

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

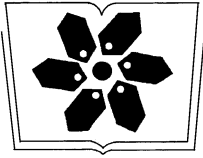
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期  
Vol.31 No.5  
**2011**



中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第31卷第5期 2011年3月 (半月刊)

## 目次

盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布·····	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化·····	杨娜,杨波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征·····	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测·····	罗翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释·····	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性·····	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009年浙江省不同土地类型上空对流层NO <sub>2</sub> 变化特征·····	程苗苗,江洪,陈健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比·····	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应·····	谢冬明,郑鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响·····	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响·····	耿健,崔楠楠,张杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响·····	马忠明,杜少平,薛亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响·····	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征·····	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系·····	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落Beta多样性的纬度梯度性·····	陈圣宾,欧阳志云,郑华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响·····	李强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用·····	潘声旺,魏世强,袁馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系·····	刘凌,陈斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为·····	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态·····	马玲,顾伟,丁新华,等 (1371)
浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析·····	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异·····	周冰峰,朱翔杰,李月 (1387)
双壳纲贝类18S rRNA基因序列变异及系统发生·····	孟学平,申欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究·····	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化·····	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例·····	王丹,陈爽,高群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例·····	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响·····	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)
<b>专论与综述</b>	
C <sub>4</sub> 作物FACE(free-air CO <sub>2</sub> enrichment)研究进展·····	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
<b>研究简报</b>	
石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响·····	李志勇,王彦辉,于澎湃,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的AFM观察·····	石辉,王会霞,李秧秧,刘肖 (1471)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 284 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 32 \* 2011-03

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes ..... YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* ..... YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ..... ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model ..... LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China ..... WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals ..... LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO<sub>2</sub> column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 ..... CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain ..... FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands ..... XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsis* plantation, Rainy Area of West China ..... TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees ..... GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land ..... MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seeding ..... ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit ..... LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America ..... CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water ..... LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil ..... PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards ..... LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China ..... YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland ..... MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil ..... DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ..... ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class ..... MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* ..... LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China ..... HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City ..... WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring ..... CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects ..... DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

**Review and Monograph**

Progresses of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) researches on C<sub>4</sub> crops: a review ..... WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

**Scientific Note**

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China ..... LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) ..... SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

## 黄山短尾猴食土行为

尹华宝\*, 韩德民, 谢继峰, 张春润, 尤硕愚

(安徽大学生命科学学院, 合肥 230039)

**摘要:**从行为生态学角度,依据黄山短尾猴食土行为在年龄、性别、社会等级序位、食土量、食土频率、食土持续时间中的分布和变化规律,结合土壤基本理化性质测定和分析,探讨了黄山短尾猴食土行为。黄山短尾猴对土壤的摄取是寻找和有目的的选择,有些场所是其“喜好”或“常去之处”,食土场所通常是以多个体多次取食挖掘而形成的洞穴形式存在。取食土壤颜色黄色或黄棕色,酸性土壤,富含铁、钙、镁等矿物元素,粘土比例较高。社群各年龄段及性别个体均参与食土行为。平均食土行为持续时间在年龄和性别之间无显著差异;平均食土频率和食土量在成年雌性或雄性个体的社会等级序位之间无显著性差异;而成年雌性的平均食土频率和食土量,显著高于其它年龄或性别组,与雌性正值怀孕末期及产仔哺乳期,需要补充大量铁等矿物元素,以维持生理所需和体力消耗有关。典型的植食性动物黄山短尾猴有规律地取食粘土的行为,支持了食土行为具有“食物解毒作用”假说。人工投喂和食土行为的相关性表现为提高了食土频率,可能与粘土能够缓解高热量、低纤维人工食物造成的胃肠不适有关。

