

DOI: 10.12264/JFSC2024-0345

## 木扎提河不同性别斑重唇鱼形态性状对体重影响的通径分析

郝慧敏<sup>1, 3, 4</sup>, 王博<sup>2, 3, 4</sup>, 张丽蓉<sup>1, 3, 4</sup>, 王正伟<sup>1, 3, 4</sup>, 李艳慧<sup>1, 3, 4</sup>, 聂竹兰<sup>1, 3, 4</sup>

1. 塔里木大学生命科学与技术学院, 新疆 阿拉尔 843300;
2. 塔里木大学动物科学与技术学院, 新疆 阿拉尔 843300;
3. 省部共建塔里木盆地生物资源保护利用国家重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300;
4. 塔里木珍稀鱼类研究中心, 新疆 阿拉尔 843300

**摘要:** 为探究木扎提河不同性别斑重唇鱼(*Diptychus maculatus*)形态性状对体重的影响, 以 102 尾雌鱼和 104 尾雄鱼为研究对象, 分别测定体重、12 个传统形态性状及 21 个框架形态性状, 通过相关性分析、回归分析及通径分析研究形态性状对体重的影响。结果表明: (1)不同性别及年龄的斑重唇鱼与体重之间呈显著正相关( $P<0.05$ )的形态性状不同, 数量也不同。(2)分别对斑重唇鱼雌雄群体建立形态性状与体重的线性回归方程, 各方程的总决定系数( $R^2$ )分别在 0.946~0.993 和 0.797~0.991 之间。(3)通径分析表明,  $X_4$ (体高)、 $X_2$ (体长)、 $X_{29}$ (背鳍起点到臀鳍起点的直线距离)、 $X_{24}$ (吻端到腹鳍起点的直线距离)分别对 1<sup>+</sup>~4<sup>+</sup>龄雌鱼体重直接作用最大, 通径系数分别是 0.615、0.444、0.550、0.603;  $X_{27}$ (背鳍起点到胸鳍起点的直线距离)、 $X_2$ 、 $X_{29}$ 、 $X_1$ (全长)分别对 1<sup>+</sup>~4<sup>+</sup>龄雄鱼体重直接作用最大, 通径系数分别是 0.439、0.545、0.439、0.640。该研究丰富了斑重唇鱼形态学相关数据, 为其后期选育工作提供理论依据。

**关键词:** 木扎提河; 斑重唇鱼; 形态性状; 相关分析; 回归分析; 通径分析

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)04-0445-18

斑重唇鱼(*Diptychus maculatus*)隶属于鲤科(Cyprinidae)、裂腹鱼亚科(Schizothoracinae)、重唇鱼属(*Diptychus*), 主要分布在我国伊犁河水系和塔里木河水系<sup>[1]</sup>, 是新疆土著鱼类。迄今为止, 国内外对斑重唇鱼的研究主要集中在形态学<sup>[2-4]</sup>、发育生物学<sup>[5]</sup>、生理学<sup>[6]</sup>以及遗传学<sup>[7-10]</sup>等方面。斑重唇鱼曾是当地的主要经济鱼类, 但自 20 世纪 50 年代开始, 由于气候变化、人类活动及水利水电设施的兴建对斑重唇鱼栖息地造成严重破坏<sup>[11]</sup>, 其自然资源量锐减。21 世纪初, 塔里木河水系的新疆土著鱼类资源全面调查结果显示, 野生斑重唇鱼不足 300 尾<sup>[12]</sup>, 并于 2021 年被列为国家二级

野生保护动物<sup>[1]</sup>。虽然斑重唇鱼已经实现人工繁育和增殖放流, 但其遗传同质化等瓶颈问题仍然存在<sup>[13]</sup>。为了对其遗传性状进行监测或跟踪研究, 开展斑重唇鱼形态性状与体重关系的相关研究势在必行。

水生动物选育的主要生长性状指标有体重和形态性状, 且两者之间密切相关<sup>[14-16]</sup>。近年来, 许多学者通过统计分析方法研究了传统形态性状与体重的关系: 如平洪岭等<sup>[17]</sup>研究发现全长和体高对横带髭鲷(*Hapalogrenys mucronatus*)体重起主要作用; 李艳慧等<sup>[18]</sup>研究表明在叶尔羌高原鳅(*Triplophysa yarkandensis*)选育过程中应以头长和

收稿日期: 2024-12-03; 修订日期: 2024-12-19.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2401004); 国家自然科学基金项目(32460920); 第三次新疆综合科学考察项目(2022xjkk150403); 兵团农业农村局农业关键核心技术攻关课题(NYHXGG2023AA304); 塔里木大学校长基金创新研究团队项目(TDZKCX202204).

作者简介: 郝慧敏(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向为特色水生动物资源保护与利用. E-mail: haohm2024@163.com

通信作者: 聂竹兰, 教授, 研究方向为特色水生动物资源保护与利用. E-mail: niezhl2004@163.com

体长这两指标为主；马凯等<sup>[19]</sup>研究阐明了影响北极茴鱼(*Thymallus arcticus*)的每个年龄阶段体重的主要性状是体厚、体高和尾柄高。而毛秦等<sup>[20]</sup>在研究北极茴鱼 8 个传统形态性状与纯重关系的同时，还分析了 23 个框架形态性状对纯重的影响，结果发现，对纯重影响较大的性状是全长、枕骨后末端至腹鳍起点的距离、臀鳍起点到背鳍基部末端的距离。

本研究以木扎提河斑重唇鱼为研究对象，结合传统形态性状和框架形态性状，通过相关性分析、回归分析及通径分析，以期确定影响不同性别群体体重的关键形态性状，旨在丰富斑重唇鱼基础生物学研究内容，同时为后期斑重唇鱼选育工作提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本来源

实验样本均于 2023 年 11 月采自新疆木扎提河上游阿合布隆渠首，纬度  $41^{\circ}62' \sim 41^{\circ}79'$ ，经度  $80^{\circ}99' \sim 81^{\circ}51'$ ，共采集样本 206 尾，其中雌性 1<sup>+</sup> 龄 10 尾、2<sup>+</sup> 龄 40 尾、3<sup>+</sup> 龄 27 尾、4<sup>+</sup> 龄 25 尾，雄性 1<sup>+</sup> 龄 19 尾、2<sup>+</sup> 龄 53 尾、3<sup>+</sup> 龄 21 尾、4<sup>+</sup> 龄 11 尾，活体带回实验室，暂养在养殖池中。

### 1.2 生物学测定

实验鱼用 MS-222 麻醉后，擦干体表水分，使用电子天平测量体重(body weight)，运用游标卡尺测量 12 个传统形态性状(图 1)和 21 个框架形态性状(图 2)，传统形态性状参考 Wang 等<sup>[21]</sup>的方法测量，主要包括全长(total length)、体长(body length)、体宽(body width)、体高(body depth)、头长(head length)、吻长(snout length)、眼径(eye diameter)、眼间距(interorbital distance)、尾柄长(caudal peduncle length)、尾柄高(caudal peduncle height)、口裂宽(mouth cleft wide)、口裂高(mouth cleft high)(表 1)；框架形态性状参照 Strauss 等<sup>[22]</sup>方法选择坐标点，各坐标点(图 2)分别为吻端(A)、头背部末端(B)、背鳍起点(C)、背鳍基部末端(D)、尾鳍背部起点(E)、尾鳍腹部起点(F)、臀鳍起点(H)、腹鳍起点(I)、胸鳍起点(J)，连接各个具有代表性的坐标点，分别为 AB、BC、CD、DE、EF、

FH、HI、IJ、AJ、AC、AI、BJ、BI、CJ、CI、CH、CF、DI、DH、DF、EH(表 2)。长度精确到 0.01 mm，体重精确到 0.01 g。

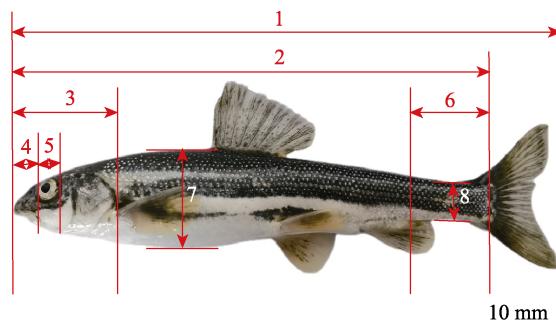


图 1 斑重唇鱼传统形态测量

1：全长；2：体长；3：头长；4：吻长；5：眼径；6：尾柄长；7：体高；8：尾柄高。

Fig. 1 Traditional morphological measurement of *Diptychus maculatus*

1: total length; 2: body length; 3: head length; 4: snout length; 5: eye diameter; 6: caudal peduncle length; 7: body depth; 8: caudal peduncle height.

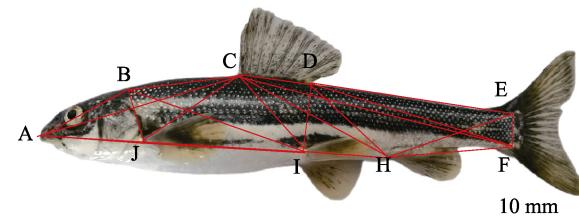


图 2 斑重唇鱼框架测量

A：吻端；B：头背部末端；C：背鳍起点；D：背鳍基部末端；E：尾鳍背部起点；F：尾鳍腹部起点；H：臀鳍起点；I：腹鳍起点；J：胸鳍起点。

Fig. 2 Frame measurement of *Diptychus maculatus*

A: tip of snout; B: the end of the back of the head; C: origin of dorsal fin; D: basal end of the dorsal fin; E: dorsal origin of caudal fin; F: ventral origin of the caudal fin; H: anal fin origin; I: ventral fin origin; J: pectoral fin origin.

