

中国国家地理

| 主打 |

珠联璧合

摄影家拍贡嘎，一拍30年
地学家读贡嘎，详解四面

华西雨屏：雨雾之下“国宝”多
林盘：成都平原的聚落为何“一撮一撮”的？
电力分布的“胡线”要变：沿海风电崛起

微藻爆发：南极的喜与忧
植物学者体验蜂和猫的世界：红花一点儿也不红
植物下起种子“雨”：让动物无法“光盘”
生蚝很地理：味道里藏着海的地域性

ISSN 1009-6337



9 771009 633209

礼，天地之序也
君子执礼而行
而与万物共生



即刻扫描
了解更多





即刻扫描
了解更多

礼遇天地 全新梅赛德斯-迈巴赫 GLS SUV

MAYBACH



至君子，礼是胸襟
因包容而宽广
因谦和而博达



即刻扫描
了解更多

全新梅赛德斯-迈巴赫GLS SUV

前后排多仿形座椅，配备畅心醒神功能，
屈指间，于全方位感官愉悦中境界超然。

鉴岁月，礼是秩序
心怀敬畏如初
所以洞见不朽



即刻扫描
了解更多



全新梅赛德斯-迈巴赫GLS SUV

专属迈巴赫模式，及智能魔术车身控制系统，
带来内蕴外达的从容体验。



《中国国家地理》杂志·月刊·1950年1月创刊·每月7日出版
国际标准刊号 / ISSN 1009-6337 国内统一刊号 / CN11-4542/P 广告证 / 京朝工商广字第0036号
编辑出版 / 《中国国家地理》杂志社
社址 / 北京市朝阳区安外大屯路甲11号地理科学馆 邮政编码 / 100101
E-mail / cng@cng.com.cn 网址 / www.dili360.com
总机 / (010) 64865566 - 376 会员热线 / 4006521360
主管 / 中国科学院 主办 / 中国科学院地理科学与资源研究所·中国地理学会

CONSULTANT 顾问

王文澜 冯骥才 孙鸿烈 李乐诗 茹遂初 唐登银 秦大河 黄效文 谭兆璋 薛凤旋 张子扬 刘纪远

科学总指导 / 葛全胜
社长·总编 / 李栓科
执行总编 / 单之蔷
副社长 / 才华烨 孙樱

EDITORIAL DEPARTMENT 编辑部

主编 / 单之蔷(兼)
内容总监 / 刘晶 设计总监 / 介彬 图片总监 / 王彤
资深编辑 / 李志华
编辑 / 高新宇 陈惊鸿 张璇 骆凡 李欧 康静 雷东军
张妍文 付薇 任远方 祁滢
特聘编辑 / 刘乾坤 左凌仁
校对 / 陆凤山 李成林
美术编辑 / 李晟(兼印务) 崔晓琳
图片编辑 / 吴敬 马宏杰 王宁
地图编辑 / 陈云 王岩
繁体版协调 / 骆凡
英文版主编 / 刘晶(兼)
英文版编辑 / 金畅南
E-mail / bjb@cng.com.cn
传真 / (010) 64842217
行政部 / 江郁(主任) 吕鑫 刘景欣 孙媛媛 鲁娜 关佳琪

NEW MEDIA DEPARTMENT 新媒体部

总经理 / 才华烨(兼)
副总经理 / 闫瑞杰
市场总监 / 杨颖
网站主管 / 卢建爽 微信主管 / 杨静 技术主管 / 马西圣
电话 (010) 64889218 / 64869398
(010) 64865566 · 220

ADVERTISING AGENCY 广告代理

北京全景国家地理广告有限公司
总经理 / 高颖
副总经理 / 黄志鹏 陈辉
客户部 / 邢蕾 史楠 张雨潇 伏亚丽 赵雅靓 刘梦迪
策划部 / 乔涵 洪玥 刘秀阳
广告热线 (010) 64848933 / 2007 / 1815
(010) 64865566 · 290 · 289 · 256
传真 (010) 64842066

中国国家地理畅读 | 微信小程序

随时随地畅读《中国国家地理》
《博物》《中华遗产》精彩内容
微信扫描二维码即可使用



中国国家地理 | 微信订阅号

扫描二维码或搜索微信号“dili360”
关注中国国家地理微信订阅号



中国国家地理 | 官方微博

扫描二维码或搜索“中国国家地理”
关注中国国家地理官方微博



中国国家地理 | 手机视频

探索未知世界 寻觅自然奇观
观看方式
安卓手机用户 下载“咪咕视频”客户端:
导航>合作专区>中国国家地理
即可安装中国国家地理手机视频客户端
无限精彩 尽在中国国家地理手机视频
观看节目2元/条 包月15元/月(不含GPRS流量费)



本刊发行量经BPA国际媒体认证公司认证

SCIENTIFIC EXPEDITION 科学考察部

陈辉(主任) 邢悦 陈锐 刘洋 徐欣 朱天
电话 / 传真 (010) 64852136

BRAND EXTENSION 品牌发展

王杰(主任) 郭晓冬 冯亚楠 陈婷婷
电话 / 传真 (010) 64842136

MEDIA & TV CENTER 影视中心

北京全景国家地理影视有限公司
总经理 / 孙钢
电话 (010) 64983156 / 64982153 / 64982142
传真 (010) 64985211

BOOK PUBLISH DEPARTMENT 图书部

北京全景地理书业有限公司
总经理 / 陈沂欢
电话 (010) 82842695 / 82845677
传真 (010) 82841175

制版 / 北京美光制版有限公司
印刷 / 北京华联印刷有限公司
分印点 / 中华商务联合印刷(广东)有限公司
上海中华商务联合印刷有限公司
湖南天闻新华印务有限公司

地图技术支持单位 / 湖南地图出版社

广告目录

ADVERTISEMENT CONTENTS

第一跨页 ————— Mercedes-Maybach 梅赛德斯 - 迈巴赫
第二跨页 ————— Mercedes-Maybach 梅赛德斯 - 迈巴赫
第三跨页 ————— Mercedes-Maybach 梅赛德斯 - 迈巴赫
第四跨页 ————— Mercedes-Maybach 梅赛德斯 - 迈巴赫
开篇跨页 ————— ISUZU 江西五十铃
封 底 ————— 上汽大众 T-Cross 途铠

版权声明

COPYRIGHT ANNOUNCEMENT

本刊发表的文字、图片、地图、光盘等的版权归《中国国家地理》杂志社所有, 未经本社书面许可, 不得为任何目的、以任何形式或手段复制、翻印及传播, 本刊保留一切法律追究的权利。

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted for any purpose, in any forms or by any means, unauthorized copying, reproduction, hiring public performance and broadcasting without the prior written permission of the publishers are prohibited.

中国国家地理 | 荣誉

第二届中国出版政府奖期刊奖
国家新闻出版广电总局

新闻出版“走出去”先进单位
国家新闻出版广电总局

数字出版转型示范单位
国家新闻出版广电总局

 “百强报刊”
国家新闻出版广电总局
 “中国最美期刊”
中国(武汉)期刊交易博览会组委会
 中文报刊海外发行
最受海外读者欢迎TOP50
中国国际图书贸易集团

 中国邮政
CHINA POST
中国邮政发行报刊百强排行榜
中国邮政集团公司报刊发行局
 国家百种重点期刊
国家新闻出版广电总局
 新中国60年最具影响力的期刊
中国期刊协会
 最具品牌传播价值期刊
中国品牌与传播大会

 最受广告主青睐的杂志
国新出版物数据调查中心
 中国标杆品牌
哥伦比亚新闻评论
 中国邮政发行畅销报刊
中国邮政集团公司

特别承诺

本刊凡出现印装差错, 一律由北京华联调换。
地址 / 北京市经济技术开发区东环北路3号北京华联印刷有限公司 邮编 / 100176 电话 / 67876655



专家浅谈我国陆地边界概况和界河管理维护工作
Expert’s View on Situation of China’s Land Border and
Maintenance of Border Rivers

撰文 / 晓阳 摄影 / 马宏杰 等

30

主打 **FEATURE**

34

多面贡嘎
从地面到直升机 360°看贡嘎

Faces of Gongga:
A 360 Degree Helicopter Tour Circling the Great
Mountain
撰文 / 范晓 摄影 / 王建军

“蜀山之王”贡嘎山，以海拔7556米的高度屹立在青藏高原与四川盆地之间的过渡地带，尖峭奇锐的金字塔形角峰，穿云破雾，卓立于山脉之巅，成为让人有着无限憧憬的著名山峰。但你是否知道，在不同的方向与视角下，贡嘎山会呈现出完全不同的面孔和美学震撼？摄影师王建军多年来不仅从地面上不同位置拍摄贡嘎山，在今年还乘直升机实现了从空中环绕贡嘎山360°拍摄，用他的镜头为我们呈现出了贡嘎山的“多面”精彩。贡嘎山从不同方向上看，有着怎样的不同？这些不同景观是怎样形成的？请看地质学家范晓做出的深入解读。



54

海上风电
抢占沿海新“C位”
Wind Power Stations:
Expanding Landscape along
Coastline

撰文 / 宏立
摄影 / 黄映波 等

林盘
成都平原的田间“绿岛”
“Lin Pan”:
Green Isles Scattered on
Chengdu Plain
撰文 / 孙吉 摄影 / 冉玉杰



66

微藻爆发
南极的“喜”与“忧”
Microalgae Blooming
in Antarctica:
Hope and Fear
撰文 / 秦昭



84

金鲳鱼
海水养殖的“新宠”
Golden Pomfret:
Becoming the Most Popular
Cultured Marine Fish
撰文 / 山哈



96

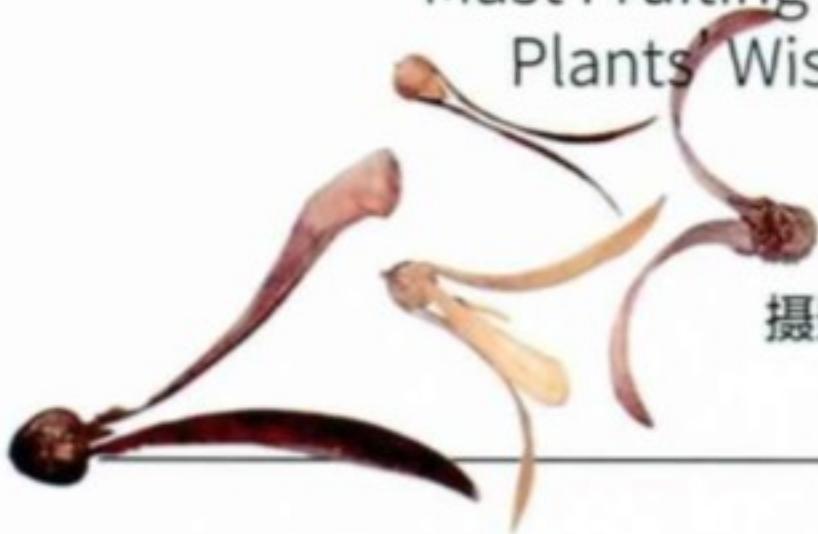


孤独的颜色
猫与蜂眼中的“红”会是什么样？
A Lonely Color:
What Does Red Look Like in Eyes of Cats and Bees?
撰文 / 牛洋 摄影 / 牛洋 等

106



122
雨林中的“大年结实”
植物的繁殖智慧
Mast Fruiting in Borneo Rainforest:
Plants' Wisdom of Synchronous
Reproduction
撰文 / Daisy Dent
摄影 / Christian Ziegler 等
翻译 / 金畅南



管中窥豹
华人摄影家在肯尼亚人工水塘的动物行为观察
Photography Tour in Kenya:
A Chinese Photographer's Observation of
Animal Behavior around Artificial Water Hole
撰文 / 杰夫 摄影 / 杰夫 等



140



华西雨屏带
从雨雾之极到生物秘境
A “Rain Screen Belt” in West Sichuan:
Rich in Precipitation and Biodiversity
撰文 / 孙吉

154

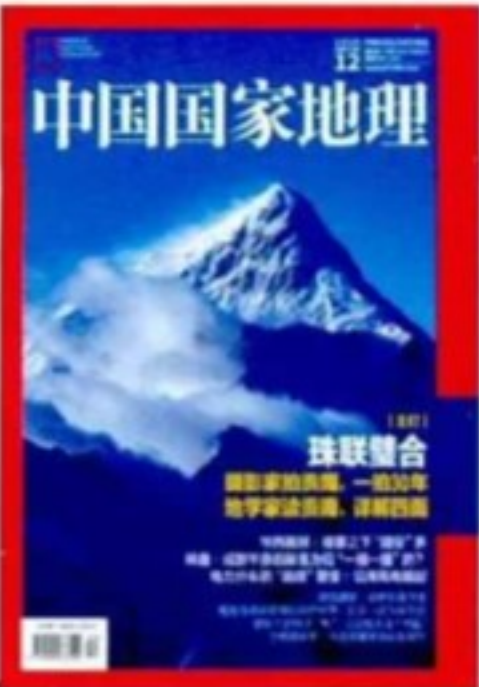


生蚝
珍藏海水的滋味
Oyster: A Taste of the Ocean
撰文 / 林晓
摄影 / 黎彩弟 等

168



本期封面
贡嘎山北坡
摄影
王建军



更多资讯请登录中国国家地理网
www.dili360.com

备选封面1是关于婆罗洲雨林中的“大年结实”，即植物周期性的同步大量结实现象。一些研究认为，植物的这种繁殖策略可以起到相互“掩护”的效果，避免自己的种子被各种动物一网打尽。图片是摄影师Christian在雨林中收集的近70种乔木、灌木及藤本植物的种子和果实，具有很高的科学价值，十分难得。为了鉴定它们，编辑费尽了周折，这是由于种子和果实一旦离开母树就会发生形状和颜色的改变，鉴定难度很大。图片中的种子和果实形状各异，色彩和谐，能引发人们的探究欲望，这同时也是微博票选封面时读者们选择较多的一张。不过，由于画面留白较少，加上封面文字后会显得有些拥挤，因此只能遗憾放弃了。

