

# 神农架自然保护区川金丝猴投食群友好行为的初步观察

蔚培龙 廖明尧 胡汉斌 赵本元 杨敬元 鲍伟东 \*

( 北京林业大学生物科学与技术学院 北京 100083; 湖北神农架国家级自然保护区 木鱼 442421;  
国家林业局自然保护区研究中心 北京 100083)

**摘要:** 为探讨人工补食条件下川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 的友好行为因补食产生的影响, 2007年1~9月, 采用行为取样法、扫描取样法和全事件记录法对湖北神农架自然保护区大龙潭投食猴群的友好行为进行了观察。共记录到11种友好行为, 发生频次居前的是理毛、张嘴、拥抱、游戏、趋近。友好行为的发起者和承受者在性别间差异均不显著, 但在年龄间差异均显著。在一雄多雌单元内发起者按次数多少为成年、少年、青年、亚成年猴, 承受者的顺序亦如此。在全雄单元内发起者按次数多少为成年、少年、亚成年、青年猴, 承受者的顺序亦如此。友好行为在单元内和单元间差异显著, 单元内多于单元间。这在一定程度上说明川金丝猴社会单元内个体间的关系紧密, 单元间的关系相对疏远。友好行为在繁殖和非繁殖季节差异不显著。

**关键词:** 川金丝猴; 投食群; 友好行为; 神农架自然保护区

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)03-43-06

## Preliminary Observation on Affiliative Behaviors of *Rhinopithecus roxellana* in a Provisioned Group in the Shennongjia National Nature Reserve

YU Pei-Long LIAO Ming-Yao HU Han-Bin ZHAO Ben-Yuan  
YANG Jing-Yuan BAO Wei-Dong \*

( College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083;  
Hubei Shennongjia National Nature Reserve, Muyu 442421;  
Research Center of Nature Reserve, State Forestry Administration, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To evaluate the effects of provisioning on affiliative behaviors of Sichuan Snub-nosed Monkeys (*Rhinopithecus roxellana*), we conducted a systematic observation on a group in the Shennongjia National Nature Reserve from January to September 2007 by using behavior sampling, scanning sampling and all-occurrence recording methods. The group consisted of 3 one-male units (OMU) and 1 all-male unit (AMU) with 45 individuals in total. Eleven types of affiliative behaviors were defined and recorded. Allo-grooming, opening mouth, embracing, playing, and approaching occurred more frequently than others. No significant difference in affiliative behaviors between gender

**基金项目** 国家林业局自然保护区研究中心项目, 国家林业局野生动物保护管理项目, 神农架国家级自然保护区川金丝猴研究基地项目;

\* 通讯作者, E-mail: wdbao@bjfu.edu.cn;

**第一作者介绍** 蔚培龙, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物行为学; E-mail: peilong315@163.com.

**收稿日期:** 2008-10-31, **修回日期:** 2009-03-02

was found for initiators and recipients, but significant difference existed for initiators between age classes in the OMU (in descending order): adults, juveniles, the young, and sub-adults; while within the AMU, the frequency order was adults, juveniles, sub-adults, and the young. Individuals within an OMU exhibited more affiliative behaviors than those between OMUs. However, behaviors such as holding waist, squeezing into, opening mouth, and kissing back only performed by individuals within the same OMU. These results indicate that members in OMUs are closer to each other than individuals between OMUs be. Each OMU might be, to some extent, a socially integrated unit. No difference was found in frequency of affiliative behaviors occurred in breeding and nonbreeding season.