表 1 斑重唇鱼体重及传统形态性状的描述

Tab. 1 Descriptions of body weight and traditional morphological traits of *Diptychus maculatus*

参数 parameter	性状 trait	参数 parameter	性状 trait
$X_1$	全长 total length	$X_7$	眼径 eye diameter
$X_2$	体长 body length	$X_8$	眼间距 interorbital distance
$X_3$	体宽 body width	$X_9$	口裂宽 mouth cleft wide
$X_4$	体高 body depth	$X_{10}$	口裂高 mouth cleft high
$X_5$	头长 head length	$X_{11}$	尾柄长 caudal peduncle length
$X_6$	吻长 snout length	$X_{12}$	尾柄高 caudal peduncle height
$X_{13}$	体重 body weight		

**表2 斑重唇鱼框架形态性状的描述**  
**Tab. 2 Descriptions of frame morphological traits of *Diptychus maculatus***

参数 parameter	性状 trait	说明 description
$X_{14}$	AB	吻端到头背部末端的直线距离 the distance from tip of snout to the end of the back of the head
$X_{15}$	BC	头背部末端到背鳍起点的直线距离 the distance from the end of the back of the head to origin of dorsal fin
$X_{16}$	CD	背鳍起点到背鳍基部末端的直线距离 the distance of dorsal fin (from origin to the end)
$X_{17}$	DE	背鳍基部末端到尾鳍背部起点的直线距离 the distance from basal end of the dorsal fin to dorsal origin of caudal fin
$X_{18}$	EF	尾鳍背部起点到尾鳍腹部起点的直线距离 the distance from dorsal origin of caudal fin to ventral origin of the caudal fin
$X_{19}$	FH	尾鳍腹部起点到臀鳍起点的直线距离 the distance from ventral origin of the caudal fin to anal fin origin
$X_{20}$	HI	臀鳍起点到腹鳍起点的直线距离 the distance from anal fin origin to ventral fin origin
$X_{21}$	IJ	腹鳍起点到胸鳍起点的直线距离 the distance from ventral fin origin to pectoral fin origin
$X_{22}$	AJ	吻端到胸鳍起点的直线距离 the distance from tip of snout to pectoral fin origin
$X_{23}$	AC	吻端到背鳍起点的直线距离 the distance from tip of snout to origin of dorsal fin
$X_{24}$	AI	吻端到腹鳍起点的直线距离 the distance from tip of snout to ventral fin origin
$X_{25}$	BJ	头背部末端到胸鳍起点的直线距离 the distance from the end of the back of the head to pectoral fin origin
$X_{26}$	BI	头背部末端到腹鳍起点的直线距离 the distance from the end of the back of the head to ventral fin origin
$X_{27}$	CJ	背鳍起点到胸鳍起点的直线距离 the distance from origin of dorsal fin to pectoral fin origin
$X_{28}$	CI	背鳍起点到腹鳍起点的直线距离 the distance from origin of dorsal fin to ventral fin origin
$X_{29}$	CH	背鳍起点到臀鳍起点的直线距离 the distance from origin of dorsal fin to anal fin origin
$X_{30}$	CF	背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离 the distance from origin of dorsal fin to ventral origin of the caudal fin
$X_{31}$	DI	背鳍基部末端到腹鳍起点的直线距离 the distance from basal end of the dorsal fin to ventral fin origin
$X_{32}$	DH	背鳍基部末端到臀鳍起点的直接距离 the distance from basal end of the dorsal fin to anal fin origin
$X_{33}$	DF	背鳍基部末端到尾鳍腹部起点的直线距离 the distance from basal end of the dorsal fin to ventral origin of the caudal fin
$X_{34}$	EH	尾鳍背部起点到臀鳍起点的直线距离 the distance from dorsal origin of caudal fin to anal fin origin

### 1.3 数据处理

使用 Excel (WPS)软件对数据进行整理归纳,计算平均值、标准差和变异系数。为消除加权影响,对原始数据进行对数化处理,再进行统计分析。使用 IBM SPSS Statistics 26 软件对各形态性状进行皮尔逊相关性分析、回归分析和通径分析,相关步骤参考杜家菊等<sup>[23]</sup>提供的方法,并使用 Origin 2022 Pro 软件对各形态性状及体重的相关性进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 斑重唇鱼形态性状参数

不同性别及年龄斑重唇鱼各形态性状参数统计见表3。雌性 1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄斑重唇鱼群体体重的变异系数分别是 33.27%、31.37%、26.24% 和 30.29%;雄性 1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄斑重唇鱼群体体重的变异系数分别是 21.76%、27.86%、30.53% 和 26.87%。除雌

性 3<sup>+</sup>龄群体,其余体重变异系数均为最大,说明对斑重唇鱼而言体重的选择潜力最大。雌性 1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄群体的口裂高和口裂宽两性状的变异系数较大,分别为 23.40%、25.79%、26.83%、23.79% 和 21.82%、19.46%、19.17%、20.37%。雄性 1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄群体的口裂高的变异系数也较大,分别为 19.33%、24.70%、27.63%、22.20%。

### 2.2 不同性别斑重唇鱼各形态性状相关性分析

对不同性别及年龄斑重唇鱼的各形态性状进行皮尔逊相关性分析,结果如图 3 和图 4 所示。不同性别及年龄群体的体重( $X_{13}$ )与各形态性状的相关性表现出不一致性。对雌性群体而言:1<sup>+</sup>龄和3<sup>+</sup>龄群体的体重均与背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )存在极显著正相关关系( $P<0.01$ ),相关系数最大,分别是 0.931 和 0.908;2<sup>+</sup>龄、4<sup>+</sup>龄群体的体重分别与体长( $X_2$ )和吻端到腹鳍起点的直线距离( $X_{24}$ )存在极显著正相关关系( $P<0.01$ ),相关

系数最大，分别是0.934和0.921。对雄性群体而言：背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{30}$ )、体长( $X_2$ )、头背部末端到背鳍起点的直线距离( $X_{15}$ )

和全长( $X_1$ )分别与1<sup>+</sup>龄、2<sup>+</sup>龄、3<sup>+</sup>龄、4<sup>+</sup>龄群体的体重存在极显著正相关关系( $P<0.01$ )，相关系数最大，分别是0.789、0.896、0.930、0.971。

表3 不同性别及年龄斑重唇鱼形态性状参数统计

Tab. 3 Statistics of morphological trait parameters of *Diptychus maculatus* of different genders and ages

参数 parameter	1 <sup>+</sup> 龄 1 <sup>+</sup> years of age						2 <sup>+</sup> 龄 2 <sup>+</sup> years of age					
	平均值 mean		标准差 standard deviation		变异系数/% coefficient of deviation		平均值 mean		标准差 standard deviation		变异系数/% coefficient of deviation	
	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male
$X_1/\text{mm}$	109.21	104.30	9.07	11.80	8.31	11.32	128.93	118.21	14.97	11.92	11.61	10.08
$X_2/\text{mm}$	89.43	85.94	10.84	8.78	12.12	10.21	107.37	97.02	12.66	10.68	11.79	11.00
$X_3/\text{mm}$	10.82	9.83	1.43	1.29	13.24	13.13	12.78	11.47	1.91	1.76	14.97	15.30
$X_4/\text{mm}$	14.54	13.68	2.36	1.11	16.25	8.08	15.96	14.62	2.02	1.76	12.64	12.04
$X_5/\text{mm}$	19.58	18.24	1.78	1.05	9.11	5.77	22.50	20.31	3.02	2.46	13.43	12.14
$X_6/\text{mm}$	6.02	5.41	1.41	0.63	23.48	11.68	7.24	6.28	1.61	1.53	22.16	24.30
$X_7/\text{mm}$	4.37	3.93	0.75	0.50	17.19	12.76	4.84	4.42	0.65	0.92	13.42	20.75
$X_8/\text{mm}$	6.08	5.49	0.77	0.72	12.62	13.14	7.20	6.47	1.23	0.95	17.10	14.76
$X_9/\text{mm}$	5.94	5.60	1.30	0.81	21.82	14.38	7.47	6.49	1.45	1.18	19.46	18.20
$X_{10}/\text{mm}$	6.05	5.49	1.42	1.06	23.40	19.33	5.97	5.61	1.54	1.39	25.79	24.70
$X_{11}/\text{mm}$	18.33	16.14	2.43	2.36	13.28	14.64	19.22	18.58	3.14	2.72	16.33	14.64
$X_{12}/\text{mm}$	7.01	6.80	0.86	0.95	12.26	14.01	7.96	7.05	1.16	0.98	14.60	13.95
$X_{13}/\text{g}$	8.63	7.14	2.87	1.55	33.27	21.76	13.75	9.73	4.31	2.71	31.37	27.86
$X_{14}/\text{mm}$	17.05	15.74	1.79	1.21	10.49	7.66	18.96	17.21	2.78	2.10	14.69	12.19
$X_{15}/\text{mm}$	25.91	25.00	3.50	2.39	13.49	9.54	31.27	27.15	4.58	3.61	14.66	13.30
$X_{16}/\text{mm}$	11.74	11.33	1.86	1.77	15.85	15.65	13.83	12.80	3.17	2.67	22.91	20.83
$X_{17}/\text{mm}$	36.37	35.67	6.08	4.24	16.71	11.87	43.42	41.98	7.41	9.00	17.06	21.45
$X_{18}/\text{mm}$	7.50	7.32	0.79	1.05	10.57	14.33	9.29	8.28	2.09	1.57	22.50	18.93
$X_{19}/\text{mm}$	24.00	22.46	2.79	3.65	11.61	16.27	27.07	26.64	4.50	4.93	16.64	18.51
$X_{20}/\text{mm}$	19.34	18.74	2.76	3.04	14.25	16.25	23.26	20.69	4.73	3.20	20.35	15.49
$X_{21}/\text{mm}$	28.63	26.37	3.27	3.32	11.42	12.60	33.15	29.15	4.96	4.03	14.97	13.82
$X_{22}/\text{mm}$	21.85	20.38	2.11	1.79	9.66	8.78	24.29	22.38	3.20	2.61	13.16	11.66
$X_{23}/\text{mm}$	41.73	39.73	5.00	2.30	11.98	5.78	48.77	43.19	5.77	4.63	11.83	10.72
$X_{24}/\text{mm}$	48.38	46.45	5.23	3.52	10.80	7.58	56.99	50.76	6.71	5.40	11.78	10.63
$X_{25}/\text{mm}$	13.13	12.77	2.28	0.90	17.35	7.06	15.17	13.69	2.25	2.53	14.83	18.47
$X_{26}/\text{mm}$	35.71	33.80	4.55	2.48	12.73	7.33	42.22	37.01	6.24	5.45	14.79	14.73
$X_{27}/\text{mm}$	23.13	22.59	3.37	2.25	14.57	9.97	27.94	25.47	3.99	3.47	14.26	13.62
$X_{28}/\text{mm}$	15.79	15.24	1.71	1.62	10.86	10.64	18.35	16.19	2.72	2.12	14.81	13.11
$X_{29}/\text{mm}$	28.83	27.89	3.39	3.58	11.78	12.85	34.51	30.40	5.57	3.81	16.14	12.54
$X_{30}/\text{mm}$	50.16	47.31	5.22	4.63	10.41	9.78	58.36	55.80	9.85	9.86	16.87	17.67
$X_{31}/\text{mm}$	13.43	12.59	2.57	0.90	19.17	7.18	15.84	13.67	3.37	1.84	21.27	13.49
$X_{32}/\text{mm}$	19.24	18.49	2.54	2.07	13.19	11.20	22.82	20.40	4.50	3.56	19.71	17.45
$X_{33}/\text{mm}$	37.31	36.68	4.43	4.28	11.88	11.67	44.84	42.89	7.27	6.95	16.22	16.20
$X_{34}/\text{mm}$	24.97	23.90	3.14	3.21	12.57	13.41	28.28	27.30	4.68	5.73	16.55	20.98