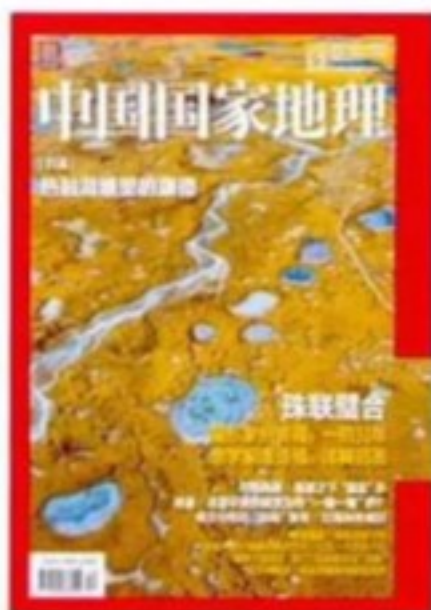
备选封面2是南极的雪藻。雪藻能在极地的极端条件下生存，是极地区域重要的有机碳源和二氧化碳吸收器。冬季，它们潜伏在冰雪中，等到夏季阳光回归、冰雪融化时会爆发性生长，将雪地涂抹成各种颜色，也因此能够产生美丽的画面。图中一群企鹅站在被雪藻染



1



2



3



4

成粉红色的雪地上，画面简洁优美，不过，图片展示的是南极景观，与读者的接近性稍弱，因此我们把目光转向了下一张图片。

备选封面3是青海省玉树藏族自治州杂多县查旦乡的热融湖塘，位于长江源地区。热融湖塘又称热喀斯特湖，主要分布在冰缘地区或多年冻土地区，是由自然或人为因素导致地下冰或多年冻土层发生局部融化，地表土层形成热融沉陷，随后积水形成的湖塘。它是一种美丽的景观，但同时又是大气中甲烷等温室气体的重要来源，因为在这种地貌中，土壤中的碳会以甲烷等气体的形式释放出来。这张图片是第二批备选封面中的一张，画面中，平时难得一见的热

融湖塘星罗棋布，景观背后更是蕴含着极高的科学价值，所以它一出现就成了最有竞争力的一张。然而试制封面后发现图中色块较多，视觉冲击力稍显逊色，几经权衡后，我们决定继续寻找。

备选封面4是贡嘎山的北坡。贡嘎山海拔7556米，呈角峰尖锐、刃脊料峭的巨大金字塔形。特别的是，由于山体构造、岩性、降水、光照等条件的差异，贡嘎山的各面呈现出了不同的样貌。图中的贡嘎山北坡崖面，形状近于等腰三角形，构图对称，在云雾的映衬下显得无比雄伟壮丽，有着极强的视觉冲击力。这张备选封面也是编辑部内部投票中得票较多的一张。于是，最终的封面诞生了。

跟中国国家地理看中国 中国少年 “赢”

科学考察
中国国家地理

2021年寒假，“跟中国国家地理看中国—中国少年营”将再次出发，前往江苏、广西、贵州、云南。

在江苏，我们将走进盐城湿地，考察我国著名的丹顶鹤越冬地，探访中国最大的麋鹿保护区，了解麋鹿回归的传奇故事。

在广西，我们深入地下溶洞，考察壮丽的天坑，探秘奇特的洞穴生物，探讨洞穴生物的褪色之谜。

在贵州，我们考察世界最大口径射电望远镜—中国天眼FAST，了解一系列的天文发现；通过考察当地少数民族，了解中国各民族的差异与共性，理解中华民族“多元一体，和而不同”。

在云南，我们走进中国版的“亚马孙热带雨林”——西双版纳，探访亚洲象中国种群，走访当地“人象冲突史”，探讨人与野生动物如何才能共享自然。

中国少年，跟中国国家地理看中国，从足不出户到天涯羁旅，从读万卷书到行万里路。

单站费用 7800元/人
(中国国家地理科学考察会员享9.5折)

报名及了解活动详情
请扫描左侧“跟中国国家地理看中国”官方微信号二维码
或拨打电话 010-64851539, 010-64852136

中国少年营 江苏站

摄影 / 孙华金

活动时间：2021年2月1日至7日（共7天）

中国少年营 贵州站

摄影 / 张桂林

活动时间：2021年2月3日至9日（共7天）

中国少年营 云南站

摄影 / 黄程

活动时间：2021年2月15日至21日（共7天）

中国少年营 广西站

摄影 / 李晋

活动时间：2021年2月17日至23日（共7天）

解密江西五十铃合资皮卡背后的故事

百年积淀 促美好生活

在当前消费升级的时代背景下，用户的用车需求呈现出高品质、个性化等特征，不仅要满足商业和家庭用车所需，如果自驾越野、户外露营都能一车搞定再好不过。因此，一车多能、能够适应全路况的皮卡成为“香饽饽”。在皮卡领域，江西五十铃旗下的D-MAX、铃拓、瑞迈S以及经典瑞迈等产品，作为高性价比合资车型，市场销量与用户口碑均有不俗表现。



优秀产品矩阵 全面满足用户需求

好的销量背后是好的产品为基础，江西五十铃在合资皮卡阵营中的优秀表现，反映出旗下产品的强大实力。纵观江西五十铃可见，D-MAX、铃拓、瑞迈S以及经典瑞迈，卡位皮卡各细分市场，为不同需求的用户提供了最多元化的选择。

D-MAX 兼具合资品质与出众的车辆性能，有着较高的用户认可度和美誉度。进入国六时代，D-MAX 换装全新劲蓝 RZ4E 1.9T 动力系统，赋予该车更强劲可靠的动力输出，加之高颜值的外观，舒享大气的驾乘舒适性，为用户带来全新的用车体验。





说到江西五十铃皮卡的销售表现，不得不提铃拓皮卡，2020年1-10月单车型销售10967台，同比增速高达38.4%，是江西五十铃皮卡的销售担当。铃拓作为江西五十铃皮卡拳头产品之一，自2018年上市以来深受用户青睐。2019年11月，铃拓皮卡焕芯上市，动力高效，配置丰富，性价比优势更加突出。

作为JIM皮卡主力车型，瑞迈S是江西五十铃于2019年正式推出的瑞迈全新改款产品，10万元的价格非常亲民，内饰与配置与媲美SUV，助推行业向乘用车化迈进。2020年，瑞迈S国六版本率先上市，柴油版与汽油版双配模式得用户欢心。

定位为工具型创富皮卡的经典瑞迈，是当前市场上8万元级主力车型之一。2020年9月，国六经典瑞迈登场，同样柴汽双配，提供两款不同轴距车型供消费者选择。此外，经典瑞迈沿用了D-MAX同平台的银盾高刚性底盘，越野通过性强，载人载物皆从容。



坚守品牌初心 引领企业公益浪潮

10月26日，中华慈善总会携手江西五十铃，共同举办了“点亮计划”公益活动捐赠仪式。江西五十铃积极响应国家“精准扶贫”政策号召，深入走访贫困地区，并成立专项小组，制定具体帮扶计划。捐赠仪式上，江西五十铃向中华慈善总会捐赠首笔100万元公益善款，为全国十余个欠发达村镇建设太阳能路灯。

这些路灯投入使用后，不仅可以照亮村民通行的道路，也会照亮困难群众脱贫之路。未来，江西五十铃将通过一年又一年持之以恒的慈善活动，去点亮中国更多的地区，照亮更多人的希望之路。“点亮计划”的诞生，是皮卡车企践行初心使命、承担企业责任的范本，引领公益慈善新浪潮。



百年品牌积淀 打造皮卡新生活方式

在百舸争流的中国汽车市场，对于一个创立仅7年的年轻汽车品牌而言，能够达成如此的成绩，除了产品力过度优秀，还与品牌实力不无关系。

作为有百年造车经验、具有“柴油世家”美誉的日本五十铃，与中国企业500强之一、拥有70余年历史的江铃集团，强强联合之下的杰作，江西五十铃于2013年成立。2014年高端皮卡D-MAX上市，到2019年江西五十铃皮卡家族三款改款车型的同时亮相。

自2018年开始，江西五十铃与《中国国家地理》双方联合开展的“牧行万里 探知神州”系列科考活动已经走过三季。在mu-X牧游侠和D-MAX护航下，在探秘自然之余，不断唤醒人们对环境保护和动物保护的关注，也激励了人们对户外生活的向往。

7年来，江西五十铃坚持“以用户需求为导向”，在打造多元化皮卡产品的同时，更多关注用户精神追求，不断解锁丰富多彩的潮流皮卡生活，形成国内皮卡市场的独特市场占位，并通过产品不断进化及一系列品牌体验活动，让Pickup+高端皮卡生活方式深入人心。



热融湖塘里的康德

撰文

单之蔷

“热融湖塘”的美在我心中经历了一个起伏变化的过程

写这篇关于“热融湖塘”的文章，源于我2018年秋对长江源的一次考察。一天，我们的队伍来到了长江源头——且曲，晚上，我们住在一户牧民家。第二天早晨，我们在向导的带领下向着长江源进发，开车沿着曲曲折折的土路前行。一路上我们是在起起伏伏的丘陵状草原上行进，我看到牛群和羊群在草场上吃草，时而能见到一个个面积大约有几十到几百平方米的湖泊。当没有路的时候，我们开始徒步。

我们攀上一个陡坡，下面出现的是一个盆地；我看到眼前的小湖越来越多了，我们开始走进湖群中。我们小心翼翼地从一个湖走向另一个湖，有时两湖之间只有窄窄的一道堤坝而已。经过几个小时的跋涉，我们来到了长江的源头，这是在湖群中的一个小湖，直径有一米左右，水清清的，水中有一块白色的玛尼石，旁边有一块一米见方写有“长江源”的大石头。为了拍照，我们的无人机飞起来了，摄影师叫我去看无人机俯瞰到的场面。在屏幕中看到的场景确实让我有些惊讶，我看到了在徒步时看不到也想象不到的情景：一望无际的大地到处布满了密密麻麻的湖泊。我脱口而出：“星宿海。”过去我们知道黄河源头玛曲县那一带有成千上万的湖，被称为“星宿海”，没想到长江的源头——且曲这一带也是“星宿海”。

今天写这篇热融湖塘的文章时，我面临着一个怎样确定主题、搭建文章结构的问题。我不想把这篇文章写成一篇科普文章，讲关于热融湖塘的一些科学知识，如它的成因、发育过程、各种分类形态、分布、对环境的影响等。一方面在这篇报道中有许多图片，还有插图等，这些知识可以在图片、插图及图说中体现；另一方面这种知识在各种搜索引擎中也能找到。因此我对自己提出了一个目标：文章要有新的立意。最后我决定写热融湖塘里的美学问题。

在传播有关热融湖塘的科学知识的同时，我要研究热融湖塘在我心中引起的审美感受，我要调动我的回忆，再现我第一次见到长江源头的星宿海时的意识过程……写一下热融湖塘在我的意识中是怎样建构起它的意象，是怎样在我心中唤起美感，这种美感是怎样维持，又是怎样演变的。因为我发现关于热融湖塘的形象，它的美在我的心中经历了一个起伏变化的过程：一开始是美的，后来我了解了热融湖塘的成因、它的形态结构等，即我了解了关于热融湖



当人们走到这片高原严寒地带，走到冰天雪地的黄河源，走到扎陵湖、鄂陵湖附近时，无人不被眼前的景色所吸引：星星点点的湖泊，像被随手撒落的钻石，镶嵌在天鹅绒般质地的高原草甸中，好一幅沁人心脾的美景，让人油然而起诗意——“星宿海”，这样的名字才撑得起这片美景。摄影 / 郑云峰

“星宿海”，是一种出现在高原或高纬度地区的地貌景观

塘的科学知识，这时热融湖塘在我的心中，变得更美了；但是当我了解到热融湖塘释放甲烷等温室气体，对气候变暖有促进作用时，热融湖塘的形象在我的心中又起了变化，我觉得它不美了，甚至让我忧心忡忡……后来我看到摄影师铁丐拍的冬季里热融湖塘的照片，它又变美了……

看到“星宿海”时，我感到了一种成功构型的愉悦

先说第一眼看到星宿海，我的感觉是什么？是壮美。我看到起伏的大地上一个个蓝色的湖向着远方延展，越往远方湖泊越是密集，最后演变得好像一片星空。看着这景象，我的心情非常愉悦，好似有一股暖流涌上心头，又流向身体的每一个角落。然而这一切都是在我没有对此有明确意识的情况下静静发



长江源头位于平均海拔4500多米的青藏高原，在我国规模最大的多年冻土区范围内。这里气候严寒，无法生长出高大乔木，地表主要生长着高寒草甸植被，这些植被根系发达，交织成了一个柔韧而富有弹性的小草墩。夏季，多年冻土如果出现了地表热量异常，导致地下冰融化，地表就会出现坍塌凹陷，最终融水和降水汇集到凹陷中，就形成了湖泊，按照成因，它叫做“热融湖塘”。热融湖塘常成群出现，远远望去，就像璀璨的星空一般，这样的景观，可以叫做“星星湖”。摄影 / 王宁

长江源头的冻土沼泽：
从景观角度叫它“星星湖”，
从成因角度叫它“热融湖塘”