**Key words:** *Rhinopithecus roxellana*; Provisioned group; Affiliative behaviors; The Shennongjia Nature Reserve

在灵长类动物社群中,友好行为具有保持群体稳定的作用<sup>[1,2]</sup>。不同物种社群在表现其友好行为上差异明显,食蟹猴(*Macaca fascicularis*)与狮尾猴(*M. silenus*)相比,前者表现出更高频次的友好行为<sup>[3]</sup>。同一物种友好行为的表现还存在性别差异,比如,青少年雄性猕猴(*M. mulatta*)更多地参与游戏和其他社会性行为,而雌性的理毛行为相对较多<sup>[4]</sup>。而且,即使同一性别的个体其友好行为的表现也存在差异,这种差异性在环尾狐猴(*Lemur catta*)<sup>[5]</sup>和斯里兰卡猴(*M. sinica*)<sup>[6]</sup>中已得到证实。不同灵长类动物友好行为具有物种特异性,如在倭黑猩猩(*Pan paniscus*)社群中,通常低等级雌性对高等级个体发出友好行为之前有凝视行为<sup>[7]</sup>,在黄山短尾猴(*M. thibetana*)中存在很独特的架桥友好行为<sup>[8]</sup>,多数灵长类动物中表示威胁的露齿行为在猕猴<sup>[9]</sup>和苏拉威西猴(*M. maurus*)<sup>[10]</sup>中是友好表达。理毛是灵长类动物中最常见的友好行为,目前有3个假说涉及理毛行为的功能:卫生假说<sup>[11]</sup>、缓和假说<sup>[12]</sup>、联盟假说<sup>[13]</sup>,理毛可反映等级关系<sup>[14]</sup>。游戏行为在灵长类青少年个体中很常见,针对此行为功能的假说认为游戏对认识性角色、等级关系、融入群体和控制攻击行为至关重要<sup>[15]</sup>。在倭黑猩猩中,少年个体可通过游戏消除紧张情绪<sup>[16]</sup>。目前,在川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)社群中已发现很多友好行为模式,最为独特的是张嘴<sup>[17]</sup>。

川金丝猴社群由两种单元组成,一种是由一只成年雄性与多只雌性及其子女组成的一雄多雌单元(one-male unit, OMU),另一种是由多只不同年龄雄性组成的全雄单元(all-male unit,

AMU)<sup>[17]</sup>。关于川金丝猴友好行为的研究已有一些成果<sup>[2,17-19]</sup>,笼养川金丝猴友好行为类型比其他社会行为多,有8种,即张嘴、抱腰、拥抱、理毛、挨坐、趋近、游戏和邀请<sup>[2]</sup>。对野外川金丝猴社会行为模式的研究,发现11种友好行为,除上述8种外增加了跟随、挤入和等待<sup>[17]</sup>。严康慧等<sup>[19]</sup>总结笼养、半笼养和野生川金丝猴群体的社会行为及动作模式,获得18种友好行为,与上述二者不同的有:离开、吻背、快理、无性爬背、拉手、触碰、目光交流、乞食和抓拿。在友好行为中,最需引起注意的是理毛行为,此行为具有深刻的社会含义,是用来考察个体之间亲密关系的重要指标<sup>[17]</sup>。这些结果显示川金丝猴的友好行为类型较多,比其他社会行为发生的频率高。因此,对川金丝猴的友好行为在不同生活环境下的差异性进行深入比较研究非常必要。本文以神农架自然保护区一个投食群为研究对象,通过近距离观察猴群友好行为的具体表现,探讨该猴群友好行为的表达。

## 1 研究地点与方法

投食猴群活动于神农架自然保护区大龙潭区域(110°18'E, 31°29'N, 海拔2160m),该区域植被以针阔叶混交林、常绿针叶林和阔叶林为主<sup>[20]</sup>。研究期间投食群共有3个一雄多雌单元(OMU)和1个全雄单元(AMU)。白头单元包括14只个体,其中,成年雌性8只,青年猴1只,少年猴2只,婴幼儿猴2只;红头单元包括16只个体,其中,成年雌性7只,少年猴5只,婴幼儿猴3只;长毛单元包括7只个体,其中,成年雌性3只,少年猴3只;全雄单元包括8只个体,其中,成年个体5只,亚成年猴2只,少年猴1

表 1 神农架自然保护区川金丝猴投食群单元名称与组成

Table 1 Unit composition and individual names of *Rhinopithecus roxellana* in a provisioned group