(待续 to be continued)

(续表1 Tab. 1 continued)

参数 parameter	3 <sup>+</sup> 龄 3 <sup>+</sup> years of age						4 <sup>+</sup> 龄 4 <sup>+</sup> years of age					
	平均值 mean		标准差 standard deviation		变异系数/% coefficient of deviation		平均值 mean		标准差 standard deviation		变异系数/% coefficient of deviation	
	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male
$X_1/\text{mm}$	144.69	130.14	12.38	12.51	8.55	9.61	166.44	141.76	15.16	15.21	9.11	10.73
$X_2/\text{mm}$	116.35	108.24	14.14	11.03	12.15	10.19	137.00	117.56	16.53	13.81	12.07	11.74
$X_3/\text{mm}$	14.00	12.53	1.82	1.81	12.99	14.47	17.12	13.94	2.64	1.92	15.44	13.74
$X_4/\text{mm}$	17.43	15.72	2.21	2.19	12.69	13.95	21.52	17.61	3.93	2.16	18.25	12.24
$X_5/\text{mm}$	23.66	22.75	3.59	2.93	15.16	12.87	27.81	25.00	3.30	3.99	11.88	15.96
$X_6/\text{mm}$	7.72	7.19	1.20	0.96	15.55	13.37	8.86	7.83	1.68	1.61	19.01	20.51
$X_7/\text{mm}$	5.04	4.72	0.82	0.71	16.28	15.07	4.86	4.55	0.78	0.56	15.98	12.42
$X_8/\text{mm}$	7.80	7.07	1.02	0.81	13.10	11.44	9.00	7.81	1.11	1.47	12.28	18.78
$X_9/\text{mm}$	7.92	7.64	1.52	1.32	19.17	17.31	9.47	8.22	1.93	1.57	20.37	19.11
$X_{10}/\text{mm}$	6.19	6.56	1.66	1.81	26.83	27.63	7.54	7.69	1.79	1.71	23.79	22.20
$X_{11}/\text{mm}$	21.37	20.56	3.46	2.93	16.18	14.25	24.97	22.76	3.09	3.59	12.38	15.77
$X_{12}/\text{mm}$	8.31	7.92	1.35	1.45	16.20	18.29	9.65	8.76	1.23	1.03	12.73	11.81
$X_{13}/\text{g}$	17.25	12.39	4.53	3.78	26.24	30.53	27.93	16.66	8.46	4.48	30.29	26.87
$X_{14}/\text{mm}$	20.88	18.83	1.83	2.83	8.77	15.02	24.06	20.11	2.33	3.77	9.66	18.75
$X_{15}/\text{mm}$	33.95	31.14	4.05	4.02	11.92	12.92	40.38	31.35	4.98	4.73	12.34	15.10
$X_{16}/\text{mm}$	14.97	14.19	2.12	2.63	14.17	18.51	16.70	16.87	2.26	2.95	13.52	17.50
$X_{17}/\text{mm}$	49.60	45.23	7.63	6.16	15.39	13.63	58.75	49.46	5.31	6.78	9.04	13.70
$X_{18}/\text{mm}$	9.05	8.19	1.61	1.43	17.83	17.40	10.78	9.15	2.13	1.97	19.75	21.51
$X_{19}/\text{mm}$	30.40	28.89	4.03	3.60	13.24	12.45	36.54	33.19	5.86	4.19	16.03	12.64
$X_{20}/\text{mm}$	25.69	23.27	4.00	3.35	15.55	14.38	29.70	23.64	3.86	2.78	13.01	11.76
$X_{21}/\text{mm}$	36.01	33.05	4.61	4.22	12.79	12.78	44.64	37.57	5.29	6.06	11.84	16.13
$X_{22}/\text{mm}$	25.66	24.42	2.50	3.20	9.76	13.09	30.42	28.09	3.34	5.81	10.96	20.67
$X_{23}/\text{mm}$	52.71	48.52	5.44	7.09	10.33	14.62	62.53	52.80	5.81	6.64	9.28	12.58
$X_{24}/\text{mm}$	61.42	55.89	5.61	5.36	9.14	9.59	73.42	61.93	7.18	7.88	9.78	12.73
$X_{25}/\text{mm}$	15.04	15.04	1.70	1.74	11.32	11.56	18.62	16.51	2.90	3.29	15.57	19.89
$X_{26}/\text{mm}$	44.85	39.95	4.47	6.54	9.96	16.38	54.11	45.71	6.01	6.24	11.11	13.66
$X_{27}/\text{mm}$	29.56	27.11	3.41	5.30	11.55	19.56	36.41	29.36	3.90	4.93	10.72	16.79
$X_{28}/\text{mm}$	19.58	17.72	2.35	2.03	12.02	11.44	23.49	20.81	3.20	2.72	13.62	13.08
$X_{29}/\text{mm}$	38.26	33.73	4.73	4.16	12.37	12.34	44.85	39.09	5.53	7.54	12.33	19.28
$X_{30}/\text{mm}$	65.79	58.25	7.55	7.31	11.48	12.55	77.61	68.64	9.70	10.17	12.50	14.82
$X_{31}/\text{mm}$	15.88	14.71	2.23	2.05	14.03	13.93	19.68	15.76	3.30	3.56	16.77	22.62
$X_{32}/\text{mm}$	25.78	20.69	4.04	3.14	15.68	15.19	30.31	24.60	3.53	4.03	11.65	16.40
$X_{33}/\text{mm}$	51.40	45.36	8.60	6.34	16.72	13.99	63.75	50.64	10.12	7.69	15.87	15.19
$X_{34}/\text{mm}$	31.62	29.91	4.53	3.72	14.31	12.45	39.78	35.75	8.66	6.16	21.76	17.23

注: 对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

### 2.3 不同性别斑重唇鱼各性状回归分析

采用逐步法分别对斑重唇鱼雌性和雄性的1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄群体建立多元回归方程, 以体重为因变量, 筛选的性状为自变量, 建立如下方程:

$$\text{雌性: } Y_{F1} = -2.618 + 1.313X_4 + 0.855X_{17} + 0.510X_{22} (R^2=0.993)$$

$$Y_{F2} = -3.662 + 1.243X_2 + 0.510X_{28} + 0.507X_4 + 0.599X_{23} (R^2=0.946)$$

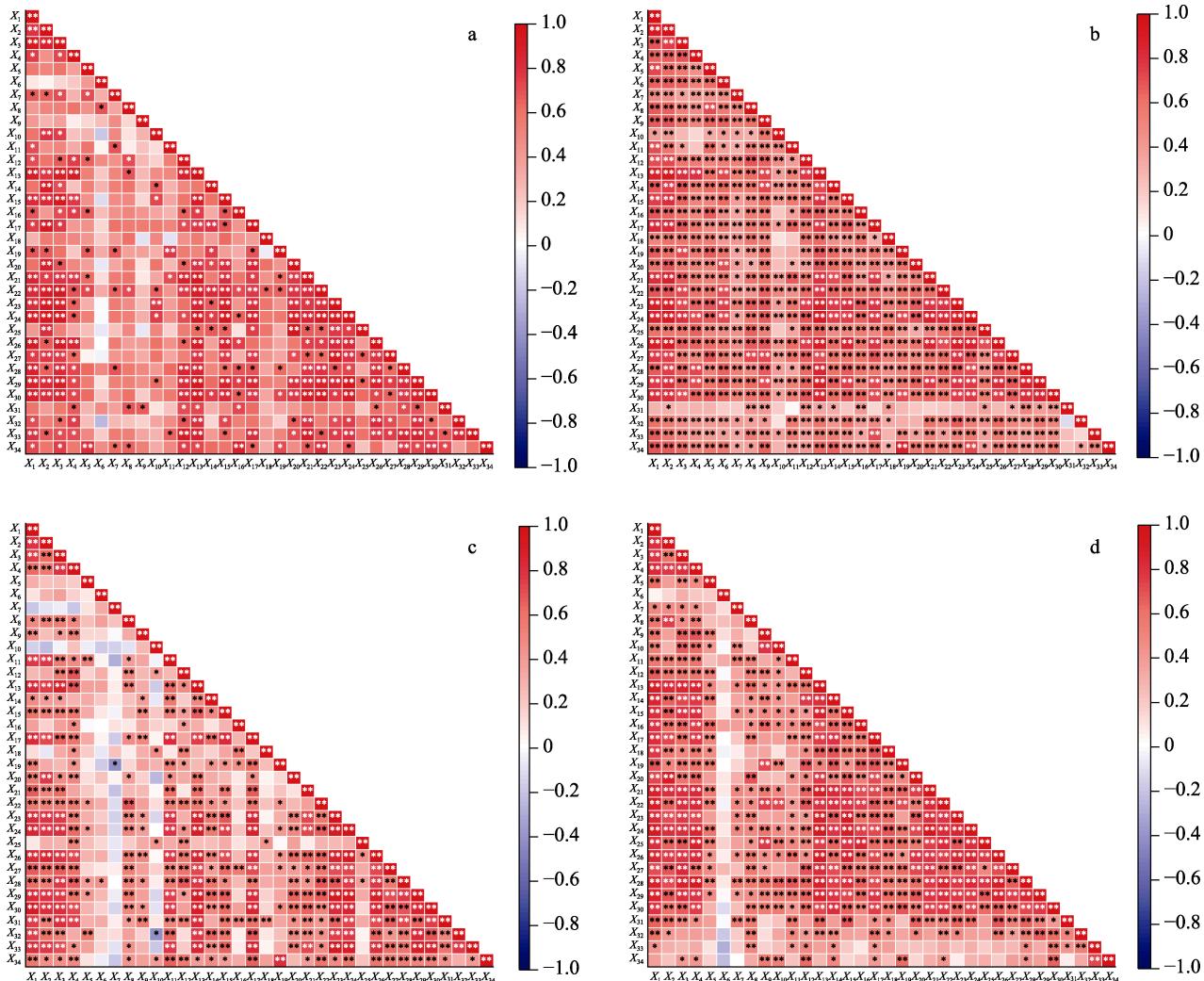


图3 雌性斑重唇鱼不同年龄的各形态性状相关性

a. 1<sup>+</sup>龄; b. 2<sup>+</sup>龄; c. 3<sup>+</sup>龄; d. 4<sup>+</sup>龄. \*表示显著相关( $P<0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ ).