**关键词:**黄山短尾猴;食土行为;土壤;灵长类;行为生态学

### Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China

YIN Huabao\*, HAN Demin, XIE Jifeng, ZHANG Chunrun, YOU Shuoyu

School of Life Science, Anhui University, Hefei 230039, China

**Abstract:** Geophagy, or soil ingestion, is the deliberate act of eating soil. This behavior is a widespread practice in the animal world, particularly among generalist herbivores and primates. Primates consume a wide and complex variety of food items that vary temporally and spatially. Mature leaves, flowers, leaf buds, fruits, seeds and invertebrates constitute the bulk of potential food items. The close link between geophagy and primates suggests a need to ingest soil. Various nonexclusive principal functions have been advanced to explain geophagic behaviors, the main ones being: taste enhancement, detoxification of noxious or unpalatable compounds present in plant foods, supplementation of mineral nutrients, alleviation of gastrointestinal upsets such as diarrhea, counteraction of the effects of endoparasites and reduction of excess acidity in the digestive tract. So far no studies on the possible adaptive significance and ecological consequences of geophagy in primates have been published in China. In this paper we report 207 incidences of geophagy observed among provisioned Thibetana macaques (*Macaca thibetana*) at Mt. Huangshan, China. The group consisted of 19 animals that were routinely provisioned (four times a day) with cereal corn that supplemented their natural food sources. We gathered data on the identities, ages and sexes of participants as well as the frequency, amounts, duration of geophagy. Soil samples (uneaten and eaten) were analysed for the following chemical and physical properties: soil color, pH, water content, mineral elements. The purpose of the study is to describe the behavior of geophagy and its implications for provisioned species. The results show that soil is sought and purposefully selected, and that some sites are preferred and have been mined by many individuals for a long time. Soils that the monkeys choose are yellow or yellow-brown, weakly acid, with an abundant amount of clay, and are richer in certain mineral elements, especially iron, calcium and magnesium than uneaten soil. Organic-rich soil appears not to be eaten by the monkeys engaging in geophagy. All age groups and both sexes

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30870310)

收稿日期:2010-06-07; 修订日期:2011-01-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hbyin888@163.com

consume soil, but adults as a group are more inclined to geophagy than the other age groups. Mean duration of geophagy does not differ significantly with age or sex. Mean frequencies and amounts of geophagy do not differ significantly by social rank for either males or females. Adult females are the most frequent consumers of soil. Mineral supplementation during pregnancy and lactation may be important as a stimulus to geophagy behavior of adult females. This study supports the food detoxification hypothesis that the soils consumed regularly by Tibetan macaques feeding on a variety of plant species help to absorb the toxic constituents therein. Monkeys showed a decided preference for geophagy especially when they were heavily provisioned. It is possible that Tibetan macaques ingest clay to alleviate gastric upsets made by high energy, low fiber human foods. Tibetan macaques may indulge in geophagy for one or a combination of reasons. Therefore future research requires interdisciplinary efforts among soil, plant and animal sciences, focusing on the roles of geophagy vis a vis primate nutrient requirements, parasitology, feeding ecology, phytochemistry, soil microbiology, mineralogy of soil, and effects on the bioactivity of consumed plants.

**Key Words:** *Macaca Thibetana*; geophagy; soil; primate; behavioral ecology

动物的食土行为是指动物对土壤有选择的摄取<sup>[1]</sup>。食土行为较普遍存在于食性泛化的植食性脊椎动物及灵长类动物中<sup>[2]</sup>。已报道的具食土行为的动物物种有:非洲象(*Loxodonta africana*)、非洲野牛(*Synceros caffer*)、黑尾鹿(*Odocoileus hemionus*)、南美貘(*Tapirus terrestris*)及短角鹿(*Mozama* sp.)。在鸟类及爬行类动物中的食土行为也见有报道<sup>[3-8]</sup>。

在灵长类动物方面,已知现存的 185 种灵长类动物中,有 39 种被报道有食土行为,包括野生和圈养状态下<sup>[9]</sup>。在这 39 种灵长类动物中,12 种类人猿(Apes)中的 3 种、36 种原猴亚目(Prosimians)中的 7 种、64 种新大陆猴(New World Monkey)中的 10 种及 73 种旧大陆猴(Old World Monkey)中的 19 种,其中 49 种猴科(Cercopithecidae)中的 11 种灵长类动物被报道存在食土行为<sup>[1]</sup>。

植食性脊椎动物和灵长类的食谱组成主要包括植物的叶、叶芽、枝条、种子、果实和花等。植物体中含有的多种次生性代谢产物,以及某些矿物元素的低含量,对于植食性动物来说,均会产生一定的毒性和不适。目前尚无报道证实在严格的食肉动物中存在食土行为<sup>[10]</sup>。对于植食性动物食土行为的功能性解释,目前存在以下非结论性的假说:矿物元素补充、有毒物质吸附、抗腹泻作用、抗体内寄生虫感染及肠胃 pH 调节<sup>[1]</sup>。

