

肉白水晶彩鲫和红鲫杂交的遗传学

徐伟 曹顶臣 李池陶 尹家胜

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所 哈尔滨 150070)

摘要:通过肉白水晶彩鲫(*Carassius auratus* transparent colored var.)和红鲫(*C. a.* red var.),以及后代不同杂交组合的体色遗传学研究,结果表明,肉白水晶彩鲫和红鲫杂交、肉白水晶彩鲫自交,子代全部为水晶彩鲫型;红白水晶彩鲫自交,子代表现为水晶彩鲫型和红鲫型;红鲫自交,子代全部为红鲫型。初步推断肉白水晶彩鲫是体表鸟粪素缺失型的纯合体 $(-/-)$,红鲫是体表鸟粪素完全型的纯合体 $(+/+)$,红白水晶彩鲫是杂合体 $(+/-)$ 。鸟粪素缺失型相对完全型是显性,但它们的杂交遗传不完全符合一对等位基因的孟德尔分离规律。对照经典遗传学中金鱼的透明和正常遗传实验,发现透明鱼与肉白水晶彩鲫相似,五花鱼与红白水晶彩鲫相似,正常鱼与红鲫相似。二者的主要区别是经典遗传学依据体表将水晶彩鲫分为透明鱼和五花鱼,本研究依据体色将水晶彩鲫分为肉白色、红白色和其他色,由于分类角度的不同,一些观点和结论就产生了差异。

关键词:水晶彩鲫 红鲫 金鱼 体色 杂交 遗传

中图分类号:Q953 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2006)05-01-06

Genetic Characteristics of the Crosses between White Transparent Crucian Carp and Red Crucian Carp

XU Wei CAO Ding-Cheng LI Chi-Tao YIN Jia-Sheng

(Heilongjiang River Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China)

Abstract: This paper reports the body colors in different cross combinations of White Transparent Crucian Carp, Red Crucian Carp and their hybrid. The results demonstrated that Transparent Crucian Carp offsprings were obtained by combination of White Transparent Crucian Carp and Red Crucian Carp and by selfcrossing of White Transparent Crucian Carp. Both Transparent Crucian Carp and Red Crucian Carp offsprings were obtained by selfcrossing of Red-white Transparent Crucian Carp. Red Crucian Carp offsprings were obtained by selfcrossing of Red Crucian Carp. Therefore we inferred that White Transparent Crucian Carp is homozygote of guanophore $(-/-)$, Red Crucian Carp is homozygote of guanophore $(+/+)$, and Red-white Transparent Crucian Carp is heterozygote of guanophore $(+/-)$. Guanophore $(-/-)$ is relatively dominant in comparison with guanophore $(+/+)$, however, this phenomenon does not completely conform to the Mendelian segregation rule of alleles. Taking consideration of classical cross experiments involving in transparent and normal body color of goldfish, we also found that transparent fish is similar to White Transparent Crucian Carp, mottled fish similar to Red-white Transparent Crucian Carp, normal fish similar to Red Crucian Carp. The discrepancy arises from different points of view on classification of body colors. Classical cross experiment divided Transparent Crucian Carp into transparent and mottle fish, whereas body colors of Transparent Crucian Carp were separated to White Transparent, Red-white and other color in our study.

Key words: Transparent Crucian Carp; Red Crucian Carp; Goldfish; Cross; Segregation

基金项目 黑龙江省科委重点研究项目(C96B4-1);

第一作者介绍 徐伟,男,副研究员,研究方向:鱼类育种研究;E-mail: xwsc23@tom.com.

收稿日期:2006-04-11;修回日期:2006-07-04

水晶彩鲫 (*Carassius auratus* transparent colored var.) 和红鲫 (*C. a.* red var.) 在金鱼的分 类中,都属于身体扁平,具有背鳍,尾鳍单一的金 鲫种,均属于鲤科 (*Cyprinidae*),鲫属 (*Carassius*)。它们的主要区别是水晶彩鲫体表 鸟粪素缺失,表现出透明;红鲫鸟粪素完全,表 现出不透明^[1-4]。许多研究者从演化史、鱼类 杂交、胚胎发育、染色体、生物化学和分子生物 学等方面,证明了金鱼是由野生鲫鱼演化而来 的观点^[5-9]。我国学者陈桢先生做了大量金鱼 的遗传学研究,其中透明鱼和正常鱼的杂交实 验,成为基因多重效性和不完全显性的一个经 典遗传学的实例^[4]。伍惠生也认为金鱼的红色 体色对所有色彩均为显性,但彩色除外^[1]。这 些研究都表明了金鱼透明体色的遗传复杂性。