Fig. 3 Correlation of various morphological traits of female *Diptychus maculatus* at different ages

a. 1<sup>+</sup>年齡組; b. 2<sup>+</sup>年齡組; c. 3<sup>+</sup>年齡組; d. 4<sup>+</sup>年齡組. \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ), \*\* indicates extremely significant correlation ( $P<0.01$ ).

$$Y_{F3} = -2.244 + 1.167X_{29} + 0.843X_{31} - 0.203X_{11} - 0.254X_{34} + 0.596X_{30} + 0.135X_7 (R^2=0.967)$$

$$Y_{F4} = -3.921 + 1.883X_{24} + 1.114X_{29} + 0.380X_8 - 0.321X_{19} + 0.148X_6 (R^2=0.957)$$

$$\text{雄性: } Y_{M1} = -2.531 + 0.968X_{30} + 0.972X_{27} + 0.447X_3 (R^2=0.797)$$

$$Y_{M2} = -3.346 + 1.394X_2 + 0.494X_{28} + 0.520X_{27} + 0.335X_8 - 0.329X_{20} + 0.333X_4 (R^2=0.904)$$

$$Y_{M3} = -3.192 + 0.715X_{24} + 1.206X_{29} + 0.774X_{31} + 0.457X_{15} - 0.391X_{33} + 0.185X_9 (R^2=0.987)$$

$$Y_{M4} = -3.295 + 1.625X_1 + 0.839X_3 + 0.346X_{25} - 0.302X_{16} (R^2=0.991)$$

式中,  $Y_{FA}$  表示雌性,  $Y_{MA}$  表示雄性, A 表示年龄;  $X_1 \sim X_4$  分别为全长、体长、体宽、体高,  $X_6 \sim X_9$  分

别为吻长、眼径、眼间距、口裂宽,  $X_{11}$  为尾柄长,  $X_{15}$ 、 $X_{25}$  分别为头背部末端到背鳍起点、胸鳍起点的直线距离,  $X_{16}$ 、 $X_{27} \sim X_{30}$  分别为背鳍起点到背鳍基部末端、胸鳍起点、腹鳍起点、臀鳍起点、尾鳍腹部起点的直线距离,  $X_{17}$ 、 $X_{31}$ 、 $X_{33}$  分别为背鳍基部末端到尾鳍背部起点、腹鳍起点、尾鳍腹部起点的直线距离,  $X_{19}$ 、 $X_{20}$ 、 $X_{34}$  分别为臀鳍起点到尾鳍腹部起点、腹鳍起点、尾鳍背部起点的直线距离,  $X_{22} \sim X_{24}$  分别为吻端到胸鳍起点、背鳍起点、腹鳍起点的直线距离。

由表 4 可知, 雌鱼 1<sup>+</sup>龄的吻端到胸鳍起点的直线距离( $X_{22}$ )、2<sup>+</sup>龄的吻端到背鳍起点的直线距

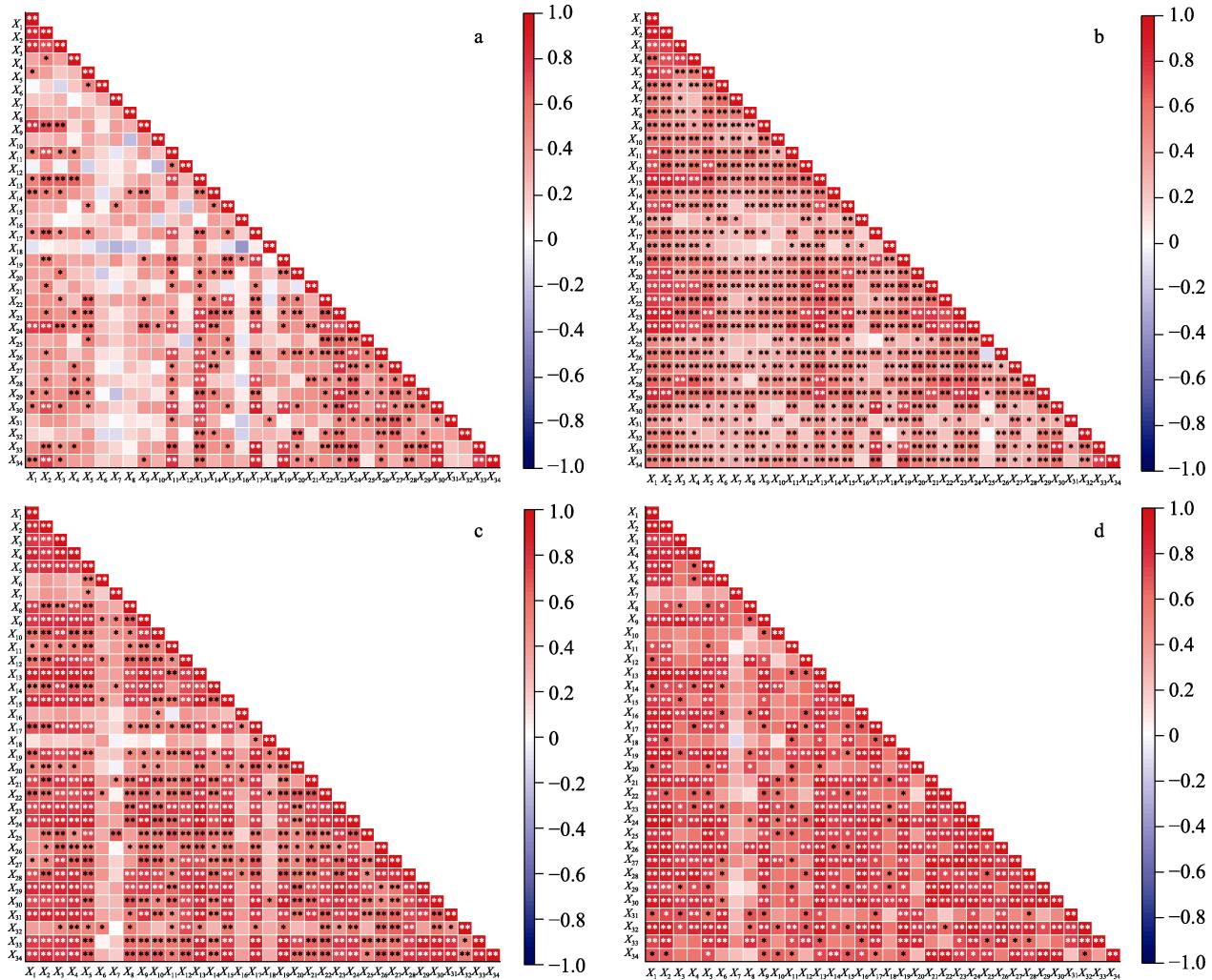


图4 雄性斑重唇鱼不同年龄的各形态性状相关性

a. 1<sup>+</sup>龄; b. 2<sup>+</sup>龄; c. 3<sup>+</sup>龄; d. 4<sup>+</sup>龄.\*表示显著相关( $P<0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ ).

Fig. 4 Correlation of various morphological traits of male *Diptychus maculatus* at different ages  
 a. 1<sup>+</sup> age group; b. 2<sup>+</sup> age group; c. 3<sup>+</sup> age group; d. 4<sup>+</sup> age group. \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ), \*\* indicates extremely significant correlation ( $P<0.01$ ).

离( $X_{23}$ )、3<sup>+</sup>龄的眼径( $X_7$ )、4<sup>+</sup>龄的吻长( $X_6$ )的回归系数均达到显著水平( $P<0.05$ ), 其余变量的回归系数均达到极显著水平( $P<0.01$ )。由表5可知, 雄鱼1<sup>+</sup>龄的体宽( $X_3$ )、2<sup>+</sup>龄的臀鳍起点到腹鳍起点的直线距离( $X_{20}$ )和体高( $X_4$ )、3<sup>+</sup>龄的背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{33}$ )和尾柄长( $X_9$ )、4<sup>+</sup>龄的背鳍起点到背鳍基部末端的直线距离( $X_{16}$ )的回归系数均达到显著水平( $P<0.05$ ), 其余变量的回归系数均达到极显著水平( $P<0.01$ ), 说明所选取的变量有统计学意义, 应留在方程式中。

1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雌鱼分别随着3个、4个、6个、5个变量的逐步引入, 回归方程决定系数 $R^2$ 分别达到

0.993、0.946、0.967、0.957; 1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄鱼分别随着3个、6个、6个、4个变量的逐步引入, 回归方程决定系数 $R^2$ 分别达到0.797、0.904、0.987、0.991, 说明不同性别及年龄的斑重唇鱼随着变量的引入均对体重产生重要作用。根据回归方程决定系数计算雌鱼和雄鱼不同年龄的剩余因子 $e=\sqrt{1-R^2}$ ,  $e_{\text{雌}1}=0.08367$ ,  $e_{\text{雌}2}=0.23238$ ,  $e_{\text{雌}3}=0.18166$ ,  $e_{\text{雌}4}=0.20736$ ;  $e_{\text{雄}1}=0.45056$ ,  $e_{\text{雄}2}=0.30984$ ,  $e_{\text{雄}3}=0.11402$ ,  $e_{\text{雄}4}=0.09487$ ( $e_{\text{雌A}}$ 和 $e_{\text{雄A}}$ 中的A指年龄)。

#### 2.4 不同性别斑重唇鱼各形态性状对体重影响的通径分析

由表6可知, 体高( $X_4$ )、体长( $X_2$ )、背鳍起点

表4 斑重唇鱼雌性回归方程系数显著性检验  
Tab. 4 The significance test of regression equation coefficients of female *Diptychus maculatus*

