	27	20.28	0.9738	0.9532	0.9479	0.0216	*	*	3.1035	25	19.98	1.0000	0.9646	0.9476	0.0367	*	3.1035
MF9	15	7.51	0.8235	0.8797	0.8569	-0.064	*	*	2.3584	13	6.52	0.8621	0.8615	0.8310	0.0007	*	*	2.2165	17	12.46	0.8211	0.9221	0.9159	-0.1095	*	*	2.6671	15	7.51	0.8235	0.8797	0.8569	-0.064	*	2.6671
MF14	18	14.45	0.9706	0.9447	0.9265	0.0274	*	*	2.7606	18	12.36	0.9630	0.9364	0.9134	0.0284	*	*	2.672	19	12.01	0.9617	0.9193	0.9110	0.0461	*	*	2.6742	18	14.45	0.9706	0.9447	0.9265	0.0274	*	2.6742
MF16	13	8.00	1.0000	0.8881	0.8629	0.1260	*	*	2.2658	9	6.89	0.9655	0.8699	0.8384	0.1099	*	*	2.035	15	10.42	0.9838	0.9065	0.8963	0.0853	*	*	2.4775	13	8.00	1.0000	0.8881	0.8629	0.1260	*	2.4775
MF18	15	11.46	0.9394	0.9268	0.9060	0.0136	*	*	2.5345	17	13.04	0.9310	0.9395	0.9215	-0.009	*	*	2.7006	22	14.72	0.9198	0.9346	0.9281	-0.0158	*	*	2.8376	15	11.46	0.9394	0.9268	0.9060	0.0136	*	2.8376
MF19	2	1.06	0.0625	0.0615	0.0587	0.0163	ns	ns	0.1391	2	1.11	0.1071	0.1032	0.0963	0.0378	ns	ns	0.2089	8	1.37	0.2819	0.2702	0.2478	0.0433	*	*	0.5608	2	1.06	0.0625	0.0615	0.0587	0.0163	ns	0.5608
MF26	18	9.77	0.9697	0.9114	0.8941	0.0640	*	*	2.5891	18	11.76	0.9310	0.9310	0.9118	0.0000	*	*	2.6606	21	16.15	0.9529	0.9405	0.9408	0.0132	*	*	2.8930	18	9.77	0.9697	0.9114	0.8941	0.0640	*	2.8930
MF30	13	8.13	0.9375	0.8909	0.8682	0.0523	*	*	2.2584	12	7.19	1.0000	0.8766	0.8470	0.1408	*	*	2.2008	18	12.31	0.9418	0.9212	0.9135	0.0224	*	*	2.6528	13	8.13	0.9375	0.8909	0.8682	0.0523	*	2.6528
HLJ066	13	7.41	0.8529	0.8780	0.8513	-0.0290	ns	ns	2.2258	13	7.04	0.6897	0.8730	0.8442	-0.2100	ns	ns	2.2272	17	9.57	0.6138	0.8979	0.8910	-0.3164	*	*	2.5215	13	7.41	0.8529	0.8780	0.8513	-0.0290	ns	2.5215
mean	13.42	9.23	0.8037	0.7788	0.7596				2.1206	12.25	8.28	0.7846	0.7761	0.7534				2.0561	16.50	11.26	0.7927	0.8049	0.7966			13.42	9.23	0.8037	0.7788	0.7596			2.3196		
N_A : 等位基因; N_E : 有效等位基因; H_O : 平均观察杂合度; H_E : 平均期望杂合度; PIC : 多态信息含量; d_{HW} : 平衡分离指数; P_{HW} : Hardy-Weinberg 平衡 χ^2 检验; I : Shannon 多样性指数																																			
N_A : total number of alleles; N_E : Effective number of alleles; H_O : observed heterozygosity; H_E : expected heterozygosity; PIC : Polymorphism information content; d_{HW} : Hardy-Weinberg departure index; I : Shannon diversity index; P_{HW} : Hardy-Weinberg probability test; * $P < 0.05$; ns = non-significant																																			