年龄段 Age classes	白头单元 Bai Tou Unit	红头单元 Hong Tou Unit	长毛单元 Chang Mao Unit	全雄单元 All-Male Unit
成年雄性 Adult male	白头 Bai Tou	红头 Hong Tou	长毛 Chang Mao	一撮毛 Yi Zuo Mao 大杨 Da Yang 小杨 Xiao Yang 红脸 Hong Lian 大胆 Da Dan
成年雌性 Adult female	小尾巴 Xiao Wei Ba 大大 Da Da 妮妮 Ni Ni 团团 Tuan Tuan 欢欢 Huan Huan 迎迎 Ying Ying 短尾巴 Duan Wei Ba 龙龙 Long Long	光皮 Guang Pi 老尼 Lao Ni 糊糊 Hu Hu 环环 Huan Huan 曲曲 Qu Qu 茵茵 Yin Yin 宝宝 Bao Bao	俊俊 Jun Jun 桔子 Ju Zi 花子 Hua Zi	
亚成年猴 Sub-adult				小新 Xiao Xin
青年猴 Young	悟峰( ) Wu Feng			
少年猴 Juvenile	小丽( ) Xiao Li 待命名(1 ) No Name	辉辉( ) Hui Hui 豆豆( ) Dou Dou 天天( ) Tian Tian 待命名(2 ) No Names	待命名(2 ,1 ) No Names	波波 Bo Bo 牛牛 Niu Niu
婴幼儿 Infant	待命名(1 ,1 ) No Names	待命名(2 ,1 ) No Names		

只。总数量为 45 只(表 1)。

投食点面积约 80 m<sup>2</sup>, 所投食物为桃 (*Prunus persica*)、苹果 (*Malus pumila*)、胡萝卜 (*Daucus carota*)、花生 (*Arachis hypogaea*) 和云雾草 (*Lichen usneae*)。投放食物量春、秋、冬季每次每只个体约 200 g, 夏季约 100 g。投食时间夏、秋季为 5:30、10:00、13:30、17:30 时, 冬、春季为 8:00、12:00、16:30 时。投食方法为分别给每个单元投掷食物, 取食时单元间距约 4~6 m。

数据记录时间从 2007 年 1 月 4 日至 9 月 10 日(6 月 22 日至 7 月 11 日长毛单元发生主雄替代, 全雄单元中的小杨取代了长毛的主雄地位, 此时间段数据未包括在内), 有效观察日为 92 d, 每天投食期间观察 1.5 h、投食结束后 1.5 h, 总观察时数为 270 h。夏、秋季观察时间段为 5:30~6:15、10:00~10:45、13:30~14:15、17:30~18:15 时, 冬、春季为 8:00~9:00、12:00

~13:00、16:30~17:30 时。依据动作模式及行为的发生背景, 划分出 11 种友好行为, 即理毛、拥抱、游戏、张嘴、趋近、跟随、挨坐、抱腰、挤入、吻背和无性爬背, 其中前 9 种行为模式的定义参见文献<sup>[2,17]</sup>, 后 2 种见文献<sup>[19]</sup>。取样方法为行为取样和扫描取样法, 记录方法为全事件记录<sup>[21]</sup>。川金丝猴的繁殖季节为每年 3~5 月<sup>[17]</sup>。采用卡方检验分析性别、年龄间、单元内和单元间、繁殖和非繁殖季节的差异性, 以  $P < 0.05$  作为差异显著性标志。

## 2 结 果

2.1 友好行为的发生频次 在观察期内, 共记录到友好行为 323 次。居于前 5 位的友好行为按频次由多到少为理毛、张嘴、拥抱、游戏和趋近(表 2)。理毛的总次数最多, 频次也最多; 抱腰和挤入的总次数最少, 挤入的频次最少。

表 2 神农架自然保护区川金丝猴投食群  
友好行为的发生频次

Table 2 Frequency of affiliative behaviors of  
*Rhinopithecus roxellana* in a provisioned group

行为类型 Behaviors	总次数 ( <i>n</i> ) Total times	频次(次/h) Frequency (Mean ±SE, times/h)
理毛 Allo-grooming	123	5.34 ±2.04
拥抱 Embracing	56	3.05 ±1.09
游戏 Playing	48	2.90 ±1.65
张嘴 Opening mouth	19	3.07 ±2.03
无性爬背 Non-sexual mounting	17	2.25 ±1.12
吻背 Kissing back	16	2.43 ±0.84
趋近 Approaching	13	2.86 ±1.69
跟随 Following	13	2.57 ±1.74
挨坐 Contact sitting	10	2.67 ±2.14
抱腰 Holding waist	4	1.89 ±1.22
挤入 Squeezing into	4	1.67 ±1.12

