

# 基于通径分析与灰色关联度分析的中华草龟形态性状与体质量的关系探讨

张晓华, 鲍传和 (安徽农业大学动物科技学院, 安徽合肥 230036)

**摘要** 采用相关分析、多元回归分析、通径分析和灰色关联度分析多种方法分析了安徽省3个龟鳖养殖场中华草龟幼龟养殖群体的外部形态性状与体质量的关系, 测量了体质量( $Y$ )和8个形态性状[背甲宽( $X_1$ )、背甲长( $X_2$ )、体高( $X_3$ )、腹甲长( $X_4$ )、腹甲宽( $X_5$ )、前肢长( $X_6$ )、后肢长( $X_7$ )、尾长( $X_8$ )]。结果显示: 3个龟鳖养殖场幼龟形态性状与体质量的相关性达到极显著水平( $P < 0.01$ ) [除南陵群体的尾长( $P > 0.05$ )和金安群体的后肢长( $P < 0.05$ )以外]。通径分析结果显示, 南陵群体(NL)背甲长、腹甲长和腹甲宽对体质量的通径系数达到极显著水平( $P < 0.01$ ); 无为群体(WW)背甲宽、后肢长和体高对体质量的通径系数达到极显著水平( $P < 0.01$ ); 金安群体(JA)背甲长和体高对体质量的通径系数达到极显著水平( $P < 0.01$ )。采用逐步回归方法建立3个群体形态性状与体质量的多元回归方程: NL,  $Y = -92.804 + 8.316X_2 + 11.865X_5 + 6.463X_4$ ; WW,  $Y = -35.672 + 8.820X_1 + 4.510X_7 + 5.954X_3$ ; JA,  $Y = -23.604 + 7.991X_2 + 2.821X_3$ , 方差分析显示回归方程的模拟结果准确可靠。灰色关联度分析结果显示, 南陵和金安群体中与体质量关联度较高的前2个性状为背甲长( $X_2$ )和腹甲宽( $X_5$ ), 而在无为群体中则为腹甲宽( $X_5$ )和背甲宽( $X_1$ )。2种分析方法得到的影响体质量的主要形态性状有所不同。通过比较这些形态性状发现, 背甲和腹甲的数据与体质量之间的关系最为密切, 可作为中华草龟选育测量指标的参考数据。

**关键词** 中华草龟; 幼龟; 形态性状; 体质量; 通径分析; 灰色关联度

中图分类号 S917 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)24-0127-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.24.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Discussion on the Relationship between the Morphological Traits and Body Mass of *Chinemys reevesii* Based on the Path Analysis and Grey Correlation Analysis

ZHANG Xiao-hua, BAO Chuan-he (College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

**Abstract** Using many methods of correlation analysis, multiple regression analysis, path analysis and grey correlation analysis, the relationship between the external morphological traits and body mass of young *Chinemys reevesii* breeding population in three turtle farms of Anhui Province was analyzed. The body mass and 8 morphological traits (including carapace width ( $X_1$ ), carapace length ( $X_2$ ), body height ( $X_3$ ), plastron length ( $X_4$ ), plastron width ( $X_5$ ), forelimb length ( $X_6$ ), hindlimb length ( $X_7$ ), tail length ( $X_8$ )) were measured. The results showed that the morphological traits of young turtles in three turtle farms had extremely significant correlation with the body mass ( $P < 0.01$ ), except for tail length of Nanling tortoise ( $P > 0.05$ ) and hindlimb length of Jin'an tortoise ( $P < 0.05$ ). The results of path analysis showed that the path coefficient of carapace length, plastron length and plastron width to the body mass was extremely significant ( $P < 0.01$ ) in Nanling population. The path coefficient of carapace width, hindlimb length and body height to the body mass was extremely significant ( $P < 0.01$ ) in Wuwei population. The path coefficient of the carapace length and body height to the body mass was extremely significant ( $P < 0.01$ ) in Jin'an population. The multiple regression equation between the morphological traits and body mass in the three populations were established as follows:  $Y = -92.804 + 8.316X_2 + 11.865X_5 + 6.463X_4$  (for NL population),  $Y = -35.672 + 8.820X_1 + 4.510X_7 + 5.954X_3$  (for WW population),  $Y = -23.604 + 7.991X_2 + 2.821X_3$  (for JA population). ANOVA showed that the simulation results of the established equation were accurate and reliable. The gray relational analysis results showed that carapace length ( $X_2$ ) and abdominal carapace width ( $X_5$ ) had the closest relationship with body mass in Nanling and Jin'an populations, while plastron width ( $X_5$ ) and carapace width ( $X_1$ ) had the closest relationship with body mass in Wuwei population. The main morphological traits that affected the body mass obtained by the two analysis methods were different. Through comparing these morphological traits, it was found that the data of carapace and plastron were the closest to the body mass, and the research results could be used as the reference data for selecting the measurement indices of *C. reevesii*.