2.2 遗传多样性

5 个群体的平均观察杂合度和平均期望杂合度分别为 0.7765—0.8037、0.7761—0.7997, 总体平均观察杂合度和平均期望杂合度为 0.7927、0.8049。位点 MFW5、MFW19 等位基因数目较少, 平均观察杂合度和平均期望杂合度分别为 0.1771、0.1618、0.2819、0.2702, 纯合度高。其他几个位点在各群体中均表现出较高杂合度, 甚至在一些群体、位点的观察杂合度达到 1.0000(表 4)。

元江鲤种群在 12 个微卫星位点的平均 *PIC* 为 0.7966, 在 5 群体中为 0.7534—0.7843, 下游 HK、YY 群体略低于上游的 3 个群体, 但相差不大。12 个微卫星位点中, MFW5、MFW19 的 *PIC* 分别为 0.1483、0.2478, 多态性较低, 其余位点为 0.8807—0.9479, 显示高度多态性(表 4)。

根据平均观察杂合度、平均期望杂合度、*PIC* 三个参数判断, 元江的鲤种群在 MFW1、MFW5、MFW7、MFW9、MFW14、MFW16、MFW18、MFW26、MFW30、HLJ1066 等 10 个位点具有较高种群遗传多样性, 在 MFW5、MFW19 等 2 个位点上遗传多样性较低(表 4)。总体来说, 元江鲤种群具有较高的种群遗传多样性。

2.3 种群遗传分化

依据 12 个微卫星位点结果计算出 5 个种群间的 Nei's 无偏估计遗传距离和遗传相似性指数, 结果见表 4。种群间的相似系数在 0.8632—0.9700 之间, 其中 HK 和 YY 种群相似系数最大, 为 0.9700; YJ 和 HH 种群次之, 为 0.9397。种群间遗传距离在 0.0305—0.1471 之间, 其中 GS 种群和其他种群的遗传距离较大, 为 0.1040—0.1471。根据种群间的遗传距离矩阵(表 5), 用 UPGMA 法分析 5 种群间的亲缘关系(图 2), 结果显示 YY 和 HK 种群、YJ 和 HH 种群分别聚成一支, 再聚成一支, GS 种群单独一支。

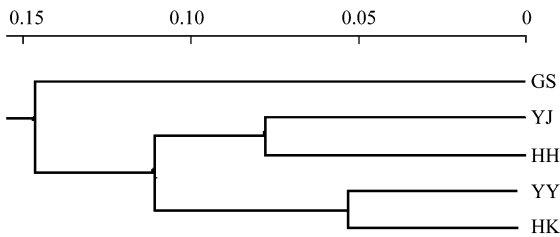


图 2 基于 Nei's 遗传距离构建的元江 5 个鲤种群的系统发育树 (UPGMA 树)

Fig. 2 UPGMA dendrogram of the 5 populations of *C. carpio* of Yuan River

AMOVA 分析显示种群内个体间的分子遗传变异是变异的主要来源, 为 95.87%, 种群间的变异仅为 1.69%(表 6)。 F_{ST} 值和基因流在不同地理区域间有所差异(表 7), 除 HK 和 YY 种群之间仅 $F_{ST}=0.0007$, $Nm=351.8627$ 且差异不显著以外, 总体 F_{ST} 在 0.0105—0.0261 之间且差异显著, $Nm=9.3359-23.5143$, 在 GS 和 YJ 种群之间 $F_{ST}=0.0261$, $Nm=9.3359$, 基因流最小。整个元江种群 $F_{ST}=0.0256$, $Nm=9.5003$ 。

表 5 元江 5 个鲤种群的遗传相似指数(对角线上方)及遗传距离(对角线下方)

Table 5 Nei's genetic identity indices (above diagonal) and genetic distance (below diagonal) among 5 populations of <i>C. carpio</i>					
种群 Population	GS	YJ	HH	YY	HK
GS	—	0.9012	0.8632	0.8725	0.8792
YJ	0.1040	—	0.9379	0.9018	0.9165
HH	0.1471	0.0641	—	0.9109	0.9049
YY	0.1363	0.1034	0.0934	—	0.9700
HK	0.1287	0.0871	0.0999	0.0305	—

