

## 利用配合力和微卫星标记预测虹鳟品系间的杂交优势

王炳谦<sup>1</sup>, 谷伟<sup>1</sup>, 高会江<sup>2</sup>, 范兆廷<sup>2</sup>, 石连玉<sup>1</sup>

(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. 东北农业大学 动物科学技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 用10对SSR引物对渤海、丹麦、道氏、挪威、加州5个虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)品系进行遗传距离分析,以这些品系为亲本,用完全双列杂交方法建立50个全同胞家系,对F<sub>1</sub>个体体质量、体长进行配合力分析,以期预测各品系间配组的杂交优势。结果表明,5个虹鳟品系均具有较高程度的遗传异质性,10个位点的平均杂合度为0.816 3;在道氏品系与加州品系之间,遗传距离最大,达到0.717 3;丹麦品系与渤海品系间最小,仅为0.277 3。一般配合力以渤海品系为最高,依次为美国道氏品系、挪威品系、丹麦品系、加州品系。而各品系配组中丹麦品系×加州品系、渤海品系×挪威品系、丹麦品系×道氏品系、渤海品系×道氏品系等均是特殊配合力较高的高效组合,对其重复试验显示,有望培育出杂种优势率较高的优势组合。实验证实,结合配合力与SSR标记分析,能有效地指导优势杂交组合的选配。[中国水产科学,2009,16(2):206-213]

**关键词:** 虹鳟; 品系; 配合力; 微卫星标记; 杂交优势预测

**中图分类号:** S917

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-8737-(2009)02-0206-08

虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)是世界性的养殖鱼类,也是联合国粮农组织推荐的水产养殖对象,由于该物种的冷水性鱼类属性及其特有的品质已成为世界性高档水产品,因而其产量在世界水产贸易中占有举足轻重的地位。发展虹鳟的养殖业对充分合理利用中国尚未开发的冷水资源,促进部分地区水产养殖业的升级换代具有重要意义。在世界范围内,虹鳟已形成许多品系,这些品系除具有比较好的经济性状外,还在较高杂合度的基础上,各品系间表现出较大的异质性,这为利用这些品系进行经济杂交或育成杂交提供了较为广阔的空间<sup>[1-2]</sup>。

配合力是衡量亲本性状配合效果的一个指标,反映品种或品系通过杂交能够获得杂种优势的程度。在育种过程中,可以作为亲本选配的一个标准<sup>[3]</sup>。目前已有许多研究者围绕这一领域开展了理论方法的研究,并进行了许多成功的实践,获得诸如估算配

合力的数学模型<sup>[3-5]</sup>,为鱼类的选育种工作奠定了理论基础。微卫星DNA遵循孟德尔遗传规律,具有复等位性、共显性等特点,并且具有高度的多态性,重复性强。在群体遗传多态性分析、系谱认证、连锁图谱构建及数量性状连锁分析等工作中,已得到了广泛应用<sup>[6-9]</sup>,利用这一技术可以对选育对象进行遗传识别,确定品系间的遗传距离。本研究小组先后引进了一些生长性状表现优良的虹鳟品系,并对虹鳟的系统选育和经济杂交进行了相关研究<sup>[10-11]</sup>。

目前预测杂交效果的方法主要有遗传差距法和配合力法,但是各有利弊<sup>[12]</sup>。遗传差距法受标记的数量与标记位点的影响较大,配合力分析易受环境条件的制约,因此本研究旨在通过配合力测定结合微卫星标记对虹鳟优良杂交组合进行筛选,期望能够找出有选育前景的优良组合,并对鱼类的杂交选育工作提供借鉴。

收稿日期: 2008-08-29; 修订日期: 2008-11-26.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD01A12010); 黑龙江省攻关项目(2006BAD03B08-2); 基本科研业务费(2007HSYZX-YY-22).