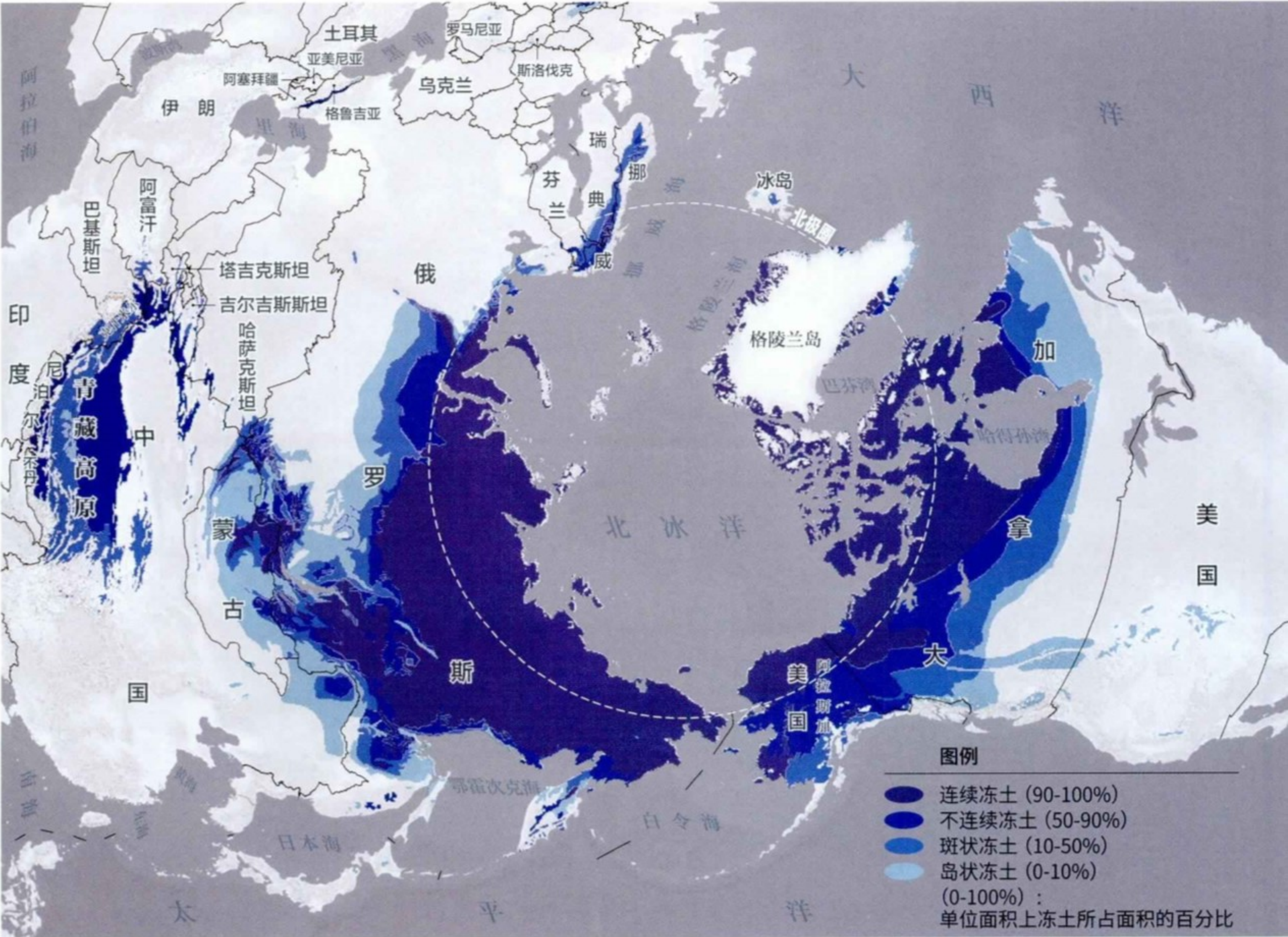


生的。我只是感到愉悦，感到自由，感到畅快。

美是一种愉悦。当我看到星宿海时，我没有想到任何理论，也没有任何目的，更没有想到星宿海对我有何用途。我与星宿海没有任何利害关系，也没有任何功利目的。我只是单纯地感到一种心神的愉快。这让我想到康德关于美的几种观点，其中一个就是：美只关心事物的形式，不涉及概念、目的和利害的比较。似乎我第一次见到星宿海时，确实只在于形式，不关涉概念、目的、利害、功利。

有件事要先说明白，“热融湖塘”这个概念，它是从成因方面来给这种湖起名的，它可以是一个湖，也可以是一群湖；但是由于我在长江源头，一下子看到的就是一片湖群，是一片“星宿海”。因此“热融湖塘”这个概念一出现唤起的就是一个湖群的景象，我看到的就是一片如星空一样的“星宿海”。因此我在下文中提到“热融湖塘”时，大多数时间指的是一片“星宿海”。可以说，当我第一次直观到“热融湖塘”时，在我的意识中构造出的是一片湖群，或者说我把“热融湖塘”对象化了，对象化成了一群湖。

歌德说过，人有一种神奇的能力——构型的能力，即在意识中构造对象的能力。有时我们会为我们这种构型能力所陶醉——当我们在自己构造的对象中看到各部分的结构和谐一致的时候。当我站在长江的源头，看到“星宿海”时，我感到的喜悦是一种成功构型的愉悦吧。



多年冻土的
全球分布图

数据来源：
Circum-Arctic Map of
Permafrost and Ground-Ice
Conditions (Version 2)

热融湖塘是分布在多年冻土区的一种冰缘地貌

要了解热融湖塘，先要了解冻土。冻土，指的是温度在0℃以下、含有冰的土壤或者岩土，而多年冻土是指连续冻结不融化的时间超过两年的岩土。按照某一片区域多年冻土所占的面积比例，可以把冻土区分为连续冻土带、不连续冻土带和零星的、岛状的多年冻土。从全球范围上来看，连续冻土主要分布在俄罗斯、美国阿拉斯加和加拿大等环北极圈地区，以及我国青藏高原北部。“第三极”青藏高原，它有着低纬度面积最大、海拔最高的多年冻土区，面积约150万平方公里，平均厚度在100米左右，相对于环北极圈冻土带来说，青藏高原冻土带的厚度更薄，更容易受到热融作用的影响。底图制图 / 李爽

他们看到的美比普通人数量大，体验更深刻

康德作为一位大哲学家把美的问题推向更深入的位置了。康德认为美是无功利的，无目的的。举一个例子：当我们看到一棵挺拔的郁郁葱葱的青松时，我们感到它很美，这时我们是没有任何实用目的的，但是一个木材商人看到这棵青松，他感受不到美，因为他有功利心，他在算计这棵松树有多高，直径是多少，能出多少方木料，能卖多少钱。

我曾受到这种观点的影响，有一段时间我甚至怀疑科学家在考察时能不能看到考察对象的美，因为科学家去冰川考察是带着目的去的。他们要研究冰川是退缩了还是前进了，他们要寻找古冰川留下的遗迹——终碛垄、侧碛垄等，他们要确定地质史上一次次的冰期，他们要通过冰川的退缩研究当今的气候变化。当我与冰川学家一起去考察冰川时，我有时却在暗地里观察冰川学家对冰川的感受，观察冰川学家是否用一种审美的眼光看冰川。

在可可西里时，我与一位冰川学家前往马兰冰帽，那是一块覆盖了整个山体的巨大冰体。当我看到马兰冰帽时，我确实感受到了它的美：它巨大的冰体成为远处天际线的一部分；我面前的冰体在下面巨大的山谷里，冰体充满了整个山谷；侧面冰体高高挺立在褐色的山坡上，我们的车停在旁边，像儿童的玩具一样小。我在看我们的冰川学家，他一直在冰川推出的石块上寻找“钉头鼠尾”的冰川擦痕。我想：他现在肯定不是在审美，而是在进行研究和查看，他意识中活动的应该是概念和找到擦痕这样的目的。忽然冰川学家大声地呼唤我，原来他找到了冰川的擦痕。之后，他变得轻松活跃，我看到他拿起相机对着马兰冰帽拍照，我想现在他大概应该是在审美，他的照片不会是为了研究冰川所拍。由此看来，即使康德所说的成立，科学家在科学考察时也能看到美，



除了环北极圈和青藏高原之外，南极无冰盖地带也分布着冻土。如图中南极维多利亚地的麦克默多干谷，这里是世界上最干燥的地方，地表主要是一些松散的沉积物和砾石，冻结作用使得地表产生了许多裂隙，裂隙中填充着砾石与碎冰的混合物，看起来就像把地面分割成了一个多边形，因此被称为多边形土。

摄影 / Colin Harris (Alamy Stock Photo)

在缺乏植被覆盖的冻土区，
地表龟裂成了规整的多边形





只不过在他沉浸在研究项目里的时候，他忘记了审美。

后来我又多次与冰川学家一起去考察，发现大多数情况下，他们都能在考察对象中看到美，不仅是看到美，他们还能在大多数人没有看到美的地方发现美。他们看到的美比普通人数量大，而且他们对自然美的体验往往也更深刻。

他为什么相信：他认为美的景色，我们也会认为是美的

有一年，我与冰川学家张文敬去西藏林芝境内的米堆冰川考察。经过了一个上午的徒步，我们来到了冰川的末端，见到了庞大的冰川分成两部分从一个悬崖上跌落下来，冰川先是碎裂成一块块大大小小的冰块，有的有几层楼那样高大，然后再从千米高处涌下来，形成两道巨大的冰瀑。我被眼前的景象征服了。能见到眼前的景色，我十分感激张文敬研究员，因为若不是他坚持说这里值得一看，我可能就错过了这处美景。这处绝美的风景隐藏得很深，从318国道上这里仅有一处窄窄的山谷，真正的美景藏在更深处的一处盆地里。张文敬是受西藏交通运输厅的委托，进入这山谷考察泥石流，才发现的这处美景。

更有意思的是，那天在我们已经疲惫不堪、但心满意足的情况下，张文敬研究员竟然提出：“继续前进。”他要带我们去看更震撼的风景。他说：“在那里看到的景色，才是罕见的，绝对精彩的。”在张研究员的鼓动下，我们随他进入冰川左侧的山谷，开始了在这高海拔地区的登山之旅，目标是冰瀑布开始跌落的那处山顶台地，海拔高度大约有5400多米（这里是海洋性冰川，雪线较低），我们大约还要上升垂直高度1000米左右。我们在山谷中曲曲折折地前进，那真是一场难忘的好似攀登珠峰的路程，最后我们终于站到了大冰瀑开始跌落的位置。

站在这里居高临下，大冰瀑和整条冰川尽收眼底。确实如张研究员所言：景色极为震撼。平视，冰川打碎了，满眼是巨大的冰块堆起的一处处冰山；远望，冰瀑从山顶一跃而下，好似上帝从天庭倒下了一盆碎玉烂银；然后这冰碎

没有峰林峰丛， 它也是一种“喀斯特”地貌

喀斯特地貌指的是在石灰岩等可溶性岩石分布区，流水侵蚀形成了峰林峰丛、天坑地缝等凹凸不平的地表，典型的如广西、贵州等地。青藏高原冻土区中摩肩接踵、星罗棋布的小湖泊，也被称为一种“喀斯特”地貌，它是热喀斯特地貌。由于冻土区地下冰的融化，地表塌陷，坑坑洼洼，冰雪融水和降水储积在这些凹陷中，形成了湖，按照成因，称它为“热融湖塘”。由于这样凹陷不平的表面和喀斯特地区类似，所以英文称它为“thermakarst（热喀斯特）”。和广西峰林峰丛间的喀斯特湖不一样，高原上的热喀斯特湖镶嵌在一望无际的旷野中，是一种带着高原开阔气息的地貌景观。图片拍摄于青海玉树藏族自治州杂多县查旦乡长江源头附近。摄影 / 铁丐

雪涌的世界忽然化为一道静静的细流，从一处藏族的村庄旁蜿蜒而去……回头向上望去，看到冰川在跌落成瀑之前，形成了起起伏伏黑白相间的结构，好似大海的波浪。“这是冰川流动中难得一见的弧拱构造。”张文敬告诉我们。有意思的是，我在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的冰川学家沈永平的办公室见到了一幅照片挂在墙上，内容就是流动的米堆冰川呈现的弧拱构造。

以上文字是我在回忆当年的情景。现在问题来了，张文敬研究员为什么如此自信，他为什么相信，他认为美的景色，我们也会认为是美的。他就不怕，他带领我们经过艰难困苦地跋涉，看到的风景让我们大失所望吗？他的自信是从哪里来的呢？

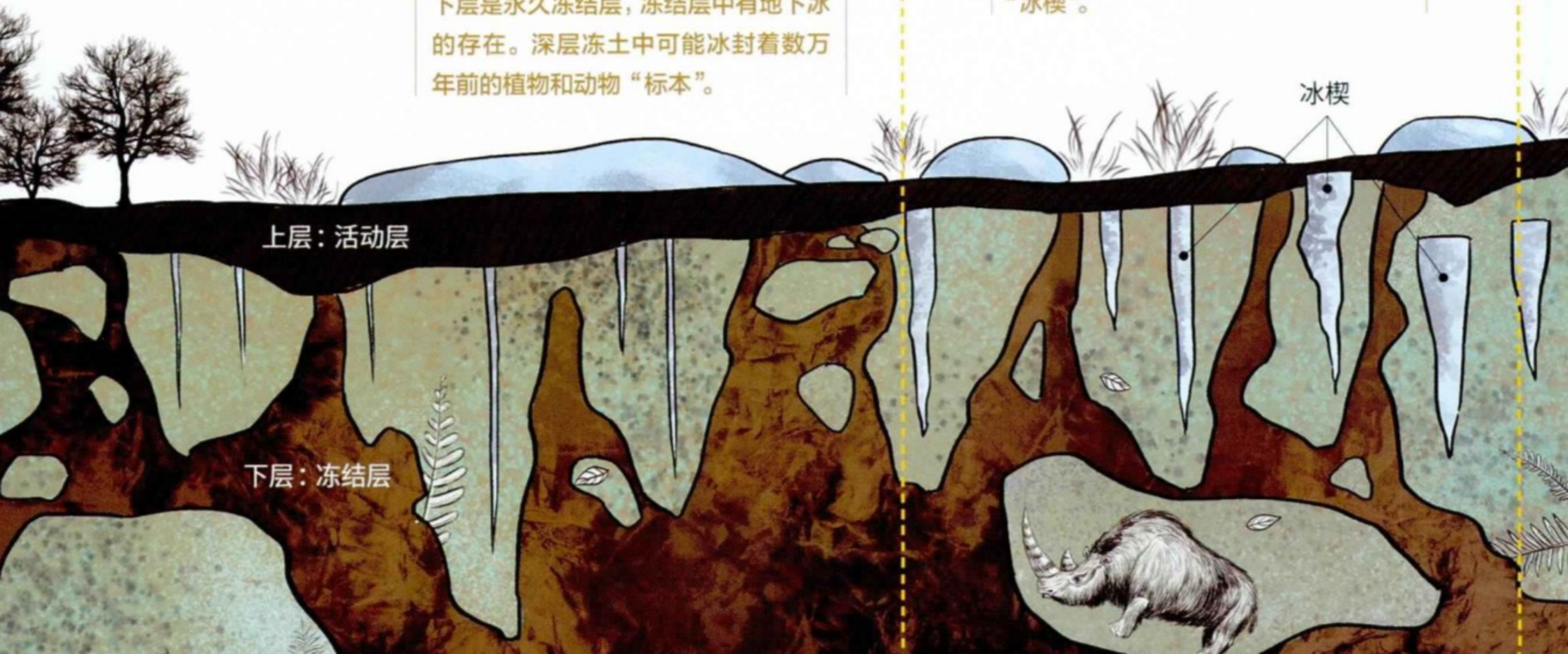
我翻开康德的《判断力批判》寻找答案。康德是这样说的：“美是不凭概念而普遍令人愉快的。”（《判断力批判》57页。商务印书馆“汉译世界学术名著丛书”）。康德说得有道理，张教授知道我们不是学冰川学的，知道我们不熟悉那些关于冰川的概念，但是他相信他看到的美具有普遍性，他认为美的景色，我们会认同。这是为什么呢？康德是这样解释的：“即美是无一切利害关系的愉快的对象。因为人自觉到对那愉快的对象在他是无任何利害关系时，他就不能不判定这对象必具有使每个人愉快的根据。因为它既然不是植根于主体的任何偏爱（也不是基于任何其他一种经过考虑的利害感），而是判断者在他对于这对象愉快时，感到自己是完全自由的；于是他就不能找到私人的只和他的主体有关的条件作为这愉快的根据，因此必须认为这种愉快是根据他所设想的人人共有的东西。结果他必须相信他有理由设想每个人都同感到此愉快。”（同上书，