年龄 age	性状 trait	非标准化回归系数 unstandardized coefficient		标准化回归系数 standardized coefficient		<i>t</i>	<i>P</i>
		<i>B</i>	标准错误 SE	Beta			
1 <sup>+</sup>	常量 constant	-2.618	0.131			-19.914	0.000
	<i>X</i> <sub>4</sub>	1.313	0.085	0.615	15.476	0.000	
	<i>X</i> <sub>17</sub>	0.855	0.096	0.410	8.871	0.000	
	<i>X</i> <sub>22</sub>	0.510	0.196	0.150	2.609	0.040	
2 <sup>+</sup>	常量 constant	-3.662	0.225			-16.247	0.000
	<i>X</i> <sub>2</sub>	1.243	0.250	0.444	4.970	0.000	
	<i>X</i> <sub>28</sub>	0.510	0.136	0.233	3.759	0.001	
	<i>X</i> <sub>4</sub>	0.507	0.149	0.192	3.413	0.002	
3 <sup>+</sup>	<i>X</i> <sub>23</sub>	0.599	0.238	0.210	2.523	0.016	
	常量 constant	-2.244	0.185			-12.149	0.000
	<i>X</i> <sub>29</sub>	1.167	0.143	0.550	8.157	0.000	
	<i>X</i> <sub>31</sub>	0.843	0.118	0.432	7.142	0.000	
4 <sup>+</sup>	<i>X</i> <sub>9</sub>	-0.203	0.050	-0.176	-4.066	0.001	
	<i>X</i> <sub>34</sub>	-0.254	0.081	-0.138	-3.152	0.005	
	<i>X</i> <sub>30</sub>	0.596	0.186	0.251	3.199	0.005	
	<i>X</i> <sub>7</sub>	0.135	0.064	0.080	2.122	0.047	
	常量 constant	-3.921	0.254			-15.447	0.000
	<i>X</i> <sub>24</sub>	1.883	0.223	0.603	8.462	0.000	
	<i>X</i> <sub>29</sub>	1.114	0.183	0.439	6.077	0.000	
	<i>X</i> <sub>8</sub>	0.380	0.129	0.150	2.939	0.008	
	<i>X</i> <sub>19</sub>	-0.321	0.100	-0.179	-3.215	0.005	
	<i>X</i> <sub>6</sub>	0.148	0.059	0.110	2.497	0.022	

注:对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

到臀鳍起点的直线距离(*X*<sub>29</sub>)和吻端到腹鳍起点的直线距离(*X*<sub>24</sub>)分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雌鱼体重直接作用最大, 通径系数分别是0.615、0.444、0.550和0.603。吻端到胸鳍起点的直线距离(*X*<sub>22</sub>)、体高(*X*<sub>4</sub>)、口裂宽(*X*<sub>9</sub>)和尾鳍腹部起点到臀鳍起点的直线距离(*X*<sub>19</sub>)分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雌鱼体重直接作用最小, 通径系数分别是0.150、0.192、-0.176和-0.179。1<sup>+</sup>龄雌鱼的吻端到胸鳍起点的直线距离(*X*<sub>22</sub>)通过体高(*X*<sub>4</sub>)对体重的间接作用最大, 为0.445; 2<sup>+</sup>龄雌鱼的吻端到背鳍起点的直线距离(*X*<sub>23</sub>)通过体长(*X*<sub>2</sub>)对体重的间接作用最大, 为0.396; 3<sup>+</sup>龄雌鱼的背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离(*X*<sub>30</sub>)通过背鳍起点到臀鳍起点的直线距离(*X*<sub>29</sub>)对体重的间接作用最大, 为0.465; 4<sup>+</sup>龄雌鱼

的背鳍起点到臀鳍起点的直线距离(*X*<sub>29</sub>)通过吻端到腹鳍起点的直线距离(*X*<sub>24</sub>)对体重的间接作用最大, 为0.469, 且吻端到胸鳍起点的直线距离(*X*<sub>22</sub>)、吻端到背鳍起点的直线距离(*X*<sub>23</sub>)和背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离(*X*<sub>30</sub>)分别对1<sup>+</sup>龄~3<sup>+</sup>龄雌性斑重唇鱼的间接作用总和最大, 间接作用系数分别是0.733、0.683、0.632, 而对4<sup>+</sup>龄雌鱼的间接作用总和最大的性状是尾鳍腹部起点到臀鳍起点的直线距离(*X*<sub>19</sub>), 间接作用系数是0.679。

由表7可知, 背鳍起点到胸鳍起点的直线距离(*X*<sub>27</sub>)、体长(*X*<sub>2</sub>)、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离(*X*<sub>29</sub>)和全长(*X*<sub>1</sub>)分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄鱼体重直接作用最大, 通径系数分别是0.439、0.545、0.439、

表5 斑重唇鱼雄性回归方程系数显著性检验

Tab. 5 The significance test of regression equation coefficients of male *Diptychus maculatus*

年龄 age	性状 trait	非标准化回归系数 unstandardized coefficient		标准化回归系数 standardized coefficient		t	P
		B	标准错误 SE	Beta			
1 <sup>+</sup>	常量 constant	-2.531	0.436			-5.805	0.000
	$X_{30}$	0.968	0.318	0.423		3.044	0.008
	$X_{27}$	0.972	0.268	0.439		3.625	0.002
	$X_3$	0.447	0.203	0.281		2.206	0.043
2 <sup>+</sup>	常量 constant	-3.346	0.257			-12.999	0.000
	$X_2$	1.394	0.223	0.545		6.264	0.000
	$X_{28}$	0.494	0.135	0.239		3.658	0.001
	$X_{27}$	0.520	0.127	0.245		4.098	0.000
	$X_8$	0.335	0.104	0.175		3.223	0.002
	$X_{20}$	-0.329	0.135	-0.18		-2.432	0.019
	$X_4$	0.333	0.158	0.144		2.117	0.040
3 <sup>+</sup>	常量 constant	-3.192	0.196			-16.305	0.000
	$X_{24}$	0.715	0.214	0.205		3.342	0.005
	$X_{29}$	1.206	0.181	0.439		6.670	0.000
	$X_{31}$	0.774	0.119	0.339		6.511	0.000
	$X_{15}$	0.457	0.152	0.183		3.018	0.009
	$X_{33}$	-0.391	0.144	-0.163		-2.720	0.017
	$X_{11}$	0.185	0.077	0.084		2.403	0.031
4 <sup>+</sup>	常量 constant	-3.295	0.286			-11.505	0.000
	$X_1$	1.625	0.206	0.640		7.905	0.000
	$X_3$	0.839	0.112	0.403		7.522	0.000
	$X_{25}$	0.346	0.082	0.244		4.237	0.005
	$X_{16}$	-0.302	0.113	-0.195		-2.672	0.037

注:对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

和0.640。体宽( $X_3$ )、臀鳍起点到腹鳍起点的直线距离( $X_{20}$ )、背鳍基部末端到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{33}$ )和背鳍起点到背鳍基部末端的直线距离( $X_{16}$ )分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄鱼体重直接作用最小,通径系数分别是0.281、-0.180、-0.163、-0.195。1<sup>+</sup>龄雄鱼的体宽( $X_3$ )通过背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{30}$ )对体重的间接作用最大,为0.234;2<sup>+</sup>龄雄鱼的臀鳍起点到腹鳍起点的直线距离( $X_{20}$ )通过体长( $X_2$ )对体重的间接作用最大,为0.418;3<sup>+</sup>龄雄鱼的背鳍基部末端到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{33}$ )通过背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )对体重的间接作用最大,为0.389;4<sup>+</sup>龄雄鱼背鳍起点到背鳍基部末端的直线距离( $X_{16}$ )通

过全长( $X_1$ )对体重的间接作用最大,为0.570。背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{30}$ )、臀鳍起点到腹鳍起点的直线距离( $X_{20}$ )、背鳍基部末端到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{33}$ )和背鳍起点到背鳍基部末端的直线距离( $X_{16}$ )分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄性斑重唇鱼间接作用总和最大,分别为0.366、0.851、1.010和1.068。

## 2.5 不同性别斑重唇鱼形态性状对体重的决定系数

由表8可知,体高( $X_4$ )、体长( $X_2$ )、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )和吻端到腹鳍起点的直线距离( $X_{24}$ )分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雌性斑重唇鱼体重的直接决定系数最大,分别为0.378、0.197、

表 6 斑重唇鱼雌性形态性状对体重的通径分析

Tab. 6 The result of path analysis of morphological traits and body weight of female *Diptychus maculatus*

年龄 age	性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect				$\Sigma$
				$X_4$	$X_{17}$	$X_{22}$		
1 <sup>+</sup>	$X_4$	0.617*	0.615**		0.121	0.108		0.230
	$X_{17}$	0.775**	0.410**	0.182		0.106		0.288
	$X_{22}$	0.761**	0.150*	0.445	0.289			0.733
2 <sup>+</sup>				$X_2$	$X_{28}$	$X_4$	$X_{23}$	$\Sigma$
	$X_2$	0.934**	0.444**		0.172	0.130	0.188	0.490
	$X_{28}$	0.847**	0.233**	0.329		0.139	0.147	0.614
	$X_4$	0.795**	0.192**	0.300	0.168		0.135	0.603
3 <sup>+</sup>	$X_{23}$	0.893**	0.210*	0.396	0.163	0.123		0.683
				$X_{29}$	$X_{31}$	$X_{11}$	$X_{34}$	$X_{30}$
	$X_{29}$	0.908**	0.550**		0.285	-0.065	-0.070	0.212
	$X_{31}$	0.828**	0.432**	0.362		-0.097	-0.063	0.189
	$X_9$	0.323	-0.176**	0.205	0.239		-0.051	0.107
	$X_{34}$	0.389*	-0.138**	0.277	0.199	-0.065		0.132
4 <sup>+</sup>	$X_{30}$	0.883**	0.251**	0.465	0.324	-0.075	-0.073	-0.010
	$X_7$	0.077	0.080*	-0.030	0.027	0.002	0.027	-0.031
				$X_{24}$	$X_{29}$	$X_8$	$X_{19}$	$X_6$
	$X_{24}$	0.921**	0.603**		0.341	0.074	-0.106	0.009
4 <sup>+</sup>	$X_{29}$	0.871**	0.439**	0.469		0.071	-0.111	0.003
	$X_8$	0.627**	0.15**	0.298	0.209		-0.057	0.027
	$X_{19}$	0.500**	-0.179**	0.358	0.272	0.048		0.001
	$X_6$	0.207	0.11*	0.050	0.272	0.037	-0.001	0.358

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )。对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: \* indicates significant correlation( $P<0.05$ ). \*\* indicates extremely significant correlation( $P<0.01$ ). Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

0.303、0.364; 体高( $X_4$ )和背鳍基部末端到尾鳍背部起点的直线距离( $X_{17}$ )、体长( $X_2$ )和吻端到背鳍起点的直线距离( $X_{23}$ )、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )和背鳍基部末端到腹鳍起点的直线距离( $X_{31}$ )及吻端到腹鳍起点的直线距离( $X_{24}$ )和背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雌鱼体重的共同决定系数最大, 分别为0.149、0.167、0.313、0.411; 各性状对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄体重的决定系数总和分别为0.938、0.952、0.917、0.965。

由表9可知, 背鳍起点到胸鳍起点的直线距离( $X_{27}$ )、体长( $X_2$ )、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )和全长( $X_1$ )分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄性斑重唇鱼体重的直接决定系数最大, 分别为0.193、0.297、0.193、0.410; 背鳍起点到尾鳍腹部起点的直线距离( $X_{30}$ )和背鳍起点到胸鳍起点的直线距离( $X_{27}$ )、体长( $X_2$ )和背鳍起点到腹鳍起点的直线距离( $X_{28}$ )