作者简介: 王炳谦(1963-),男,副研究员,从事鲑鳟鱼类养殖及育种研究. E-mail: wbqfish@yahoo.com.cn

通讯作者: 石连玉. E-mail: sly2552@yahoo.com.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验在中国水产科学研究所黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼类试验站进行。虹鳟选育的基础群体建立于2001年,分别由A-渤海品系(由朝鲜品系与日本品系混群的后代,精液质量好,后代性能优秀)、B-丹麦品系(来自丹麦的一个品系,精液质量好,后代性能优秀)、C-道氏品系(道氏优质虹鳟,母本效应显著,雄性晚熟)、D-挪威品系(来自挪威,母本效应显著,雄性晚熟)和E-加州品系(来自美国加州,母本效应显著)组成。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 杂交试验设计

2004年12月,从各个品系中

选择4<sup>+</sup>龄,体质量在2 kg以上的个体作为候选亲本,每1品系选出雌、雄共20尾,再根据体质量对雌雄分别排序(前10名)采用完全双列杂交建立全同胞家系50个(表1),每1个家系或对照组(自群繁育亲本)独自放入1个选育单元进行孵化及驯养,待个体平均体质量达到0.5 g时分别移入独自的体积为250 L的选育缸内(每缸内养300尾)。饲养到可标记体质量时,为克服环境差异,在每个家系内选择均匀的个体100尾(表1)进行pittag标记(英国Trovan公司ID-100型),然后放入同一个100 m<sup>2</sup>水泥鱼池进行同环境饲养。在300日龄时,对水泥池中的所有个体进行体长,体质量测量,获取数据用于配合力分析。使用丹麦BioMar公司的虹鳟全价配合饲料按常规养殖方式投饲。

表1 5个虹鳟品系完全双列杂交配组方式  
Tab. 1 Diallel crossing patterns in 5 strains of rainbow trout

$n=100; \bar{x} \pm SD$

组合(母本 × 父本) Crossing combination (Maternal × Paternal)	体质量 / g Body weight	组合(母本 × 父本) Crossing combination (Maternal × Paternal)	体质量 / g Body weight
A1 × A1	51.2 ± 17.8	C6 × B6	53.4 ± 17.5
A2 × A2	52.6 ± 20.3	C7 × D7	52.2 ± 23.2
A3 × B3	51.8 ± 19.1	C8 × D8	53.5 ± 15.5
A4 × B4	49.8 ± 16.6	C9 × E7	52.4 ± 16.5
A5 × C3	53.8 ± 22.3	C10 × E8	54.5 ± 13.2
A6 × C4	50.1 ± 19.9	D1 × D1	51.5 ± 18.5
A7 × D3	50.5 ± 13.2	D2 × D2	53.3 ± 13.2
A8 × D4	51.0 ± 16.8	D3 × A7	51.6 ± 15.2
A9 × E3	49.8 ± 15.2	D4 × A8	51.3 ± 12.2
A10 × E4	48.6 ± 14.8	D5 × B7	49.8 ± 14.2
B1 × B1	50.2 ± 16.6	D6 × B8	51.2 ± 14.5
B2 × B2	49.5 ± 12.3	D7 × C7	51.5 ± 23.2
B3 × A3	52.1 ± 16.5	D8 × C8	54.1 ± 16.5
B4 × A4	50.4 ± 15.4	D9 × E9	52.5 ± 11.2
B5 × C5	51.5 ± 14.6	D10 × E10	51.1 ± 14.7
B6 × C6	51.8 ± 18.6	E1 × E1	50.6 ± 19.9
B7 × D5	51.8 ± 15.2	E2 × E2	51.8 ± 13.8
B8 × D6	48.8 ± 15.6	E3 × A9	51.8 ± 18.2
B9 × E5	49.5 ± 15.8	E4 × A10	49.6 ± 13.3
B10 × E6	51.5 ± 16.5	E5 × B9	49.5 ± 12.1
C1 × C1	52.5 ± 13.2	E6 × B10	50.8 ± 18.8
C2 × C2	53.8 ± 12.2	E7 × C9	53.2 ± 16.5
C3 × A5	52.6 ± 17.8	E8 × C10	51.5 ± 16.5
C4 × A6	53.4 ± 12.8	E9 × D9	51.3 ± 16.6
C5 × B5	51.4 ± 16.4	E10 × D10	51.2 ± 18.9

注: A-渤海品系、B-丹麦品系、C-道氏品系、D-挪威品系、E-加州品系。  
Note: A-Bohai strain, B-Danmark, C-Danaldson, D-Norway, E-California.