到目前为止,有关动物食土行为及其适应机制,尤其是灵长类食土行为,国内尚缺乏系统研究。栖息在黄山地区的短尾猴的食谱,随时空变化而改变,总括来看,主要包括植物的叶、枝条、花、种子、果实等。研究对象鱼鳞坑群(Group YA1),当地为发展旅游观光,实施人工强化管理,限制栖息地范围,每日 4 次人工投喂食物(主要是玉米,少量的花生和苹果)以及游客的人工食品的投喂。从 20 世纪 80 年代至今,在对黄山短尾猴连续 20 多年的野外观察研究中,一直观察到短尾猴存在食土行为。

本文依据黄山短尾猴食土行为在年龄、性别、社会等级序位、食土量、食土频率、食土持续时间中的分布和变化规律,以及土壤基本理化性质,对黄山短尾猴食土行为进行了探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地点

本研究于 2004 年,在黄山风景区浮溪村野生猴谷(30°29'N, 118°10'E;海拔高度 600—1200m)进行。研究地处于中纬度亚热带地区,地带性植被为常绿阔叶林,林相郁闭,层次清晰,其中建群种多以苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、棉槠(*Lithocarpus henryi*)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)和小叶青冈(*Cyclobalanopsis gracilis*)为主。常绿种类的小乔木和灌木,如豹皮樟(*Litsea coreana* var. *sinensis*)、树参(*Dendropanax dentiger*)、连蕊茶(*Camellia fraterna*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)、紫楠(*Phoebe sheareri*)等;以及人工种植的茶园、竹林、杉木林及少量的农作物耕地。

研究地土壤属亚热带北缘的黄壤带分类系统,为千枚状砂岩、千枚岩等变质岩类发育的土壤。猴群分

布区,从山下由山地黄壤逐步过渡到黄红壤,到山上则过渡到棕壤。而在植被破坏严重地带,如人工竹林、茶园地和耕地则为侵蚀性黄红土。

## 1.2 研究对象

研究对象为黄山短尾猴鱼鳞坑 A1 群,种群数量为 19 只,其中,成年猴 9 只(4♂,5♀)、少年猴 5 只(4♂,1♀)及婴幼儿猴 5 只(2♂,3♀)。

## 1.3 行为取样记录方法

选择“全事件取样连续记录方法”<sup>[11]</sup>,记录黄山短尾猴食土行为的发生频率、行为发生时间、行为持续时间、行为个体的年龄及性别、食土量和食土场所。共获得 215 例食土行为数据,其中有效数据为 207 例。

食土行为持续时间为个体取食土壤开始至结束咀嚼土壤,并离开食土点转而参与其它行为,以秒(s)为单位;平均食土频率的计算方法:我们能够识别已命名的成年雌雄个体,可得每一个成年雌雄个体平均每天食土频率。方法是:把每天每个个体发生食土行为的次数除以每天的总取样个体数,求和,再除以总取样天数<sup>[11]</sup>。婴幼儿猴及少年猴较难于识别,数据处理方法是:以每天食土次数除以总婴幼儿猴(或少年猴)个体数,求和,再除以总取样天数,单位是:平均食土次数/(个体·d);平均食土量的确定:短尾猴取食土壤时,以“球状”或“块状”形式摄取。为估计土壤球(块)的平均直径,以距离食土处 $\geq 10\text{m}$ 处 3 个点,多次观察训练,并在观察期间,建立统一的估计标准<sup>[12]</sup>。并采集相似尺寸的土壤球(块),烘干至恒重(105℃,6—8h),得平均每土壤球(块)的干重(g)。

## 1.4 土壤样品采集及基本性质分析

被食土壤样品是动物个体取食处的土壤,土壤取食点可见明显的抓取痕迹,有些点为多个体多次取食挖掘形成的洞穴形式,均为土壤垂直剖面的 B 层;非被食土壤为取食点中心处向上 20cm 处,土壤垂直剖面的 A 层。使用不锈钢小铲采集被食土壤与非被食土壤样品,每份 500g,风干保存,以备后期土壤理化性质分析<sup>[13]</sup>。