及背鳍起点到胸鳍起点的直线距离( $X_{27}$ )、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )和背鳍基部末端到腹鳍起点的直线距离( $X_{31}$ )、全长( $X_1$ )和体宽( $X_3$ )分别对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄鱼体重共同决定系数最大, 分别为0.178、0.160、0.228、0.394; 各性状对1<sup>+</sup>龄~4<sup>+</sup>龄雄鱼体重的决定系数总和分别为0.896、0.914、0.991、0.996。

### 3 讨论

#### 3.1 斑重唇鱼形态性状的变异系数分析

在水生动物选育过程中, 变异系数是衡量目标性状的关键指标, 变异系数越大, 该性状被选择的潜力也越大<sup>[24]</sup>。相关研究表明体重是鱼类选育过程中主要考量的性状指标<sup>[18,25]</sup>, 在本研究中发现, 雌性群体与雄性群体4个年龄阶段的体重变异系数分别为33.27%、31.37%、26.24%、

表7 斑重唇鱼雄性形态性状对体重的通径分析

Tab. 7 The result of path analysis of morphological traits and body weight of male *Diptychus maculatus*

年龄 age	性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect					$\Sigma$	
				$X_{30}$	$X_{27}$	$X_3$	$X_2$	$X_{28}$		
$1^+$	$X_{30}$	0.789**	0.423**		0.210	0.155			0.366	
	$X_{27}$	0.722**	0.439**	0.203		0.155			0.358	
	$X_3$	0.641**	0.281*	0.234	0.126				0.359	
$2^+$				$X_2$	$X_{28}$	$X_{27}$	$X_8$	$X_{20}$	$X_4$	$\Sigma$
	$X_2$	0.896**	0.545**		0.147	0.147	0.093	-0.138	0.101	0.350
	$X_{28}$	0.721**	0.239**	0.335		0.110	0.020	-0.082	0.098	0.481
	$X_{27}$	0.689**	0.245**	0.328	0.108		0.065	-0.121	0.064	0.443
	$X_8$	0.546**	0.175**	0.288	0.029	0.065		-0.087	0.050	0.345
	$X_{20}$	0.672**	-0.18*	0.418	0.109	0.164	0.085		0.075	0.851
	$X_4$	0.768**	0.144*	0.384	0.163	0.109	0.061	-0.093		0.623
				$X_{24}$	$X_{29}$	$X_{31}$	$X_{15}$	$X_{33}$	$X_9$	$\Sigma$
	$X_{24}$	0.930**	0.205**		0.364	0.274	0.160	-0.128	0.054	0.725
	$X_{29}$	0.929**	0.439**	0.170		0.259	0.153	-0.145	0.053	0.490
$3^+$	$X_{31}$	0.899**	0.339**	0.166	0.336		0.150	-0.129	0.038	0.560
	$X_{15}$	0.930**	0.183**	0.180	0.367	0.278		-0.127	0.049	0.747
	$X_{33}$	0.847**	-0.163*	0.161	0.389	0.269	0.143		0.048	1.010
	$X_{11}$	0.660**	0.084*	0.133	0.274	0.154	0.107	-0.093		0.575
				$X_1$	$X_3$	$X_{25}$	$X_{16}$			$\Sigma$
$4^+$	$X_1$	0.971**	0.640**		0.307	0.198	-0.174			0.331
	$X_3$	0.861**	0.403**	0.488		0.120	-0.149			0.459
	$X_{25}$	0.809**	0.244**	0.518	0.197		-0.151			0.565
	$X_{16}$	0.871**	-0.195*	0.570	0.309	0.189				1.068

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )。对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: \* indicates significant correlation( $P<0.05$ ). \*\* indicates extremely significant correlation( $P<0.01$ ). Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

30.29%和21.76%、27.86%、30.53%、26.87%，除 $3^+$ 龄雌性群体，其余体重变异系数均为最大，该研究结果同叶尔羌高原鳅<sup>[18]</sup>、横带髭鲷<sup>[17]</sup>以及北极茴鱼<sup>[20]</sup>的研究结论一致，说明不同性别斑重唇鱼以体重为目标性状进行选育是可行的。

有研究表明来自不同栖息地的物种个体在形态性状上会存在差异<sup>[26-27]</sup>，如张雨情等<sup>[28]</sup>研究发现广东湛江、福建厦门和浙江舟山3个地理群体的大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的体重变异系数分别是18.46%、17.44%和19.79%。前期李丽<sup>[3]</sup>研究发现克孜勒河斑重唇鱼群体的体重变异系数是25.75%，和此次研究结果存在差异，这可能和海拔有关。海拔是影响河流中浮游生物群落的主要环境因子<sup>[29]</sup>，随着海拔上升，浮游生物密度会相

对降低<sup>[30]</sup>。克孜勒河斑重唇鱼群体采样海拔是2830 m<sup>[3]</sup>，而本次木扎提河群体采样海拔是1743 m，海拔相对较低，推测该流域浮游生物密度相对较高，对斑重唇鱼而言饵料充足，但由于个体间存在生理特性差异，其体重变异系数偏高。

不同性别的鱼类在生长和形态方面亦存在差异<sup>[31]</sup>。本研究中 $1^+$ 龄雌鱼的吻长( $X_6$ )、口裂宽( $X_9$ )和口裂高( $X_{11}$ )的变异系数大于 $1^+$ 龄雄鱼，说明 $1^+$ 龄雄性群体对这些性状的选择压力较稳定。雌性 $1^+$ 龄~ $4^+$ 龄群体的口裂高和口裂宽两性状的变异系数较大，分别在23.40%~26.83%和19.17%~21.82%之间。雄性 $1^+$ 龄~ $4^+$ 龄群体的口裂高的变异系数也较大，在19.33%~27.63%之间。这可能和斑重唇鱼食性有关，李丽<sup>[3]</sup>研究发现斑重唇鱼属

表8 斑重唇鱼雌性形态性状对体重的决定系数

Tab. 8 The determination coefficients of morphological traits and body weight of female *Diptychus maculatus*

年龄 age	性状 trait	$X_4$	$X_{17}$	$X_{22}$		$\Sigma$		
$1^+$	$X_4$	0.378	0.149	0.133		0.661		
	$X_{17}$		0.168	0.087		0.255		
	$X_{22}$			0.023		0.023		
	$\Sigma$					0.938		
		$X_2$	$X_{28}$	$X_4$	$X_{23}$	$\Sigma$		
$2^+$	$X_2$	0.197	0.153	0.115	0.167	0.632		
	$X_{28}$		0.054	0.065	0.069	0.187		
	$X_4$			0.037	0.052	0.089		
	$X_{23}$				0.044	0.044		
	$\Sigma$					0.952		
		$X_{29}$	$X_{31}$	$X_9$	$X_{34}$	$X_{30}$	$X_7$	$\Sigma$
$3^+$	$X_{29}$	0.303	0.313	-0.072	-0.077	0.233	-0.005	0.696
	$X_{31}$		0.187	-0.084	-0.055	0.163	0.004	0.215
	$X_9$			0.031	0.018	-0.038	0.000	0.012
	$X_{34}$				0.019	-0.037	0.004	-0.013
	$X_{30}$					0.006	-0.005	0.001
	$X_7$						0.006	0.006
	$\Sigma$							0.917
		$X_{24}$	$X_{29}$	$X_8$	$X_{19}$	$X_6$		$\Sigma$
$4^+$	$X_{24}$	0.364	0.411	0.089	-0.128	0.011		0.747
	$X_{29}$		0.193	0.063	-0.097	0.002		0.160
	$X_8$			0.023	-0.017	0.008		0.013
	$X_{19}$				0.032	0.000		0.032
	$X_6$					0.012		0.012
	$\Sigma$							0.965

注: 对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

于杂食性鱼类, 所以导致其变异系数较大。

### 3.2 斑重唇鱼形态性状对体重的影响

#### 3.2.1 形态性状与体重的相关性分析

相关性分析是一种用于探究变量间关联状况的统计手段。赵春暖等<sup>[32]</sup>对不同性别的栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)群体进行相关性研究, 发现雌雄群体的形态性状与重量性状的相关系数各不相同, 棕黄雌性群体的湿重、软体重、闭壳肌重分别与壳高、壳长、壳宽的相关系数最大, 而棕黄雄性群体的壳长与3个重量性状的相关系数均为最大。郑礼等<sup>[33]</sup>研究了不同性别中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)的形态性状与体重之间的相关性, 结果表明与雌雄群体体重相关性较高的前两个性状均

是体长和腹节长, 其余七个性状的相关性皆不同。马凯等<sup>[19]</sup>分析了 $1^+ \sim 3^+$ 龄北极茴鱼的形态性状与体重的相关程度, 结果显示体厚、体高、尾柄高3个性状均与3个年龄阶段的体重存在极显著关系( $P < 0.01$ )。陈红林等<sup>[25]</sup>对8月龄和14月龄牙鲆的形态性状与体重进行相关分析, 发现不同时期与其体重相关的性状不同。本研究和上述学者研究结果类似: 体长( $X_2$ )均与 $2^+$ 龄雌雄群体存在极显著正相关关系( $P < 0.01$ ), 且相关性最高, 分别为0.934和0.896; 雌雄群体其他年龄阶段与体重相关性最高的性状均不同; 在雌性群体中, 背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )均与 $1^+$ 龄和 $3^+$ 龄的体重存在极显著正相关( $P < 0.01$ )。由此可

表9 斑重唇鱼雄性形态性状对体重的决定系数

Tab. 9 The determination coefficients of morphological traits and body weight of male *Diptychus maculatus*

年龄 age	性状 trait	$X_{30}$	$X_{27}$	$X_3$			$\Sigma$
$1^+$	$X_{30}$	0.179	0.178	0.131			0.488
	$X_{27}$		0.193	0.136			0.329
	$X_3$			0.079			0.079
	$\Sigma$						0.896
		$X_2$	$X_{28}$	$X_{27}$	$X_8$	$X_{20}$	$X_4$
$2^+$	$X_2$	0.297	0.160	0.160	0.101	-0.150	0.110
	$X_{28}$		0.057	0.053	0.010	-0.039	0.047
	$X_{27}$			0.060	0.032	-0.059	0.031
	$X_8$				0.031	-0.030	0.018
	$X_{20}$					0.032	-0.027
	$X_4$						0.021
	$\Sigma$						0.914
		$X_{24}$	$X_{29}$	$X_{31}$	$X_{15}$	$X_{33}$	$X_{11}$
$3^+$	$X_{24}$	0.042	0.149	0.112	0.066	-0.052	0.022
	$X_{29}$		0.193	0.228	0.134	-0.127	0.046
	$X_{31}$			0.115	0.102	-0.088	0.026
	$X_{15}$				0.033	-0.046	0.018
	$X_{33}$					0.027	-0.016
	$X_{11}$						0.007
	$\Sigma$						0.991
		$X_1$	$X_3$	$X_{25}$	$X_{16}$		
$4^+$	$X_1$	0.410	0.394	0.253	-0.222		0.834
	$X_3$		0.162	0.096	-0.120		0.138
	$X_{25}$			0.060	-0.074		-0.014
	$X_{16}$				0.038		0.038
	$\Sigma$						0.996

注: 对各性状参数注释详见表1和表2。

Note: Detailed comments on each trait parameter are shown in tables 1 and 2.