我们从 1994 年开始进行水晶彩鲫的体色 遗传变异研究,获得了部分实验结果^[10-13]。近 年来,对照陈桢先生的原著,发现二者的研究有 异同点。本文旨在重新进行金鱼的杂交试验, 通过肉白水晶彩鲫和红鲫杂交的体色遗传研 究,从不同角度探索金鱼的体色遗传规律。

1 材料与方法

1.1 试验鱼的来源

试验鱼全部取自黑龙江 水产研究所松浦试验站保存的品种(图版 I:1 ~6)。2003 年的亲本:肉白水晶彩鲫(图版 I:1)源于 1 尾雄性红鲫和 1 尾雌性红白彩鲫杂 交,子代分离出的肉白水晶彩鲫^[9],再连续自交 选育的 F_5 ^[10];红鲫(图版 I:6)源于连续自交的 F_3 。2004 年的亲本:肉白水晶彩鲫 F_1 和红白水晶 彩鲫 F_1 (图版 I:5)源于 2003 年肉白水晶彩 鲫♀ × 红鲫♂ 的杂交子代;白色鲫(图版 I:3) 源于红鲫自交分离出的白色个体;红鲫源于 2003 年的红鲫。2005 年的亲本:红白水晶彩鲫 F_2 源于 2004 年肉白水晶彩鲫 F_1 自交的子代; 群交肉白水晶彩鲫源于不同年龄、不同杂交组 合中的肉白水晶彩鲫;肉白水晶彩鲫源于 2003 年的肉白水晶彩鲫;白色鲫 F_1 源于 2004 年白 色鲫自交的子代。

1.2 方法

不同体色品种的杂交,每个组合取 8~10 尾雌、雄亲鱼,进行人工催产,发现产卵 后取 3 尾雌、雄鱼的卵和精液,进行人工授精。 2005 年的肉白水晶彩鲫群交,选择雌、雄鱼各 15 尾,注射药物后自然交配。获得鱼苗后分别 放养到 300 m² 的土池中,饲养 5 个月左右,体 重达 30~60 g,体长 80~110 mm,分析子代的表 现型。

1.3 杂交子代的分类

红鲫型:指体表鸟粪素 完全型个体,体色有红色、红白色、白色和其 他色(指体表有黑色斑纹的个体)。水晶彩鲫型: 指体表鸟粪素缺失型个体,体色有肉白色、红白 色和其他色(指体表有黑色斑纹的个体)。白色 鲫:本文特指红鲫型中的白色个体。

2 结果

2.1 肉白水晶彩鲫和红鲫正、反杂交

肉白水晶 彩鲫和红鲫正、反杂交,子代都表现为水晶彩 鲫型,不同体色的分离比例也相近,肉白和红白 个体平均为 10.8% 和 83.6%,两者没有红鲫型 个体出现(表 1)。

2.2 肉白水晶彩鲫 F_1 、红白水晶彩鲫 F_1 的自 交

红白水晶彩鲫 F_1 自交,子代表现为水晶彩 鲫型和红鲫型,分离比例为 74.0% 和 26.0%, 接近 3:1,其中水晶彩鲫型肉白和红白个体的 比例为 15.6% 和 51.8%。肉白水晶彩鲫 F_1 自 交,子代表现为水晶彩鲫型,肉白和红白个体 的比例为 45.8% 和 54.0%,没有红鲫型个体出 现。肉白水晶彩鲫 F_1 和红白水晶彩鲫 F_1 虽然 都源于 2003 年肉白水晶彩鲫♀ × 红鲫♂ 的杂 交子代,但它们自交子代的表现型却有较大差 异(表 2)。

2.3 水晶彩鲫的其他杂交组合

红白水晶彩 鲫 F_2 自交,子代表现为水晶彩鲫型和红鲫型, 分离比例为 89.0% 和 11.0%,接近 9:1,其中水 晶彩鲫的肉白和红白个体分别为 49.3% 和 37.8%。肉白水晶彩鲫群交,子代表现型为水 晶彩鲫型,肉白和红白个体分离比例为 61.8% 和 36.8%,没有红鲫型个体出现。白色鲫 F_1 ×