表 6 元江 5 个鲤群间遗传差异的分子方差分析 (AMOVA)

Table 6 Analysis of molecular variance (AMOVA) among 5 common carp populations from Yuan River				
变异来源 Source of variation	df	方差平方和 Sum of squares	变异组成 Variance components	变异百分比 Percentage of variation
种群间 Among populations	4	44.625	0.08223 Va *	1.69
个体间 Among individuals				
种群内个体间 within populations	187	918.11	0.11890 Vb *	2.44
所有个体间 Within individuals	192	897	4.67188 Vc *	95.87
总计 Total	383	1859.734	4.87301	

* $P<0.01$ 差异极显著

表 7 基于 12 个微卫星位点的元江 5 个种群之间 F_{ST} 值(对角线下方)和基因流(Nm)(对角线上方)

Table 7 Population pair-wise F_{ST} s (below diagonal) and gene flow (above diagonal) between *C. carpio* samples of Yuan River

种群 Population	GS	YJ	HH	YY	HK
GS		14.8102	9.3359	9.8429	10.4842
YJ	0.0166 **		23.5143	12.6366	15.4437
HH	0.0261 **	0.0105 **		14.4993	13.2781
YY	0.0248 **	0.0194 **	0.01695 **		351.8627
HK	0.0233 **	0.0159 **	0.01848 **	0.0007	

* *, $P<0.01$ 差异极显著

以上数据表明元江鲤种群之间存在着广泛的基因交流,无明显的遗传分化。

3 讨论

3.1 元江鲤种群的种群结构

元江鲤种群具有高度的种群遗传多态性。在种群遗传结构分析中,微卫星等共显性的遗传标记的多态性程度常使用平均观察杂合度 H_o ;平均期望杂合度 H_e 、多态信息含量 PIC 等来衡量, H_o 和 H_e 主要反映突变、迁移等效应, PIC 则反映标志基因的多态信息量。 N_e 、Shannon 信息指数 I 等也是反映种群遗传多样性的度量值。这些参数值越大,说明基因丰富度越高。当使用多态信息含量指标时, $PIC>0.5$ 表明该基因座为高度多态基因座; $0.25<PIC<0.5$ 为中度多基因座; $PIC<0.25$ 则为低度多态基因座^[19]。在全部元江鲤样本中,除 MFW5、MFW19 位点外,其余 MFW1、MFW6、MFW7、MFW9、MFW14、MFW16、MFW18、MFW26、MFW30、HLJ1066 等 10 个位点多态信息含量 $PIC>0.5$,为高度多态性;MFW5、MFW19 等 2 个位点为低度多态基因座。整个元江鲤种群遗传多样性参数的平均值为 $N_e=11.26$; $H_e=0.8049$, $H_o=0.7927$, $I=2.3196$, $PIC=0.7966$,表现出高度的多态性。与越南红河流域(元江下游)鲤种群(MFW1、MFW6、MFW7、MFW28 等 4 个位点,30 个体, $H_o=0.815$, $H_e=0.771$ ^[20]; MFW1、MFW6、MFW7、MFW9 等 4 个位点,50 个体, $N_A=10.75$, $H_o=0.8$, $H_e=0.83$ ^[21])多样性相当。

元江鲤种群具有丰富的遗传育种和遗传改良潜力。通常,野生种群比养殖群体在等位基因丰富度和杂合度上表现出更多的遗传多样性,如镜鲤 *C. c. var. specularis* ($H_e=0.4736-0.4948$, $PIC=0.2318-0.42$)^[22-23] 多样性较低。与中国其他地方野生种群相比较,如鸭绿江 ($H_e=0.6362-0.6566$, $PIC=0.5728-0.5885$)、山东 ($H_e=0.7131-0.7576$, $PIC=0.6598-0.6847$)、黄河 (ISSR 分析 Shannon 信息指数 $I=0.0784-0.1923$; $H_e=0.47-0.54$, $PIC=0.49-0.75$)、湘江 ($H_o=0.5860$, $PIC=0.5347$)、长江中游 ($H_o=0.4980$, $H_e=0.7708$)、鄱阳湖 ($H_o=0.4888$, $H_e=0.7679$)、洞庭湖 ($H_o=0.5162$, $H_e=0.7693$) 等地方种群^[6-12],元江鲤种群遗传多样性更高,具有丰富的遗传育种和遗传改良潜力。元江是鲤的重要天然基因库,应当加强种质资源保护。