**1.2.2 SSR 标记分析** 每品系取样30尾,5个品系共取150尾,剪取臀鳍组织样5 g,在70%酒精中固定,采用CTAB法提取DNA,PCR扩增反应、聚丙烯酰胺凝胶电泳检测、银染程序参照现代分子生物学实验技术<sup>[13]</sup>。本研究共分析了10个SSR位点,引物序列来自参考文献[14]及GenBank数据库。

**1.3 数据统计和分析**

**1.3.1 杂交试验数据统计分析** 用SAS8.0软件对体长、体质量数据进行方差分析,当差异显著时,进行下一步的配合力分析。

配合力分析采用模型: $y_{ijkl}=\mu+g_i+g_j+s_{ij}+r_{ij}+e_{ijkl}$ 式中, $y_{ijkl}$ 为第*i*个品系与第*j*个品系杂交的第*k*个重复第*l*个后代观察值, $e_{ijkl}$ 是相应的随机误差,假设它独立地服从 $N(0, \sigma_e^2)$ 分布; $\mu$ 为总体均数; $g_i(g_j)$ 是第*i*(*j*)品系的一般配合力; $s_{ij}$ 为第*i*与第*j*品系的特殊配合力; $r_{ij}$ 为其反交效应。

模型采用最小二乘方法,其正规方程为:( $X'X$ )  
 $b=X'Y$

约束条件为:

$$\sum_i \hat{g}_i = \sum_j \hat{g}_j = \sum_i \hat{s}_{ij} = \sum_j \hat{s}_{ij} = \sum_{ij} \sum_{ij} s_{ij} = 0$$

$$\sum_i \hat{r}_{ij} = \sum_j \hat{r}_{ij} = \hat{r}_{ij} + \hat{r}_{ji} = 0$$

**1.3.2 SSR 标记数据统计分析** PAGE电泳获得SSR指纹图谱后,用Gel\_Pro软件对图片进行分析,按DNA带纹所对应的pBR322 DNA/Mspl的分子量大小,统计不同等位基因的分子量大小。利用POPGEN32软件计算5个虹鳟品系的等位基因频率(*P*)、基因杂合度(*H*)和Nei氏<sup>[15]</sup>标准遗传距离(*D*);利用Microsoft Excel计算多态信息含量(PIC),采用以下公式<sup>[17]</sup>: $PIC=1-\left(\sum_{i=1}^n p_i^2\right)-\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n 2p_i^2 p_j^2$

式中, $p_i, p_j$ 分别为第*i*和第*j*个等位基因在群体内的频率, $n$ 为该位点的等位基因数。

**2 结果与分析**

**2.1 杂交试验**

**2.1.1 配合力方差分析** 对不同组合的体质量、体长数据进行配合力方差分析所得的结果见表2。

**2.1.2 配合力效应值的估计** 根据一般配合力和特殊配合力的公式,计算各品系个体的体长、体质量的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的相对效应值,结果见表3、表4。

表2 虹鳟各品系体质量、体长方差分析

Tab. 2 ANOVA analysis about body weight and length cross experiment result of 5 strains of rainbow trout

变异来源 Variation	自由度 DOF	平方和 SS	均方 MS	F
一般配合力 GCA	4	374.10 (4.08)	93.52 (1.02)	23.26** (19.97**)
特殊配合力 SCA	10	419.48 (4.44)	41.94 (0.44)	10.43** (8.70**)
反交 Back-cross	10	880.52 (12.98)	88.05 (1.29)	21.90** (25.42**)
误差 Error	700	2814.3 (35.76)	4.02 (0.05)	

注: \*\*表示差异极显著( $P<0.01$ ),括号中为体长统计值,括号外为体质量统计值。

Note: \*\*means significant difference ( $P<0.01$ ); values in brackets mean the value of body length cross.

表3 5个虹鳟品系性状一般配合力效应值

Tab. 3 General combining ability effect of 5 strains of rainbow trout

性状 Trait	品系 Strain				
	渤海 Bohai	丹麦 Denmark	美国道氏 Donaldsons	挪威 Norway	美国加州 California
体质量 Body weight	4.19 <sup>a</sup>	-2.72 <sup>c</sup>	1.56 <sup>b</sup>	0.12 <sup>b</sup>	-3.16 <sup>c</sup>
体长 Body length	0.43 <sup>a</sup>	-0.33 <sup>c</sup>	0.17 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>	-0.29 <sup>c</sup>

注: 表中肩注相邻字母表示差异显著( $P<0.05$ ),相同字母为差异极显著( $P<0.01$ ),相同字母为差异不显著( $P>0.05$ )。

Note: Subscripts of adjacent letters show significant difference ( $P<0.05$ ), and the interval letters express extremely significant difference ( $P<0.01$ ), and the same letters demonstrate insignificant difference ( $P>0.05$ ).