表 1 肉白水晶彩鲫 × 红鲫杂交的子代分离

Table 1 The segregation results of the offspring from the crosses of White Transparent Crucian Carp and Red Crucian Carp respectively

年份 Year	杂交组合 Cross groups		子代表现型 Phenotypes of individuals			
			水晶彩鲫型 Transparent Crucian Carp			红鲫型 Red Crucian Carp
			肉白 White	红白 Red-white	其他 Others	
2003	肉白水晶彩鲫 ♀ × 红鲫 ♂ White Transparent Crucian Carp ♀ × Red Crucian Carp ♂	个体数 Individual (ind)	65	558	31	0
		百分比 Percentage (%)	9.9	85.3	4.8	0
2003	红鲫 ♀ × 肉白水晶彩鲫 ♂ Red Crucian Carp ♀ × White Transparent Crucian Carp ♂	个体数 Individual (ind)	69	480	38	0
		百分比 Percentage (%)	12.0	81.4	6.6	0
	平均 Average	百分比 Percentage (%)	10.8	83.6	5.6	0

表 2 肉白水晶彩鲫 F₁、红白水晶彩鲫 F₁ 自交子代的分离Table 2 The segregation results of the offspring from the selfcrosses of White Transparent Crucian Carp F₁ and Red-white Transparent Crucian Carp F₁ respectively

年份 Year	杂交组合 Cross groups		子代表现型 Phenotypes of individuals			
			水晶彩鲫型 Transparent Crucian Carp			红鲫型 Red Crucian Carp
			肉白 White	红白 Red-white	其他 Others	
2004	肉白水晶彩鲫 F ₁ 自交 White Transparent Crucian Carp F ₁ ♀ × White Transparent Crucian Carp F ₁ ♂	个体数 Individual (ind)	356	420	2	0
		百分比 Percentage (%)	45.8	54.0	0.3	0
2004	红白水晶彩鲫 F ₁ 自交 Red-white Transparent Crucian Carp F ₁ ♀ × Red-white Transparent Crucian Carp F ₁ ♂	个体数 Individual (ind)	132	439	56	220
		百分比 Percentage (%)	15.6	51.8	6.6	26.0

表 3 红白水晶彩鲫 F₂ 自交、肉白水晶彩鲫群交、白色鲫 F₁ × 肉白水晶彩鲫杂交的子代分离Table 3 The segregation results of the offspring from the selfcrosses of Red-white Transparent Crucian Carp F₂, random crosses of White Transparent Crucian Carps, crosses of White Crucian Carp F₁ and White Transparent Crucian Carp respectively

年份 Year	杂交组合 Cross groups		子代表现型 Phenotypes of individuals			
			水晶彩鲫型 Transparent Crucian Carp			红鲫型 Red Crucian Carp
			肉白 White	红白 Red-white	其他 Others	
2005	红白水晶彩鲫 F ₂ 自交 Red-white Transparent Crucian Carp F ₂ ♀ × Red-white Transparent Crucian Carp F ₂ ♂	个体数 Individual (ind)	264	202	10	59
		百分比 Percentage (%)	49.3	37.8	1.9	11.0
2005	肉白水晶彩鲫群交 Group of White Transparent Crucian Carp ♀ × Group of White Transparent Crucian Carp ♂	个体数 Individual (ind)	126	75	3	0
		百分比 Percentage (%)	61.8	36.8	1.5	0
2005	白色鲫 F ₁ ♀ × 肉白水晶彩鲫 ♂ White Crucian Carp F ₁ ♀ × White Transparent Crucian Carp ♂	个体数 Individual (ind)	70	133	4	0
		百分比 Percentage (%)	33.8	64.3	1.9	0
2005	肉白水晶彩鲫 ♀ × 白色鲫 F ₁ ♂ White Transparent Crucian Carp ♀ × White Crucian Carp F ₁ ♂	个体数 Individual (ind)	80	177	3	0
		百分比 Percentage (%)	30.8	68.1	1.2	0