冻土区热融湖塘的生长演化过程示意图①

改绘自路透社的科普成果

冻土区气候严寒，地表植被以苔藓、地衣为主，边缘地带可能会生长出矮小的云杉、落叶松等，降水较少的冻土区植被以多年生草本植物为主。冻土分为上下两层，上层是季节性融化的活动层，下层是永久冻结层，冻结层中有地下冰的存在。深层冻土中可能冰封着数万年前植物和动物“标本”。

夏季，活动层融化，融水和降水顺着裂隙下渗，到永冻层上部再次冻结，使得裂隙中的冰体积逐渐变大。根据裂隙的形态，冰会冻结成上大下小的锥形，像楔子一样顺着裂隙往下方坠，被称为“冰楔”。

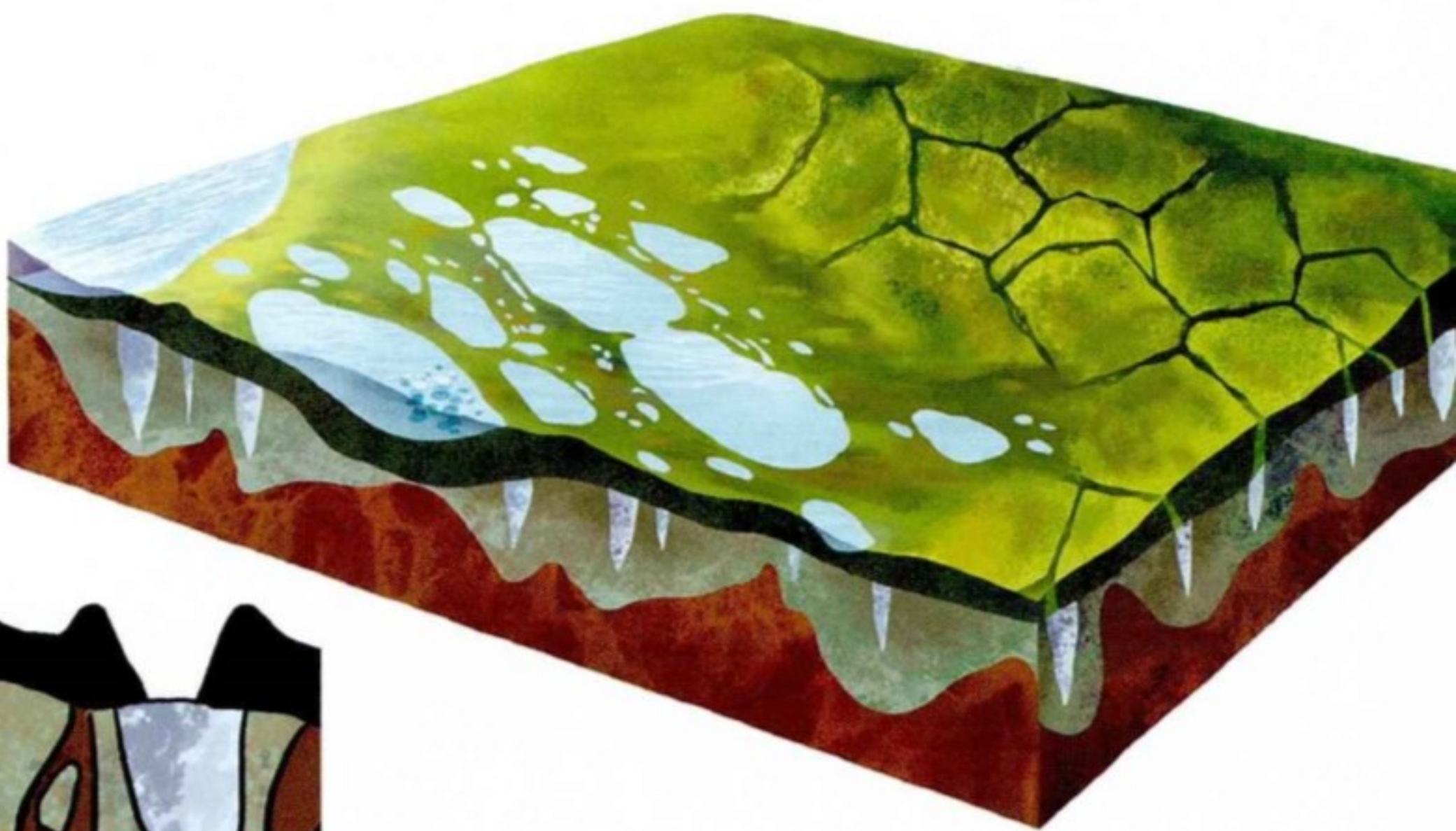
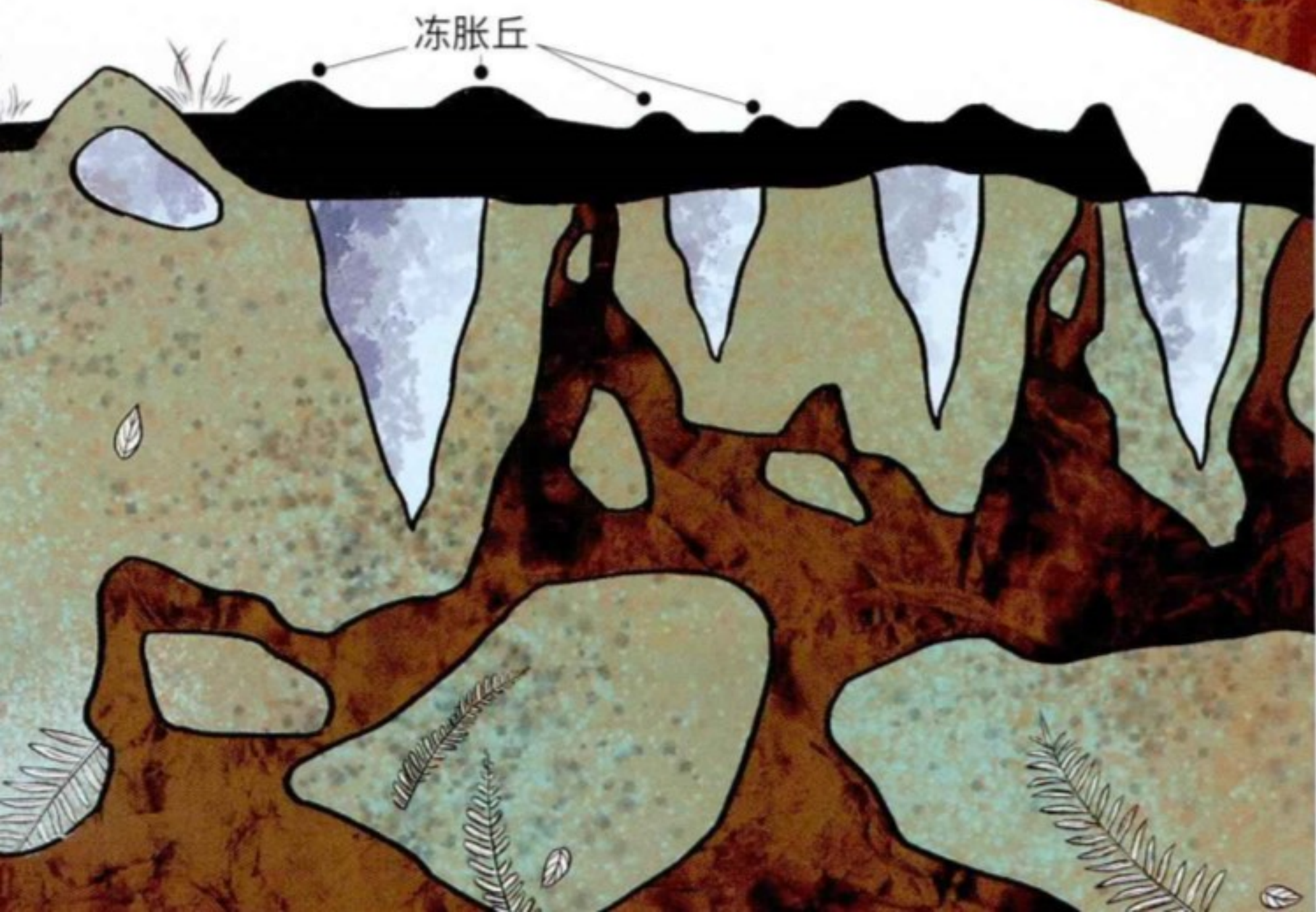


48页)。我觉得康德解释得非常好，张研究员之所以坚持带我们去看他认为美的风景，是因为那风景跟他没有任何利害关系，既然跟他没有任何利害关系，他却为那景观感到愉快，甚至震撼，因此他断定他的愉快和震撼跟他自己没关系，是那景观本身的东西引发的快乐和震撼，因此这种愉快应该对每个人都是有效的。如果米堆冰川跟他的个人利益相关，是他投资开发的一处收费景点，那么他绝不会有那种自信——他的愉快是人人共有的。这件事证明，科学家在科学考察中完全能够沉浸在审美体验中，而且他们对美的鉴赏力是高出一筹的。

因为科学，我把多边形土与热融湖塘联系起来了

听说我这期卷首写热融湖塘，编辑部的一位编辑告诉我她的同学廖琪文在北师大读研，他和他的导师正在研究青藏高原某地的一片热融湖塘。我们把他请来了，让他给我看他们的研究成果。他做了一个PPT，不仅展示了他们的研究成果，还找来了大量国外对此的研究。那天，我们基本上搞清了热融湖塘的成因和它的演变。在那次PPT的演示下，我对热融湖塘的成因和发育过程有了认识。引起我兴趣的是，原来热融湖塘最先的萌发，是从多边形土开始的。多边形土是一种冰缘地貌。所谓冰缘地貌，顾名思义是指发育在冰川地区边缘地带的各种地貌形态，虽无冰川覆盖，但是地表在寒冻作用，尤其是反复的冻融作用下，这一地区会产生一些独特的地貌形态，如地里的石头会拔出来，形成所谓的冻拔石；山坡会出现石河石海，还有冻胀丘等，我这里要说的是冰缘地

冬季，由于活动层不均一冻结膨胀使得地表凹凸不平，形成小丘，被称为“冻胀丘”。多数冻胀丘高度在1—2米，到来年融冰季节就会平复，如果有冻结层地下水补给的地方，可能会形成高大的多年生冻胀丘，高达十多米。



冬季，活动层冻结、收缩、开裂，从水平方向看，地表被分割成了多边形网状，称为“多边形土”（如上图所示），从垂直方向看，活动层和永冻层上部出现了裂隙，被碎冰和碎石填充，形成冰楔。

区的一种独特的地貌——多边形土（形成原因与玄武岩石柱群相似，不过一个是寒冻，一个熔岩凝固收缩而成）。这种地貌与我们今天要讲的热融湖塘有着密切的关系。对于冰缘地区的多边形土我有着深刻的印象，有一年我去可可西里考察，在马兰冰川附近，我看到了大片的多边形土。但那时是独立地看待这种地貌类型的，只是对于这种地貌的一个个多边形的形态和这种形态联合起来的规模感到新奇。

如果说在过去我看到的多边形土这种景观，是孤立的，那么后来我掌握了关于热融湖塘的科学知识，我知道了多边形土下面冰楔的融化是热融湖塘的最初发育形态，我把多边形土与热融湖塘联系起来了，知道了它们的先后关系和内在的联系时，我确实感到了这其中的美。我把多年前在可可西里看到的多边形土的形象又回忆起来了，接着在我的想象里，一幅幅的画面出现了：多边形的边形成的凹槽里，因为日照和降水的缘故，在它的下面有水聚集，冻成冰楔，在冰缘地区反复冻融作用下，冰楔向下发育，一直深入到永久冻土层。后来由于某种原因，冰楔开始融化，地面开始坍塌，热融湖塘开始出现，湖水吸热，传到周边，继续引起周边冰楔的融化和下面冻土的融化，热融湖塘开始扩大……