表4 5个虹鳟品系间杂交组合特殊配合力及反交效应  
**Tab. 4 Specific combining ability and backcross effect of different cross combinations in 5 strains of rainbow trout**

组合 Cross combination	体质量 Body weight		体长 Body length	
	特殊配合力 SCA	反交效应 Back-cross effect	特殊配合力 SCA	反交效应 Back-cross effect
A × B	-6.83	7.83	-0.71	-0.59
A × C	2.43	-2.19	0.25	0.47
A × D	7.67	7.37	0.72	-0.63
A × E	-1.21	0.45	0.17	0.02
B × C	2.31	-10.17	0.21	1.33
B × D	-1.61	-10.34	-0.02	1.31
B × E	4.99	4.79	0.42	-0.56
C × D	-0.62	-2.99	0.08	0.17
C × E	-5.93	2.38	-0.69	-0.01
D × E	-2.84	8.44	-0.25	-1.29

注: A-渤海品系、B-丹麦品系、C-道氏品系、D-挪威品系、E-加州品系。  
 Note: A-Bohai strain, B-Danmark, C-Danaldson, D-Norway, E-California.

2.2 SSR标记分析

2.2.1 微卫星位点的多态信息含量、群体杂合度

10个微卫星标记座位的多态信息含量见表5。从各标记座位的平均多态信息含量来看, AF352739最高

(PIC=0.884 1), BV212214最低 (PIC=0.589 1); AF352763在挪威品系中的多态信息含量最高 (PIC=0.916 4)。由POPGEN32软件计算得到各个品系的杂合度结果见表6。

表5 各标记座位在不同虹鳟品系中的多态信息含量 (PIC)  
**Tab. 5 Polymorphism information content (PIC) of different marker loci in different strain of rainbow trout**

位点 Locus	品系 Strain					平均 Mean
	A	B	C	D	E	
AF352739	0.9141	0.8955	0.8523	0.8944	0.8643	0.8841
AF352746	0.8310	0.7628	0.8763	0.8884	0.7673	0.8252
AF352749	0.8630	0.7826	0.8532	0.7623	0.7694	0.8061
AF352763	0.8173	0.7761	0.8403	0.9164	0.8735	0.8447
AF352758	0.8437	0.8809	0.8677	0.8615	0.7759	0.8459
AF352753	0.8039	0.8653	0.8018	0.7937	0.8454	0.8220
BV212214	0.6179	0.7200	0.633	0.5486	0.6957	0.5891
BV212213	0.8509	0.8707	0.8029	0.7947	0.8068	0.8252
BV212194	0.8125	0.8784	0.8261	0.8426	0.8423	0.8403
BV212193	0.8972	0.8662	0.8717	0.8585	0.9072	0.8801
平均 mean	0.8251	0.8298	0.8225	0.8161	0.8148	0.8163

注: A-渤海品系、B-丹麦品系、C-道氏品系、D-挪威品系、E-加州品系。  
 Note: A-Bohai strain, B-Danmark, C-Danaldson, D-Norway, E-California.

表6 由10个微卫星标记分析所得各虹鳟品系的平均杂合度(H)  
Tab. 6 Average heterozygosity of different strains through 10 microsatellite markers

项目 Item	品系 Strain									
	A		B		C		D		E	
	Obs	Exp	Obs	Exp	Obs	Exp	Obs	Exp	Obs	Exp
平均Mean	0.7267	0.8461	0.7367	0.8538	0.7876	0.8169	0.6932	0.8386	0.6791	0.8365

注: A-渤海品系、B-丹麦品系、C-道氏品系、D-挪威品系、E-加州品系。  
Note: A-Bohai strain, B-Danmark, C-Danaldson, D-Norway, E-California.

2.2.2 群体间的遗传距离和聚类分析 根据Nei的公式计算遗传距离<sup>[15]</sup>,美国道氏品系与美国加州品系间的遗传距离最大(0.717 3),渤海品系与丹麦品系

间的遗传距离最小(0.277 3),详见表7,这可能是由于不同品系的选育方向及选择强度大小不同所致。

表7 虹鳟各品系间的遗传距离和相似系数  
Tab. 7 Genetic distance of different strains in rainbow trout

品系 Strain	A	B	C	D	E
A		0.7665	0.7090	0.68286	0.7188
B	0.2773		0.5727	0.6116	0.7462
C	0.3797	0.6364		0.7052	0.5251
D	0.4229	0.5441	0.3706		0.6695
E	0.3523	0.3057	0.7173	0.4855	

注: 对角线以下为遗传距离,对角线以上为遗传相似系数. A-渤海品系、B-丹麦品系、C-道氏品系、D-挪威品系、E-加州品系。  
Note: Figures below the diagonal show genetic distance, the above expresses genetic similarity. A-Bohai strain, B-Danmark, C-Danaldson, D-Norway, E-California.

