

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.03.003

3个鲤群体的微卫星标记与生长性状相关性分析

刘伟¹, 苏胜彦², 董在杰^{1,2,3}, 张建桥¹, 马良骁¹,
李灵玲¹, 曲疆奇¹, 袁新华^{1,2}

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,
农业部淡水渔业与种质资源利用重点实验室, 江苏无锡 214081;
3. 南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095)

摘要: 利用筛选出鲤(*Cyprinus carpio*)的15对多态性较高的微卫星引物, 分析其与黄河鲤(*C. carpio haematopterus* Temminck et Schlegel)、建鲤(*C. carpio* var. *jian*)和黑龙江野鲤(*C. carpio haematopterus*)群体中90个个体的体质量、体长、体厚和体高性状的相关性。利用SAS的一般线性模型(GLM)对15个微卫星标记与3个鲤群体的生长性状进行显著性检验。结果表明, Mfw5与黄河鲤的体高相关($P < 0.05$); Hlj013、Cca09和Mfw7均与建鲤的体质量、体长和体高相关($P < 0.05$); Mfw2与建鲤的体质量和体厚相关($P < 0.05$); Mfw29与建鲤的体质量相关($P < 0.05$); Mfw6与黑龙江野鲤的体质量、体长、体厚和体高均相关($P < 0.05$); Mfw4与黑龙江野鲤的体质量、体长和体高相关($P < 0.05$); Mfw11与黑龙江野鲤的体厚和体高相关($P < 0.05$)。对同一性状不同基因型间进行多重比较, 找到3个群体中与生长性状相关的基因型。

关键词: 鲤; 微卫星; 生长性状; 相关分析

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)03-0017-08

Correlation analysis of microsatellite DNA markers with growth trait among 3 breeding populations of common carp

LIU Wei¹, SU Shengyan², DONG Zaijie^{1,2,3}, ZHANG Jianqiao¹, MA Liangxiao¹,
LI Lingling¹, QÜ Jiangqi¹, YUAN Xinhua^{1,2}

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China; 2. Key Lab. of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 3. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: We screened out the molecular makers of 15 microsatellite loci for common carp (*Cyprinus carpio*), and compared these markers with Huanghe carp (*C. carpio haematopterus* Temminck et Schlegel), Jian carp (*C. carpio* var. *jian*) and Heilongjiang carp (*C. carpio haematopterus*) populations in aspects of body weight, body length, body width and body depth. The results based on GLM show that Mfw5 is significantly correlated with body depth for Huanghe carp ($P < 0.05$). For Jian carp population, Hlj013, Cca09 and Mfw7 are significantly correlated with body weight, body length and body depth ($P < 0.05$); Mfw2 is significantly correlated with body weight and body width ($P < 0.05$); while Mfw29 is significantly correlated with body weight ($P < 0.05$). For Heilongjiang carp

收稿日期: 2011-10-21; 修回日期: 2011-12-01

资助项目: 现代农业产业技术体系国家大宗淡水鱼类产业技术体系(CARS-46); 国家科技支撑计划项目(2006BAD01A1208); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2009JBF01); 江苏省自然科学基金项目(BK2010164)

作者简介: 刘伟(1987-), 女, 硕士研究生, 从事水产养殖研究。E-mail: Lweihappy@126.com

通讯作者: 董在杰, E-mail: dongzj@ffrc.cn

population, Mfw6 is significantly correlated with body weight, body length, body width and body depth ($P < 0.05$); Mfw4 is significantly correlated with body weight, body length and body depth ($P < 0.05$); Mfw11 is significantly correlated with body width and body depth ($P < 0.05$). Furthermore, the genes and genotypes related to growth traits in the 3 carp populations are found.

Key words: common carp; microsatellite; growth trait; correlation analysis

鲤 (*Cyprinus carpio*) 是世界上养殖范围最广的重要经济鱼类之一, 在中国的淡水养殖中占据着重要地位。但近年来在鲤养殖生产中, 生长缓慢、产量下降和抗病力差等生长性状衰退现象越来越突出, 因此对鲤生长性状的研究尤为重要。以往的研究表明, 与生长相关的性状(体质量、体长等)是受微效多基因控制和环境因素影响的数量性状^[1-2], 寻找控制这些数量性状的基因和标记, 建立分子标记辅助育种技术, 是缩短时代间隔、加快育种进展的有效方法之一, 可提高鲤育种的速度和效率。

微卫星(microsatellite)又称简单序列重复(simple sequence repeat, SSR), 指由短的重复单元(一般为1~6个碱基)组成的DNA串联重复序列, 具有数量多、多态性好和呈共显性遗传等优点, 是近年来发展迅速、应用广泛的分子标记之一。其在鲤分子水平的研究中有广阔的应用前景, 国内外均有相关报道, 如鲤微卫星分子标记的筛选与开发^[3-8]、鲤遗传连锁图谱的建立^[9]、抗寒标记的数量性状基因位点(quantitative trait locus, QTL)^[10]等。通过微卫星遗传标记进行QTL^[11]定位, 是目前研究水产动物数量性状遗传标记的常用方法之一。