2.2 不同性别和年龄组的友好行为 在记录到的 323 次友好行为中,雌、雄性共同发起 46 次,占总数的 14.24%;雄性单独发起 138 次,占总数的 42.72%,其中 OMU 的雄性发起 55 次,占 17.03%,AMU 发起 83 次,占 25.69%;雌性单独发起 139 次,占 43.03%。雄性(OMU 与

AMU)与雌性发起友好行为差异不显著( $\chi^2 = 1.892$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.142$ )。雄性承受 125 次,占总数的 38.69%,其中 OMU 的雄性承受 38 次,占 11.76%,AMU 承受 87 次,占 26.93%;雌性承受 152 次,占 47.06%。作为友好行为的承受者,雄性(OMU 与 AMU)与雌性的差异亦不显著( $\chi^2 = 1.309$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.281$ )。表明这些友好行为呈现相互呼应的特点,即给出的多,得到友好回应也多。

不同年龄组的个体发起友好行为的次数存在显著差异,在 OMU 内按次数多少依次为:成年、少年、青年和亚成年猴( $\chi^2 = 16.923$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.001$ );在 AMU 内为:成年、少年、亚成年和青年猴( $\chi^2 = 9.074$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.028$ )。不同年龄组的个体承受友好行为的次数也存在显著差异,在 OMU 内按次数多少依次为:成年、少年、青年和亚成年猴( $\chi^2 = 13.025$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.004$ );在 AMU 内为:成年、少年、亚成年和青年猴( $\chi^2 = 11.433$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.012$ ) (表 3)。显然,成年及少年猴参与友好行为多于青年和亚成年猴。

表 3 神农架自然保护区川金丝猴投食群年龄组间友好行为发生的百分比(%)

Table 3 Percentages of affiliative behaviors among different age-classes of  
*Rhinopithecus roxellana* in a provisioned group

	OMU				AMU			
	成年猴 Adult	亚成年猴 Sub-adult	青年猴 Young	少年猴 Juvenile	成年猴 Adult	亚成年猴 Sub-adult	青年猴 Young	少年猴 Juvenile
发起者 Initiator	50.77	0.00	1.55	6.19	15.48	3.41	0.00	7.12
承受者 Recipient	49.23	0.00	3.09	6.19	15.17	3.09	0.00	7.43

本研究只统计由每一年龄段个体单独发起或承受友好行为的情况。

This research only calculated the case of affiliative behavior initiated or received by individuals in the same age group.

2.3 社会单元内和单元间的友好行为 在观察到的 323 次友好行为中,278 次发生在社会单元内,其中 197 次发生在 OMU 内,81 次发生在 AMU 内;45 次发生在单元间,其中 15 次发生在 OMU 间,30 次发生在 OMU 与 AMU 间。友好行为在单元内与单元间发生的频次差异显著( $\chi^2 = 8.645$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.003$ )。每种友好行为的发生次数都是社会单元内多于单元间,且抱腰、挤入、张嘴和吻背这 4 种行为只发生在单元内。

2.4 繁殖与非繁殖季节的友好行为 在观察到的 323 次友好行为中,147 次发生在繁殖季节,176 次发生在非繁殖季节,二者差异不显著( $\chi^2 = 2.972$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.094$ )。友好行为的发生不受繁殖的季节性影响。

### 3 讨论

本研究发现理毛行为的次数在所有友好行为中居首位,与任仁眉等<sup>[17]</sup>的结果一致。可见

无论笼养还是人工补食的川金丝猴群体,理毛是最频繁的一种友好行为。理毛行为最初的意义可能是通过相互理毛清除身体上的污物和寄生虫,以后这一行为的功能有所扩展<sup>[17]</sup>。本研究发现,每当单元主雄攻击外单元个体后,本单元成员马上给它理毛,这可能是为缓和主雄的紧张情绪;而交配后雌性马上给雄性理毛,可能是加强配偶关系的一种表现。由此可知,相互理毛不仅起卫生作用,还有其他社会功能。无性爬背行为在灵长类动物中普遍存在,大多发生在同性之间,尤其是雄性之间<sup>[22]</sup>,在某种程度上与社会等级成正相关<sup>[14]</sup>。川金丝猴雄性同性爬背体现性行为的发育进程,具有巩固社群稳定和加强个体关系的功能<sup>[23]</sup>。