肉白水晶彩鲫正、反杂交,子代表现为水晶彩鲫型,不同体色的分离比例也相近,肉白和红白个体平均为 32.3% 和 66.2%,没有红鲫型个体出现(表 3)。

2.4 红鲫、白色鲫的自交 红鲫自交,子代表现为红鲫型,体色以红色为主体,占群体的

66.7%,没有水晶彩鲫型个体出现。白色鲫自交,子代表现为红鲫型,白色个体的比例较红鲫有所增加,达到 48.1%。白色鲫 F₁ 自交,子代表现为红鲫型,白色个体的比例为 28.1%,没有出现逐渐增加的趋势(表 4)。

表 4 红鲫、白色鲫自交的子代分离

Table 4 The segregation results of the offspring from the selfcrosses of Red Crucian Carp and White Crucian Carp respectively

年份 Year	杂交组合 Cross groups		子代表现型 Phenotypes of individuals				
			水晶彩鲫型 Transparent Crucian Carp	水晶彩鲫型 Transparent Crucian Carp			
				红色 Red	红白 Red-white	白色 White	其他 Others
2004	红鲫自交 Red Crucian Carp ♀ × Red Crucian Carp ♂	个体数 Individual (ind)	0	32	8	5	3
		百分比 Percentage (%)	0	66.7	16.7	10.4	6.3
2004	白色鲫自交 White Crucian Carp ♀ × White Crucian Carp ♂	个体数 Individual (ind)	0	45	19	62	3
		百分比 Percentage (%)	0	34.9	14.7	48.1	2.3
2005	白色鲫 F ₁ 自交 White Crucian Carp F ₁ ♀ × White Crucian Carp F ₁ ♂	个体数 Individual (ind)	0	157	36	97	55
		百分比 Percentage (%)	0	45.5	10.4	28.1	15.9

2.5 肉白水晶彩鲫和红鲫杂交的遗传特性

通过以上肉白水晶彩鲫和红鲫,以及后代不同杂交组合的体色遗传学分析,肉白水晶彩鲫与红鲫杂交,子代全部为水晶彩鲫型(表 1,3);肉白水晶彩鲫自交,子代也全部为水晶彩鲫型(表 2,3);红白水晶彩鲫自交,子代表现为水晶彩鲫型和红鲫型(表 2,3);红鲫自交,子代全部为红鲫型(表 4)。初步推断肉白水晶彩鲫是体表鸟粪素缺失型的纯合体(-/-),红鲫是体表鸟粪素完全型的纯合体(+/+),红白水晶彩鲫是杂合体(+/-)。鸟粪素的缺失型相对完全型是显性,但它们的杂交遗传不完全符合一对等位基因的孟德尔分离规律。

3 讨论

陈桢先生做了大量关于金鱼的透明和正常杂交实验,得出透明鱼的基因型为 TT,五花鱼为 Tt,正常鱼为 tt,证明了金鱼基因的多重效性和不完全显性,此结论已被许多经典遗传学书

籍所引用^[1,14,15]。依据水晶彩鲫的研究和实验材料图片的对照分析,我们发现在体色、体型和遗传特性上,透明鱼与肉白水晶彩鲫相似,五花鱼与红白水晶彩鲫相似,正常鱼与红鲫相似。它们的主要区别是陈桢依据体表的特征,将水晶彩鲫分为透明鱼和五花鱼,本研究依据体色将水晶彩鲫分为肉白色、红白色和其他色。从前期水晶彩鲫的体色和正常鳞的统计数据来看,红色斑纹和正常鳞(鸟粪素)的大小、多少是一个连续变化过程,是由数量性状基因控制。在肉白水晶彩鲫中,完全透明鳞和少量正常鳞,无白色斑块和少量白色斑块(图版 I:1,2),在子代中都可能出现,同样,红白水晶彩鲫也有完全鸟粪素缺失型(图版 I:4),肉白和红白的体表没有本质的区别,有些中间型个体很难归类,因此,本研究将鸟粪素缺失定为水晶彩鲫型,鸟粪素完全定为红鲫型^[10,11]。