建鲤 (*C. carpio* var. *jian*)、黄河鲤 (*C. carpio haematopterus* Temminck et Schlegel) 和黑龙江野鲤 (*C. carpio haematopterus*) 都是中国较重要的鲤鱼养殖品种, 通过研究微卫星标记与生长性状的相关性, 可为分子辅助选育进一步提高3种鲤的生产性能提供分子标记。有关鲤遗传多样性的研究报道很多^[12-15], 但关于建鲤、黄河鲤和黑龙江野鲤有关生长性状的标记并进行遗传改良的报道较少^[16-18]。此研究利用15个微卫星标记, 分析其与鲤体质量、体长、体厚和体高间的相关性, 旨在为鲤生长性状的选择和鲤的选择育种提供基础数据, 同时也为鲤经济性状的进一步QTL定位奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黄河鲤、建鲤和黑龙江野鲤均取自中国水产科

学研究院淡水渔业研究中心宜兴试验基地, 其中黄河鲤引自河南黄河鲤原种场, 建鲤为淡水渔业研究中心进行多代选育的后代, 黑龙江野鲤引自中国水产科学研究院黑龙江水产研究所。

1.2 微卫星引物与试剂

此研究首先从鲤遗传连锁图谱和QTL定位候选标记、CROOIJMANS等^[21]发表的MFW系列微卫星座位和DAVID等^[22]发表的Koi系列微卫星座位中挑选出多态性较好的微卫星引物64对, 初步筛选出25对多态性较好的引物; 再经过进一步的筛选, 最终挑选出具有多态性高、重复性好和扩增条带清晰的Cca09、Hlj013、Hlj1093、Hlj1117、Hlj1268、Mfw2、Mfw4-7、Mfw11、Mfw16、Mfw18、Mfw29和Koi3-4共15对引物。

引物均由Invitrogen公司合成; 用于SSR-PCR的反应体系和500 bp DNA ladder均购自TaKaRa宝生物工程(大连)有限公司; 使用由日本TaKaRa公司生产的ABI PCR扩增仪, 及由美国UVP凝胶成像系统公司生产的UVP GelDoc-It™ Imaging System。

1.3 试验方法

1.3.1 基因组DNA的提取和纯化 挑选体格健壮、性腺发育好的鲤做亲本, 于2009年4月初人工注射1500 IU绒毛膜促性腺激素+8~15 μg促黄体素释放激素A₂催产, 并采用“一对一”配对方式组成家系, 放在网箱内隔离繁殖。试验鱼在宜兴基地进行养殖。2009年4月亲鱼产卵, 自然孵化得到黄河鲤、建鲤和黑龙江野鲤自交子代。7月在每个家系中随机挑选一定数目的鲤进行PIT标记, 同时测量体质量、体长、体厚和体高。标记后将所有鱼放入同一池塘饲养, 12月再进行一次测量。同时, 3个鲤群体分别随机取30个个体采集血液, 参照TaKaRa基因组提取试剂盒说明进行鲤DNA提取并检测DNA的质量和浓度后, 放入-20℃冰箱中保存备用。

1.3.2 PCR扩增和产物检测 微卫星PCR反应体系为15 μL, 包括10×buffer 1.5 μL、Mg²⁺ (25 mmol·L⁻¹) 0.8 μL、dNTPs (各2 mmol·L⁻¹) 1.2 μL、

上下游引物 ($10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) $0.75 \mu\text{L}$ 、模板 DNA ($4 \text{ ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$) $0.8 \mu\text{L}$ 、*Taq* DNA 聚合酶 ($5 \text{ U}\cdot\mu\text{L}^{-1}$) $0.15 \mu\text{L}$ 和双重水 $9.8 \mu\text{L}$ 。PCR 反应程序为 $94 \text{ }^\circ\text{C}$ 5 min , 1 个循环; $94 \text{ }^\circ\text{C}$ 30 s , $50 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 30 s , $72 \text{ }^\circ\text{C}$ 30 s , 35 个循环; $72 \text{ }^\circ\text{C}$ 7 min , $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 保存。8% 聚丙烯酰胺凝胶电泳 180 V 、 3 h , 在用 GoldView 染料(上海赛百盛生物科技公司出品)染色 15 min , UVP 凝胶成像系统照相并保存。

1.4 微卫星标记与生长性状相关性分析

用 SAS 9.0 软件的一般线性模型 (general linear model) 对 15 个微卫星标记与黄河鲤、建鲤和黑龙江野鲤群体的体质量、体长、体厚和体高进行相关性分析。与生长相关的微卫星标记不同基因型间再进行多重比较, 找到 3 个群体中与生长性状相关的基