见, 同一性状与不同性别及年龄的体重的相关性存有差异。因此, 研究不同年龄的雌雄群体的形态性状与体重的关系极为重要, 有利于后期精准选育。

水生动物的形态性状与体重密切相关, 其在选育过程中发挥了重要作用<sup>[34]</sup>。李丽<sup>[3]</sup>前期对克孜勒河斑重唇鱼的体长、全长、体高等13个传统形态性状对体重的影响进行研究, 结果发现所测性状与体重均呈极显著关系( $P<0.01$ )。而本实验对33个形态性状与体重进行相关性分析, 结果表明:

与 $1^+ \sim 4^+$ 龄雌性群体体重存在极显著正相关( $P<0.01$ )的性状分别有19、31、22、25个, 与 $1^+ \sim 4^+$ 龄雌性群体体重存在显著正相关( $P<0.05$ )的性状分别有5、2、4、5个; 与 $1^+ \sim 4^+$ 龄雄性群体体重存在极显著正相关( $P<0.01$ )的性状分别有17、32、28、22个, 与 $1^+ \sim 4^+$ 龄雄性群体体重存在显著正相关( $P<0.05$ )的性状分别有6、1、1、7个, 说明斑重唇鱼的形态性状与体重存在多重线性关系, 但是极大的相关性会造成信息重叠, 不易于找出对体重起关键作用的形态性状, 因此需进一步对变

量建立最优回归方程并进行通径分析, 该统计方法目前在虾蟹类<sup>[35-36]</sup>、贝类<sup>[32, 37]</sup>、鱼类<sup>[18, 25]</sup>等水生经济动物中已广泛应用。

**3.2.2 形态性状对体重影响的回归分析** 通过逐步分析筛选出与体重相关的性状, 建立多元线性回归方程。杨月静等<sup>[38]</sup>对齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 建立最优回归方程, 筛选出 5 个变量, 分别是体长、体高、体宽、吻长和尾柄长。李丽<sup>[3]</sup>对克孜勒河斑重唇鱼群体建立的回归方程中也筛选出和杨月静相同的 5 个变量, 可能因为这两种鱼同属于裂腹鱼属, 其体型存在相似之处。但此次研究中不同性别及年龄筛选出的性状存在差异, 雌性群体共筛选出 16 个形态性状, 雄性群体共筛选出 17 个形态性状, 其中相同性状有 5 个, 分别是体高( $X_4$ )、眼间距( $X_8$ )、背鳍起点到腹鳍起点的直线距离( $X_{28}$ )、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )和背鳍基部末端到腹鳍起点的直线距离( $X_{31}$ )。本研究结果和上述学者的研究内容存在较大差异, 可能此次实验增加了框架形态性状, 使得分析更为全面, 方程中筛选的斑重唇鱼传统形态性状少。

本研究中  $1^+ \sim 4^+$  龄的雌性斑重唇鱼和雄性斑重唇鱼的回归方程决定系数  $R^2$  分别是 0.993、0.946、0.967、0.957 和 0.797、0.904、0.987、0.991, 仅  $1^+$  龄雄鱼的决定系数  $R^2=0.797$ , 略小于 0.850, 同时计算剩余因子  $e$  时发现  $e_{\text{雌}1}=0.08367$ 、 $e_{\text{雌}2}=0.23238$ 、 $e_{\text{雌}3}=0.18166$ 、 $e_{\text{雌}4}=0.20736$ ,  $e_{\text{雄}1}=0.45056$ 、 $e_{\text{雄}2}=0.30984$ 、 $e_{\text{雄}3}=0.11402$ 、 $e_{\text{雄}4}=0.09487$  ( $e_{\text{雌}A}$  和  $e_{\text{雄}A}$  中的 A 指年龄), 仅  $e_{\text{雌}1}$  和  $e_{\text{雄}4}$  两值较小, 其余 6 值均较大, 说明除所选主要形态指标对雌雄个体体重有影响外, 尚有其他未考虑因素, 有待深入研究。

**3.2.3 形态性状对体重影响的通径分析** 通径分析是将回归方程中筛选出的性状与体重的相关系数分为直接作用(通径系数)和间接作用, 可以更加直观了解形态性状对体重的作用。本研究发现对雌鱼  $2^+ \sim 4^+$  龄体重直接作用最大的性状分别是体长( $X_2$ )、背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )、吻端到腹鳍起点的直线距离( $X_{24}$ ), 通径系数分别是 0.444、0.550、0.603; 对雄性  $2^+$  龄和  $4^+$  龄体重

直接作用最大的性状分别是体长( $X_2$ )和全长( $X_1$ ), 通径系数分别是 0.545 和 0.640, 这与相关性分析结果一致。王庆春等<sup>[39]</sup>发现对美国原种和台湾群体的大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)群体体重直接作用最大的是全长, 对优鲈 1 号和优鲈 3 号的大口黑鲈群体体重直接作用最大的是体高; 平洪岭等<sup>[40]</sup>也发现影响横带髭鲷体重较大的是全长和体高; 张雨情等<sup>[28]</sup>研究表明体长对三个群体的大黄鱼体重均产生较大直接作用; 而李艳慧等<sup>[18]</sup>研究阐明对叶尔羌高原鳅体重直接作用最大的是头长。综上所述, 影响大部分鱼类体重的主要性状指标是全长、体长或体高, 但具体影响各鱼类体重的指标不同, 因物种具有特异性。

本研究还发现眼间距对  $2^+$  龄雄性斑重唇鱼体重的直接作用较小, 这与宋勇等<sup>[41]</sup>对叶尔羌高原鳅的研究结果相反, 说明同一性状对不同物种体重影响程度不同, 可能与栖息环境不同有关。

**3.2.4 形态性状对体重的决定系数分析** 决定系数可以直观反映各形态性状对体重作用的大小<sup>[39]</sup>。本实验中背鳍起点到臀鳍起点的直线距离( $X_{29}$ )与背鳍基部末端到腹鳍起点的直线距离( $X_{31}$ )的共同决定系数均为  $3^+$  龄雌雄性群体中最大, 分别是 0.313、0.228, 表明  $3^+$  龄斑重唇鱼的横向与纵向维度的生长对体重产生重大作用。

## 4 结论

本研究综合运用相关性分析、回归分析和通径分析, 明确了影响  $1^+$  龄雌性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_4$ 、 $X_{17}$  和  $X_{22}$ ; 影响  $2^+$  龄雌性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_2$ 、 $X_{28}$ 、 $X_4$ 、 $X_{23}$ ; 影响  $3^+$  龄雌性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_{29}$ 、 $X_{31}$ 、 $X_9$ 、 $X_{34}$ 、 $X_{30}$ 、 $X_7$ ; 影响  $4^+$  龄雌性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_{24}$ 、 $X_{29}$ 、 $X_8$ 、 $X_{19}$ 、 $X_6$ ; 影响  $1^+$  龄雄性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_{30}$ 、 $X_{27}$  和  $X_3$ ; 影响  $2^+$  龄雄性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_2$ 、 $X_{28}$ 、 $X_{27}$ 、 $X_8$ 、 $X_{20}$ 、 $X_4$ ; 影响  $3^+$  龄雄性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_{24}$ 、 $X_{29}$ 、 $X_{31}$ 、 $X_{15}$ 、 $X_{33}$ 、 $X_{11}$ ; 影响  $4^+$  龄雄性斑重唇鱼体重的关键形态性状是  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_{25}$ 、 $X_6$ 。