本研究投食群友好行为的发起者、承受者在性别间差异不显著,可见性别不是影响川金丝猴友好行为表现的主要因素,两性之间通过友好行为彼此加强联系,即使发生打斗,大多也以和解结束<sup>[11]</sup>。友好行为的发起者、承受者在年龄间差异显著,无论是 OMU 还是 AMU,成年和少年猴的友好行为多于亚成年和青年猴,与任仁眉等<sup>[17]</sup>的观察结果一致。友好行为在年龄间的差异性在狒狒(*Papio hamadryas*)<sup>[24]</sup>和猕猴<sup>[25]</sup>社群中也有证实。友好行为在社会单元内多于单元间,这在一定程度上说明川金丝猴社会单元内个体之间的关系较亲密,单元间的关系相对疏远。日本猴(*M. fuscata*)青年雄性在单元内的友好行为也多于单元间<sup>[26]</sup>。友好行为在繁殖与非繁殖季节差异不显著,可见繁殖活动并不影响川金丝猴友好行为的表达。

**致谢** 感谢美国南加州大学的刘学聪博士帮助修改英文摘要。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Frans B M, de Waal F B M, Ren R M. Comparison of the reconciliation behavior of stump-tail and rhesus macaques. *Ethology*, 1988, **78**: 129 ~ 142.
- [ 2 ] 任仁眉,严康慧,苏彦捷等.川金丝猴社会行为模式的观察研究.心理学报,1990,(2):159 ~ 167.
- [ 3 ] Clarke A S, Czekala N M, Lindburg D G. Behavioral and adrenocortical responses of male cynomolgus and lion-tailed macaques to social stimulation and group formation. *Primates*, 1995, **36**(1): 41 ~ 56.
- [ 4 ] Bernstein I S, Judge P G, Ruehlmann T E. Sex differences in adolescent rhesus monkey (*Macaca mulatta*). *Am J Primatology*, 2005, **31**(3): 197 ~ 210.
- [ 5 ] Gould L. Intermale affiliative behavior in ring-tailed lemurs (*Lemur catta*) at the Beza-Mahafaly reserve, Madagascar. *Primates*, 1997, **38**(1): 15 ~ 30.
- [ 6 ] Ratnayake S. The behavior of postreproductive females in a wild population of toque macaques (*Macaca sinica*) in Sri Lanka. *Int J Primatology*, 1994, **15**(3): 445 ~ 469.
- [ 7 ] Idani G. Function of peering behavior among bonobos (*Pan paniscus*) at Wamba, Zaire. *Primates*, 1995, **36**(3): 377 ~ 383.
- [ 8 ] Ogawa H. Bridging behavior and other affiliative interactions among male Tibetan macaca (*Macaca thibetana*). *Int J Primatology*, 1995, **16**(5): 707 ~ 729.
- [ 9 ] Maestriperi D, Wallen K. Affinitive and submissive communication in rhesus macaques. *Primates*, 1997, **38**(2): 127 ~ 138.
- [ 10 ] Petit O, Thierry B. Affiliative function of the silent bared-teeth display in moor macaques (*Macaca mauris*): Further evidence for the particular status of sulawesi macaques. *Int J Primatol*, 1992, **13**(1): 97 ~ 105.
- [ 11 ] 李保国,张鹏,渡边邦夫等.川金丝猴的相互理毛行为是否具有卫生功能.动物学报,2002,**48**(6):707 ~ 715.
- [ 12 ] Boccia M L. A functional analysis of social grooming patterns through direct comparison with self-grooming in rhesus monkeys. *Int J Primatol*, 1983, **6**: 399 ~ 418.
- [ 13 ] Chiarello A G. Grooming in brown howler monkeys, *Alouatta fusca*. *Am J Primatol*, 1995, **37**: 73 ~ 81.
- [ 14 ] 李宏群,张育辉,李保国.非人灵长类社会等级现象的研究进展.兽类学报,2004,**24**(1):53 ~ 60.
- [ 15 ] Baldwin J D, Baldwin J I. The role of play in social organization: Comparative observations on squirrel monkeys (*Saimir sciureus*). *Primates*, 1973, **14**(4): 369 ~ 381.
- [ 16 ] Palagi E, Paoli T, Tarli S B. Short-term benefits of play behavior and conflict prevention in *Pan paniscus*. *Int J Primatol*, 2006, **27**(5): 1 257 ~ 1 270.
- [ 17 ] 任仁眉,严康慧,苏彦捷等编著.金丝猴的社会——野外研究.北京:北京大学出版社,2000,24 ~ 127.
- [ 18 ] 全国强,谢家骅编著.金丝猴研究.上海:上海科技教育出版社,2002,89 ~ 152.
- [ 19 ] 严康慧,苏彦捷,任仁眉.川金丝猴社会行为节目及其动作模式.兽类学报,2006,**26**(2):129 ~ 135.
- [ 20 ] 朱兆泉,宋朝枢编著.神农架自然保护区科学考察集.