因型。

2 结果与分析

2.1 生长性状分布

用 SPSS 13.0 中的 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验来分析生长性状的频率分布是否显著偏离正态分布。建鲤体质量、体长、体厚和体高的平均值均高于黄河鲤和黑龙江野鲤; 建鲤生长性状的最小值高于黄河鲤和黑龙江野鲤(表 1), 主要是因为建鲤是此研究所运用家系选育、系间杂交和雌核发育技术相结合培育成功的新品种, 这些年一直着重对其生长性状进行选育。3 个鲤群体生长性状检验的 P 值都大于 0.05, 说明所有测量的性状都符合正态分布, 均具有连续遗传变异的特点。

表 1 3 个鲤群体的生长性状正态分布检验

Tab. 1 Test of normal distribution of growth traits of 3 carp populations

鲤群体 carp population	生长性状 growth trait	平均值 \pm 标准差 $\bar{X} \pm \text{SD}$	最大值 maximum	最小值 minimum	偏度 skewness	峰度 kurtosis	P
黄河鲤 Huanghe carp	体质量/g	258.47 ± 19.364	661	129	2.068	6.265	0.301
	体长/mm	209.40 ± 5.417	283	160	0.889	0.702	0.337
	体厚/mm	33.90 ± 0.996	54	26	1.739	5.218	0.354
	体高/mm	62.37 ± 1.645	93	49	1.438	3.533	0.627
建鲤 Jian carp	体质量/g	316.73 ± 16.591	531	154	0.509	-0.393	0.602
	体长/mm	225.20 ± 3.580	256	183	-0.116	-0.495	0.966
	体厚/mm	37.80 ± 1.417	73	28	3.286	14.885	0.090
	体高/mm	67.20 ± 1.322	81	52	0.214	-0.519	0.789
黑龙江野鲤 Heilongjiang carp	体质量/g	201.60 ± 6.364	252	117	-0.612	-0.191	0.704
	体长/mm	192.57 ± 2.828	217	159	-0.447	-0.365	0.957
	体厚/mm	31.30 ± 0.503	36	25	-0.251	0.040	0.569
	体高/mm	57.70 ± 0.824	66	47	-0.217	-0.318	0.943

2.2 微卫星引物的筛选和 PCR 扩增

此研究共筛选出 15 对多态性高、重复性好和扩增条带清晰的引物。其中部分引物的 PAGE 结果见图 1。当聚丙烯酰胺凝胶上出现影子带(纯合子为 2 条带, 杂合子为 3 条带或 4 条带)时, 根据王吉振等^[23]给出的判定标准来区分“主带”和“影子带”, 并进行分型。

2.3 微卫星位点与鲤生长性状的相关分析

2.3.1 微卫星位点与黄河鲤生长性状的相关性分析 利用 SAS 9.0 软件的 GLM 过程, 分析筛选

出的标记位点与黄河鲤体质量、体长、体厚和体高性状的相关性。在 15 个微卫星位点中, Mfw5 与黄河鲤群体的体高显著相关 ($P < 0.05$)。将 Mfw5 进行不同基因型的不同性状的多重比较(表 2)。在黄河鲤的 Mfw5 位点上, DD 基因型个体的体高显著高于 BD 基因型个体, 与其他基因型的差异不显著; DD 基因型个体的体质量和体长的均值最高, 但基因型间差异不显著; 故认为 DD 基因型可能与体质量、体长和体高呈正相关。

