

基于分块主成分分析的太行山猕猴面部相似性

王白石¹ 王振龙¹ 鹿鹤¹ 李利² 路纪琪^{1*}

(1 郑州大学生物多样性与生态学研究所, 郑州 450001) (2 太行山猕猴国家级自然保护区济源管理局, 济源 454650)

摘要: 2012年4~8月,在太行山猕猴国家级自然保护区济源管理局天坛山管护区(北纬35°05′~35°15′,东经112°12′~112°22′),对太行山猕猴王屋1群(WW-1)内的3个母系单元(matrilineal unit)中大于(等于)3岁龄的26只个体进行面部拍照,获取其面部特写照片,进而利用分块主成分分析(modular principal component analysis, MPCA)法,对个体进行面部识别分析,旨在探讨个体间面部相似度与亲缘关系的相关性。结果表明:(1)太行山猕猴个体间的面部相似度与亲缘类型有关,母亲与大于3岁龄子代间的面部相似度为 0.93 ± 0.00 ,显著高于单元内(0.89 ± 0.00)和单元间(0.84 ± 0.01)的面部相似度;(2)太行山猕猴个体的面部特征随年龄增长而变化,4岁(含4岁)龄以上个体与母亲间的面部相似度较高($0.88 \sim 0.95$),依此值可准确地识别母子关系。本研究采用量化方法对非人灵长类个体间面部相似度进行分析,发现太行山猕猴个体间的面部相似度与亲缘关系密切相关;研究结果可为非人灵长类的个体识别提供较为客观的手段和方法。

关键词: 太行山猕猴; 面部相似性; 分块主成分分析; 个体识别

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2013)03-0232-06

Facial similarity in Taihangshan macaques (*Macaca mulatta tcheliensis*) based on modular principal components analysis

WANG Baishi¹, WANG Zhenlong¹, LU He¹, LI Li², LU Jiqi^{1*}

(1 Institute of Biodiversity and Ecology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

(2 Jiyuan Administration of Taihangshan Macaque National Nature Reserve, Jiyuan 454650, China)

Abstract: From April to August in 2012, a target troop (named as WW-1) of Taihangshan macaques (*Macaca mulatta tcheliensis*) was investigated for facial similarity in the Tiantanshan area (35°05′–35°15′ N, 112°12′–112°22′ E) of the Taihangshan Macaque National Nature Reserve (TMNNR) in Jiyuan, China. Facial close-up photos of 26 individuals over 3-years-old belonging to 3 matrilineal units within troop Wangwu-1 (WW-1) were photographed and facial similarity values between every two different individuals were analyzed using modular principal component analysis (MPCA) method. We aimed to find the correlation between facial similarity and individual kinship. The results showed that: (1) facial similarity was significantly associated with kinship between individuals; the facial similarity between mothers and offspring (0.93 ± 0.00) was significantly higher than those of the intra-unit group (0.89 ± 0.00) and the inter-unit group (0.84 ± 0.01); the similarity value of the intra-unit group is significantly higher than the inter-unit group; and (2) individual face features varied with increasing age in Taihangshan macaques; higher facial similarity was found between ≥ 4 year old individuals and their mothers ($0.88 - 0.95$), and mother-offspring relationship could be assuredly recognized via this value.

The results from this study may provide reasonable and effective methods for individual identification in nonhuman primates.

Key words: Facial similarity; Individual identification; Modular principal components analysis (MPCA); Taihangshan macaques (*Macaca mulatta tcheliensis*)

动物间的个体识别(individual identification)是其基本生存能力之一,而面部识别则是个体识别的重要组成部分,也是人类研究者定性判断动物母子关系的手段之一。许多动物尤其是非人灵长类动

物均依赖于面部识别进行社会交往活动(Niedenthal *et al.*, 2000)。以往的研究证明,人类能够通过面部的相似性识别出与自己具直系血缘关系的个体(Maloney and Dal Martello, 2006;

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30970378, 31170503)