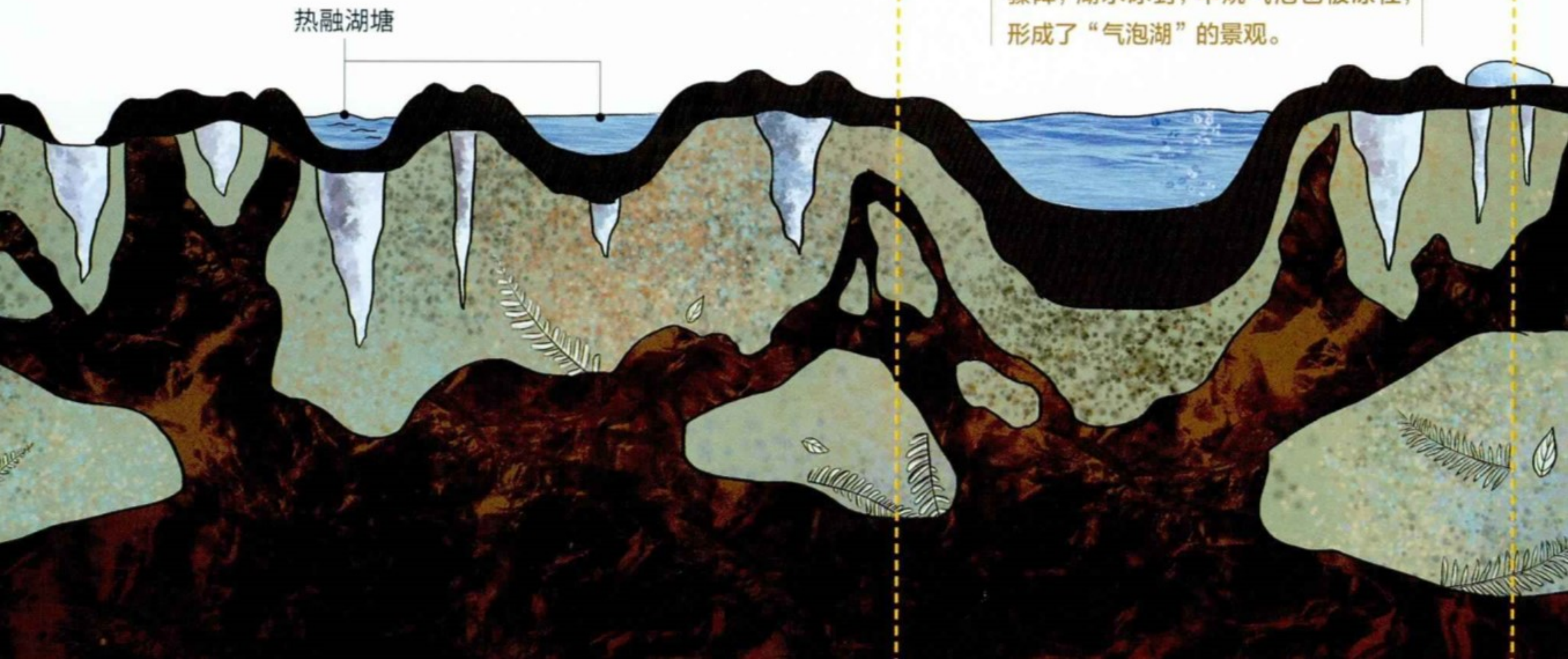
我的头脑中出现了一连串的画面，这些画面之间有着清晰的秩序，前后次第出现……如果说我在可可西里第一次见到多边形土时，看到的是一幅图片，那么现在我看到的已经是一部影片了。

冻土区热融湖塘的生长演化过程示意图②

改绘自路透社的科普成果

由于自然、人为的原因改变了地表状况，气候变暖或者地下冰暴露，使得地下冰融化，地表塌陷形成凹坑，水分汇集到这里，形成了“热融湖塘”。

水面的出现，使得地表吸收了更多的辐射热，加速了边坡的热融滑塌，热融湖塘逐步扩张。湖水的存在，导致湖底变成了无氧还原环境，土壤中的有机碳会以甲烷等气体的形式释放出来，因此夏天能看到这些湖中冒着气泡，冬天温度骤降，湖水冰封，甲烷气泡也被冻住，形成了“气泡湖”的景观。



科学知识在这里面起到了什么作用呢？它对审美有贡献吗？我想是有贡献的：它把一幅一幅孤立的图片连接起来了，使我看到自然界现象之间的联系，它们之间的深层关系。有人说这是自然的内在之美，或者说是深层之美，但是我觉得，美是和形象相关的，是因形象而引起的愉快，没有形象的东西，似乎不应该是美。科学知识不是美，科学知识引发的画面是美。科学知识可以把一些现象联系起来，可以预测一些情景的出现，可以验证一些画面存在，这些都是科学引发的形象之美。

但我们也不能高估科学对美的贡献，科学在审美中的作用还有许多模糊的领域需要探索。比如，过去热带海洋珊瑚礁中的各种生物曾经让我着迷，觉得它们美不胜收，但是随着我对珊瑚礁生态系统的科学知识的积累，我可以用一种模型来概括整个热带海洋中各种珊瑚礁生物的生活场景。我似乎觉得，看过一个珊瑚礁后，就了解了大多数珊瑚礁的生态场景，因此千姿百态的热带珊瑚礁中的场景，现在对我来说已失去了吸引力和美感。

科学规律的探求，统一性的追求，是否会带来世界多样性的消失……科学对世界的精确计算和预测是否会使世界丧失了神秘和新奇感，这些都需要探讨……

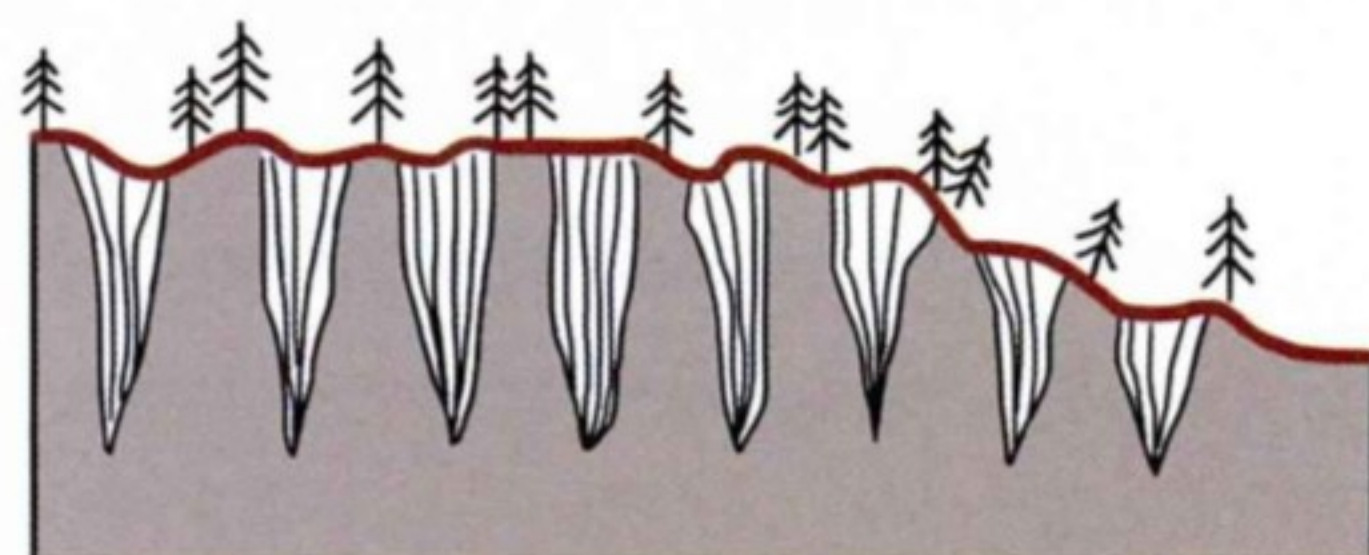
热融湖持续扩张，如果和相邻湖盆相遇，或者和河流相遇，便可能出现边坡坍塌、湖泊排水的情况。一旦开始排水，湖泊就停止了生长，最终水生植物、泥炭、沉积物等等会填满凹坑。



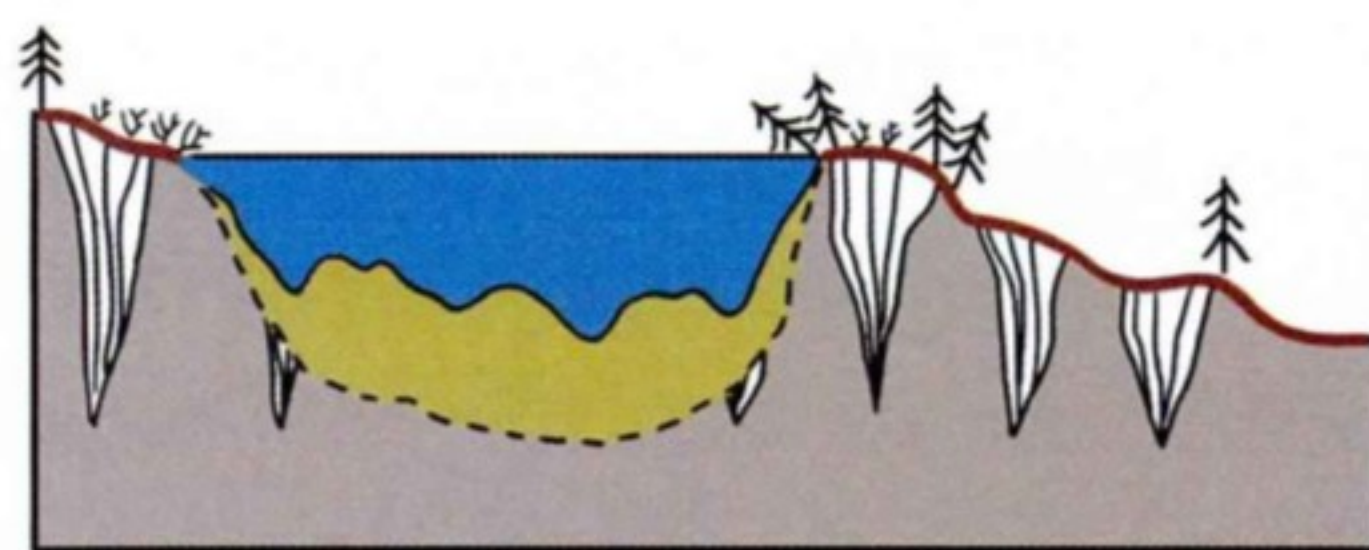
热喀斯特湖演化过程中的碳循环

改绘自 K. M. Walter Anthony 的研究成果

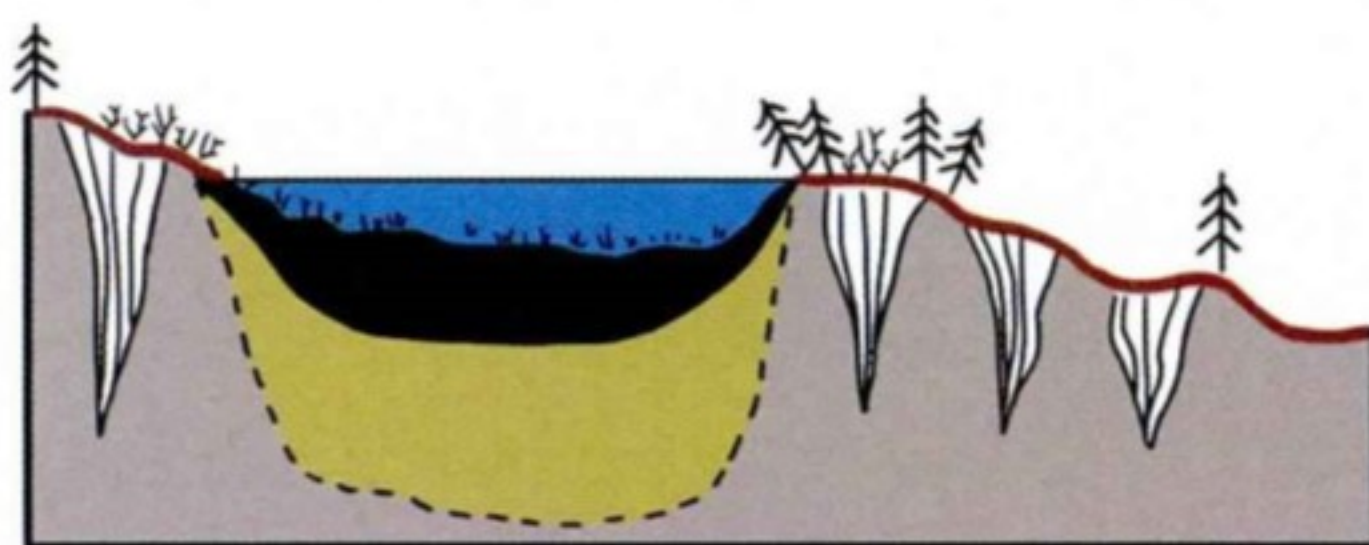
热融湖塘的扩张有着深刻的环境影响，它是温室气体的一个重要来源



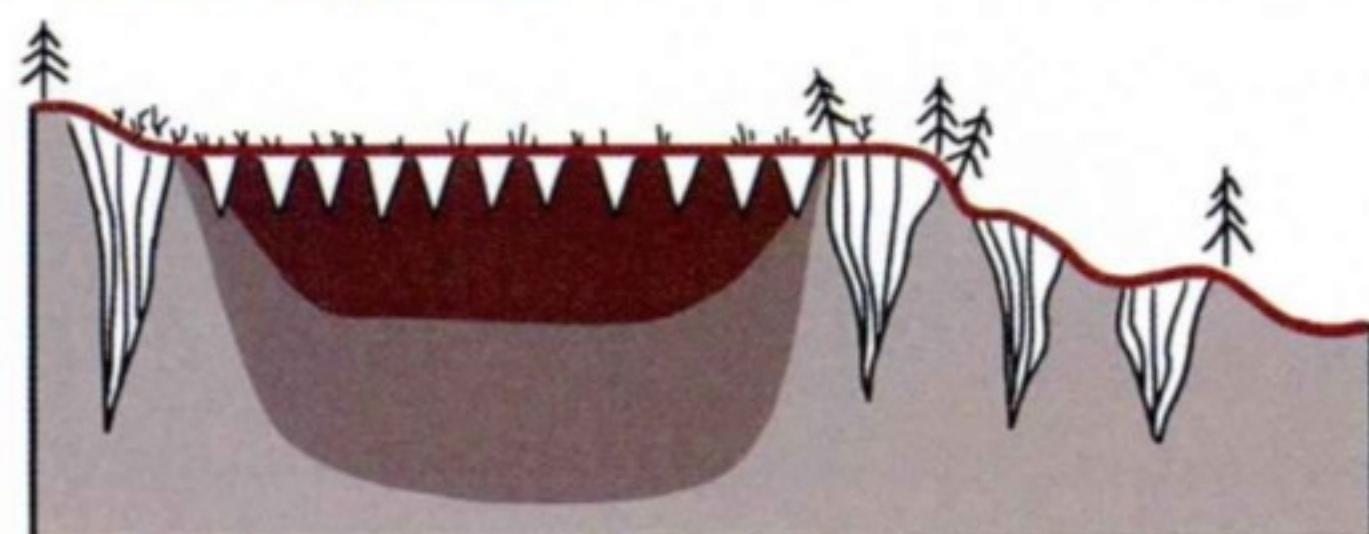
部分生长于高纬度的针叶林区地下有大量冰楔发育，由于自然或人为的原因导致冰楔融化，热融湖塘形成。