2.3.2 微卫星位点与建鲤生长性状的相关分析

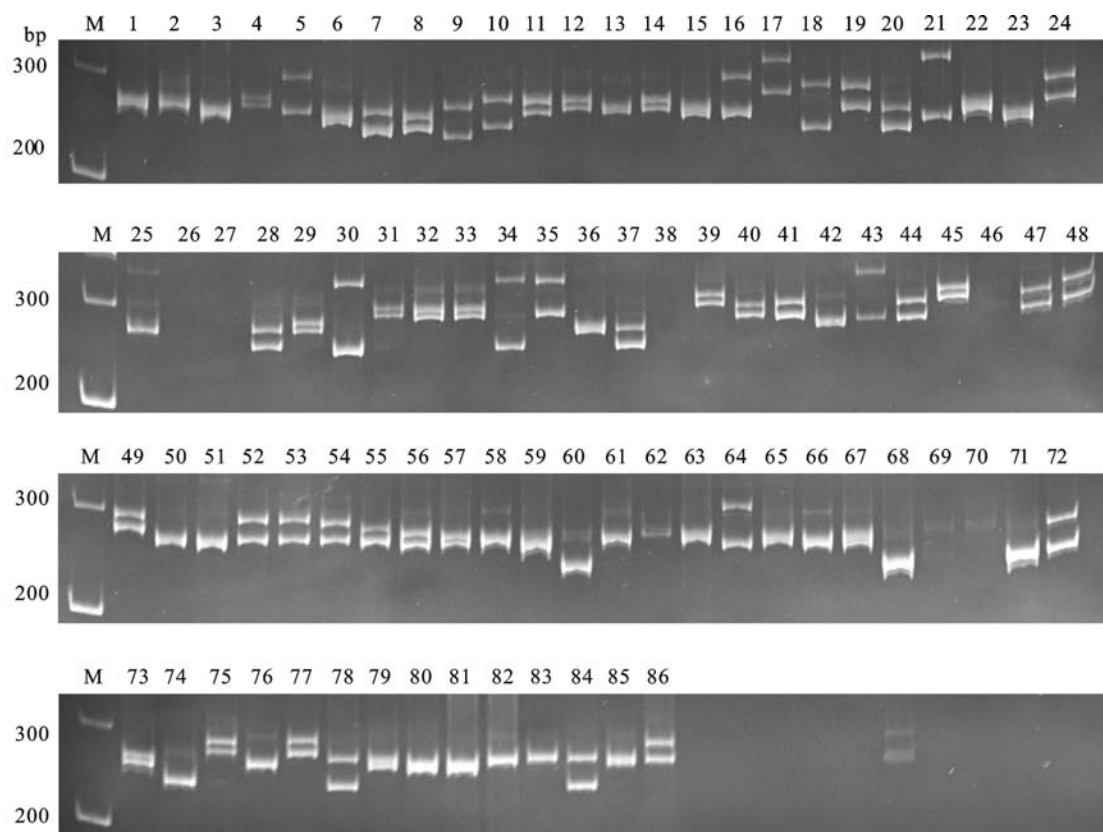


图1 3个鲤群体在微卫星位点 Cca09 的遗传差异

M. DL500 bp DNA 分子标记(50 bp, 100 bp, 150 bp, 200 bp, 300 bp, 400 bp, 500 bp); 1~29. 黄河鲤个体;
30~59. 建鲤个体; 60~86. 黑龙江野鲤个体

Fig. 1 Genetic diversity in microsatellite locus Cca09 of 3 carp populations

M. DL500 bp DNA makers (50 bp, 100 bp, 150 bp, 200 bp, 300 bp, 400 bp, 500 bp); 1~29. individuals of Huanghe carp;
30~59. individuals of Jian carp; 60~86. individuals of Heilongjiang carp

利用 SAS 9.0 软件的 GLM 程序进行分析, 筛选出 5 个与生长性状具有显著性相关 ($P < 0.05$) 的微卫星位点, 并对其不同基因型的不同性状进行多重比较(表 3)。在位点 Hlj013 中, CE 基因型个体的体质量、体长、体厚和体高均值高于其他基因型个体, 而含有等位基因 *F* 的基因型个体的 4 个生长性状的均值低于其他基因型, 说明等位基因 *F* 可能对这 4 种性状起负面影响。在位点 Cca09 上, 从表 3 可以认为等位基因 *E* 与建鲤的体质量、体长、体厚、体高正相关。而在位点 Mfw2 上, 各基因型在体长和体高上差异不显著, 但含等位基因 *B* 的基因型均值要高于其他基因型, 可以认为等位基因 *B* 与建鲤的体长和体高正相关。在位点 Mfw7 中共检测到 4 种基因型, 在体质量上 4 种基因型均差异显著, CE 个体的体质量均值最大; CE 基因型个体的体长、体高显著高于 BD 和 FG, 与 DF 的差异不显著; 体厚的

所有基因型个体差异不显著, CE 基因型的最大; 可以认为 CE 基因型与建鲤的体质量、体长、体厚、体高正相关。在位点 Mfw29 中, CD 基因型个体的体质量、体长和体高显著高于 AC 基因型个体, 但 2 种基因型个体的体厚间差异不显著, 故等位基因 *D* 可能与这 4 个性状正相关。

2.3.3 微卫星位点与黑龙江野鲤生长性状的相关分析 筛选出 3 个与生长性状具有显著性 ($P < 0.05$) 的微卫星位点, 并对其不同基因型的不同性状进行多重比较(表 4)。在位点 Mfw4 中, BB 基因型个体的体质量显著高于 AC 基因型个体, 而 AC 基因型个体的体质量显著高于 AA 基因型个体; BB 基因型个体的体长、体高都显著高于 AA 基因型的; BB 基因型个体的体厚高于其他基因型, 但各基因型差异不显著; 可以认为等位基因 *B* 与体质量、体长、体厚和体高正相关。位点 Mfw6 中含有等位基因 *A* 个体的体质量、体长和体高均值均