作者简介: 王白石(1984-),男,博士研究生,主要从事动物生态与保护生物学研究。

收稿日期: 2012-11-30; 修回日期: 2013-05-26

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: lujq@zzu.edu.cn

习惯化、个体识别、群内个体的优势等级确定等,可参阅郭相保等(2011)、田军东等(2011)的研究。

1.3 照片拍摄及 MPCA 分析

个体面部照片拍摄:于 2012 年 4~8 月,用数码相机对 WW-1 群中三个母系单元内年龄 ≥ 3 岁龄的 26 只个体逐一拍摄其面部特写照片,这些个体包括 3 岁龄个体 5 只,3 岁龄以上个体 21 只(图 1)。为获得最佳的拍摄效果,拍摄在视野开阔位置、晴朗天气、光照充足时段(14:00~15:00)、适宜距离(1~5 m)条件下进行。拍摄时尽量使被拍摄个体正视镜头、头部端正、面部表情放松。

照片的预处理:利用图像处理软件截取个体面部图片,分辨率为 320×480 ppi。利用 Matlab 7.9.0 对图片进行灰度化处理 and 直方图均衡化,以减少光照不均对结果的影响。

分块 PCA 特征的提取:将猕猴个体面部照片均等地分成左眼、右眼、左鼻子、右鼻子、左嘴和右嘴共 6 个无交叠子块(分辨率: 160×160

ppi)。将每个个体的每张照片中相同位置的子块均转为行向量并构建协方差矩阵,用 Matlab 软件求取矩阵特征值,与特征向量建立分块子空间。将得到的矩阵特征值与对应的特征向量按降序排列并进行降维处理(特征值阈值设定为 90%),构建特征子空间。

相似度比较:将任意两个个体照片的相同位置的子块投射到子空间中,各得到一个一维向量。对这两个向量进行夹角余弦分析,若相似度完全吻合则夹角为 0° ,相似度为 1;若相似度完全不吻合则夹角为 90° ,相似度为 0。以此方法分别对照片的 6 个子块进行比较。最终获得 6 个子块间的余弦值。因提取特征明显度的差异赋予分析结果不同的加权值,故可得到各子块间的相似度。最后,依公式:

$$Y = \sum_{i=1}^6 a_i b_i$$

式中 a_i 为不同子块的加权值, b_i 为每两个子块间的相似度。



图 1 太行山猕猴 WW-1 群 3 个母系单元中目标个体的亲缘关系。P1: 雌性家长; F1: 子一代; F2: 子二代; 照片下方的字母、符号和数字分别表示该个体的代码、性别和年龄; *: 该个体于 2009 年离开 WW-1 群, 故未对其进行相关分析

Fig. 1 Individual relationship within each of 3 matrilineal units of troop WW-1 of Taihangshan macaques. P1: Female parent; F1: First filial generation; F2: Second filial generation; Letter, symbol and number below each photo represent individual ID, gender and age; *: Facial recognition for BY was not done because she left WW-1 in 2009

1.4 数据处理与统计分析

依据 WW-1 群内的母系单元结构，将母亲与其后代个体定义为母子类型组；将具亲缘关系的同一母系单元内个体定义为单元内类型组；将来自于不同母系单元的非亲缘个体定义为单元间类型组。将上述各分组的面部相似值依次录入 Excel，建立数据文件。采用 SPSS for Windows (Version 19.0) 对数据进行统计分析。用 One-way ANOVA 分析各亲缘类型分组间的面部相似度的显著性差异；再依据个体的年龄分组，用 Pearson Test 分析目标个体年龄与面部相似度的相关性；用独立样本 *T* 检验 (Independent-samples *T* Test) 分析 3 岁龄个体和大于 (等于) 4 岁龄个体与其母亲的面部相似度的显著性差异。各类型组的变异系数 (CV) 可通过公式 $CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$ 计算得出，其中 *s* 为样本的方差， \bar{x} 为样本的平均值。所有数据均以 Mean \pm SE 表示，检验的显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