元江鲤种群大多数微卫星位点偏离了 Hardy-Weinberg 平衡反映了鲤的遗传多样性丰富。在等位基因数目较多的种群的 MFW1、MFW7、MFW9、MFW14、MFW16、MFW18、MFW26、MFW30 等位点,所有种群均偏离 Hardy-Weinberg 平衡。总体看,仅具有 2 个等位基因的 MFW5 位点保持了 Hardy-Weinberg 平衡。所选择用于元江鲤遗传多样性扫描的几个微卫星位点多是起源较早的高多态性位点,像 MFW1 等,不仅在不同分布区域的鲤种群中具有多态性,往往还可以用于鲤科鱼类甚至其它鲤形目鱼类跨物种的微卫星分析^[24]。这些遗传多样性丰富的等位基因在长期进化过程中受到突变、迁移和自然选择的压力小,等位基因丰富。因此,检测像鲤、泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus*^[25] 等具有丰富等位基因,检测高度多态性鱼类微卫星 Hardy-Weinberg 平衡时,需要更大样本量。根据遗传偏离指数, d 值的正负直观地反映了种群内杂合子的过剩或缺失状态, d 值为正说明杂合子过剩, d 值为负说明杂合子缺失,但没有一个公认的标准来衡量 d 值达到多少是偏离了 Hardy-Weinberg 平衡。鲤微卫星 χ^2 检测显示了大多数位点偏离了 Hardy-Weinberg 平衡,但除了 MFW9、HLJ1066 杂合子缺失外,偏离幅度均不大,多表现出杂合子过剩。导致这种现象的原因是由于微卫星位点等位基因数量多,多态性较高,尽管 YJ、HH、YY 种群样本量达到 48,仍然显得较少,也反映了鲤的遗传多样性丰富。

3.2 元江鲤种质资源的管理与保护

元江鲤是我国鲤品种选育重要种质资源,是我国具有代表性的鲤地方种群,在水产养殖业、鱼类遗传育种方面具有十分重要的地位,具极高的科研价值和经济价值。1970 年代长江水产研究所用元江鲤作父本与江西的荷包红鲤杂交,培育成荷元鲤,其子代生长优势高于父母本;其后又以特定的荷包红鲤与元江鲤为亲本,采用家系选育、系间杂交及雌核发育等一系列育种措施,获得了生长优势十分显著的新品种建鲤^[3]。随着江河资源的开发,其天然种质基因库的保护变得越来越迫切。

3.2.1 保护管理单元

在天然种群管理方面,元江 5 个采样点的种群相似系数高(0.8632—0.9700),遗传距离仅在 0.0305—0.1471 之间,小于不同分布地的鲤种群之间的遗传距离,如江西三红与黑龙江鲤的遗传距离为 0.17—0.23^[11],镜鲤种群间遗传距离 0.136—0.661^[21]。较小的遗传距离是因为上下游之间有较强的基因交流($Nm=9.5003$)。因此元江鲤种群间遗传分化甚小,遗传分化主要存在于个体之间,可以作为一个种群管理单元进行管理。目前在元江县已经建立了元江鲤国家级水产种质资源保护区,其目的是加强元江鲤种质资源管理。就目前的研究结果看,整个元江流域鲤种群遗传多样性均丰富,因此种质资源的保护、管理和利用应当扩大为全流域。