热融湖塘的扩张以湖岸坍塌为主要形式，因此热融湖边会出现“醉树”的景象。热融湖塘扩张的过程中，从周边环境中吸收氮、磷和二氧化碳，以甲烷的形式向空气中释放出了大量的温室气体。据部分研究表明，高纬度大气中的甲烷有三分之一是热融湖塘排放的。



热融湖发育到一定程度后开始排水，水生植物生长，从空气中吸收了大量二氧化碳，起到了一定的生物固碳作用，储积在湖底。



热融湖完全排水后，湖底的泥炭和水生植物等出露，再次变成冻土地表的碳循环过程。

看了铁巧的照片，热融湖塘又变美了

廖琪文的报告里，提到了当热融湖塘的湖水变浅时，就会有水生植物在湖中生长和消亡，这些有机体腐烂后转化成一些温室气体向空中排放，由于地球上多年冻土地带的热融湖塘数量很大，这些湖的甲烷排放量占高纬度大气中温室气体甲烷含量的33%，这已经是一个很客观的数字了。为了了解热融湖塘对全球变暖的影响，我把电话打到了中科院寒旱所的沈永平研究员那儿，他是《冰川冻土》杂志的副主编，对冰缘地貌、热融湖塘很了解。

“社会公众对冰川融化退缩很敏感，其实冻土地带的冻土融化引发的问题，远远比冰川融化退缩的影响更大，带来的危害更大，因为热融湖塘的融化是连锁性的，一出现会连成一片，所谓的‘星宿海’像满天繁星一样，其实说的就是热融湖塘的出现往往是多米诺骨牌一样的。现在有一些热融湖已经逼近了青藏铁路。”沈先生说。

从这天以后，我再看到热融湖塘的照片，以及“星宿海”的照片，我的感觉变了。这里我说一下气泡湖。近些年一些来自冻土地带的“气泡湖”照片很火，这些照片是冬天拍的。当热融湖塘里的甲烷气泡在上升的过程中，被冰封住了，在冰面上看，能看到一个个气泡冻结在透明的冰层中，有时放眼望去，满湖都是一串串的气泡，煞是壮观。气泡湖最著名的是俄罗斯的贝加尔湖、加拿大的亚伯拉罕湖、中国的赛里木湖……摄影师铁巧正在长江源地区给我们拍热融湖塘，他也拍到了一些气泡湖，但都是一些无名的热融湖塘。过去我看到这些照片时，我会觉得很美。但是自从我知道了这些气泡向大气层释放温室气体后，这些照片在我眼中变得不美了。“星宿海”是大面积冻土融化的连锁反应所致，这样一些科学的结论影响了我，星宿海也变了，它已不是星光灿烂的星空，它成了全球变暖、威胁人类的温室气体的贡献者。

一天，铁巧在青海玉树杂多县长江源打来了电话。他说他看到了一片壮观的“星宿海”，那里有三条河相汇，地势平坦，他看到了太多的湖，一直延伸到天边，太壮美了。他激动地说：“我传照片给你。”不一会儿收到了他传来的照片，我打开一看，也被震住了，确实壮观。以往我看到的“星宿海”照片都是夏季拍的，在寒冷的季节这一带没有摄影师去。我看到照片中，草地一片金黄，无边无际，金黄的草地中到处是已经冰封的湖，冰是蓝蓝的，有时有白雪镶嵌湖岸，湖群中还有一条分成几股汊流的河流分分合合地向着天边流去。我觉得这张照片确实很美，这片星宿海很美……前几天我关于星宿海的不良印象一扫而光，我从开始的困惑到最后得出结论：在审美中，形式是可以战胜内容的，美是不可战胜的。□



**美丽的冰泡湖背后，
是无法忽视的温室气体排放**

热融湖塘底部存在着微生物，会分解湖底有机质残骸，向大气中释放出甲烷等温室气体。关于热融湖塘和温室气体的关系，已经成了备受关注的科学问题，我们在欣赏星宿海和气泡湖的同时，也该思考一下它对生态环境的意义。摄影 / 铁丐



专家浅谈我国陆地边界概况 和界河管理维护工作

撰文 | 摄影
晓阳 | **马宏杰** 等

我国与 14 个陆地邻国接壤，陆地边界总长 22000 余公里。我国陆地边界情况如何？以河流划界一般依据怎样的原则？界河划定后日常的管理维护工作是如何进行的？本刊编辑部记者对原外交部边界事务资深顾问、我国边界划界与管理领域的专家马亚欧先生进行了采访，他对此做出了解答。

2020 年的 9 月份，为了制作 10 月特刊——“海岸带专辑”，我们从中国大陆海岸线的起点——鸭绿江口出发，一路沿海向南，最终到达了中国大陆海岸线的终点——北仑河口。

鸭绿江和北仑河分别是我国和朝鲜、越南的界河，因为河流的不稳定性，我们不禁开始思考：“国际惯例，以河流为界一般以河流的主航道为界，那河道淤积会对边界线造成怎样的影响？我国又是如何保持界河稳

定的？”为此，我们专门采访了原外交部边界事务资深顾问、我国边界划界与管理领域的专家——马亚欧先生。

**我国有 14 个陆地邻国，
与其中 12 个已经划定了边界**

马先生退休以前，一直在外交部从事边界工作，在中越边界、中俄边界等多项勘界工作中承担了中方勘界委员会代表的工作。

看着我们罗列得满满当当的采访大纲，马先生非常从容地告诉我们：“你们先别急着问，我给你们简要介绍一下我国陆地边界的情况。我国与14个陆地邻国接壤，陆地边界总长22000余公里。新中国成立以来，我国已与12个邻国通过外交谈判划定了边界，和平解决了边界问题，已划定边界20000余公里，占陆地边界线总长的90%。这是70多年来中国外交取得的一项重大成就，极大地促进了我国与周边国家的睦邻友好关系，为国家的建设、发展和改革开放营造了良好的周边环境，对维护亚洲和世界的和平稳定发挥了积极作用。”

“我国在边界工作上已经取得了这样大的成就，其背后有多少划界工作者的心血，是无法估量的。我们了解到，边界的确立通常是分为两个部分，第一步是划界，有关国家之间通过谈判签订条约，第二步是勘界，有关国家设立勘界委员会，进行实地勘测。划界和勘界两个过程，您能给我们展开讲讲吗？其中以河流划界一般是依据怎样的原则呢？”我们问道。

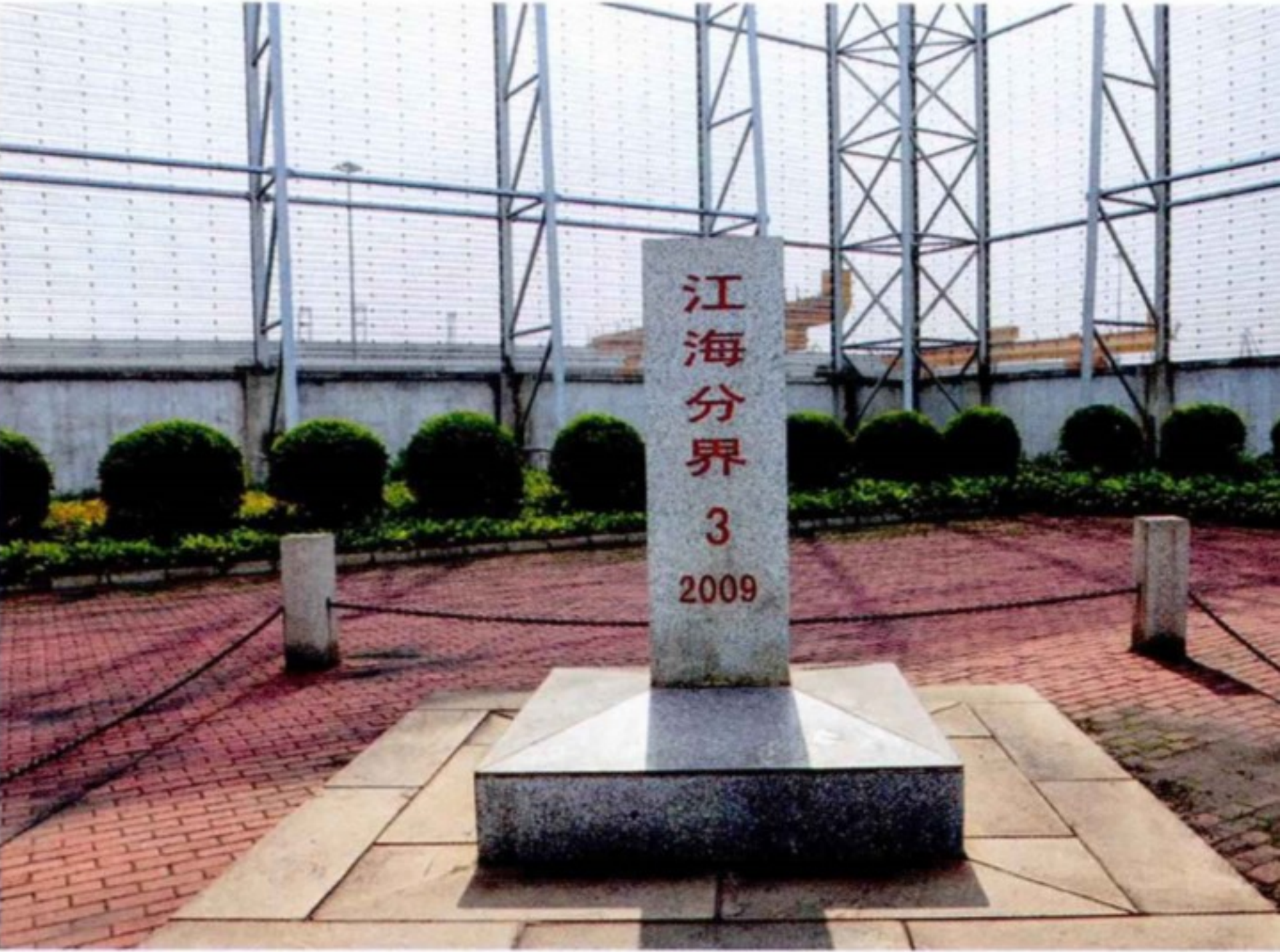
马先生这样回复：“划界，是通过谈判确定边界线的走向并以双边法律文件对谈判成果进行确认的过程，是在纸面上确定国与国之间的界线，最终的结果是边界条约及其附图。勘界，是对划界结果的实地勘测，最终在实地竖立界桩等界线标志，并以法律文件对界线走向和界标位置进行记载。我就以河流划界为例，给你们展开讲讲。以河流为界，我国是遵循国际法和国际惯例进行划界和勘界的。一般情况下，以河划界的时候，能通航的河流是以主航道划界的，非通航河流，以水流中心线或主流中心线来划界。除中朝之间考虑到实际情况和照顾各自边民利益，以整条河为界以外，我国在与邻国划界

过程中，一般都遵循了上述划界原则。通过和有关邻国的外交谈判划定了边界之后，有关国家会组织勘界委员会进行实地勘测，并竖立界线标志。通航河流以主航道划界时，一般通过水文测量确定主航道即边界线位置；非通航河流以水流中心线或主流中心线为界时，河岸两侧界桩连线与水流或主流中心线交点即界标位置，并分别记录交点至两侧界桩的距离。以河为界的勘界工作一般是这样开展的。”

我们追问：“我们最疑惑的点就在这里。河流演变是自然的规律，它是一个发展的过程，如果在勘界之后河流形态发生变化，对于边界会有怎样的影响呢？我们在一些学术论文中看到了这样的说法，‘某某河道发生淤积，导致主航道向我国偏移，即边界线向我国偏移，因此我国的领土损失了’。”

“除特殊情况外，边界线一经划定，是不会因为河流的变化而变化的。”马先生的回应掷地有声。

北仑河是中国与越南的界河，在广西东兴市附近汇入北部湾，左页图为北仑河口的景观（摄影/王宁）。鸭绿江是中国和朝鲜的界河，在辽宁丹东市附近汇入黄海，下图为鸭绿江口的江海分界碑，指示着鸭绿江和黄海的分界线。





右图左侧是我国大陆海岸线最西端的城市广西东兴市，中间蜿蜒流过的是北仑河，右侧是越南芒街市（摄影 / 张大进）。北仑河作为中越界河，河流两边和河道中间都有着界碑竖立，左图为我们去考察北仑河时拍摄的界碑。