**Key words** *Chinemys reevesii*; Young turtle; Morphological traits; Body mass; Path analysis; Grey correlation

体质量是水产动物育种最主要的目标性状, 但对水产动物而言, 体质量测量受多种因素的影响, 且操作不便, 会使结果容易出现偏差, 而形态性状的测量快捷、准确, 尤其水产动物可以借助相关的图形处理工具, 不仅高效, 而且便于统一规格, 提高准确性, 因此明确形态性状与体质量之间的关系非常必要。目前, 采用多元分析利用形态性状与体质量的关系已经被广泛应用于多种水产动物的育种和产量估计<sup>[1-5]</sup>。通径分析是多元回归分析的扩展<sup>[6]</sup>, 具有准确、直观等特点, 可以通过通径系数来分析自变量和因变量之间的直接作用、间接作用以及作用的大小, 在水产育种中被广泛应用<sup>[7]</sup>。我国学者邓聚龙教授创立的灰色系统理论<sup>[8]</sup>是近些年新兴的

一种分析方法, 可基于少数据、贫信息、不确定性问题研究的一种新方法, 已经在农业、工业、气象等领域得到应用<sup>[9-13]</sup>, 在水产动物中也已经有相关报道<sup>[14-17]</sup>。可通过比较关联度的大小来确定自变量对因变量的重要性, 但该方法在龟类育种中尚未见报道。

中华草龟(*Chinemys reevesii*)隶属龟鳖目(Testudinate)龟科(Emydidae)乌龟属, 俗称乌龟、泥龟、臭龟、草龟, 在我国各地均有分布<sup>[18]</sup>。中华草龟适应性强, 在国内不少地区都有养殖。笔者曾参与安徽省南陵龟鳖有限公司(NL)、无为蓝田特种龟鳖有限公司(WW)和金安特种龟鳖有限公司(JA)3个龟鳖养殖场的种质鉴定工作, 收集了3个养殖场中华草龟的主要形态性状数据, 包括亲本龟、后备龟及幼龟的资料。笔者通过相关分析、通径分析和灰色关联度分析, 研究不同养殖群体中华草龟幼龟表型性状与体质量的相关性以及影响幼龟体质量的主要形态性状, 旨在为中华草龟的养

**基金项目** 安徽省重点研发项目(1804a07020136); 安徽省现代农业产业体系项目(皖农科[2016]84号)。

**作者简介** 张晓华(1966—), 女, 安徽灵璧人, 副教授, 硕士, 硕士生导师, 从事水产养殖学研究。

**收稿日期** 2021-03-22

殖与选育提供科学、合理的指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选用安徽省南陵县有闲龟鳖有限公司(简称“南陵”或 NL,采样时间为 2014 年)、安徽无为蓝田特种龟鳖有限公司水产良种场(简称“无为”或 WW,采样时间为 2014 年)及安徽金安特种龟鳖养殖有限公司(简称“金安”或 JA,采样时间为 2020 年)中华草龟当年稚龟各 30 尾。样本测量均在现场。

1.2 测量指标与方法 使用卷尺测量背甲宽( $X_1$ )、背甲长( $X_2$ )、体高( $X_3$ )、腹甲长( $X_4$ )、腹甲宽( $X_5$ )、前肢长( $X_6$ )、后肢长( $X_7$ )、尾长( $X_8$ )共 8 个形态性状,精确到 0.01 cm;使用电子天平称量体质量( $Y$ ),精确到 0.01 g。

1.3 分析方法

1.3.1 通径分析。使用 Excel 2003 软件整理各形态性状和体质量的测量数据,统计各表型参数。采用 Huo 等<sup>[19]</sup>的方法进行各性状间的相关分析,利用 SPSS 19.0 统计软件,参考杜家菊等<sup>[20]</sup>的方法采用逐步回归法进行以形态性状为自变量、以体质量为因变量的多元回归分析,建立多元回归方程。在此基础上,参照 Wright<sup>[21]</sup>的计算公式,计算直接通径系数和间接通径系数,进而计算出直接决定系数、共同决定系数。

$$\text{间接通径系数} = r_{X_i X_j} \times P_{X_j} \quad (1)$$

$$\text{决定系数 } d_{X_i} = P_{X_i}^2 \quad (2)$$

$$\text{共同决定系数 } d_{X_i X_j} = 2 \times r_{X_i X_j} \times P_{X_i} \times P_{X_j} \quad (3)$$

式中, $r_{X_i X_j}$ 为形态性状  $X_i$  和  $X_j$  之间的相关系数, $P_{X_i}$ 为性状  $X_i$  对体质量的通径系数, $P_{X_j}$ 为性状  $X_j$  对体质量的通径系数。