土壤颜色以风干土壤样品依据芒塞尔标准土壤色卡,在漫射日光下比色描述<sup>[14]</sup>。土壤含水率以烘干法测定;土壤 pH 值以电位法测定;土壤矿物元素含量采用原子吸收分光光度法测定<sup>[15]</sup>。

## 1.5 数据处理

应用 SPSS 13.0 软件对数据进行分析,数据统计值以  $\bar{X} \pm \text{SE}(\text{mean} \pm \text{SE})$  表示。

经正态性检验(Kolomogorov-Smirnov Test),土壤含水量、pH 值及矿物元素含量数据为正态分布,这类数据在取食与非被取食土壤样品之间差异性分析,采用独立样本 *t* 检验显著性水平  $\alpha=0.05$ 。

食土行为数据(组),均为非正态分布,采用 Wilcoxon 非参数秩和检验(统计量为“Z”,双侧检验,显著性水  $\alpha=0.05$ )。

## 2 结果

### 2.1 食土场所与土壤颜色

在研究区域,共调查了 11 个食土场所,平均海拔高度为 610m,其中有 8 个食土点是由许多个体多次挖掘而逐渐形成的洞穴,洞穴深度是沿略平行于地面而深入的,最大洞穴口宽 125cm、高 12cm、平行地面深度 10cm。其余为森林里土壤断面,裸露土壤,呈现较不明显的浅洞穴状。

食土点土壤断面分层较明显,11 个调查点食土层土壤厚度 8—12cm,均为土壤垂直剖面的 B 层,植物根须较少。食土层上覆盖暗褐色质地较松软的富含有机质的土壤层,为非取食土壤层,为土壤垂直剖面的 A 层,厚度约 10—22cm,含有较多植物根须和枯枝落叶。食土层下层是含较多碎石土壤层。

所有被取食土壤颜色以偏黄色或黄棕色为主,少有暗黄棕色(5YR 5/4,5/6,5/8;10YR5/8)。非被取食(对照组)土壤颜色以黑棕色或深棕色为主(10YR3/3,5/2;7.5YR 3/3,5/3)。

### 2.2 土壤 pH 值和含水率

取食土壤与非取食土壤的 pH 值均呈酸性(表 1)。经独立样本 *t* 检验,取食土壤与非取食土壤 pH 值差异显著( $t=3.577$ , $df=18$ , $P=0.002<0.05$ ),取食土壤组 pH 值均 $>5.0$ ;非取食土壤组 pH 值 7 个样品 $<5.0$ 。



土壤含水率(表1)在取食土壤与非取食土壤之间无显著性差异( $t = -1.634, df = 17, P = 0.121 > 0.05$ )。取食土壤组有2个样品含水率 $>15%$ ;而非取食土壤组有8个样品含水率 $>15%$ 。

表1 取食与非取食土壤中的pH值和含水率

Table 1 pH and water content of eaten soil and control soil

样品 Sample	酸碱度 pH		含水率 Water content/%	
	平均值 Mean±SE	幅距 Range	平均值 Mean±SE	幅距 Range
取食组 Eaten	5.37±0.12	5.02—6.44	15.34±1.35	9.93—22.76
非取食组 Control	4.79±0.09	4.19—5.16	18.74±1.60	9.32—25.23

### 2.3 土壤矿物元素

表2是取食土壤与非取食土壤样品中8种矿物元素含量。其中,取食土壤中铁元素含量较高,与非取食土壤相比,呈极显著差异( $P < 0.01$ );钙和镁含量也高于非取食土壤,呈显著性差异( $P < 0.05$ )。

表2 取食与非取食土壤中矿物元素含量(mg/kg)

Table 2 Mineral elements among samples of eaten soil and control soil

矿物元素 Mineral elements	非取食土壤 Uneaten soil		取食土壤 Eaten soil		<i>t</i>
	平均值 Mean±SE	幅距 Range	平均值 Mean±SE	幅距 Range	
钾 K	1109.50±57.50	1032.00—1167.00	1262.50±42.07	1159.00—1364.00	ns
钠 Na	124.01±12.20	118.00—136.00	169.00±17.61	143.00—221.00	ns
钙 Ca	44.15±0.95	43.20—48.90	105.40±30.67	59.30—164.00	*
镁 Mg	1921.50±39.50	1882.00—1961.00	2520.75±125.36	2305.00—2771.00	*
铁 Fe	16031.00±800.50	15231.00—16823.00	21351.25±706.45	19318.00—22149.00	**
铜 Cu	9.15±0.95	8.20—9.66	8.92±0.65	7.41—10.60	ns
锌 Zn	56.40±0.90	55.20—57.30	73.43±5.42	62.10—86.30	ns
锰 Mn	6.56±0.10	5.90—6.46	9.49±1.16	7.01—12.20	ns