如果我们和陈桢先生的试验鱼完全相同,从本研究的角度分析,其杂交结果较相近。肉

白水晶彩鲫和红鲫杂交,子代全部为水晶彩鲫型。红白水晶彩鲫 F_1 自交,子代为水晶彩鲫型和红鲫型,分离比例为 3:1。但从陈桢的角度分析,其结果就存在着差异。肉白水晶彩鲫 \times 红鲫正反杂交(表 1),子代出现了 10% 左右肉白色(透明鱼),并非全部是红白色水晶彩鲫(五花鱼),肉白水晶彩鲫 F_1 自交(表 2),子代也全部为水晶彩鲫型。在前期肉白水晶彩鲫 F_5 自交选育过程中,子代为水晶彩鲫型,其中肉白色、红白色和其他色都可能会出现,全部是肉白色一种还没有发现^[11],一对等位基因的不完全显性理论也无法解释这些现象。笔者认为产生差异的原因可能是受当时实验条件的限制,陈桢先生在观察和判断透明和五花的分类上存在着偏差。理由如下:①观察的鱼体太小(出苗 40 d,体长 25 mm),体色可能没有完全演化为成体的颜色,尤其是黑色素易变化;②养殖的水体太小(上部直径 97 cm,下部直径 48 cm 的鱼缸,水深约 81 cm,养 80 尾鱼),尤其在光线不足的地方,体色比池塘养殖的鱼色彩对比度差很多^[3,16-19]。本研究在室内水族箱养殖的水晶彩鲫,体色变淡趋向于肉白色,较难分辨出不同体色。陈桢在文中也提到了杂合的五花和正常鱼之间区别非常明显,但杂合与纯合的透明鳞鱼之间区别则不太明显,当个体小于 20 mm 时,两者有些重叠不分^[3]。

在笔者早期的水晶彩鲫和红鲫杂交种遗传学研究中,认为水晶彩鲫的彩色是受显性基因控制,红鲫的红色是受隐性基因控制,符合孟德尔的分离规律^[10]。这是由于当时没有区分水晶彩鲫的肉白色和红白色,在水晶彩鲫亲本的选择时,可能恰好是肉白水晶彩鲫,杂交 F_1 代是红白水晶彩鲫,所以得到了一个不完善的结论。

金鱼的色彩多种多样,但不同体色都是由黑色素、橙红色素和鸟粪素组成^[3,18-20]。红鲫和水晶彩鲫主要的区别就是鸟粪素的完全和缺失。经观察白色鲫的鳞片只有鸟粪素细胞,肉白水晶彩鲫的鳞片几乎无色素细胞,本研究原设想通过肉白水晶彩鲫和白色鲫的杂交,进行鸟粪素的遗传学研究(表 4),补充和完善本文

的学术观点。但从目前的实验结果来看,白色鲫自交与红鲫自交相比,只是子代中的白色比例较大,还无法选育出纯种的白色鲫。而且白色鲫和肉白水晶彩鲫正、反杂交,子代表现为水晶彩鲫型,其中肉白色、红白色和其他色也都有出现,没有发现特殊性。从以上的实验结果可以看出金鱼的体色遗传较复杂,还需借助于现代分子遗传学标记技术进行更深入的探索研究。