3.2.2 种群保护、管理措施

尽管元江鲤种群遗传多样性处于较高水平,在今后野生鲤的人工选育、物种保护、增殖放流、水利工程与生态恢复过程中,注意保护元江鲤的种群遗传资源,避免人类活动导致的种群衰退。主要注意:1)加强渔业资源管理,设置禁渔期,杜绝破坏性捕捞(电鱼、毒鱼),这是最有力的资源保护手段。2)通过增殖放流进行种群恢复,且注意放流群体遗传背景选择。增殖放流是江河资源保护与恢复的重要手段。由于滥渔、酷渔,种群资源衰竭,增殖放流成为必然手段。云南省元江县已经开展了元江鲤的增殖放流(<http://www.web.yn.gov.cn/ywzl/4041.html>)。该放流群体来自元江县鱼种站,种质可以保证。在增殖放流中,放流种群的遗传多样性应当丰富。研究结果显示元江鲤群体中频率低于 0.05 的低频率等位基因数量达到 113,低于 0.01 的等位基因 19 个,低频率等位基因易在放流群体过大,放流亲本较小情况下丢失。因此应当建立增殖放流效果评价体系,增加有关放流对野生种群遗传多样性和生态系统平衡的负面影响评价项目^[26],避免由于引入人工放流种苗而引发遗传适合度的降低和遗传多样性的丧失^[27],尤其是要防止放流种群遗传多样性过低导致的野外种群一些稀有等位基因的丢失。3)进行增殖放流要注意种群基因交流。在元江规划了 12 级梯级水电站(图 1)^[5],现已经建成 2 个,在建 1 个。干流梯级开发,将会改变其水文条件,河流的污染物负荷增大,富营养化的机率增大,同时改变干流的生景和自然景观,尤其阻隔了鱼类等水生生物的迁移路线。无疑水工建设会对野生鲤种群结构造成影响,特别是阻碍向上游方向的基因流,因此增殖放流要注意种群间基因交流,放流群体亲本应该有来自上下游各地的个体。4)对外来物种的管理和生态系统的保护。尽管元江流域未见其他鲤种群的放流,但 2011 年发现在南沙电站库区放养了大量鲢 *Hypophthalmichthys molitrix*、鳙 *Aristichthys nobilis*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、青鱼 *Mylopharyngodon piceus*,表明外来物种放流量较大,可能会对元江自然环境造成一定影响,尤其草鱼可能会大量摄食水生植物而对元江鲤产卵环境造成破坏。因此要禁止这些外来物种放流,以免生态系统受到破坏。5)遗传资源管理。我国江河鱼类遗传多样,种质资源保护存在的问题,除了过度开发外还表现在杂交种管理不善等方面。1970—1980 年代,我国杂交鲤利用广泛,先后在生产上广泛应用过的有丰鲤、荷元鲤、三杂交鲤、岳鲤、芙蓉鲤、颖鲤、建鲤等杂交组合,这些杂交鲤部分进入了自然水体^[28]。元江流域市售鲤个体主要为来自元江本地捕捞或养殖,其养殖苗种多为当地鱼种站繁育或天然捕捞,杂交品种尚未进入元江流域,但在增殖放流管理中仍要严格检测。目前各地养殖品种中以元江鲤为亲本之一所选育出来的建鲤占较大比例,仍然不能将其放流入元江,以防止导致一些等位基因的丢失;也不得将其他水系来源鲤种群放流入元江,以免造成遗传渗透。

References:

- [1] Cong Z M, Li T. History of Fishery in China. Beijing: China Science and Technology Press, 1993: 26-29.
- [2] Yue P Q. Fauna Sinica. Osteichthyes. Cypriniformes III. Beijing: Sciences Press, 2000: 410-413.
- [3] Sun X Y, Zhang J S, Shi YH, Wang J X, Gong Y S, Zhu G R. Studies on the hereditary property of Jian carp. Journal of Fisheries of China, 1994, 18(3): 205-213.
- [4] Chu X L, Chen Y R. The Fishes of Yunnan I. Beijing: Sciences Press, 1989: 337-338.
- [5] He D M, Feng Y, Hu J M. Utilization of Water Resources and Environmental Conservation in the International Rivers. Southwest China. Beijing: Sciences Press, 2007: 153-154.
- [6] Yan C M, Zhang Y B, Zhen W, Sun X W, Chang Y M, Mao R X, Liu H J, Lin Z Q, Xiao Z G. Genetic relationship in wild carps using microsatellite markers. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(2): 102-106.
- [7] Ma H Y, Yue Y S, Guo J F, Gong W H, Wang H. Microsatellite marker analysis of genetic diversity and phylogenetic relationships in three populations of *Cyprinus carpio* L., Shangdong Province. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(6): 655-660.
- [8] Guan J Y, Zhang Q, Qu C Y, Geng R Y, Feng J X. Genetic diversity of wild and artificial selecting cyprinus cappio haematopterus by ISSR Analysis. Journal of Henan Normal University: Natural Science, 2010, 38(4): 128-131.
- [9] Song W, Zhang Q, Feng J X. Effect of environmental factors on the Yellow River carp population genetic diversity. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(5): 323-325.
- [10] Liu Z, Lu S Q, Kuang G Q, Zhang J S, Liu H Y, Liu F. Microsatellite DNA analysis on genetic diversity of cultured and wild *Cyprinus carpio* populations in Xiangjiang River. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(7): 1074-1079.
- [11] Chang Y M, Sun X W, Liang L Q. Genetic diversity analysis of genomic DNAs of several representative populations of common carp in China. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 481-486.
- [12] Liao X L, Yu X M, Tong J G. Genetic diversity of common carp from two largest Chinese lakes and the Yangtze River revealed by microsatellite markers. Hydrobiologia, 2006, 568(1): 445-453.
- [13] Aljanabi S M, Martinez I. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. Nucleic Acids Research, 1997, 25(22): 4692-4693.
- [14] Crooijmans R P M A, Van Der Poel J J, Groenen M A M, Bierbooms V A F, Komen J. Microsatellite markers in common carp (*Cyprinus carpio* L.). Animal Genetics, 1997, 28(2): 129-134.
- [15] Hou N, Li D Y, Li Y, Lu C Y, Sun X W, Liang L Q. Development of 10 tri- and tetranucleotide microsatellite loci for population studies in the common carp (*Cyprinus carpio* L.). Molecular Ecology Resources, 2008, 8(6): 1357-1359.
- [16] Liang H W, Wang C Z, Li Z, Luo X Z, Zou G W. Improvement of the silver-stained technique of polyacrylamide gel electrophoresis. Hereditas, 2008, 30(10): 1379-1382.
- [17] Yeh F C, Yang R, Boyle T J, Ye Z, Xiyang M. PopGene32, Microsoft Windows-based Freeware for Population Genetic Analysis (version 1. 32). Alberta, Canada: Molecular Biology and Biotechnology Centre, University of Alberta, 2000.
- [18] Excoffier L, Lischer H E L. Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. Molecular Ecology Resources, 2010, 10(3): 564-567.
- [19] Bostein D, White R L, Skolnick M, Davis R W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. American Journal of Human Genetics, 1980, 32(3): 314-331.
- [20] Kohlmann K, Kersten P, Flajshans M. Microsatellite-based genetic variability and differentiation of domesticated, wild and feral common carp (*Cyprinus carpio* L.) populations. Aquaculture, 2005, 247(1/4): 253-266.
- [21] Thai B T, Burridge C P, Austin C M. Genetic diversity of common carp (*Cyprinus carpio* L.) in Vietnam using four microsatellite loci. Aquaculture, 2007, 269(1/4): 174-186.
- [22] Quan Y C, Li D Y, Cao D C, Sun X W, Liang L Q. Population genetic variation and structure analysis on five populations of mirror carp *Cyprinus carpio* L. using Microsatellites. Hereditas, 2006, 28(12): 1541-1548.
- [23] Sun X, Wei Z B, Sun X W, Zhang Y, Lu C Y. Analysis of genetic structure of mirror carp population and correlation of microsatellite markers and economic traits. Hereditas, 2008, 30(3): 359-366.
- [24] Tong J, Yu X, Liao X. Characterization of a highly conserved microsatellite marker with utility potentials in cyprinid fishes. Journal of Applied Ichthyology, 2005, 21(3): 232-235.
- [25] Shan L, Wei K J, Zhang G W, Wang W M. Genetic diversity of four diploid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) populations in the Middle and

Lower Yangtze River Basin. Journal of Huazhong Agricultural University, 2009, 28(4): 453-458.