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; ns: 无显著差异( $P > 0.05$ )

### 2.4 日食土行为发生时间段

把每天的食土时间段分成两组,以每小时为基本单位:09:00—13:00和13:00—17:00(图1)。

所有207个食土行为事件中,37.2%发生在上午,62.8%发生在下午,两者差异显著( $\chi^2 = 8.904, df = 3, P = 0.031 < 0.05$ )。食土行为更倾向于发生在13:00以后,但10:00—11:00也有一个较高频率(21.7%)的食土行为发生。此时间段正值人工投喂玉米之后。

管理人员人工投喂玉米是为限制猴群活动范围,吸引游客。上午和下午均有投喂。从总的野外行为观察数据分析,高频率(69.48%)食土行为发生的时间段是在人工投喂玉米后。

### 2.5 平均食土频率

207例食土行为数据中,猴群中每个年龄段的个体均参与了食土行为。表3是平均食土频率在年龄与性别中分布。

由于成年猴与未成年猴的平均食土频率计算方法不同,未对其进行差异检验。而对成年雌性与雄性组之间,进行了差异显著性检验,检验结果显示,两组之间呈极显著性差异( $Z = -2.840, P = 0.005 < 0.01$ ),成年雌性平均食土频率高于成年雄性。

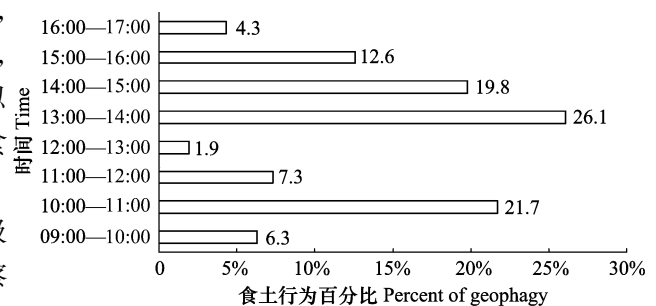


图1 黄山短尾猴食土行为日分布(数字为百分比)( $N = 207$ )

Fig.1 Diurnal distribution of geophagic events. Data is expressed as the percent of observations during each daily period (100%) ( $N = 207$ )

## 2.6 平均食土持续时间

野外记录的 207 例食土行为数据中, 198 例记录了食土行为持续时间。黄山短尾猴食土行为平均持续时间为  $53.50 \pm 2.89$  (SE), 其中, 大部分 (79.29%) 是在 1min 左右, 其余为 1—2min, 极少数超过 4min。表 4 是平均食土行为持续时间在猴群中各年龄段及性别中的分布。

经非参数秩和检验, 食土行为平均持续时间在成年雌性与雄性组 ( $Z = -1.429, P = 0.153 > 0.05, n_3 = 68, n_4 = 37$ )、未成年 (婴幼儿猴与少年猴) 与成年 (成年雌雄) 组 ( $Z = -0.303, P = 0.762 > 0.05, n_5 = 93, n_6 = 105$ ) 中, 均无显著性差异。

表 4 平均食土行为持续时间在年龄及性别中的分布

Table 4 Mean duration of geophagy among age and sex

年龄及性别 Age and sex	平均食土持续时间/s Mean duration (Mean±SE)	幅距 Range	样本数/个 Sample size
婴幼儿猴 Infant	58.86±7.83	13—195	$n_1 = 36$
少年猴 Juvenile	55.28±6.69	11—240	$n_2 = 57$
成年雌性 Adult female	54.99±4.26	17—165	$n_3 = 68$
成年雄性 Adult male	42.81±3.62	14—97	$n_4 = 37$
未成年组 Group of immature	56.67±5.07	11—240	$n_5 = 93$
成年组 Group of adult	50.70±3.08	14—165	$n_6 = 105$