BD 单元的成年雌性个体 BY 于 2009 年离群，对该个体与其母亲 (BD)、与其子代 (BL 和 FY) 的面部相似性无法进行分析 (图 1)。故本研究共分析了 21 对猕猴个体亲子间的面部相似度，79 对母系单元内个体间的面部相似度及 27 对母系单元间个体的面部相似度。由于 3 岁龄个体的面盘尚未发育健全，与其母亲的面部相似性较低，因此，只选取大于 (等于) 4 岁龄的个体进行亲缘类型与面部相似度分析。

2 结果

2.1 个体间亲缘类型与面部相似度的关系

太行山猕猴个体间的亲缘类型与面部相似度显著相关 ($F_{2,119} = 70.77, P < 0.001$) (图 2)。在母-子间、单元内个体及单元间个体这 3 种亲缘关系类型中，以母-子间的面部相似度最高 (0.93 ± 0.00)，且显著高于其余两种类型 ($P < 0.001$)，相同母系单元内个体的面部相似度 (0.89 ± 0.00) 显著高于不同母系单元间个体 (0.84 ± 0.01) ($P < 0.001$)。从不同亲缘类型个体间相似度的整齐性来看，母-子关系类型组的变异系数为 1.64%，单元内个体组的变异系数为 3.72%，单元间的个体组的变异系数为 4.80%。可见，母亲与子代间面部相似性的整齐度最好，而不同单元间个体的面部相似性的整齐度最弱。

2.2 年龄与个体间面部相似度的关系

研究结果表明，随着年龄的增长，太行山猕猴子代与其母亲的面部相似度显著增加 ($r = 0.91, F_{1,19} = 57.29, P < 0.001$)。3 岁龄个体与其母亲的面部相似度较低，相似值为 0.77 ~ 0.85；3 岁龄以上个体与其母亲的平均面部相似度 (0.93 ± 0.00) 显著大于 3 岁龄个体 (0.82 ± 0.02) ($t = -10.58, df = 19, P < 0.001$)。大于 (等于) 4 岁龄个体与其母亲的面部相似度随年龄增长而逐渐增大，相似值为 0.88 ~ 0.95 (图 3)。

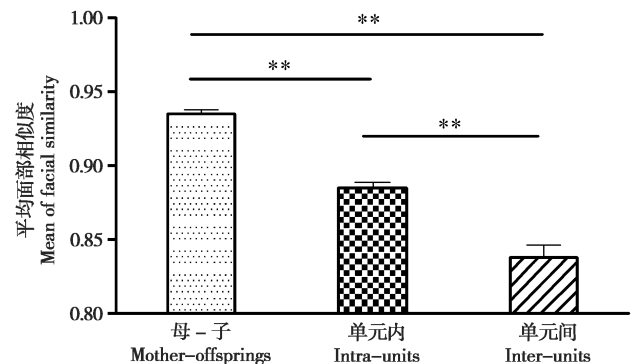


图 2 太行山猕猴 WW-1 群不同亲缘类型组间的面部相似度比较

Fig. 2 Comparison on facial similarity among different paired groups within troop WW-1 of Taihangshan macaques

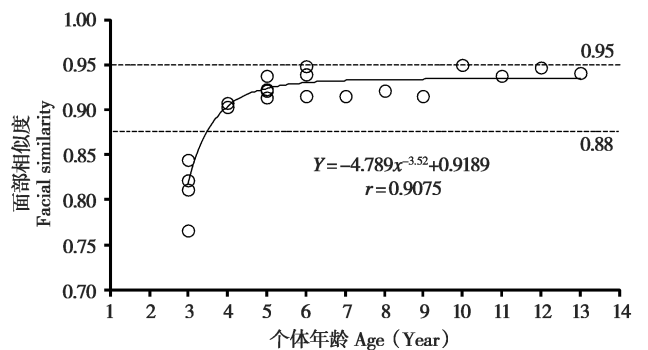


图 3 太行山猕猴母-子间面部相似度随年龄增长的变化

Fig. 3 Variation in facial similarity between mother and offspring with age increasing in Taihangshan macaques

3 讨论

本研究发现太行山猕猴个体间的亲缘关系与面部相似性密切相关；而亲缘类型、个体年龄是影响面部相似度的关键因素，个体间亲缘关系越近则面部相似性越高；同时，在同一母系单元内，后代个体随年龄增长与其母亲的面部相似度逐渐增加。