1.3.2 灰色关联度分析。首先,按照灰色系统理论,将中华草龟体质量和 8 个生长性状统一构成一个灰色系统,体质量作为参考序列  $X_0$ ,8 个生长性状为比较序列  $X_i(i=1,2,3,\dots,8)$ 。由于体质量和形态性状量纲不同,无法直接比较,因此利用公式(4),采用标准差法对各性状进行无量纲化处理。

$$X'_i(k) = \frac{X_i(k) - \bar{X}_i}{S_i} \quad (4)$$

式中, $X'_i(k)$ 表示处理后的数据, $X_i(k)$ 表示原始数据, $\bar{X}_i$ 表示同一性状的平均值, $S_i$ 表示  $i$  性状的标准差。

参照公式(5)和(6)计算灰色关联系数和关联度,最后依据灰色关联度的大小来评价体质量与各形态性状的密切程度,判断形态性状对体质量的重要性。

$$\zeta_{i(k)} = \frac{\min_k \min_i \Delta_i(k) + \rho \max_k \max_i \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_k \max_i \Delta_i(k)} \quad (5)$$

式中, $\zeta_{i(k)}$ 表示  $X_i$  对  $X_0$  在  $k$  点的灰色关联系数, $\rho$  表示灰色分辨系数,取值范围为 0~1,一般取 0.5。 $\min_k \min_i \Delta_i(k)$  表示二级最小差的绝对值,其中  $\min_k \Delta_i(k)$  为  $X_0$  序列与  $X_i$  序列在对应点差值中的最小差值,在一级最小差值的基础上再找出最小差值即二级最小差。 $\max_k \max_i \Delta_i(k)$  表示二级最大差值的绝对值。

$$\text{关联度的计算公式: } \gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_{i(k)} \quad (6)$$

式中, $\gamma_i$  表示比较序列  $X_i$  对参考序列  $X_0$  的关联度,根据其数值高低判断比较序列的重要性,并进行排序。

2 结果与分析

2.1 各形态性状对体质量的通径分析 3 个龟鳖养殖场中华草龟各性状表型统计量见表 1,其无量纲化结果见表 2。3 个龟鳖养殖场的中华草龟幼龟各性状表型统计量中,体质量的变异系数较大,分别为 12.67%、28.40% 和 20.98%,说明体质量具有较大的选择潜力,无为群体(WW)最大,而南陵群体(NL)最小。各形态性状与体质量之间的相关系数见表 3~5。南陵群体(NL)除尾长( $X_8$ )与体质量( $Y$ )之间相关性不显著、金安群体(JA)的后肢长( $X_7$ )与体质量( $Y$ )之间显著相关外,其余性状与体质量之间的相关性均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。

表 1 3 个龟鳖养殖场中华草龟各性状的表型统计量

Table 1 Phenotypic statistics of various traits of *Chinemys reevesii* in three turtle farms

群体 Population	项目 Item	Y g	$X_1$ cm	$X_2$ cm	$X_3$ cm	$X_4$ cm	$X_5$ cm	$X_6$ cm	$X_7$ cm	$X_8$ cm
南陵 Nanling	平均值	47.03	4.78	6.52	2.92	5.67	4.13	2.92	3.24	2.69
	标准差	5.96	0.21	0.24	0.24	0.27	0.20	0.26	0.23	0.52
	变异系数//%	12.67	4.50	3.64	8.30	4.67	4.86	8.84	7.15	19.31
无为 Wuwei	平均值	20.96	3.65	4.81	2.25	3.91	3.06	2.21	2.45	2.12
	标准差	5.95	0.36	0.86	0.26	0.59	0.35	0.27	0.35	0.40
	变异系数//%	28.40	9.91	17.96	11.64	15.08	11.45	12.02	14.27	18.74
金安 Jin'an	平均值	17.90	3.51	4.43	2.18	3.71	2.94	2.18	2.35	2.19
	标准差	3.76	0.33	0.40	0.22	0.49	0.31	0.21	0.25	0.34
	变异系数//%	20.98	9.38	8.97	10.26	13.19	10.38	9.78	10.57	15.36

表 2 3 个龟鳖养殖场中华草龟生长性状无量纲化结果

Table 2 Dimensionless results of the growth traits of *C.reevesii* in three turtle farms

性状 Trait	$Y'$	$X'_1$	$X'_2$	$X'_3$	$X'_4$	$X'_5$	$X'_6$	$X'_7$	$X'_8$
NL	-1.683 980	-0.358 180	-1.358 680	-1.332 090	-0.638 930	-2.123 880	-1.246 830	-0.185 520	0.206 438
WW	1.014 047	1.803 445	0.561 019	0.962 821	0.998 756	1.245 769	0.334 497	0.423 286	0.455 196
JA	1.356 861	2.389 726	1.196 097	1.882 351	1.005 503	1.173 358	0.078 087	0.201 347	0.916 167