显著高于其他基因型; AB 基因型个体的体厚显著高于 BC 基因型个体, 与其他基因型差异不显著。说明等位基因 A 可能与体质量、体长、体厚和体高正相关。位点 Mfw11, AB 基因型个体的体厚和

体高的均值均显著高于其他基因型; AB 基因型个体的体质量和体长均值高于其他基因型, 但基因型间差异不显著。可认为等位基因 A 与体质量、体长、体厚和体高正相关。

表2 黄河鲤1个微卫星位点不同基因型体质量、体长、体厚和体高的平均值及多重比较

Tab. 2 Multiple comparison of average body weight, body length, body width and body depth of Huanghe carp at one microsatellite locus

位点 locus	基因型 genotype	个数 number	体质量/g body weight	体长/mm body length	体厚/mm body width	体高/mm body depth
Mfw5	AB	4	251.250 ^a ± 48.199	207.000 ^a ± 13.630	34.250 ^a ± 2.565	64.000 ^{ab} ± 3.844
	BC	4	331.000 ^a ± 48.199	218.250 ^a ± 13.630	37.750 ^a ± 2.565	68.500 ^{ab} ± 3.844
	BD	8	238.250 ^a ± 34.082	211.500 ^a ± 9.638	33.125 ^a ± 1.814	58.750 ^b ± 2.718
	DD	3	332.333 ^a ± 55.656	231.333 ^a ± 15.739	37.667 ^a ± 2.962	70.000 ^a ± 4.439

注: 同一列中不同上标字母数值间差异显著 ($P < 0.05$), 下表同此

Note: Values with different superscripts in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same case in the following tables.

表3 建鲤的5个微卫星位点不同基因型体质量、体厚和体高的平均值及多重比较

Tab. 3 Multiple comparison of average body weight, body length, body width and body depth of Jian carp at 5 microsatellite loci

位点 locus	基因型 genotype	个数 number	体质量/g body weight	体长/mm body length	体厚/mm body width	体高/mm body depth
Hlj013	BE	4	313.250 ^{ab} ± 39.061	227.750 ^{ab} ± 7.971	38.000 ^a ± 1.856	70.000 ^{ab} ± 2.629
	CE	9	392.778 ^a ± 26.041	240.889 ^a ± 5.314	38.889 ^a ± 1.238	73.778 ^a ± 1.753
	DF	5	308.800 ^{ab} ± 34.937	224.800 ^{ab} ± 7.129	36.200 ^a ± 1.660	65.200 ^b ± 2.352
	EF	4	261.750 ^b ± 39.061	215.500 ^b ± 7.971	35.750 ^a ± 1.856	62.250 ^b ± 2.629
Cca09	BC	6	326.500 ^b ± 20.359	231.000 ^b ± 5.355	37.667 ^a ± 3.511	69.833 ^b ± 1.889
	CC	4	246.500 ^c ± 24.934	211.000 ^c ± 6.559	33.750 ^a ± 4.300	60.750 ^c ± 2.315
	CE	3	425.333 ^{ab} ± 28.792	247.333 ^{ab} ± 7.573	40.667 ^a ± 4.965	76.333 ^{ab} ± 2.673
	DE	3	482.000 ^a ± 28.792	253.667 ^a ± 7.573	41.667 ^a ± 4.965	77.000 ^a ± 2.673
	EE	3	345.667 ^b ± 28.792	233.667 ^{ab} ± 7.573	38.333 ^a ± 4.965	70.000 ^{ab} ± 2.673
Mfw2	AA	3	360.333 ^a ± 46.268	230.000 ^a ± 10.068	37.000 ^b ± 3.774	68.333 ^a ± 3.791
	AB	10	336.300 ^a ± 25.342	231.700 ^a ± 5.514	37.700 ^b ± 2.067	69.700 ^a ± 2.076
	BC	3	393.333 ^a ± 46.268	238.000 ^a ± 10.068	51.333 ^a ± 3.774	71.333 ^a ± 3.791
	CD	8	247.500 ^b ± 28.333	210.500 ^a ± 6.165	33.625 ^b ± 2.311	61.000 ^a ± 2.321
Mfw7	BD	9	237.778 ^d ± 16.557	209.667 ^c ± 4.484	33.556 ^a ± 2.540	61.222 ^c ± 1.614
	CE	3	482.000 ^a ± 28.677	253.667 ^a ± 7.766	41.667 ^a ± 4.400	77.000 ^a ± 2.796
	DF	8	376.000 ^b ± 17.561	238.625 ^{ab} ± 4.755	39.125 ^a ± 2.694	72.500 ^{ab} ± 1.712
	FG	5	313.000 ^c ± 22.213	225.400 ^b ± 6.015	37.200 ^a ± 3.408	68.000 ^b ± 2.166
Mfw29	AC	7	259.429 ^b ± 30.733	213.714 ^b ± 6.849	34.429 ^a ± 2.957	61.571 ^b ± 2.475
	CD	17	346.235 ^a ± 19.721	231.941 ^a ± 4.395	39.647 ^a ± 1.898	69.294 ^a ± 1.588