亲缘关系是灵长类动物个体行为研究的重要课题 (Chapais and Berman, 2004)。长期以来，非人

灵长类如何对亲缘个体进行识别一直未得到圆满的解答,特别是在社会体制为多雄多雌 (multi-male multi-female) 型的种类,一只雌性可能与多只雄性交配,而雄性则会面临父权不确定的问题。一些研究证明,非人灵长类个体可以通过面部的相似性对同物种具亲缘的个体进行准确的识别 (Rendall *et al.*, 1996; Parr and de Waal, 1999),但也有研究认为动物对亲缘个体的认知是通过长时间观察并最终熟悉的结果 (Pokorny and de Waal, 2009)。近期研究发现,在一些社会体系为多雄多雌制的非人灵长类如叶猴 (*Presbytis entellus*)、黄狒狒 (*Papio cynocephalus*) 和黑猩猩 (*Pan troglodytes*) 社群中,成年雄性个体对自己的子代具有辨识能力 (Borries *et al.*, 1999; Buchan *et al.*, 2003; Lehman *et al.*, 2006);而青少年山魈 (*Mandrillus sphinx*) (Charpentier *et al.*, 2007) 和草原狒狒 (*Papio cynocephalus*) (Buchan *et al.*, 2003) 则能准确辨识自己的父亲。另一项研究进一步发现黑猩猩可以通过图片中母亲及雄性后代的面部相似性来识别母子关系 (Parr and de Waal, 1999)。这些研究表明,非人灵长类个体可能是通过比较已知和候选个体的表型,进而依靠这种表型配对的方式来识别自己的亲缘个体 (Widdig, 2007);或者可以通过面部的相似性辨别出二者间潜在的亲缘关系。本研究结果证实,太行山猕猴个体间的亲缘关系与面部相似度显著相关,亲缘关系最近的母、子间面部相似度最高,同一母系单元内个体间的相似度居中但仍显著高于不同母系单元内个体。本文结果表明亲缘关系是影响个体间面部相似度的关键因素。这将有助于在猕猴社群中通过面部识别技术来对成年个体亲缘关系进行判定。

本研究还发现,母系单元内个体面部相似度的变异系数高于母-子关系个体和同一单元内的个体,其主要原因可能在于单元内个体亲缘关系的不一致性。在灵长类社群中,母亲与子代的亲缘关系最为直接,故而母-子组个体间面部相似性的整齐度最高;虽然同一单元内的个体间都具有一定亲缘关系,但个体间亲缘距离则不尽一致,导致该组面部相似性的整齐度低于母-子组。在自然条件下,成年雄性个体可能与不同单元的成年雌性交配并繁育后代,因此,不同母系单元间的部分后代个体间可能存在父系兄弟姐妹 (paternal sibling) 的亲缘关系,而另一些个体间可能并不具有任何亲缘关系。这种亲缘关系的不一致性导致单元内个体面部相似度上变异系数较大,整齐度较低。

在太行山猕猴社群中,未成年个体正处于身体快速发育阶段,而1~3岁的幼猴面部发育尤为迅速 (Carlson *et al.*, 1978)。由于面部器官及骨骼尚未发育成熟,此年龄段的个体与其母亲面部相似性较低。随着年龄增长,个体逐渐发育成熟,面盘结构和特征趋于定型,面部特征与其母亲的相似度显著提高。因此,在野外观察过程中,对研究者而言,成年猕猴个体一般易于被识别;并且,基于面部特征,研究者能够很容易地对个体与其母亲和所属的母系单元进行认定。但是,对幼年个体的识别则有较大难度,其主要原因就在于此阶段个体面部发育不成熟,尚未形成与其母亲或母系单元相似的面部特征。有关父权与个体间面部相似度的关系尚待进一步研究。

综上所述,太行山猕猴个体间面部相似性受到个体年龄和亲缘关系的影响;在猕猴社群中,可以通过面部识别技术为成年个体间亲缘关系的判定提供辅助依据。

致谢: 本研究得到太行山猕猴国家级自然保护区济源管理局的大力支持;侯加富和侯喜全师傅协助对猕猴个体拍照,并在生活上给予极大帮助,在此一并感谢。

参考文献:

- Alvergne A, Faurie C, Raymond M. 2007. Differential resemblance of young children to their parents: who do children look like more. *Evolution and Human Behavior*, **28**: 135 - 144.
- Alvergne A, Huchard E, Caillaud D, Charpentier M J E, Setchell J M, Ruppli C, Féjan D, Martinez L, Cowlshaw G, Raymond M. 2009. Human ability to recognize kin visually within primates. *International Journal of Primatology*, **30**: 199 - 210.
- Borries C, Launhardt K, Epplen C, Epplen J T, Winkler P. 1999. Males as infant protectors in Hanuman langurs (*Presbytis entellus*) living in multimale groups: defence pattern, paternity and sexual behavior. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **46**: 350 - 356.
- Buchan J C, Alberts S C, Silk J B, Altmann J. 2003. True paternal care in a multi-male primate society. *Nature*, **425**: 179 - 181.
- Carlson D S, McNamara J A Jr, Jaul D H. 1978. Histological analysis of the growth of the mandibular condyle in the rhesus monkey (*Macaca mulatta*). *American Journal of Anatomy*, **151**: 103 - 118.
- Chapais B, Berman C M. 2004. Kinship and Behavior in Primates. Oxford: Oxford University Press.
- Charpentier M J E, Peignot P, Hossaert-Mckey M, Wickings E J. 2007. Kin discrimination in juvenile mandrills, *Mandrillus sphinx*. *Animal Behaviour*, **73**: 37 - 45.
- Chellappa R, Wilson C L, Sirohey S. 1995. Human and machine recog-