根据所计算的遗传距离(图1)进行UPGMA聚类分析,5个虹鳟品系被聚为2支,渤海品系与丹麦品

系先聚为一类,后与美国加州品系聚为一大类;美国道氏品系与挪威品系聚为一类。

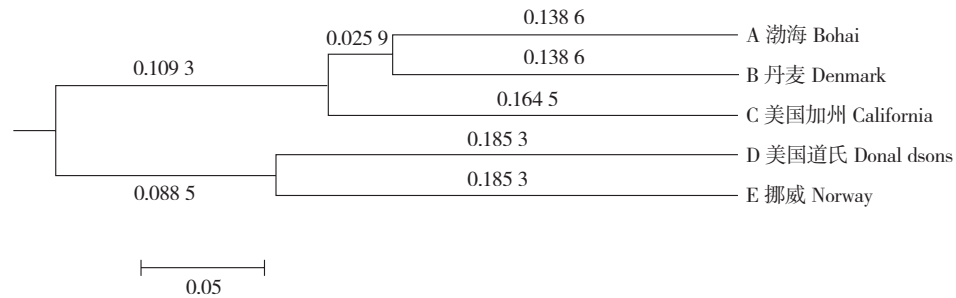


图1 根据遗传距离对5个虹鳟品系进行UPGMA聚类的结果

Fig. 1 Result of UPGMA clustering of groups according to genetic distance

### 3 讨论

#### 3.1 5个虹鳟品系的遗传多样性及其亲缘关系

由本研究的扩增情况来看,10个微卫星座位的等位基因数平均为17.7个,多数微卫星座位的等位基因数是17个至20个。此结果与Rexroad等<sup>[14]</sup>的报道基本一致。赵莹莹<sup>[16]</sup>利用SSR对6个不同虹鳟品

系的遗传多样性进行了分析,结果表明,6个虹鳟品系具有丰富的遗传多样性。本研究通过SSR标记所获得的多态信息含量、品系杂合度及其遗传距离的结果也进一步验证了这5个虹鳟品系具有丰富的遗传多态性,较适合作为选育亲本群体建立家系进行选育或直接进行群体选育。笔者通过品系间的杂交已经获得优良的虹鳟杂交组合,其杂种优势率高达

17%~19%<sup>[10]</sup>。本实验中微卫星的平均多态信息含量为0.816 3,为高度多态<sup>[17]</sup>,而且5个品系在10个微卫星座位多态性上存在着比较明显的差异,具有较高的遗传多样性。

本研究中渤海、丹麦、美国道氏、挪威、加州5个品系虹鳟的平均杂合度分别为0.726 7、0.736 7、0.787 6、0.693 2、0.679 1,与Moore等<sup>[18]</sup>报道的用微卫星标记计算出的平均杂合度值一般在0.3~0.8之间的结果相符合。Lulla等<sup>[19]</sup>用微卫星标记对不同品系虹鳟进行的遗传多样性研究,得出芬兰2个品系、丹麦4个品系、美国道氏品系、挪威品系的平均杂合度分别为0.757、0.688、0.758、0.642;Nielsen<sup>[20]</sup>用微卫星标记对虹鳟遗传结构分析表明,平均杂合度为0.62(0.45~0.8),也与本研究结果基本一致。聚类分析结果与Lulla等<sup>[19]</sup>的研究结果基本一致,而与赵莹莹等<sup>[18]</sup>的研究结果有所不同。这可能是由于使用不同的凝胶电泳系统及引物的不同所致<sup>[21-23]</sup>。

Bardakci等<sup>[24]</sup>用RAPD方法对罗非鱼的研究表明,奥利亚罗非鱼(*O. aureus*)和尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)间存在最大的遗传距离,两者间将会产生较高的杂种优势。本实验运用微卫星标记技术对5个不同品系的虹鳟进行了遗传距离的研究,其结果为道氏品系与加州品系的遗传距离最大为0.717 3,渤海品系与丹麦品系遗传距离最小为0.277 3,这可能是由于选育目标与选择强度的不同所致。