根据通径分析原理,计算各性状对体质量的通径系数(表6)。由表6可知,在南陵群体中,背甲长( $X_2$ )、腹甲长( $X_4$ )、腹甲宽( $X_5$ )3个性状与体质量存在极显著相关,直接通径系数分别为0.331、0.399和0.287;无为群体中,背甲宽( $X_1$ )、后肢长( $X_7$ )、体高( $X_3$ )3个性状与体质量存在极显著相关,通径系数分别为0.534、0.265和0.260;金安群体中,背甲长( $X_2$ )、体高( $X_3$ )这2个性状与体质量存在极显著相关,通径系数分别为0.845和0.168。3个群体中,背甲长、腹甲长、体高这3个性状分别出现2次,其他性状仅出现1次。在南陵群体中,腹甲长对体质量的直接作用大于间接作用,而背甲长和腹甲宽对体质量的间接作用大于直接作用,背甲宽、背甲长与腹甲长之间的相关性极显著,可以理解为背甲

长、腹甲宽对体质量通过腹甲长发挥作用;在无为群体则是背甲宽的直接作用大于间接作用,而后肢长和体高之间的间接作用明显大于直接作用,背甲长、腹甲长、腹甲宽与后肢长之间存在极显著相关,说明这几个性状可通过后肢长显著影响体质量;在金安群体,背甲长对体质量的直接作用大于间接作用,体高对体质量的间接作用远大于直接作用。通过分析各性状间的关系发现,背甲宽、腹甲长、腹甲宽等与背甲宽、体高之间的相关性极显著,这些性状可通过背甲宽和体高来影响体质量。各形态性状对体质量的决定系数见表7。3个群体的总决定系数分别为0.852、0.926和0.918,均大于0.85,表明影响中华草龟体质量的主要形态性状均被纳入该研究中。

表3 南陵群体中华草龟各生长性状间的表型相关系数

Table 3 Coefficient of phenotypic correlation between the growth traits of *C. reevesii* in Nanling Population

性状 Trait	Y	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$X_1$	0.659**							
$X_2$	0.848**	0.649**						
$X_3$	0.592**	0.381*	0.449**					
$X_4$	0.807**	0.500**	0.792**	0.508**				
$X_5$	0.824**	0.745**	0.723**	0.585**	0.643**			
$X_6$	0.348*	0.075	0.272	0.109	0.203	0.185		
$X_7$	0.571**	0.562**	0.503**	0.134	0.398	0.442**	0.443**	
$X_8$	0.136	-0.183	0.145	-0.090	0.076	-0.035	-0.309*	-0.051

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )

Note: \* indicated significant correlation( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant correlation( $P<0.01$ )

表4 无为群体中华草龟各生长性状间的表型相关系数

Table 4 Coefficient of phenotypic correlation between the growth traits of *C. reevesii* in Wuwei Population

性状 Trait	Y	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$X_1$	0.910**							
$X_2$	0.740**	0.747**						
$X_3$	0.872**	0.783**	0.577**					
$X_4$	0.856**	0.864**	0.711**	0.800**				
$X_5$	0.842**	0.873**	0.652**	0.798**	0.837**			
$X_6$	0.719**	0.573**	0.543**	0.739**	0.690**	0.554**		
$X_7$	0.802**	0.651**	0.634**	0.729**	0.632**	0.653**	0.670**	
$X_8$	0.461**	0.287	0.410*	0.447*	0.461**	0.396*	0.490**	0.504**

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )

Note: \* indicated significant correlation( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant correlation( $P<0.01$ )

表5 金安群体中华草龟各生长性状间的表型相关系数

Table 5 Coefficient of phenotypic correlation between the growth traits of *C. reevesii* in Jin'an Population

性状 Trait	Y	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$X_1$	0.759**							
$X_2$	0.949**	0.774**						
$X_3$	0.692**	0.558**	0.621**					
$X_4$	0.772**	0.716**	0.808**	0.661**				
$X_5$	0.788**	0.815**	0.737**	0.653**	0.754**			
$X_6$	0.686**	0.501**	0.669**	0.595**	0.672**	0.592**		
$X_7$	0.385*	0.196	0.372*	0.417*	0.364*	0.412*	0.613**	
$X_8$	0.522**	0.437*	0.544**	0.563**	0.557**	0.433*	0.671**	0.528**

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )

Note: \* indicated significant correlation( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant correlation( $P<0.01$ )

表6 3个养殖群体中华草龟外部形态性状对体质量的通径分析

Table 6 The path analysis of the external morphological traits to the body mass of *C.reevesii* in three breeding populations