## 2.7 平均食土量

207 例食土行为数据中, 平均食土量 (g) 为  $1.28 \pm 0.93$  (SE), 其中, 食土量 > 1g 的占 40.10%。表 5 是平均食土量在年龄和性别中的分布。

表 5 平均食土量在年龄和性别中的分布

Table 5 Mean amount of geophagy among age and sex

年龄和性别 Age and sex	平均食土量/g Mean amount (mean±SE)	幅距 Range	样本数 Sample size ( $n_i$ )
婴幼儿猴 Infant	0.70±0.11	0.31—3.72	$n_1 = 41$
少年猴 Juvenile	1.04±0.12	0.33—4.34	$n_2 = 56$
成年雌性 Adult female	1.81±0.23	0.31—9.92	$n_3 = 70$
成年雄性 Adult male	1.49±0.21	0.31—6.20	$n_4 = 40$
未成年组 Group of immature	0.90±0.08	0.31—4.34	$n_5 = 97$
成年组 Group of adult	1.61±0.15	0.31—9.92	$n_6 = 110$

经非参数秩和检验, 平均食土量在成年雌性组与成年雄性组 ( $Z = -2.426, P = 0.015 < 0.05, n_3 = 70, n_4 = 40$ )、未成年组与成年组 ( $Z = -4.152, P = 0.000 < 0.05, n_5 = 97, n_6 = 110$ ) 之间, 均存在显著性差异。成年雌性个体平均食土量高于成年雄性个体; 成年个体平均食土量高于未成年个体。

## 2.8 平均食土频率和食土量与社会等级序位关系

社会等级序位对灵长类社群结构和社会行为的调节起着重要的作用。分别检验了平均食土频率及食土量在成年雌雄个体社会等级序位之间的差异, 统计结果显示, 均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。其中, 食土频率与序位关系统计值: 雄性 ( $\chi^2 = 3.641, df = 3, P = 0.303 > 0.05$ ); 雌性 ( $\chi^2 = 5.910, df = 4, P = 0.206 > 0.05$ )。食土量与序位关系统计值: 雄性 ( $\chi^2 = 1.898, df = 3, P = 0.594 > 0.05$ ); 雌性 ( $\chi^2 = 8.870, df = 4, P = 0.064 > 0.05$ )。



### 3 讨论

食土行为是指动物对土壤有选择的摄取,这一现象较普遍存在于植食性脊椎动物和灵长类动物中<sup>[1]</sup>。对动物食土行为的研究涉及 3 个方面的科学问题:①动物选择什么类型的土壤?②动物取食土壤的行为学特征③食土行为的目的(即食土行为的适应机制)?

本研究结果显示,黄山短尾猴选择特定的富含粘土的土壤。对土壤是寻找和有目的地选择,有些场所是其“喜好”或“常去之处”;大多数食土点以洞穴形式存在,是由多个体多次取食挖掘土壤而形成的,经常是突然中断某行为而径直走向食土点取食土壤。野外研究中,多次观察到,短尾猴直接取食人类翻耕林地而裸露的黄棕色粘土,通过视觉和嗅觉,似乎知道需要选择特定类型的土壤。这与台湾猕猴(*Macaca cyclopis*)<sup>[16]</sup>、日本猕猴(*Macaca fuscata*)<sup>[12]</sup>、帽猴(*Macaca radiata*)<sup>[14]</sup>、香港九龙地区的杂交猕猴(Hybrid Macaque)<sup>[17-18]</sup>相类似。野外食土行为学数据统计显示,黄山短尾猴食土行为是有规律地、经常性的发生,并非个别个体的偶然行为,种群中各年龄和性别组的个体均参与食土行为。种群社会结构和社会行为不影响食土行为。

大多数灵长类动物,包括人类在内,倾向于选择富含粘土的土壤。在西非大部分地区,当地人一直食用高岭土,作为食物的补给品及缓解胃肠不适<sup>[2]</sup>。粘土能够吸附植物中有毒物质的假说,一直得到众多学者的支持<sup>[12]</sup>。一般地,土壤的食物解毒作用假说,需要满足 3 个基本条件:①被取食土壤富含粘土;②动物的食土行为是有规律地、经常性的;③动物的食物含有毒的次生性代谢产物,如生物碱、丹宁类物质。典型的植食性动物黄山短尾猴<sup>[19]</sup>有规律地取食粘土的行为,支持了该假说。