边界线一经划定， 无论河流如何变化都影响不到它

通过马先生关于勘界时实地工作如何开展的介绍，我们意识到了原来在对以河为界，社会公众容易发生误读的地方在哪里，就是社会上，甚至一些学术论文也存在这样的认识：在以河为界的边界地区，如果水流、主流或主航道的中心线发生了变化，就会发生领土的变化。而其实在实际的边境管理中，由于沿河界标的确立，已经确定了即使河流的形态发生了变化，原定的边界也不会变化。

河流边界线的确立，经历了划界、勘界两个过程：划界在纸面上确定了国与国之间的界线，勘界工作者们在实地勘测中竖立了界标，把这条虚拟的线进行了落实，并形成了实地竖立的界桩和书面记录的界桩位置。也就是说，在有关邻国的共同勘界工作圆满完成后，边界线就是一条有界桩标示、有固定经纬度位置的“实线”了，无论作为界河的河流怎么改变，这条“实线”都不会受到影响。而且，在边界线的标识界桩竖立之后，我国和有关邻国一直密切关注着界桩维护、边界线管理问题。

“为了维护管理边界线，我国还与越南、朝鲜等10个已定界邻国签订了边界管理制度协定，构建起了比较完善的边界合作法律体系和制度架构。双方据此每年就边界管理、合作交换意见，定期开展边界联合检查，有效维护了边界线的清晰稳定，有力维持了边境地区秩序，为边境地区经济社会发展创造了良好的条件。经过几代人的努力，边界已经成为我国与邻国经贸合作和人文交流的纽带。”关于边界线的维护，马先生给我们补充介绍道。

河流水流、主流和主航道对于边界线的意义，主要体现在边界确立之前，作为一项重要的划界依据。但是在边界划定之后，边界线就是固定的了，无论河道如何演变，都不会对边界构成影响。“界河”一词，只是说明了这条河流正好流过了两国之间的边界，边界是由有关国家之间通过外交谈判划定的，并在有关国家联合实地勘界考察后，通过界桩的竖立，明确、细化了边界的具体位置。就算“界河”改道了，边界也不会变化。“界”是固定下来后一般情况下就不会变化的，而“河”的变动，双方会尽力维护，如果自然情况下河流产生了变化，也不会影响到边界。



在边界线的维护上， 我们也做了充足大量的工作

在马先生深入浅出的介绍中，我们的采访进入了尾声：“我们还有最后一个疑问，在这些边界河流中，存在着大大小小的沙洲、岛屿，它们的归属权也是经由勘界过程协商敲定的。但跨界河流中还会有新的沙洲生长，这新增的沙洲如何明确归属？如果流域发生洪涝灾害，出现了界河改道、沙洲消失等特殊情况，又应该怎样应对这些情况呢？”

马先生说：“在我国与邻国签署的边界管理制度协定、勘界议定书以及其他有关协定中，对界河日常管理、航道疏浚、边界联合检查、沙洲归属等，做出了明确规定。一直以来，双方按照已有协定的规定，有效地

开展合作。如果真有特殊情况出现，比如河流改道、洪涝灾害、河中沙洲的诞生和消失，协定上已经有了应对措施，双方会就此特殊情况，进行联合检查，重新约定并达成共识，以维护边界的清晰稳定。”

此外，我们还就鸭绿江口、北仑河口的现状采访了当地外事部门的负责同志。目前，鸭绿江口西水道航道通畅，绸缎岛我方岸线一侧也全部修建了护岸，不会与我方陆地相连。而北仑河经过中越双方的共同努力也长年保持稳定，我们考察时看到的沙洲、堤坝均形成或建成于两国勘界前，沙洲的面积至今也没有发生过明显变化。

我们在海岸线起止点考察中遇到的疑问，至此，算是获得了圆满的解答。□



» 北坡

贡嘎山海拔7556米，呈角峰尖锐、刃脊料峭的巨大金字塔形。由于山体构造、岩性不同，且迎风坡、背风坡降水、光照等条件各不相同，这个“金字塔”的各个面也呈现出了不同的样貌。图为贡嘎山北坡，相比其他方向坡面，西北山脊与东北山脊之间的贡嘎山北坡崖面，是一个近于等腰三角形的坡面。



多面贡嘎

从地面到直升机 360°看贡嘎

“蜀山之王”贡嘎山，以海拔 7556 米的高度屹立在青藏高原与四川盆地之间的过渡地带，尖峭奇锐的金字塔形角峰，穿云破雾，卓立于山脉之巅，成为让人有着无限憧憬的著名山峰。但你是否知道，在不同的方向与视角下，贡嘎山会呈现出完全不同的面孔和美学震撼？摄影师王建军多年来不仅从地面上不同位置拍摄贡嘎山，在今年还乘直升机实现了从空中环绕贡嘎山 360° 拍摄，用他的镜头为我们呈现出了贡嘎山的“多面”精彩。贡嘎山从不同方向上看，有着怎样的不同？这些不同景观是怎样形成的？请看地质学家范晓做出的深入解读。

喜马拉雅山脉以东， 没有比它更高的山峰了

1929年，约瑟夫·洛克由西坡进入贡嘎山区，当他向当地人询问这座伟大山峰的名字时，根据字音记下了它的名称——Minya konka，即木雅（弥药）贡嘎。自此，这座山便有了一个通行于世界的名称。贡嘎山西坡的大片区域，正是木雅人的唯一聚居区。木雅人被认为是党项羌或西夏遗民的后裔，有着不同于周边康巴人的独特语言与风俗。后来，在20世纪50年代，这座山峰被正式定名为贡嘎山。

单独的山峰一般称峰，不称山，但贡嘎山的称呼在中文世界里似乎约定俗成，所以本文也对其称山，不称峰。不过，川西藏区的雪山多有贡嘎之称。因为“贡嘎”在藏语中指山之雪白。例如，著名的稻城亚丁三神山，就被统称为贡嘎岭或贡嘎尼桑姆贡巴；沙鲁里山的东支被称为工卡拉山，实际上是贡嘎纳的同音异译。纳或拉在藏语里也即山的意思。为了区分山与峰的地貌学涵义，以及体现山峰的地域和文化特征，笔者倒是建议用木雅贡嘎峰来替代贡嘎山这一名称。

贡嘎山海拔7556米，不仅是整个横断山六江流域的最高峰，而且在喜马拉雅山脉以东，再没有比它更高的山峰了。此外，它也因为四川省的最高峰，而被称为“蜀山之王”。正因为贡嘎山如此显眼地突兀于横断山的诸山之上，早期的西方探险者都想测知它的高度。1923年，美国的西奥多和柯密特曾目测估计贡嘎山的高度约30000英尺，即9100多米。由于1852年英属印度测量局曾测得珠峰高度为8840米，并确定为世界最高峰，因此，说贡嘎山超过9000米，就像是开了一个玩笑，但同时也吸引了许多人的关

注。这表明贡嘎山在人们的目击之下，的确是高耸无比。

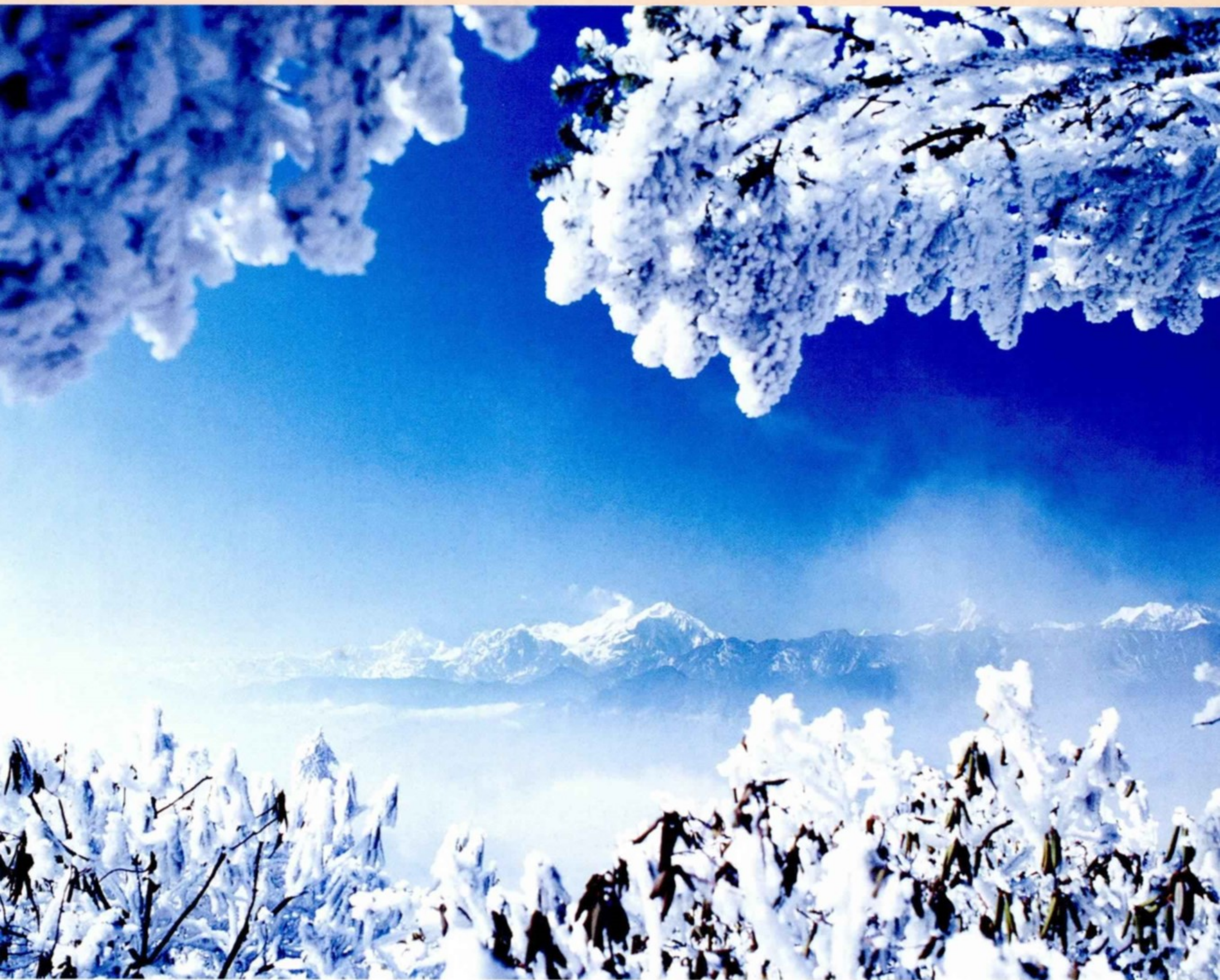
贡嘎山的意义，并不仅在于它的高度，还在于它以及它所在的大雪山脉西侧，是高原面保存相对较为完整的川西高原区，也是较为典型的藏区；而在它的东侧，则是横断山脉东部，由川西高原向四川盆地过渡的高山峡谷区，是汉藏之间多样化的族群交处杂居的区域。因此，贡嘎山就像青藏高原与四川盆地之间过渡的门槛上矗立的地标。东侧诸多族群传统上也把贡嘎山所在的大雪山脉的垭口，视为关内通向关外的孔道。无论是由东向西登上高原，还是由西向东下行四川盆地，当从不同方向看见贡嘎山那巨大的金字塔形山峰时，都会有一种震撼涌上心头。

类似金字塔的贡嘎山，四个坡面 并不等大和同样

因冰雪侵蚀和重力作用，贡嘎山的山峰形成了一个金字塔形的四棱锥体。形成朝向东南西北四个方向的三角形坡面山崖；以及这个四棱锥体的四条棱——东北山脊、东南山脊、西南山脊、西北山脊。按照上述的顺序，两两山脊之间，依次是贡嘎山的东坡、南坡、西坡、北坡。说是坡，其实有点不恰当，因为强烈的雪崩冰崩岩崩，这些坡面已经崩解成近于直立的崖壁，而且崖壁上密布因为雪崩冰崩岩崩冲击形成的竖直沟槽。

由于坡面冰雪岩石等物质的崩泻，在金字塔形的陡壁下方，形成了堆积冰雪等崩塌物的大洼地，地貌学上称之为粒雪盆，混有大量岩石碎屑的冰雪在这里被压实成为冰川冰，并通过洼地前方的陡坎以冰瀑布的形式下泻，进入山谷中形成长长的冰舌。由此，贡嘎山的东南西北坡，分别是海螺沟、大贡

拍摄地点：原二郎山垭口
海拔：2980米



1987年1月29日，王建军拍下了自己的第一张贡嘎山照片——从二郎山垭口远眺贡嘎，以玉树琼枝般的树挂为前景，令贡嘎群峰平添了几分仙气。二郎山属邛崃—夹金山系南延山脉，二郎山垭口位于二郎山最高峰北侧，2001年修通二郎山隧道后，原来翻越垭口的盘山公路慢慢被废弃，照片中的景象也渐渐少为人知。二郎山垭口正对着贡嘎山的东北山脊，可同时看到贡嘎山东坡和北坡，由于东坡向阳、北坡背阴，一明一暗，两相对映，山脊线也特别清晰。但因位于贡嘎山东北侧的中山峰略有遮挡，所以画面中的贡嘎山虽然最高，但气势上却略有不足。

拍摄地点：牛背山
海拔：3660米



牛背山也是从东北方向上拍摄贡嘎山的一个绝佳地点(上)，在这里可以拍到贡嘎群峰仿佛飘浮于云海之上的奇观。但仔细分辨，你会发现画面中的贡嘎山还是有些受中山峰的遮挡。如果身处中山峰之上看贡嘎，又可以看到怎样的景观呢？右页图告诉了我们答案。这张照片是直升机悬停于中山峰之上时拍摄到的情形。此时，贡嘎山的东北山脊正对着镜头，山脊的一侧呈现出寂然肃穆的厚重，山脊的另一侧却见云雾混着积雪被横吹开来，这意味着此时山巅风力已在十级以上。直升机下方，从中山峰上流淌而下的磨子沟冰川则以势不可挡的气势奔腾而下。眼前的景观，宁静中蕴藏着暴烈。与远眺相比，乘直升机贴近贡嘎山拍摄，获得的震撼是无与伦比的。