- [26] Molony B W, Lenanton R, Jackson G, Norriss J. Stock enhancement as a fisheries management tool. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2004, 13(4): 409-432.
- [27] Busack C A, Currens K P. Genetic risks and hazards in hatchery operations: fundamental concepts and issues // American Fisheries Society Symposium, 1995, 15: 71-80.
- [28] Li S F. Germplasm Resources and Conservation of Freshwater Fishes in China. Beijing: Agricultural Press, 1996: 11-11.

参考文献:

- [1] 丛子明, 李挺. 中国渔业史. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 26-29.
- [2] 乐佩琦. 中国动物志: 硬骨鱼纲·鲤形目(下). 北京: 科学出版社, 2000: 410-413.
- [3] 孙小异, 张建森, 施永红, 王建新, 龚永生, 朱根荣. 建鲤遗传特性的研究. 水产学报, 1994, 18(3): 205-213.
- [4] 褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志(上). 北京: 科学出版社, 1989: 337-338.
- [5] 何大明, 冯彦, 胡金明. 中国西南国际河流水资源利用与生态保护. 北京: 科学出版社, 2007: 153-154.
- [6] 闫春梅, 张雅斌, 郑伟, 孙效文, 常玉梅, 毛瑞鑫, 刘慧吉, 李忠强, 肖志国. 鸭绿江鲤鱼种质资源的微卫星分析. 东北农业大学学报, 2011, 42(2): 102-106.
- [7] 马洪雨, 岳永生, 郭金峰, 公维华, 王慧. 山东省三个鲤鱼群体遗传多样性及亲缘关系的微卫星标记分析. 湖泊科学, 2006, 18(6): 655-660.
- [8] 关建义, 张芹, 屈长义, 耿如意, 冯建新. 野生和人工选育黄河鲤遗传多样性的 ISSR 分析. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2010, 38(4): 128-131.
- [9] 宋威, 张芹, 冯建新. 环境因素对黄河鲤群体遗传多样性的影响. 江苏农业科学, 2011, 39(5): 323-325.
- [10] 刘臻, 鲁双庆, 匡刚桥, 张建社, 刘红玉, 刘峰. 湘江野鲤养殖群体和自然群体遗传多样性的微卫星分析. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1074-1079.
- [11] 常玉梅, 孙效文, 梁利群. 中国鲤几个代表种群基因组 DNA 遗传多样性分析. 水产学报, 2004, 28(5): 481-486.
- [16] 梁宏伟, 王长忠, 李忠, 罗相忠, 邹桂伟. 聚丙烯酰胺凝胶快速、高效银染方法的建立. 遗传, 2008, 30(10): 1379-1382.
- [22] 全迎春, 李大宇, 曹鼎辰, 孙效文, 梁利群. 微卫星 DNA 标记探讨镜鲤的种群结构与遗传变异. 遗传, 2006, 28(12): 1541-1548.
- [23] 孙新, 魏振邦, 孙效文, 张研, 鲁翠云. 镜鲤繁殖群体的遗传结构及微卫星标记与经济性状的相关性分析. 遗传, 2008, 30(3): 359-366.
- [25] 单磊, 魏开建, 张桂蓉, 邹桂伟, 王卫民. 长江中下游二倍体泥鳅 4 个种群的遗传多样性. 华中农业大学学报, 2009, 28(4): 453-458.
- [28] 李思发. 中国淡水鱼类种质资源和保护. 北京: 中国农业出版社, 1996: 11-11.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 彭少麟

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元