人工投食与强化管理,提高了动物食土行为的发生频率。Knezevic 报道,栖息在 Cayo Santiago 国家公园的恒河猴(*Macaca mulatta*)食土行为的 64% 发生在人工投食后<sup>[20]</sup>;日本猕猴(66%—73%)<sup>[12]</sup>及香港九龙地区的杂交猕猴(62%)<sup>[17-18]</sup>也有类似的报道。本研究的黄山短尾猴高频率的食土行为发生(69.48%)的时间段也主要集中在人工投食后。黄山短尾猴摄取人工投喂(包括游客投喂)的高热量、低纤维食物,更易遭受胃肠不适。因此,高比例的食土行为发生在人工投食后,可能与粘土,尤其是其中的高岭土、蒙脱石成份能够缓解胃肠不适和抗腹泻作用有关。

矿物元素补充一直被研究灵长类食土行为的学者所关注,矿物元素对动物的生长发育起着重要的作用,尤其对处于病弱、怀孕、哺乳期间的个体<sup>[1]</sup>。黄山短尾猴成年雌性个体较高频率地取食较多量土壤的原因,可能与研究期间(2—5 月)雌性正值怀孕末期及产仔哺乳期,需要补充大量铁等矿物元素,以维持生理所需和体力消耗有关。这一现象在台湾猕猴<sup>[16]</sup>以及非洲许多部落中怀孕妇女食用高岭土<sup>[21]</sup>的调查中有报道。

本文从行为生态学和土壤基本理化性质分析的角度,初步探讨了黄山短尾猴的食土行为。然而,有关黄山短尾猴食土行为适应机制的解释,仍然保留许多未知,可能是一种因素或几种因素综合起作用。因此,未来的研究需要进一步结合动物、植物及土壤 3 方面,内容涉及灵长类营养学、寄生虫学、觅食行为生态学与人工投食,以及土壤微生物学、土壤次级矿物成份分析<sup>[22-23]</sup>、土壤对植物次生性代谢产物吸附作用<sup>[24]</sup>和土壤对植物体某些有效成分激活<sup>[25]</sup>等方面,才能获得更加合理的解释。同时,也为野生濒危物种保护以及揭示人类食土行为机制,提供重要的参考价值。

**致谢:**美国纽约州立大学布法罗分校人类学系 Carol. M. B 教授对本文英文摘要的修改润色及提供部分文献;杜克大学人类学系 Glander. K. E. 教授提供部分文献;黄山风景区野生猴谷中心谢杰、汪日光等在野外调查期间给予帮助,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Krishnamani R, Mahaney W C. Geophagy among primates: adaptive significance and ecological consequences. *Animal Behaviour*, 2000, 59(5): 899-915.
- [ 2 ] Johns T, Duquette M. Detoxification and mineral supplementation as functions of geophagy. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1991, 53(2): 448-456.
- [ 3 ] Klaus G, Klaus-Hügi C, Schmid B. Geophagy by large mammals at natural licks in the rain forest of the Dzanga National Park, Central African