表4 黑龙江野鲤的3个微卫星位点不同基因型体质量、体厚和体高的平均值及多重比较
 Tab. 4 Multiple comparison of average body weight, body length, body width and body depth of Heilongjiang carp at weight microsatellite loci

位点 locus	基因型 genotype	个数 number	体质量/g body weight	体长/mm body length	体厚/mm body width	体高/mm body depth
Mfw4	AA	7	167.429 ^c ± 8.740	183.571 ^b ± 5.083	29.857 ^a ± 0.954	54.143 ^b ± 1.522
	AC	8	207.750 ^b ± 8.176	199.750 ^a ± 4.755	31.875 ^a ± 0.893	58.375 ^{ab} ± 1.423
	BB	10	233.400 ^a ± 7.313	199.900 ^a ± 4.253	32.800 ^a ± 0.798	60.500 ^a ± 1.273
Mfw6	AA	3	228.333 ^a ± 13.161	195.667 ^a ± 7.335	32.333 ^{ab} ± 1.254	60.667 ^a ± 1.978
	AB	15	221.200 ^a ± 5.886	200.533 ^a ± 3.280	32.733 ^a ± 0.561	59.933 ^a ± 0.885
	BC	6	174.333 ^b ± 9.306	180.500 ^b ± 5.187	29.167 ^b ± 0.887	54.667 ^b ± 1.399
Mfw11	BD	4	178.250 ^b ± 11.398	188.000 ^b ± 6.352	30.250 ^{ab} ± 1.086	55.250 ^b ± 1.713
	AB	9	218.333 ^a ± 10.967	204.667 ^a ± 4.664	33.444 ^a ± 0.824	60.333 ^a ± 1.341
	BC	13	192.923 ^a ± 9.125	187.846 ^a ± 3.881	30.615 ^b ± 0.686	56.077 ^b ± 1.115
	CD	3	175.000 ^a ± 18.995	185.000 ^a ± 8.078	30.333 ^b ± 1.427	55.333 ^b ± 2.322

3 讨论

3.1 微卫星标记分析

微卫星标记为共显性标记且检测方便,是目前育种中非常有用的遗传标记之一。进行微卫星标记的研究,要筛选出多态性高、分型好的微卫星位点,因此,此研究筛选出了15对分型较好、多态性高的引物进行关联性分析。张义凤等^[1]曾利用HLJ和KOI家族部分引物进行了柏氏鲤(*C. pellegrini*)和荷包红鲤(*C. carpio* var. *wayuanensis*)抗寒品系自交F₂代的微卫星标记与体质量、体长和体高性状的相关分析,结果发现Hlj695、Hlj716、Hlj739、Hlj759、Hlj774和K16与体质量、体长及体高相关,Hlj776与体高相关。张研等^[2]进一步验证了与经济性状相连锁的Hlj774标记与鲤体长性状的QTL定位结果基本一致。刘继红等^[24]用AFLP标记、微卫星标记、EST-SSR标记和RAPD标记构建了鲤的遗传连锁图谱,发现Mfw29定位在LG2连锁群上。赵海燕等^[25]在研究德国镜鲤(*C. carpio* L.)微卫星标记与形态性状的相关分析及亲本的选育过程中,也发现Mfw29与体长、体高和头高极显著相关。而此研究发现Mfw29与建鲤的体质量有关,这也为下一步Mfw29与经济性状的QTL定位奠定了基础。同时,赵海燕等^[25]还发现Mfw11与德国镜鲤的尾柄长和头高显著相关,此研究得出Mfw11与黑龙江野鲤的体厚和体

高相关。结果的不一致可能是试验材料和研究方法不同造成,因此为了试验的精确性,还需进一步的研究。

3.2 微卫星标记与鲤群体生长性状的关联性分析

鱼类生长速度是重要的种质特性,是评价其养殖生产效率和利用价值的主要标志。体质量和体型是反映鱼类生长速度的重要指标^[26-27]。此研究发现Mfw5位点与黄河鲤的生长性状有关联;Cca09、Hlj013、Mfw2、Mfw7和Mfw29位点与建鲤的生长性状有关联;Mfw4、Mfw6和Mfw11位点与黑龙江野鲤的生长性状有关,正如REED等^[28]的研究发现体质量性状为多个基因控制的性状。部分位点还与鲤的体型性状有关联,出现了一个微卫星标记与几个生长性状相关,或者一个标记与一个生长性状相关,说明这些位点可能存在一因多效或多因一效的现象,符合QTL的定义。这些位点的某些基因型具有显著的生长优势,有望在今后的选育过程有意识的富集有利基因型,从而达到指导选育的目的。