### 3.2 配合力分析

在一般配合力高的基础上,选择特殊配合力高的组合,才更有可能选出杂种优势突出的优良杂交种,由此杂交得到的基础群体进行选育效果也较好。如表3所示,在性状中一般配合力效应值较高的有渤海品系、挪威品系和道氏品系,利用它们作亲本较容易配制高效组合,在育种上利用价值较高;美国加州品系的一般配合力则较低。特殊配合力是特定组合的表现,是产生于基因的非加性作用,即基因的显性、超显性和上位效应等作用的结果,是由于2个亲

本分别传给杂交种的基因通过基因间互作表现出来的,它不能稳定的遗传,只能通过两个品系杂交后在F<sub>1</sub>表现出来,是杂种优势表现的重要遗传基础。由表4可知,丹麦品系×加州品系、渤海品系×挪威品系、丹麦品系×道氏品系、渤海品系×道氏品系等组合均是特殊配合力效应值为正的高效组合。从其亲本组成看,高效组合(丹麦品系×加州品系除外)的2个亲本中至少有1个一般配合力较高,且杂交组合特殊配合力也较高。

### 3.3 杂种优势预测

据Melchinger等<sup>[25]</sup>用RFLP技术研究玉米杂种优势与双亲遗传距离的关系,在遗传距离小于0.54的情况下,亲本间的遗传距离越大,那么杂交子代基因型的杂合度越高,因而杂种优势越强,但遗传距离更远的亲本间,杂种优势与遗传距离不相关。由此根据遗传距离推断,本研究杂交后代呈现强的优势组合从大到小的可能情况为:挪威品系×加州品系、渤海品系×挪威品系、渤海品系×道氏品系、挪威品系×道氏品系、加州品系×渤海品系、丹麦品系×加州品系和丹麦品系×渤海品系。预测的结果与根据配合力分析预测的结果基本一致,但也存在着一定的差异,分析原因可能是因为:①SSR标记不受环境的影响,而杂交试验易受环境影响,导致特殊配合力效应分析可能有一定的偏差;②虹鳟具有丰富的遗传多样性,本研究所用的SSR标记引物还不能覆盖整个虹鳟基因组,因此遗传相似系数也不一定完全准确。

## 4 结论

本研究还无法在由微卫星标记得到的群体间变异程度与配合力之间建立一个确定的相关或回归关系。应用DNA多态性估测杂种优势虽然已取得了一定的进展,但现阶段还不能取代常规的配合力测定。总体看来,应用DNA多态性标记探测亲本间基因杂合性(异质性)来预测杂种优势的可能性,由于杂合性与杂种优势的相关性存在极大差异,而难以作出明确的回答。