- Republic. *Journal of Tropical Ecology*, 1998, 14(6):829-839.
- [ 4 ] Mloszewski M J. The behaviour and ecology of the African buffalo. Cambridge: Cambridge University Press, 1983: 16-18.
- [ 5 ] Arthur W J, Alldredge A W. Soil ingestion by mule deer in Northcentral Colorado. *Journal of Range Management*, 1979, 32(1): 67-71.
- [ 6 ] Izawa K. Soil-eating by *Alouatta* and *Ateles*. *International Journal of Primatology*, 1993, 14(2):229-242.
- [ 7 ] Gilardi J D, Duffey S S, Munn C A, Tell L A. Biochemical functions of geophagy in parrots: detoxification of dietary toxins and cytoprotective effects. *Journal of Chemical Ecology*, 1999, 25(4):897-922.
- [ 8 ] Kreulen D A. Lick use by large herbivores: a review of benefits and banes of soil consumption. *Mammal Review*, 1985, 15(3):107-123.
- [ 9 ] Martin R D. Primate origins and evolution: a phylogenetic reconstruction. Princeton: New Jersey: Princeton University Press, 1990: 220-221.
- [ 10 ] Moe S R. Mineral content and wildlife use of soil licks in South-western Nepal. *Canadian Journal of Zoology*, 1993, 71(5): 933-936.
- [ 11 ] Altmann J. Observational study of behaviour: Sampling methods. *Behaviour*, 1974, 49(3):227-267.
- [ 12 ] Wakibara J V, Huffman M A, Wink M, Reich S, Aufreiter S, Hancock R G V, Sodhi R, Mahaney W C, Russel S. The adaptive significance of geophagy for Japanese Macaques (*Macaca fuscata*) at Arashiyama, Japan. *International Journal of Primatology*, 2001, 22(3):495-520.
- [ 13 ] Mahaney W C, Krishnamani R. Understanding geophagy in animals: standard procedures for sampling soils. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29(7):1503-1523.
- [ 14 ] Voros J, Mahaney W C, Milner M W, Krishnamani R, Aufreiter S, Hancock R G V. Geophagy by the Bonnet Macaques (*Macaca radiata*) of Southern India: a preliminary analysis. *Primates*, 2001, 42(4):327-344.
- [ 15 ] Bao S D. *Agricultural Chemical Analysis of Soil*. Beijing: China Agriculture Press, 2005:128-237.
- [ 16 ] Hsu M J, Agoramoorthy G, Lin J F. Geophagy amongst Formosan Macaques at Mount Longevity, Taiwan. *Folia Primatology*, 2001, 72(6): 339-341.
- [ 17 ] Bolton K A, Campbell V M, Burton F D. Chemical analysis of soils of Kowloon (Hong Kong) eaten by Hybrid Macaques. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, 24(2): 195-205.
- [ 18 ] Burton F D, Bolton K, Campbell V. Soil-eating behavior of the Hybrid Macaque of Kowloon. *Nahson Bulletin (Natural History Society of Nepal)*, 1999, 9(1):14-20.
- [ 19 ] Berman C M, Ogawa H, Ionica C, Yin H B, Li J H. Variation in kin bias over time in a group of Tibetan macaques at Huangshan, China: contest competition, time constraints or risk response?. *Behaviour*, 2008, 145(7): 863-896.
- [ 20 ] Kenzевич M. Geophagy as a therapeutic mediator of endoparasitism in a free ranging group of Rhesus Macaques (*Macaca mulata*). *American Journal of Primatology*, 1998, 44(1):71-82
- [ 21 ] Wiley A S, Katz S H. Geophagy in pregnancy: a test of a hypothesis. *Current Anthropology*, 1998, 39(4): 532-545.
- [ 22 ] Rode K D, Chapman C A, Chapman L J, McDowell L R. Mineral resource availability and consumption by Colobus in Kibale National Park, Uganda. *International Journal of Primatology*, 2003, 24(3): 541-573.
- [ 23 ] Wilson M J. Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29(7): 1525-1547.
- [ 24 ] Glander K E. The impact of plant secondary compounds on primate feeding behavior. *YearBook of Physical Anthropology*, 1982, 25(1): 1-18.
- [ 25 ] Klein N, Fröhlich F, Krief S. Geophagy: soil consumption enhances the bioactivities of plant eaten by chimpanzees. *Naturwissenschaften*, 2008, 95(4): 325-331.

#### 参考文献:

- [ 15 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2005: 128-237.

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

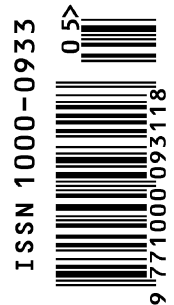
第 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 5 2011

<b>编 辑</b>	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	<b>Edited by</b>	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
<b>主 编</b>	冯宗炜	<b>Editor-in-chief</b>	FENG Zong-Wei
<b>主 管</b>	中国科学技术协会	<b>Supervised by</b>	China Association for Science and Technology
<b>主 办</b>	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	<b>Sponsored by</b>	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
<b>出 版</b>	科 学 出 版 社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	<b>Published by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
<b>印 刷</b>	北京北林印刷厂	<b>Printed by</b>	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
<b>发 行</b>	科 学 出 版 社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@cspg.net	<b>Distributed by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@cspg.net
<b>订 购</b>	全国各地邮局	<b>Domestic</b>	All Local Post Offices in China
<b>国外发行</b>	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	<b>Foreign</b>	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
<b>广告经营 许可证</b>	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元