在微卫星标记辅助选育时还应考虑多个位点的关联效应。此研究中有5个微卫星位点与建鲤群体的生长性状显著相关,有3个与黑龙江野鲤的生长性状显著相关,而只有1个微卫星位点与黄河鲤的生长性状显著相关,但 these 位点间的关联效应还有待研究。在水产育种工作中重要经济性状基因连锁分析或QTL定位用于建鲤、黄河鲤和黑龙江野鲤

标记辅助选育的报道较少^[29], 故此研究所获得的与体质量、体长、体厚和体高相关的标记能否在建鲤、黄河鲤和黑龙江野鲤标记辅助选择实践中得到应用, 仍需进一步研究与验证。

参考文献:

- [1] 张义凤, 张研, 鲁翠云, 等. 鲤鱼微卫星标记与体重、体长和体高性状的相关分析[J]. 遗传, 2008, 30(5): 613-619.
ZHANG Yifeng, ZHANG Yan, LU Cuiyun, et al. Correlation analysis of microsatellite DNA markers with body weight, length and height of common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Hereditas, 2008, 30(5): 613-619. (in Chinese)
- [2] 张研, 梁利群, 常玉梅, 等. 鲤鱼体长性状的 QTL 定位及其遗传效应分析[J]. 遗传, 2007, 29(10): 1243-1248.
ZHANG Yan, LIANG Liqun, CHANG Yumei, et al. Mapping and genetic effect analysis of quantitative trait loci related to body size in common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Hereditas, 2007, 29(10): 1243-1248. (in Chinese)
- [3] ALIAH R S, TAKAGI M, DONG S, et al. Isolation and inheritance of microsatellite markers in the common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Fish Sci, 1999, 65(2): 235-239.
- [4] 魏东旺, 楼允东, 孙效文, 等. 鲤鱼微卫星分子标记的筛选[J]. 动物学研究, 2001, 22(3): 238-241.
WEI Dongwang, LOU Yundong, SUN Xiaowen, et al. Isolation of microsatellite markers in the common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Zool Res, 2001, 22(3): 238-241. (in Chinese)
- [5] YUE C H, HO M Y, ORBAN L, et al. Microsatellites within genes and ESTs of common carp and their applicability in silver crucian carp [J]. Aquaculture, 2004, 234(1): 85-98.
- [6] SUN X W, LIANG L Q. A genetic linkage map of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and mapping of a locus associated with cold tolerance [J]. Aquaculture, 2005, 238(1): 165-172.
- [7] 朱立静, 孙中响, 陈淑吟, 等. 磁珠富集法筛选西施舌微卫星序列[J]. 南方水产科学, 2011, 7(4): 10-15.
ZHU Lijing, SUN Zhongxiang, CHEN Shuyin, et al. Microsatellite enrichment by magnetic beads in *Coelomactra antiquate* [J]. South China Fish Sci, 2011, 7(4): 10-15. (in Chinese)
- [8] LIU Z J, CORDES J F. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics [J]. Aquaculture, 2004, 238(1/2/3/4): 1-37.
- [9] 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.
SUN Xiaowen, LIANG Liqun. A genetic linkage map of common carp [J]. J Fish Sci China, 2000, 7(1): 1-5. (in Chinese)
- [10] 梁利群, 孙效文. 鲤耐寒性状分子标记在遗传连锁图上的定位[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(4): 278-281.
LIANG Liqun, SUN Xiaowen. Mapping cold tolerance strain on genetic linkage map of common carp [J]. J Dalian Fish Univ, 2003, 18(4): 278-281. (in Chinese)
- [11] 徐云碧, 朱立煌. 分子数量遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 114-260.
XU Yunbi, ZHU Lihuang. Molecular quantitative genetics [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 114-260. (in Chinese)
- [12] 全迎春, 孙效文, 梁利群. 应用微卫星多态分析四个鲤鱼群体的遗传多样性[J]. 动物学研究, 2005, 28(6): 595-602.
QUAN Yingchun, SUN Xiaowen, LIANG Liqun, et al. Microsatellite variation among four breeding populations of common carps [J]. Zool Res, 2005, 28(6): 595-602. (in Chinese)
- [13] 董在杰, 曲疆奇, 苏胜彦, 等. 运用 TRAP 标记分析 5 个鲤群体的遗传多样性[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(2): 179-184.
DONG Zaijie, QU Jiangqi, SU Shengyan, et al. Analysis of genetic diversity among five populations of *Cyprinus carpio* by TRAP markers [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2011, 20(2): 179-184. (in Chinese)
- [14] LI Dayu, KANG Dahai, YIN Qianqian, et al. Microsatellite DNA marker analysis of genetic diversity in wild common carp (*Cyprinus carpio* L.) populations [J]. J Genet Genomics, 2007, 34(11): 984-993.
- [15] 佟雪红, 董在杰, 缪为民, 等. 建鲤与黄河鲤的 RAPD 分子标记及其杂交优势的遗传分析[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(1): 1-6.
TONG Xuehong, DONG Zaijie, MIAO Weimin, et al. RAPD molecular markers between Jian carp and Huanghe carp and genetic analysis of heterosis [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2007, 27(1): 1-6. (in Chinese)
- [16] 王桂兴, 刘永新, 孙效文, 等. 牙鲆微卫星分子标记与生长性状的相关性分析[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(7): 77-84.
WANG Guixing, LIU Yongxing, SUN Xiaowen, et al. Correlation analysis of microsatellite DNA marks with growth trait of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. J Northeast Agric Univ, 2009, 40(7): 77-84. (in Chinese)
- [17] 李建林, 唐永凯, 俞菊华, 等. 吉富罗非鱼微卫星标记与体质量、体形性状相关性分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 824-831.
LI Jianlin, TANG Yongkai, YU Juhua, et al. Association analysis of microsatellite DNA markers with body weight and body shape in GIFT [J]. J Fish Sci China, 2009, 16(6): 824-831. (in Chinese)
- [18] DOMINIC W, REIICHIRO N, JENS K, et al. QTL analysis of behavioral and morphological differentiation between wild and laboratory zebrafish (*Danio rerio*) [J]. Behavior Genet, 2006, 36(2): 271-284.
- [19] 孙效文, 贾瑞英, 魏东旺, 等. 磁珠富集法与小片段克隆法筛选鲤微卫星的比较研究[J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 126-132.
SUN Xiaowen, JIA Ruiying, WEI Dongwang, et al. Comparison between magnetic beads enriched and small inserted fragment library for microsatellite sequences of common carp [J]. J Fish Sci