- inition of faces: a survey. *Proceedings of the IEEE*, **83**: 705 - 741.
- Chen F B, Xie Y H, Yan Y Y, Yang J Y. 2006. The study of extracting ability of discriminant features for Modular PCA. *Computer Science*, **33**: 155 - 159. (in Chinese)
- Fang R, Tang K D, Snavely N, Chen T. 2010. Towards computational models of kinship verification. *IEEE International Conference on Image Processing*, 1577 - 1580.
- Fooden J. 2000. Systematic review of the rhesus macaque, *Macaca mulatta* (Zimmermann, 1780). *Fieldiana Zoology*, **96**: 1 - 180.
- Guo X B, Wang Z L, Chen J R, Tian J D, Wang B S, Lu J Q. 2011. Winter and spring food habits of *Macaca mulatta tcheliensis* in Taihangshan National Nature Reserve in Henan Province of China. *Chinese Journal of Ecology*, **30** (3): 483 - 488. (in Chinese)
- Hong Z Q. 1991. Algebraic feature extraction of image for recognition. *Pattern Recognition*, **24**: 211 - 219.
- Ji W Z. 2013. Reproduction and Breeding of Rhesus Monkey. Beijing: Science Press, 2 - 28. (in Chinese)
- Jiang X L, Wang Y X, Ma S L. 1991. Taxonomic revision and distribution of subspecies of rhesus monkey (*Macaca mulatta*) in China. *Zoological Research*, **12** (3): 241 - 247. (in Chinese)
- Lehmann J, Fickenscher G, Boesch C. 2006. Kin biased investment in wild chimpanzees. *Behaviour*, **143**: 931 - 955.
- Li M H. 2009. The application of MPCA in facial recognition. *China New Technologies and Products*, **18**: 12 - 13. (in Chinese)
- Lu J Q, Hou J H, Wang H F, Qu W Y. 2007. Current status of *Macaca mulatta* in Taihangshan mountains area, Jiyuan, Henan, China. *International Journal of Primatology*, **28**: 1082 - 1091.
- Lu J W, Plataniotis K N, Venetsanopoulos A N. 2003. Face recognition using LDA-based algorithms. *IEEE Trans on Neural Networks*, **14**: 195 - 200.
- Maloney L T, Dal Martello M F. 2006. Kin recognition and the perceived facial similarity of children. *Journal of Vision (Charlottesville, Va.)*, **6**: 1047 - 1056.
- Niedenthal P M, Halberstadt J B, Margolin J, Innes-Ker Å H. 2000. Emotional state and the detection of change in facial expression of emotion. *European Journal of Social Psychology*, **30**: 211 - 222.
- Parr L A, de Waal F B M. 1999. Visual kin recognition in chimpanzees. *Nature*, **399**: 647 - 648.
- Pokorny J J, de Waal F B. 2009. Face recognition in Capuchin Monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, **123**: 151 - 160.
- Rajkiran G, Vijayan K A. 2004. An improved face recognition technique based on modular PCA approach. *Pattern Recognition Letter*, **25**: 429 - 436.
- Rendall D, Rodman P S, Emond R E. 1996. Vocal recognition of individuals and kin in freeranging rhesus monkeys. *Animal Behaviour*, **51**: 1007 - 1015.
- Roeder N, Li X B. 1996. Accuracy analysis for facial feature detection. *Pattern Recognition*, **29**: 143 - 157.
- Song C S, Qu W Y. 1996. Scientific Survey of Taihangshan Macaque Nature Reserve. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese)
- Sun X, Liu B, Liu B Y. 2005. Face recognition based on Block-PCA. *Computer Engineering and Applications*, **27**: 80 - 82. (in Chinese)
- Tian J D, Wang Z L, Lu J Q, Guo X B, Wang B S. 2011. Social structure of wild *Macaca mulatta* in the Mt. Taihangshan area, Jiyuan, China. *Acta Anthropologica Sinica*, **30** (4): 425 - 436. (in Chinese)
- Tian J D, Wang Z L, Lu J Q, Wang B S, Chen J R. 2013. Reproductive parameters of temperate-dwelling female *Macaca mulatta tcheliensis*. *American Journal of Primatology*. (in press)
- Tootell R B H, Tsao D, Vanduffel W. 2003. Neuroimaging weighs in: Humans meet macaques in 'primate' visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, **23**: 3981 - 3989.
- Tsao D Y, Livingstone M S. 2008. Mechanisms of face perception. *Annual Review of Neuroscience*, **31**: 411 - 437.
- Vokey J R, Rendall D, Tangen J M, Parr L A, de Waal F B M. 2004. Visual kin recognition and family resemblance in chimpanzees. *Journal of Comparative Psychology*, **118**: 194 - 199.
- Widdig A. 2007. Paternal kin discrimination: the evidence and likely mechanisms. *Biological Reviews*, **82**: 319 - 334.
- Wu S J, Luo J, Li Q Q, Wang Y Q, Murphy R W, Blair C, Wu S F, Yue B S, Zhang Y P. 2013. Ecological genetics of Chinese rhesus macaque in response to mountain building: all things are not equal. *PLoS ONE*, **8**: e55315.
- 田军东, 王振龙, 路纪琪, 郭相保, 王白石. 2011. 野生太行山猕猴的社会结构. *人类学学报*, **30** (4): 425 - 436.
- 孙鑫, 刘兵, 刘本永. 2005. 基于分块 PCA 的人脸识别. *计算机工程与应用*, **27**: 80 - 82.
- 李明辉. 2009. 分块 PCA 在脸像识别中的应用. *中国新技术新产品*, **18**: 12 - 13.
- 宋朝枢, 瞿文元. 1996. 太行山猕猴自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社.
- 陈伏兵, 谢永华, 严云洋, 杨静宇. 2006. 分块 PCA 鉴别特征抽取能力的分析研究. *计算机科学*, **33**: 155 - 159.
- 季维智. 2013. 猕猴繁殖生物学. 北京: 科学出版社, 2 - 28.
- 郭相保, 王振龙, 陈菊荣, 田军东, 王白石, 路纪琪. 2011. 河南太行山自然保护区猕猴冬春季食性分析. *生态学杂志*, **30** (3): 483 - 488.
- 蒋学龙, 王应祥, 马世来. 1991. 中国猕猴的分类及分布. *动物学研究*, **12** (3): 241 - 247.