群体 Population	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient						
				Σ	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>7</sub>
南陵 Nanling	X <sub>2</sub>	0.848**	0.331	0.407 0				0.199 5	0.207 5	
	X <sub>4</sub>	0.807**	0.399	0.350 0		0.165 5				0.184 5
	X <sub>5</sub>	0.824**	0.287	0.495 9		0.239 3		0.256 6		
无为 Wuwei	X <sub>1</sub>	0.910**	0.534	0.376 1			0.203 6			0.172 5
	X <sub>7</sub>	0.802**	0.265	0.537 1	0.347 6		0.189 5			
	X <sub>3</sub>	0.872**	0.260	0.611 3	0.418 1					0.193 2
金安 Jin'an	X <sub>2</sub>	0.949**	0.845	0.104 3			0.104 3			
	X <sub>3</sub>	0.692**	0.168	0.524 7		0.524 7				

注: \*\*表示相关性达到极显著水平(P<0.01)

Note: \*\* indicated extremely significant correlation(P<0.01)

表7 3个养殖场中华草龟各形态性状对体质量的决定系数

Table 7 The determinant coefficients of the morphological traits on the body mass of *C.reevesii* in three farms

群体 Population	性状 Trait	决定系数 Determinant coefficient					总决定系数 Total determinant coefficient R <sup>2</sup>	
		X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>7</sub>		X <sub>3</sub>
南陵 Nanling	X <sub>2</sub>	0.110	0.216	0.137				0.852
	X <sub>4</sub>		0.159	0.148				
	X <sub>5</sub>			0.082				
无为 Wuwei	X <sub>1</sub>				0.286	0.184	0.217	0.926
	X <sub>7</sub>					0.070	0.100	
	X <sub>3</sub>						0.068	
金安 Jin'an	X <sub>2</sub>	0.714					0.176	0.918
	X <sub>3</sub>						0.028	

2.2 多元回归方程 采用逐步回归法,通过剔除对体质量影响不显著的性状,建立了3个群体的多元回归方程:

$$NL: Y = -92.804 + 8.316X_2 + 11.865X_5 + 6.463X_4 (r = 0.923)$$

$$WW: Y = -35.672 + 8.820X_1 + 4.510X_7 + 5.954X_3 (r = 0.962)$$

$$JA: Y = -23.604 + 7.991X_2 + 2.821X_3 (r = 0.958)$$

式中,Y为体质量(g)。对多元回归关系和偏回归系数进行显著性检验(表8),发现均达到显著水平(P<0.05)。这说明建立的多元回归方程模拟结果比较准确。对构建的多元回归方程进行F检验,发现均达到极显著水平(P<0.01),说明建

表8 偏回归系数的显著性检验

Table 8 Significance test of partial regression coefficient

群体 Population	变量 Variable	偏回归系数 Partial regression coefficient	标准偏 回归系数 Standard partial regression coefficient	P
NL	(常量)	-92.804±12.776		0.000
	背甲长 X <sub>2</sub>	8.316±3.604	0.331	0.029
	腹甲宽 X <sub>5</sub>	11.865±3.397	0.399	0.002
	腹甲长 X <sub>4</sub>	6.463±2.913	0.287	0.035
WW	(常量)	-35.672±3.538		0.000
	背甲宽 X <sub>1</sub>	8.820±1.572	0.534	0.000
	后肢长 X <sub>7</sub>	4.510±1.469	0.265	0.006
	体高 X <sub>3</sub>	5.954±2.416	0.260	0.022
JA	(常量)	-23.604±2.753		0.000
	背甲长 X <sub>2</sub>	7.991±0.752	0.845	0.000
	体高 X <sub>3</sub>	2.821±1.336	0.168	0.047

立的多元回归方程可以用来估算中华草龟个体的体质量,可在实际生产中应用。

2.3 形态性状与体质量的灰色关联度分析 以体质量为参考序列,以生长性状为比较序列,计算出灰色关联度(表9)。然后,再计算各生长性状与体质量的关联度。由表10可知,3个龟鳖养殖场中华草龟幼龟体质量与形态性状的关联度不同,其中南陵群体中华草龟幼龟体质量与形态性状的关联度大小表现为背甲长>腹甲宽>体高>背甲宽>腹甲长>后肢长>前肢长>尾长,无为群体表现为腹甲宽>背甲宽>背甲长>腹甲长>体高>后肢长>前肢长>尾长,金安群体表现为背甲长>腹甲宽>腹甲长>背甲宽>体高>前肢长>尾长>后肢长。由此可见,3个养殖场影响体质量的前5个性状均为背甲长、背甲宽、腹甲宽、体高、腹甲长,但排列顺序不同;前肢长、后肢长和尾长对体质量的影响均排在后面,影响相对较小。