- China, 2005, 12(2): 126-132. (in Chinese)
- [20] GEN H Y, MEI Y H, LASZLO O, et al. Microsatellites within genes and ESTs of common carp and their applicability in silver crucian carp[J]. *Aquaculture*, 2004, 234(1): 85-98.
- [21] CROOIJMANS R P M A, BIERBOOMS V A F, KOMEN J, et al. Microsatellite markers in common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Anim Genet*, 1997, 26(2): 129-134.
- [22] DAVID L, FANG J, PALANISAMY R, et al. Polymorphism in ornamental and common carp strains (*Cyprinus carpio* L.) as revealed by AFLP analysis and a new set of microsatellite markers [J]. *Mol Gen Genomics*, 2001, 266(3): 353-362.
- [23] 王吉振, 王爱国, 储明星, 等. 二核酸微卫星 PCR 扩增的影子带及来源[J]. *畜牧兽医学报*, 2007, 38(3): 241-246.
WANG Jizhen, WANG Aiguo, CHU Mingxing, et al. Shadow bands in PCR amplification of dinucleotide microsatellites and their origin [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2007, 38(3): 241-246. (in Chinese)
- [24] 刘继红, 张研, 常玉梅, 等. 鲤鱼 (*Cyprinus carpio* L.) 头长、眼径、眼间距 QTL 的定位[J]. *遗传*, 2009, 31(5): 508-514.
LIU Jihong, ZHANG Yan, CHANG Yumei, et al. Mapping QTLs related to head length, eye diameter and eye cross of common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Hereditas*, 2009, 31(5): 508-514. (in Chinese)
- [25] 赵海燕, 李池陶, 贾智英, 等. 德国镜鲤微卫星标记与形态性状的相关分析及亲本的选育[J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(5): 513-519.
ZHAO Haiyan, LI Chitao, JIA Zhiying, et al. Correlation analysis of microsatellite DNA markers and morphological traits in German mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *J Shanghai Ocean Univ*, 2009, 18(5): 513-519. (in Chinese)
- [26] 朱健, 王建新. 建鲤品种特性研究进展[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2004, 23(1): 52-55.
ZHU Jian, WANG Jianxin. Status of the studies on the characteristics of Jian carp, *Cyprinus carpio* var. *jian* [J]. *J Zhejiang Ocean Univ: Natural Science*, 2004, 23(1): 52-55. (in Chinese)
- [27] MARC J M R, HENK B, HANS K, et al. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2005, 246(1): 125-132.
- [28] REED D R, LAWLER M P, TORDOFF M G, et al. Reduced body mass is a common effect of gene knockout in mice [J]. *BMC Genet*, 2008, 9(4): 1-6.
- [29] GUIMARAES E P, RUANE J, SCHERF B D, et al. Marker-assisted selection: current status, and future perspectives in crops, livestock, forestry, and fish [M]. Rome: FAO, 2007: 310-328.