参 考 文 献

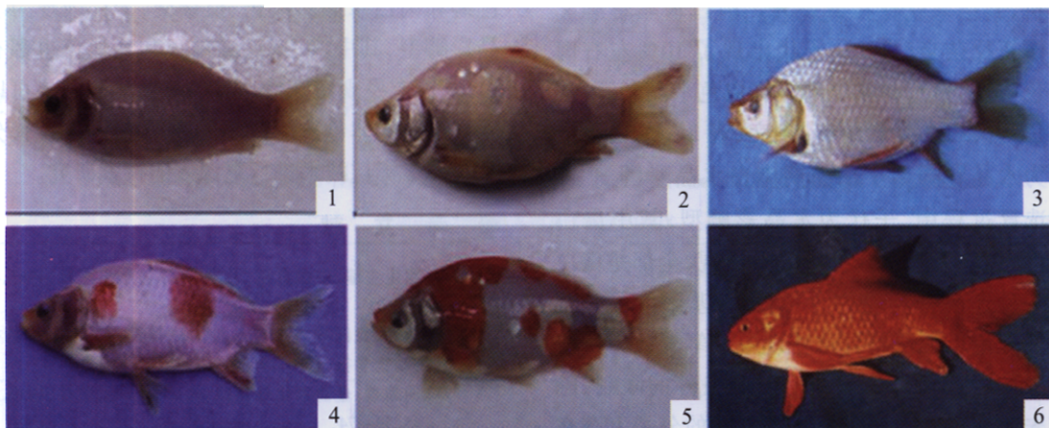
- [1] 伍惠生主编. 中国金鱼. 天津: 天津科学出版社, 1983, 48 ~ 57, 104 ~ 105, 177 ~ 182.
- [2] 王春元. 我国现有金鱼品种的分类及其系统发育的探讨. 动物学报, 1983, 29(3): 267 ~ 277.
- [3] 陈桢编著. 金鱼家化与变异. 北京: 科学出版社, 1959, 35 ~ 45, 59 ~ 74.
- [4] 陈桢. 金鲫鱼的孟德尔遗传. 清华大学学报(自然科学版), 1930(2): 1 ~ 22.
- [5] 李璞. 我国金鱼的品种及其在系统发生上的关系. 动物学杂志, 1959, 3(6): 248 ~ 251.
- [6] 陈桢. 金鱼家化史与品种形成的因素. 动物学报, 1954, 6(2): 89 ~ 116.
- [7] 梁前进. 金鱼起源及演化的研究. 生物学通报, 1995, 30(3): 14 ~ 16.
- [8] 王晓梅, 郭立. 金鱼起源和系统演化的研究进展. 天津农学院学报, 1999, 1(1): 27 ~ 30.
- [9] Yang L, Zhou L, Gui J F. Molecular basis of transferrin polymorphism in goldfish. *Genetica*, 2004, 121(3): 303 ~ 313.
- [10] 徐伟, 白庆利, 刘明华等. 彩鲫与红鲫杂交种体色遗传的初步研究. 中国水产科学, 1999, 1(1): 33 ~ 36.
- [11] 徐伟, 白庆利, 刘明华等. 肉色彩鲫的选育及遗传性状研究. 中国水产科学, 2000, 2(4): 113 ~ 115.
- [12] 徐伟, 曹顶臣, 李池陶等. 水晶彩鲫、红鲫、锦鲤、荷包红鲤杂交子代的生长和体色研究. 水产学报, 2005, 29(3): 339 ~ 343.
- [13] 徐伟, 白庆利, 曹顶臣. 彩鲫、红鲫、银鲫体色发育生物学初步观察. 水产学杂志, 1999, 12(1): 61 ~ 63.
- [14] 方宗熙编著. 普通遗传学. 北京: 科学技术出版社, 1979, 43 ~ 44.
- [15] 李骏珉编著. 鱼类遗传与育种学. 北京: 中国林业出版社, 1988, 229 ~ 237, 214 ~ 216.
- [16] 刘金海, 王安利, 王维娜. 草金鱼总色素稳定性研究(1): 日光、空气、温度和金属离子对草金鱼总色素稳定性的影响. 水产科学, 2005, 24(2): 9 ~ 11.
- [17] Neumeyer C. Wavelength dependence of visual acuity in goldfish. *Journal of Comparative Physiology, A, Sensory, Neural and Behavioral Physiology*, 2003, 189(11): 811 ~ 821.
- [18] H. B. 普契科夫编著(何大仁译). 鱼类生理学. 上海: 上海科学技术出版社, 1959, 188 ~ 194.
- [19] M. E. 勃朗编著(费鸿年译). 鱼类生理学(下册). 北京: 科学出版社, 1963, 381 ~ 398.
- [20] 孟庆闻主编. 鱼类学. 上海: 上海科学技术出版社, 1989, 36 ~ 38.

徐 伟等:肉白水晶彩鲫和红鲫杂交的遗传学

图版 I

XU Wei *et al.*: Genetic Characteristics of the Crosses between White Transparent Crucian
Carp and Red Crucian Carp

Plate I



1. 体表鸟粪素完全缺失型肉白水晶彩鲫; 2. 体表鸟粪素部分缺失型肉白水晶彩鲫; 3. 白色鲫; 4. 鳞片鸟粪素完全缺失型红白水晶彩鲫; 5. 体表鸟粪素部分缺失型红白水晶彩鲫; 6. 红鲫。

1. White Transparent Crucian Carp without guanophore on body surface; 2. White Transparent Crucian Carp with part of guanophore on body surface; 3. White Crucian Carp; 4. Red-white Transparent Crucian Carp without guanophore in scales; 5. Red-white Transparent Crucian Carp with part of guanophore on body surface; 6. Red Crucian Carp.