### 3 讨论

体质量是水产动物遗传改良的直接目标性状,当无法通过对体质量的直接筛选来实现遗传选育的预期目标时,可通过寻找与体质量相关性较高的其他形态性状进行间接筛选<sup>[22]</sup>,这已经在许多种水产动物育种中被证实。相关性分析揭示各形态性状与体质量的表型相关关系,但这种表型相关并未剔除其他变量的影响,故表型相关分析不能反映自变量与因变量之间的关系。通径分析则将这种表面直接相关性分解,揭示自变量对因变量的直接重要性和间接重要

表 9 3 个养殖场中华草龟体质量与各性状间的灰色关联系数

Table 9 Grey correlation coefficients between the morphological traits and body mass of *C.reevesii* in three farms

$\zeta$	南陵 Nanling			无为 Wuwei			金安 Jin'an		
	最大值 Max	最小值 Min	平均值±标准差 Mean±SD	最大值 Max	最小值 Min	平均值±标准差 Mean±SD	最大值 Max	最小值 Min	平均值±标准差 Mean±SD
$\zeta_1$	0.957	0.438	0.791±0.143	0.997	0.712	0.893±0.069	0.967	0.445	0.737±0.138
$\zeta_2$	0.984	0.589	0.842±0.118	0.996	0.492	0.889±0.113	1.000	0.613	0.860±0.100
$\zeta_3$	0.975	0.333	0.803±0.142	0.998	0.689	0.875±0.083	0.983	0.464	0.718±0.157
$\zeta_4$	0.996	0.622	0.788±0.099	0.996	0.672	0.881±0.092	0.984	0.506	0.741±0.150
$\zeta_5$	1.000	0.595	0.817±0.119	1.000	0.586	0.894±0.101	0.986	0.449	0.791±0.160
$\zeta_6$	0.995	0.390	0.736±0.166	0.989	0.519	0.835±0.094	0.993	0.454	0.704±0.146
$\zeta_7$	0.986	0.490	0.756±0.153	0.988	0.574	0.869±0.100	0.873	0.334	0.645±0.148
$\zeta_8$	0.977	0.386	0.696±0.177	0.990	0.334	0.785±0.166	0.938	0.362	0.645±0.134

表 10 3 个养殖场中华草龟生长性状对体质量的灰色关联度

Table 10 Gray correlation degree between the morphological traits and body mass of *C.reevesii* in three farms

$\zeta$	南陵 Nanling		无为 Wuwei		金安 Jin'an	
	关联度 Relational degree	关联序列 Relational order	关联度 Relational degree	关联序列 Relational order	关联度 Relational degree	关联序列 Relational order
$X_1$	0.790 9	4	0.806 7	2	0.589 4	4
$X_2$	0.842 1	1	0.803 1	3	0.687 9	1
$X_3$	0.802 7	3	0.790 0	5	0.574 1	5
$X_4$	0.788 1	5	0.796 1	4	0.592 5	3
$X_5$	0.816 9	2	0.807 6	1	0.633 0	2
$X_6$	0.735 7	7	0.754 6	7	0.563 4	6
$X_7$	0.755 7	6	0.785 1	6	0.515 7	8
$X_8$	0.696 3	8	0.709 1	8	0.516 2	7

性<sup>[11]</sup>,从而探索各性状间的真实关系。贺刚等<sup>[23]</sup>在对野生黑颈乌龟的研究中发现,影响体质量的形态性状由高到低依次为背甲长、腹甲长、背甲宽、体高;贺刚等<sup>[24]</sup>对中华草龟幼龟形态性状对体质量的影响研究发现,腹甲长、背甲长和体高是影响体质量的主要形态性状。该研究中 3 个龟鳖养殖场的养殖群体中影响体质量的主要性状不同,其中无为群体差异较大,该群体中后肢长是影响体质量的主要性状,不仅与其他 2 个群体差异明显,而且与其他研究结果不同。这可能与分布不同区域的种群差异有关。对南陵和金安 2 个群体的分析结果显示,背甲宽、背甲长、腹甲宽和腹甲长及体高是影响体质量的主要性状,这与其他研究结果相一致。决定系数分析结果显示,3 个群体的总决定系数均大于 0.85,也说明该研究中 3 个群体的形态性状是影响体质量的主要性状,而其他被剔除或未测定的性状对体质量的影响较小。

该研究首次将灰色关联度分析应用到中华草龟的形态性状与体质量的相关性分析中,因为灰色关联度分析法对样本数据的要求较低,能更好地分析小样本数据。该研究结果显示,3 个群体形态性状对体质量的影响次序不同,其中南陵与金安群体契合度高,影响体质量的前 2 个形态性状均为背甲长和腹甲宽,而无为群体中影响体质量的前 2 个形态性状则为腹甲宽和背甲宽。综合分析这 3 个群体的关联度分析结果发现,腹甲宽与中华草龟体质量的关联度均较高,可视为间接选育性状。