因此, 影响不同性别及年龄的斑重唇鱼体重的主要形态性状存在差异, 进一步丰富斑重唇鱼基础生物学研究内容, 为后期精准选育提供理论参考。

**致谢:** 感谢新疆克孜尔水库管理局工作人员宫玉仁、汪敏在采集样品中给予的重要协助。

### 参考文献:

- [1] Li G G, Feng C G, Tang Y T, et al. Survey of native fish resources in inland river system in Xinjiang[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2017, 52(3): 22-27. [李国刚, 冯晨光, 汤永涛, 等. 新疆内陆河土著鱼类资源调查[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 22-27.]
- [2] Yao N, Ge J M, Wang C X, et al. Ecological characteristics of *Diptychus maculatus* in Turks River[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(7): 1798-1805. [姚娜, 葛建民, 王程欣, 等. 特克斯河斑重唇鱼生态学特征[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(7): 1798-1805.]
- [3] Li L. Morphology, feeding habits and reproductive characteristics of the *Diptychus maculatus* in the Kizil River, Xinjiang[D]. Aral: Tarim University, 2023. [李丽. 新疆克孜勒河斑重唇鱼形态、食性与繁殖特征研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2023.]
- [4] Wang C X, Hu L H, Song Y, et al. The evolution of three *Schizothoracinae* species from two major river systems in northwest China based on otolith morphology and skeletal structure[J]. Biology, 2024, 13(7): 517-534.
- [5] Wang C X, Chen S A, Wang X Y, et al. Observation on embryonic development and post-embryonic development of *Distichus maculatus* in Turks River, Xinjiang[J]. Chinese Journal of Zoology, 2022, 57(5): 668-677. [王程欣, 陈生熬, 王新月, 等. 新疆特克斯河斑重唇鱼胚胎发育和胚后发育观察[J]. 动物学杂志, 2022, 57(5): 668-677.]
- [6] Zhao H, Zhao N H, Li L, et al. Acute tolerance to NaCl and NaHCO<sub>3</sub> in four species of juvenile *Schizothoracinae* from the Southern Xinjiang Region[J]. Freshwater Fisheries, 2022, 52(2): 34-41. [赵贺, 赵年桦, 李丽, 等. 南疆地区四种土著裂腹鱼类幼鱼对氯化钠和碳酸氢钠的急性耐受能力[J]. 淡水渔业, 2022, 52(2): 34-41.]
- [7] He D K, Liang Y Y, Li C H, et al. The complete mitochondrial genome sequence of *Diptychus maculatus* Steindachner (Cypriniformes: Cyprinidae)[J]. Mitochondrial DNA Part A, DNA Mapping, Sequencing, and Analysis, 2016, 27(5): 3222-3223.
- [8] Yang T Y, Meng W, Ma Y W, et al. Genetic structure analysis of *Diptychus maculatus* between two water systems in Xinjiang based on mitochondrial COI and Cyt b gene sequences[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(4): 41-47. [杨天燕, 孟玮, 马燕武, 等. 基于线粒体COI和Cyt b基因序列对新疆两水系斑重唇鱼遗传结构的分析[J]. 淡水渔业, 2014, 44(4): 41-47.]
- [9] Meng W, Yang T Y, Hai S, et al. Extensive genetic divergence among *Diptychus maculatus* populations in northwest China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015, 33(3): 577-584.
- [10] Li G G, Tang Y T, Zhang R Y, et al. Phylogeography of *Diptychus maculatus* (Cyprinidae) endemic to the northern margin of the QTP and Tien Shan region[J]. BMC Evolutionary Biology, 2016, 16(1): Article No.186.
- [11] Wang D Z. The *Schiz. Othoracinae* fishes in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 1998, 15(4): 26-32. [王德忠. 新疆的裂腹鱼亚科鱼类研究[J]. 干旱区研究, 1998, 15(4): 26-32.]
- [12] Ma Y W, Guo Y, Zhang R M, et al. Fauna composition and distribution of aboriginal fish in the Tarim River of Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(6): 949-956. [马燕武, 郭焱, 张人铭, 等. 新疆塔里木河水系土著鱼类区系组成与分布[J]. 水产学报, 2009, 33(6): 949-956.]
- [13] Araki H, Schmid C. Is hatchery stocking a help or harm?[J]. Aquaculture, 2010, 308(S1): S2-S11.
- [14] Kong J, Luan S, Tan J, et al. Progress of study on penaeid shrimp selective breeding[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(9): 81-97. [孔杰, 栾生, 谭建, 等. 对虾选择育种研究进展[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(9): 81-97.]
- [15] Zhu Z Y, Yang T Y, Wang S G. Relations between morphological traits and body weight of shortbelly eel, *Dysomma anguillare* (Actinopterygii: Anguilliformes: Synaphobranchidae), from coastal waters of Zhoushan, East China Sea, determined by multivariate analyses[J]. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 2024, 54: 27-36.
- [16] Huang X L, Zhang D G, Lin H Z, et al. Gray incidence degree analysis of relationship between morphometric traits and body weight in speckled spinefoot *Siganus guttatus* cultured in a cage[J]. Fisheries Science, 2019, 38(1): 61-66. [黄小林, 张栋国, 林黑着, 等. 网箱养殖点篮子鱼形态性状与体质量灰色关联分析[J]. 水产科学, 2019, 38(1): 61-66.]

- [17] Ping H L, Zhang T, Shi H L, et al. Path analysis and curve fitting of phenotypic traits and body weight of *Hapalogynus mucronatus* in Zhejiang offshore[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2023, 54(4): 1199-1206. [平洪领, 张涛, 史会来, 等. 浙江近海横带髭鲷(*Hapalogynus mucronatus*)表型性状与体重的通径分析及曲线拟合[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(4): 1199-1206.]
- [18] Li Y H, Chen S A, Cheng Y. Path analysis and growth curve fitting of morphological traits and body weight of *Triplophysa yarkandensi*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(1): 49-57. [李艳慧, 陈生熬, 程勇. 叶尔羌高原鳅形态性状与体重的通径分析及曲线拟合[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 49-57.]
- [19] Ma K, Tong G X, Kuang Y Y, et al. Effect of morphological traits on body weight of *Thymallus arcticus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(6): 825-833. [马凯, 佟广香, 匡友谊, 等. 北极茴鱼形态性状对体重影响效果分析[J]. 中国水产科学, 2022, 29(6): 825-833.]
- [20] Mao Q, Zhong X, Shan Y, et al. Path analysis of morphometry and net body weight of *Thymallus arcticus* in Erqis River in Xinjiang and its phylogenetic relationships[J]. *Journal of Hydroecology*, 2024, 45(6): 152-160. [毛秦, 钟馨, 单阳, 等. 新疆额尔齐斯河北极茴鱼形态性状与纯重的通径分析及基于 COI 基因序列的系统进化[J]. 水生态学杂志, 2024, 45(6): 152-160.]
- [21] Wang C X, Yao N, Xia L W, et al. Age, growth and reproduction of *Schizothorax pseudaksaiensis* of the Turks River[J]. *Water*, 2023, 15(23): 4044.
- [22] Strauss R E, Bookstein F L. The truss: Body form reconstructions in morphometrics[J]. *Systematic Biology*, 1982, 31(2): 113-135.
- [23] Du J J, Chen Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(2): 4-6. [杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.]
- [24] Nie Z L, Wu H M, Wei J, et al. Length-weight relationship and morphological studies in the Kashgarian loach *Triplophysa yarkandensis* (Day 1877) from the Tarim River, Tarim River Basin, North-West China[J]. *Indian Journal of Fisheries*, 2013, 60(1): 15-19.
- [25] Chen H L, Tian Y S, Liu F, et al. Path analysis and curve estimates of morphometric traits and body weight of *Paralichthys olivaceus* at different growth stages[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(1): 64-76. [陈红林, 田永胜, 刘峰, 等. 不同时期牙鲆形态性状对体重影响的通径分析及曲线拟合研究[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 64-76.]
- [26] Senay C, Boisclair D, Peres - Neto P R. Habitat - based polymorphism is common in stream fishes[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2015, 84(1): 219-227.
- [27] Drinan T J, McGinnity P, Coughlan J P, et al. Morphological variability of Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta* in different river environments[J]. *Ecology of Freshwater Fish*, 2012, 21(3): 420-432.
- [28] Zhang Y Q, Guo H Y, Zhang N, et al. Path analysis of partial growth-related traits for wild large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) of different geographical populations[J]. *South China Fisheries Science*, 2024, 20(3): 112-119. [张雨情, 郭华阳, 张楠, 等. 不同地理种群野生大黄鱼部分生长相关性状间的通径分析[J]. 南方水产科学, 2024, 20(3): 112-119.]
- [29] Bai H F, Wang Y R, Song J X, et al. Characteristics of plankton community structure and its relation to environmental factors in Weihe River, China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2022, 31(1): 117-130. [白海锋, 王怡睿, 宋进喜, 等. 渭河浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2022, 31(1): 117-130.]
- [30] Hao M, Zhang J B, Wei M, et al. Spring community structure of plankton in Yigongzangbu River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, 41(6): 57-64. [郝盟, 张家波, 魏秘, 等. 易贡藏布江春季浮游生物群落结构特征初步研究[J]. 水生态学杂志, 2020, 41(6): 57-64.]
- [31] Wang X A, Ma A J, Huang Z H, et al. Developmental differences between female and male groups in turbot (*Scophthalmus maximus*) breeding families[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 464-469. [王新安, 马爱军, 黄智慧, 等. 大菱鲆选育家系雌、雄群体的生长发育差异[J]. 水产学报, 2014, 38(4): 464-469.]
- [32] Zhao C N, Yu T, Zheng Y X, et al. Correlation and path analysis of traits of male and female *Chlamys farreri* with different shell colors[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(3): 268-283. [赵春暖, 于涛, 郑言鑫, 等. 不同壳色和性别栉孔扇贝群体的性状相关性及通径分析[J]. 中国水产科学, 2023, 30(3): 268-283.]
- [33] Zheng L, He Y Y, Wang Q, et al. Relationship between morphological traits and body weight of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* of different genders[J]. *Fisheries Science*, 2023, 42(4): 566-574. [郑礼, 何玉英, 王琼, 等.

- 不同性别中国明对虾形态性状与体质量的关系[J]. 水产科学, 2023, 42(4): 566-574.]
- [34] Luo W, Zeng C, Yi S K, et al. Heterosis and combining ability evaluation for growth traits of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) when crossbreeding three strains[J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(9): 857-864.
- [35] Xing Q Q, Yang M M, Chen G Z, et al. Path analysis of phenotypic traits on body weight of *Macrobrachium rosenbergii* before and after sexual maturity[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(9): 1632-1645. [邢钱钱, 杨曼珉, 陈国柱, 等. 罗氏沼虾性成熟前后形态性状对体质量的通径分析[J]. 水产学报, 2022, 46(9): 1632-1645.]
- [36] Zhang X M, Cheng S F, Zhang M. Analysis of the influence of the morphological characteristics on the weight characteristics of *Blepharipoda liberate* Shen[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(1): 62-74. [张新明, 程顺峰, 张敏. 解放眉足蟹形态性状对重量性状影响的效果分析[J]. 中国水产科学, 2020, 27(1): 62-74.]
- [37] Liu W, Hu Q B, Mei J, et al. Differences in morphology and carbon and nitrogen contents of venus clam *Meretrix meretrix* from different geographical populations[J]. Fisheries Science, 2024, 43(5): 737-745. [刘伟, 胡清彪, 梅杰, 等. 不同地理群体文蛤形态及碳氮含量的差异分析[J]. 水产学报, 2024, 43(5): 737-745.]
- [38] Yang Y J, Xiang M B, Liu T, et al. Relationship between morphological traits and body mass of cultured 13-month-old *Schizothorax prenanti*[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(6): 139-144. [杨月静, 向梦斌, 刘庭, 等. 13月龄养殖齐口裂腹鱼形态性状与体质量的关系[J]. 河南农业科学, 2019, 48(6): 139-144.]
- [39] Wang Q C, Tao Y F, Li Y, et al. Effects of morphological traits on body weight and fillet yield of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(5): 617-629. [王庆春, 陶易凡, 李岩, 等. 不同大口黑鲈群体形态性状与体重和出肉率的相关性及通径分析[J]. 中国水产科学, 2023, 30(5): 617-629.]
- [40] Ping H L, Li Y Q. Path analysis between morphometric traits and body weight on *Helice tientsinensis* by multiple regression[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(5): 1353-1357. [平洪领, 李玉全. 逐步线性回归法实现天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)表型性状与体重的通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(5): 1353-1357.]
- [41] Song Y, Cheng Y, Luo L L, et al. Correlation analysis between morphometrics and body weight of *Triplophysa yarkandensis* of wild populations[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2018, 39(11): 25-29. [宋勇, 程勇, 罗磊磊, 等. 叶尔羌高原鳅野生群体形态性状与体重的相关分析[J]. 家畜生态学报, 2018, 39(11): 25-29.]