## 参考文献:

- [1] Ayles G B, Baker R F. Genetic differences in growth and survival between strains and hybrids of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) stocked in aquaculture lakes in Canadian prairies [J]. *Aquaculture*, 1983, 33: 269–280.
- [2] Hershberger W K. Genetic variability in rainbow trout populations [J]. *Aquaculture*, 1992, 100: 51–71.
- [3] 刘来福, 毛盛贤, 黄远樟. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- [4] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [5] 朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [6] 颀晓勇, 李思发, 蔡完其. 吉富品系尼罗罗非鱼选育过程中遗传变异的微卫星分析[J]. *水产学报*, 2007, 31 (3): 385–390.
- [7] 刘萍, 孟宪红, 何玉英, 等. 中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 黄、渤海3个野生地理群遗传多样性的微卫星DNA分析[J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35 (3): 252–257.
- [8] Norris AT, Bradley DG, Cunningham E P. Parentage and relatedness determination in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) using microsatellite markers [J]. *Aquaculture*, 2000, 182: 73–83.
- [9] Sakamoto T, Danzmann R G, Gharbi K, et al. A Microsatellite linkage map of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) characterized by large sex-specific differences in recombination rates [J]. *Genetics*, 2000, 155: 1 331–1 345.
- [10] 王炳谦, 谷伟, 贾钟贺, 等. 虹鳟不同养殖群体杂交 $F_1$ 及其自繁系生产性能的比较[J]. *淡水渔业*, 2007, 37 (2): 65–69.
- [11] 王炳谦, 谷伟, 贾钟贺, 等. 4个品系虹鳟生产性能的比较[J]. *大连水产学院学报*, 2007, 22 (3): 170–174.
- [12] 范兆廷. 水产动物育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [13] 卢圣栋. 现代分子生物学实验技术[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 1999.
- [14] Rexroad C E, Coleman R L, Hershberger W K, et al. Rapid communication: Thirty-eight polymorphic microsatellite markers for mapping in rainbow trout [J]. *Anim Sci*, 2002, 80: 541–542.
- [15] Nei M. Genetic distance between populations [J]. *Am Nat*, 1972, 106: 283–291.
- [16] 赵莹莹, 朱晓琛, 孙效文. 虹鳟6个养殖群体遗传多样性的微卫星分析[J]. *遗传*, 2006, 28 (8): 956–962.
- [17] Botstein D, White R L, Skolnick M, et al. Construction of genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms [J]. *Am J Hum Gene*, 1980, 32: 314–331.
- [18] Moore S S, Sargent L L, King T J, et al. The conservation of dinucleotide microsatellites among mammalian genomes allows the use of heterologous PCR primer pairs in closely related species [J]. *Genomics*, 1991, 10 (3): 654–660.
- [19] Lulla P, Gross R, Paaver T. Genetic diversity and differentiation of imported into Estonia rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) strains based on microsatellite dna variation [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2005, 16 (1): 37–43.
- [20] Nielsen J. Molecular genetic population structure in steelhead/rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from the Santa Ynez River, 1994–1997 [M]. Technical Report submitted to the Santa Ynez River Technical Advisory Committee, 1998.
- [21] 李莉, 杨剑波, Maekil D J, 等. 水稻SSR不同检测和分析方法的比较研究[J]. *中国水稻科学*, 2000, 14 (3): 185–188.
- [22] 霍金龙, 罗古月, 张娟, 等. 猪微卫星多态性两种检测方法的比较研究[J]. *云南农业大学学报*, 2004, 19 (3): 314–317.
- [23] 李新海, 焦少杰, 傅骏骅, 等. 两种凝胶电泳系统对SSR标记多态性的影响[J]. *华北农学报*, 2001, 16 (2): 43–48.
- [24] Bardakei F, Skibinski D O. Application of the RAPD technique in tilapia fish: species and subspecies identification [J]. *Heredity*, 1994, 73: 117–123.
- [25] Melchinger A E, Lee M, Lamkey K R, et al. Genetic diversity for restriction fragment length polymorphisms and heterosis for two diallel sets of maize inbreds [J]. *Theoretical Applied Genetics*, 1990, 80: 488–496.

## Prediction of hybridization advantage among five strains of rainbow trout by combination ability and SSR markers

WANG Bing-qian<sup>1</sup>, GU Wei<sup>1</sup>, GAO Hui-jiang<sup>2</sup>, FAN Zhao-ting<sup>2</sup>, SHI Lian-yu<sup>1</sup>

(1. Heilongjiang River Fishery Research Institute, Harbin 150070, China; 2 Animal science and technology Institute of Northeast Agriculture University, Harbin 150030, Chian)

**Abstract:** Hybridization advantages among five strains of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) including Bohai, Danmark, Donaldson, Norway and California strain were predicted by using SSR markers and combination abilities of bodyweight and body length of first generation individuals in 50 diallel cross combinations. The results showed that there were more high genetic heterogeneity in these five stains which having mean heterozygosity 0.816 3 on 10 marker loci and there were the largest genetic distance between Donaldson and California strain reaching to 0.717 3, but the smallest between Danmark and Bohai strain reaching to 0.277 3. Bohai strain had largest general combining ability effective value 4.19 and Donaldson 1.56, Norway 0.12, Danmark -2.72, California -3.16 in order, moreover, there were high effective combination among Danmark × California, Bohai × Norway, Danmark × Donaldson, Bohai × Donaldson which having high specific combining ability, so these strains were suitably as base selective populations. According to our test, the analysis of SSR markers and combining ability were relatively effective methods while establishing base selective populations, and also effectively guiding mating work during carrying out the selective breeding programme because we had got several combinations having hybrid vigor from 17%–19% in duplicate test in recent years. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (2): 206–213]

**Key words:** rainbow trout; strain; combination ability; SSR marker; hybridization advantage prediction

**Corresponding author:** SHI Lian-yu. E-mail: sly2552@yahoo.com.cn