将灰色关联度分析结果与通径分析结果比较可知,这 2

种分析方法有较大差异,如无为群体,通径分析显示背甲宽、后肢长、体高是影响体质量最重要的 3 个形态性状,而灰色关联度分析表明腹甲宽、背甲宽与背甲长是最重要的 3 个性状指标;南陵群体也一样,通径分析显示背甲长、腹甲宽、腹甲长是最重要的 3 个性状,而灰色关联度分析结果显示背甲长、腹甲宽和体高是最重要的 3 个性状;金安群体中前者为腹甲长、体高,后者则是背甲长、腹甲宽和腹甲长。在灰色关联度分析结果中 3 个群体有较大的相似度,背甲长、腹甲宽是共同的 2 个主要性状。在通径分析中,3 个群体都存在的性状没有。出现这种现象的原因与这 2 种方法对数据的要求及原理不同有关。通径分析及回归分析要求较多的原始数据<sup>[17]</sup>,而灰色关联度分析可以对小样本、贫数据进行分析。该研究结果也显示,3 个群体中影响体质量的最重要的形态性状差异明显,而灰色关联度分析则表明腹甲宽和背甲长是 3 个群体共同的形态性状。另外,通径分析是在考量自变量间相互关系的基础上进行的,而灰色关联度分析是将自变量独立对待,并未考量自变量显著与否,因此这 2 种方法在确定自变量的相对重要性上侧重点不同<sup>[25]</sup>。目前,在龟类选择育种上,未见利用这 2 种方法进行分析的报道。该研究采用通径分析和灰色关联度分析 2 种方法对中华草龟幼龟的形态性状对体质量的影响进行了研究,并建立了主要性状与体质量的最优回归方程,并确定了以腹甲宽、背甲长为重要的选育目标性状,可作为今后草龟选育及杂交育种的评

(下转第 154 页)

态利益为目标,以第一产业和第三产业为主的产业模式构建新型的林下种养殖以及森林旅游行业的开发,以带动地区林业产业转型;政府参与者可以从相关生态保护政策制定的角度,指导和引导生态共同体中其他参与者的行为,通过设立专项生态保护基金及完善生态效益补偿机制等手段,防止森林资源配置扭曲和效率低下现象的发生,通过政府使得生态效益外部性内部化,进而激励人们从事生态效益方面的投资,促使生态资本增值。

**5.3 打造 PPP 供给社会服务模式** PPP 模式是通过政府与私人组织之间的合作,以提供某项公共物品和服务为目标,以特许权协议为基础,形成的一种合作伙伴关系,以期达到合作化的结果。PPP 模式属于公司合伙制,政府等公共部门与私人部门之间通过提供公共品和服务建立的一种伙伴关系,在黑龙江省林业产业转型过程中,政府一直承担重要角色,且在转型中相应的社会服务供给也将成为促进林业产业转型的重要因素。

在停伐政策以及生态扶贫政策的引导下,黑龙江省林业产业转型要考虑到如何快速有效引进新型产业项目,带动地区经济发展的同时落实相关政策导向下的就业人员,良好有效的社会供给将给予新型产业项目强大的吸引力。通过政府与私人组织之间的合作,给予私人组织一定的授权,完成相应的社会服务建设,黑龙江省提供较为有效的社会服务供给。黑龙江省林业产业转型在政策的引导下,经济转型的拉动下以及生态环境的约束下将不断引进和吸纳有效的适宜其发展的新型林业产业项目,因此,通过打造 PPP 供给社会

服务模式,在政府的合作下积极推动产业项目转型,进而带动黑龙江省经济转型与社会发展。

## 6 结论

黑龙江省作为林业大省,拥有丰富的森林资源,并发挥着极为重要的生态、经济和社会效能,因此在生态扶贫的理念和背景下,推动黑龙江省林业产业转型及充分发挥其生态屏障作用具有重要意义。该研究通过对生态扶贫与林业产业以及林业产业转型之间的关系进行剖析,结合黑龙江省林业产业发展现状及林业产业转型的动力机制,提出了促进林业产业转型的策略。希望依托于生态扶贫给黑龙江省林业产业转型带来新的契机,进一步加快黑龙江省经济发展。