- 北京:中国林业出版社,1999,87~90.
- [21] Altmann J. Observational study of behavior: sampling methods. *Behav*, 1974, **49**: 227~265.
- [22] 任宝平,夏述忠,李庆芬等. 非人灵长类的同性爬跨行为. *动物学杂志*, 2002, **37**(4): 95~101.
- [23] 吕九全,赵大鹏,李保国. 野生川金丝猴一个全雄青年猴群的同性爬背行为. *兽类学报*, 2007, **27**(1): 14~17.
- [24] Claud A B, Anthony M C J R. Age changes in affiliative behaviors of baboons. *Am J Primatol*, 2005, **9**(4): 259~271.
- [25] Fitts S S. Behavioral stereotypy in old and young rhesus monkeys. *Primates*, 1982, **23**(3): 406~415.
- [26] Matsumura S. Intergroup affiliative interactions and intergroup transfer of young male Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *Primates*, 1993, **34**(1): 1~10.

## 江苏连云港海域发现黄嘴潜鸟

黄嘴潜鸟 (*Gavia adamsii*) 为潜鸟中体型最大、种群数量最少的一种。黄嘴潜鸟成体体长大于 80 cm, 颈粗, 嘴微上扬, 上颌中线浅色, 头比上体色浅, 两胁缺少白色斑块, 初级飞羽羽轴白色。繁殖于北极地区, 越冬时南迁至约北纬 50 至 30 的沿海水域 (North M R, 1993; 郑光美, 2005)。目前, 全球黄嘴潜鸟种群数量不足 16 000 只 (Earnst S L, *et al.*, 2005)。黄嘴潜鸟在我国原始记录见于辽东半岛的柳树屯、福建的福安 (郑光美, 2005), 迷鸟也曾发现于四川 (阙品甲等, 2006) 以及香港 (岑思敏, 2008), 江苏省还未有记录。

2009 年 2 月 28 日, 我们在江苏省连云港市车牛山岛附近 (N34°59.772' E119°49.258') 进行海上鸟类调查, 先后发现黄嘴潜鸟 2 只。第一只为黄嘴潜鸟成体, 体型较大, 发现于约 13:00 时, 观测距离最近时不足 10 m, 有多人同时进行视频及照片记录。观测时该个体潜入水下数次, 每次 2 min 左右, 后拍打翅膀双蹼踏水至两百米外 (图 1, 韦晔摄)。第二只发现于约 15:00 时, 为一只黄嘴潜鸟与几只黑喉潜鸟的混合群, 虽然观察距离较远, 但因为体型差异显著, 也可确认为黄嘴潜鸟。



图 1 黄嘴潜鸟

通过此次观察, 我们认为连云港海域可能为黄嘴潜鸟太平洋东部的越冬地之一。

封 璨 李忠秋\* 李 靖 章 麟 袁 屏

( 南京大学生命科学学院 南京 210093; 江苏野鸟会 南京 210018)

基金项目 江苏省湿地资源调查项目, 国家自然科学基金项目 (No. J0730641);

\*通讯作者, E-mail: lizq0314@gmail.com。