## 参考文献

- [1] 朱冬亮,殷文梅.贫困山区林业生态扶贫实践模式及比较评估[J].湖北民族学院学报(哲学社会科学版),2019,37(4):86-93.
- [2] 骆方金.生态扶贫:概念界定及特点[J].改革与开放,2017(5):71-73.
- [3] 沈茂英,杨萍.生态扶贫内涵及其运行模式研究[J].农村经济,2016(7):3-8.
- [4] 刘慧,叶尔肯·吾扎提.中国西部地区生态扶贫策略研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(10):52-58.
- [5] 中国绿色时报.践行“两山”理论 打赢“两场战役”做好林业生态扶贫大文章[J].宁夏林业通讯,2018(2):25-26.
- [6] 张莉,夏梦丽.林业生态扶贫研究进展[J].世界林业研究,2018,31(4):8-12.
- [7] 欧阳伟兰.探索生态扶贫的实现路径[J].人民论坛,2019(21):70-71.
- [8] 宋墩福,刘郁林,翟学昌.现代林业概论[M].2版.北京:科学出版社,2013.
- [9] 国家林业局.森林生态系统服务功能评估规范:LY/T 1721—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 刘珉,王刚,陈文汇,等.林业与绿色经济[M].北京:中国林业出版社,2019.
- [11] 董义超,盛伟博,于会国,等.花鲈幼鱼形态性状与体质量影响关系的通径分析[J].水产学杂志,2021,34(1):29-34,39.
- [12] 杨育凯,虞为,林黑着,等.2月龄花鲈形态性状与体质量相关性及通径分析[J].广东海洋大学学报,2021,41(2):86-93.
- [13] 梁健,王俊杰,郭永军,等.不同地理群体菲律宾蛤仔表型性状的相关性与通径分析[J].水产科学,2020,39(1):40-47.
- [14] 刘国兴,孙海峰,郑友,等.30日龄翘嘴鲈形态性状与体质量之间的关系[J].水产养殖,2019,40(10):6-11.
- [15] 王新安,马爱军,许可,等.大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系[J].动物学报,2008,54(3):540-545.
- [16] AKINTUNDE A N.Path analysis step by step using Excel[J].Journal of technical science and technologies,2012,1(1):9-15.
- [17] 刘峰,陈琳,楼宝,等.小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析[J].海洋与湖沼,2016,47(3):655-662.
- [18] 邓聚龙.灰色控制系统[J].华中工学院学报,1982,10(3):9-18.
- [19] 刘佼,金琼,韩照全.江苏省雷灾特征分析及灾情灰色关联评估[J].气象与环境科学,2019,42(2):97-103.
- [20] 席崇俊,刘志辉,杨岩.基于面板数据灰色关联分析的城市创新能力评估:以长三角城市群为例[J].中国科技资源导刊,2021,53(1):69-76.
- [21] 郑承志.基于 GRA 的电商与国民经济关系实证分析[J].长春大学学报,2021,31(1):13-17.
- [22] 杜晓宇,李顺成,韩玉林,等.基于灰色关联度法的黄淮南片小麦新品种综合评判[J].中国种业,2021(1):64-68.
- [23] 胡新洲,安正云,杨进成,等.玉溪地区甜玉米主要农艺性状与鲜穗产量的灰色关联度分析[J].安徽农业科学,2020,48(4):34-36.
- [24] 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.
- [25] 苏胜彦,董在杰,曲疆奇,等.3个鲤群体杂交后代生长性状的灰色关联及复合杂交后代的体重预测分析[J].水产学报,2011,35(1):20-26.
- [26] 刘永新,周勤,张红涛,等.红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)生长性状的遗传参数估计[J].渔业科学进展,2014,35(6):39-44.
- [27] 刘峰,楼宝,陈睿毅,等.小黄鱼形态性状与体质量的灰色关联分析[J].上海海洋大学学报,2017,26(1):131-137.
- [28] 周婷,王伟.中国龟鳖养殖原色图谱[M].北京:中国农业出版社,2009.
- [29] HUO Z M, YAN X W, ZHAO L Q, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) [J]. Acta ecologica sinica, 2010, 30(5):251-256.
- [30] 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.
- [31] WRIGHT S. Correlation and causation[J]. Journal of agricultural research, 1921, 20(7):557-585.
- [32] OKAMOTO C, KOMARU A, HAYASHI M, et al. Variation of shell-closing strength among several families in pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* [J]. Aquaculture science, 2006, 54(4):525-529.
- [33] 贺刚,方春林,何力,等.1、2龄乌龟(♀)×黑颈乌龟(♂)杂交 F<sub>1</sub> 代的形态性状与体质量的相关分析[J].水产学杂志,2020,33(4):23-28.
- [34] 贺刚,何力,费春平,等.中华草龟(♀)与中华花龟(♂)及其杂种 F<sub>1</sub> 代形态性状对体重的影响效果分析[J].四川动物,2014,33(1):99-105.
- [35] 乔有明.通径分析与灰色关联分析的比较[J].青海畜牧兽医杂志,1997,27(4):22-25.

(上接第 131 页)

价指标。

## 参考文献