巴沟、小贡巴沟、燕子沟等冰川的源头。

不过，贡嘎山这个四棱锥“金字塔”的四个坡面并不等大和完全同样。由于东南山脊明显偏向南，就像这根扇骨向西打开，使贡嘎山的东坡不仅略向东南偏转，而且东坡崖壁也成了贡嘎山最大的一个金字塔坡面，它的下面有最大的海螺沟粒雪盆，及其最高的大冰瀑布、最长的冰舌。但从因果关系看，因为东坡是阻挡水汽最多的迎风坡，降水量及冰雪囤积量也最多，因此坡面侵蚀也更强烈，导致东南山脊向西后退，成为东南偏南的走向。

贡嘎山东南山脊的走向，也是大雪山脉的主脊线走向，这是受到同走向的大断裂影响所致，使得贡嘎山南坡的朝向也向西偏转。而且，由于南边的大贡巴冰川与北边的小贡巴冰川在源头粒雪盆的相向侵蚀，所以分隔贡嘎山南坡、西坡崖壁以及大小贡巴冰川的西南山脊，在与贡嘎山顶峰连接处出现一个断凹，让贡嘎山的南坡和西坡几乎连接起来，成为一个坡面走向有弯折，局部朝向有变化，但总体朝向西南偏南的山崖面，人们常常把它统称为贡嘎山西坡。

相比贡嘎山东、南、西方向的崖面，西

» 东北山脊







贡嘎山群峰,海拔在5000米以上的多达几十座。它们都在雪线以上,终年白雪皑皑,冰川充分发育,积雪和冰川造成的侵蚀作用非常强烈。再加上贡嘎山包括主峰在内的核心部位主要由花岗岩体构成,花岗岩具有较好的结构均一性且抗风化能力较强,所以能够形成尖锐的角峰、陡直的崖坡面,以及角峰之间刀削斧凿一般的山脊线。

» 贡嘎群峰

“当我第一次
在6758米的高度，
直面雄伟的贡嘎山时，
刹那间还是被贡嘎山
巨大的视觉冲击
所震慑了！
这种震撼是前所未有的，
直抵心底！”

撰文 | 王建军



从第一次见到贡嘎到第一次 拍摄贡嘎，我用了14年

那还是我当兵的第三个年头，也就是1973年的2月6日，四川甘孜藏族自治州的炉霍县发生了强度为7.6级的大地震。就在地震后的第二天，部队接到了赴炉霍抗震救灾的命令，我们做了紧张而有序的准备后，按照预定时间立即向炉霍灾区挺进。

我们从新津出发，经雅安、天全、新沟一路向西。当时只记得318国道又窄又颠，且大部分是土路。经过一整天的车程，晚上才到了二郎山脚下的新沟兵站。第二天一大早，我们乘车翻越川藏公路的第一个天险——二郎山。车队在狭窄和崎岖的盘山道上慢慢地移动着，不知道行驶了多长时间，终于来到了二郎山垭口。山顶上呈现出“冰火两重天”的景象，从阴坡的阴郁一下子变成阳坡的明媚，一座座雪峰突然就出现在我们眼前，驾车的老兵手指着最高的山峰告诉我们，这就是贡嘎山，是四川的最高峰！贡嘎山的身影瞬间就在我的心中刻下了无法磨灭的印象。我不知该如何形容眼前壮丽的景象，心里突然想，要是有一台相机能把它拍下来就好了。但





今年5月，王建军参与了川西高原第一个航拍基地环绕贡嘎山空中勘查选点的航拍工作。乘坐直升机从5月10日到15日，共计飞行11小时46分钟，飞行了7个架次。在航拍过程中，直升机的飞行高度为5800米—6758米，几乎达到了其飞行极限。航拍时是无氧飞行，机舱外部的温度为零下15℃，山顶阵风强度甚至在10级以上，拍摄条件非常艰苦。

在那个时代，摄影是件奢侈的事儿，当时我一个月的工资是8元，一卷负片胶卷就要4.5—4.8元，更不用提100多元堪称天价的照相机了。

后来我调到汽车团成了一名汽车兵，长期驾车行走在川藏线(318国道)上，每年都要多次驾车翻越二郎山天险，也一次次与贡嘎山擦肩而过。再后来，没想到因为工作需要和爱好，在部队期间我开始接触摄影了。在13年后，我终于有机会第一次拍摄贡嘎山。

1987年1月的一天，应朋友之邀我去拍摄贡嘎山。我从汽修厂借了一台送修的“北京212”吉普车，修车工具都顾不得预备，车上唯一的工具，就是遗留在座位下的一把改锥，连备胎都没有，就匆匆上路了。可想当时

是多么的急切和鲁莽。

当我又一次驾着汽车在雪雾中的二郎山盘山公路上行驶，翻过二郎山垭口时，初遇贡嘎山的一幕又完全重现在我眼前了，从冰雪皑皑到阳光灿烂，贡嘎山在阳光下光芒刺眼，深谷中的大渡河蜿蜒迂回地流向远方。我迅速架起了相机，以树挂做前景，不停地按动着快门，心跳声和快门声一起变得越来越快。

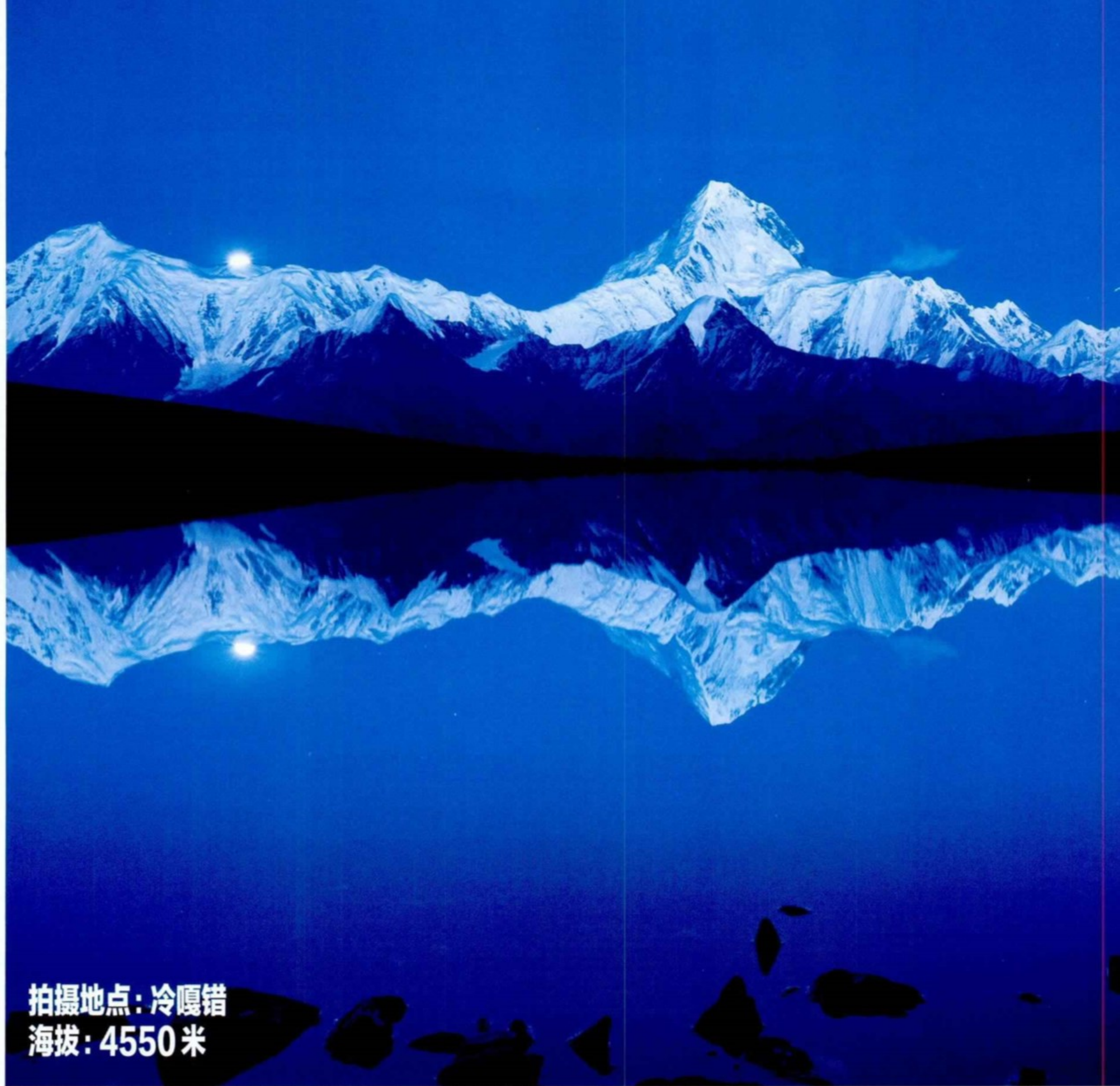
在地面上看贡嘎， 不同方向各有各的好

后来我从一个摄影爱好者走向了职业摄影师之路，把镜头对准中国西部一拍就是30多年。中国西部的雪山冰川、沙漠戈壁、大江大河……精彩的风景实在是太多太多，但在我心

里贡嘎山始终都占有着特殊的地位。

多年之间，我从东、南、西、北多个角度拍摄了贡嘎山。一般情况下我会把拍摄点选在离主峰直线距离约在10—20公里的范围内，在这个距离中拍摄，贡嘎山摄人心魂的气势能够充分地呈现出来。当然，从更远的地方也可以拍摄贡嘎山，比如在贡嘎山东侧100多公里外的峨眉山上拍摄，层层叠叠的山峦和云海之上，贡嘎群峰宛如仙境一般。甚至在成都市，在天气晴好、大气透明度极高的情况下，在一些特殊的地点，用长镜头也是可以拍到贡嘎山的。但在长镜头的压缩作用下，贡嘎山的形态多多少少会有些变形，细节也不够清晰。

在地面上，贡嘎山东北侧的牛背山是一个非常好的拍摄点，在这里可



拍摄地点：冷嘎错
海拔：4550米

以拍到贡嘎群峰仿佛飘浮于波澜壮阔的云海之上的照片。因为大渡河横亘于牛背山和贡嘎山之间，从河谷上升的暖湿气流很容易在牛背山西侧形成云海和云瀑景观，几乎一年四季都有，雨水充沛的春夏则更为常见。同时因为贡嘎东坡是迎风坡，降水量大、冰雪囤积得多，冰川充分发育，从东侧拍摄贡嘎山，冰川流淌的状态清晰可见。

贡嘎山西北侧的高尔寺山也是一个很独特的拍摄点。不仅因为可以拍

到落日余晖中的“日照金山”，更因为“黑石城”的存在。2002年我们在拍摄《康定画册》时，来到高尔寺山，发现那里有许多过去牧民、僧人用砾石搭建的简易石屋和玛尼堆等遗迹。以这些遗迹为前景拍摄贡嘎山，就会为雄浑壮美的自然风光增加特殊的人文气息。我们在画册中将这些遗迹命名为“黑石城”，从此高尔寺山黑石城的名号渐渐传开。

后来，我也多次乘坐空军的运输机和民航飞机，从万米的高空上俯拍

贡嘎山，这种俯瞰的视角是一种全新的体验，但总给人一种隔靴搔痒、意犹未尽的感觉。

第一次乘直升机拍摄贡嘎山

今年5月，我有幸参与了川西高原第一个航拍基地环绕贡嘎山空中勘查选点的工作。第一次乘坐直升机，实现了真正的从空中抵近贡嘎山360°环绕拍摄。

在地面上，从南侧其实几乎是拍不到贡嘎山的。因为贡嘎山南侧被高



贡嘎山西坡地形起点高，从西坡山脚下以及贡嘎山以西的诸多山岭上，都可以较容易地看到贡嘎山的雄姿。位于贡嘎山西坡帮木吉德村后山上的冷嘎错，是近年来备受推崇的贡嘎山拍摄点。冷嘎错寒潭澄澈，水平如镜，是拍摄贡嘎群峰倒影的绝佳地点（左）。高尔寺山黑石城，则提供了从西北方远眺贡嘎的好视野。照片前景是黑色砾石搭建而成的石屋和宗教建筑遗迹，在其厚重神秘的人文气息映衬下，远处的贡嘎山更给人以巍然和圣洁的感觉（下）。



拍摄地点：高尔寺山“黑石城”
海拔：4300米

山深谷所包围，除了西南方仅有的子梅垭口等少数能看到贡嘎山的地方，再向南一线，几乎都是在深谷中。在峡谷里，由于遮挡不可能有良好的视野，想要不遮挡就得登上那些高山之巅，这恐怕只有专业的登山高手才能做到。所以虽然多年来拍摄贡嘎山，但只有此次，我才真切看到了贡嘎山南坡的真容。

我们的机组在日出前10分钟从康定临时的停机坪起飞，从贡嘎山的北面向东南方向飞行。此时的贡嘎山

还沉浸在寂静的晨曦中，山脉被暗蓝色的云海所簇拥，静静等待着新一天的到来。

突然间太阳的光辉撕破了牛背山山脊上的云层，炽烈的光和热顷刻间洒满了贡嘎群峰。整个山脉被阳光涂染成一片金红，呈现出博大的生机和力量感。贡嘎山巨大金字塔状的主峰，显得那样庄严而神圣！

尽管我在飞行前做了充分的心理准备，但当我第一次在海拔6758米的高度，直面雄伟的贡嘎山时，刹那

间还是被贡嘎山巨大的视觉冲击所震慑了！这种震撼是前所未有的，直抵心底！

越来越近，越来越近了。直升机环绕着贡嘎山飞行着，狭窄如刀刃般的山脊，陡峭的冰壁、裸露的山岩、摇摇欲坠的积雪……一切仿佛都触手可及，从来不曾看清过的细节，就这样扑面而来。我强忍着激动的泪水，不停地按动快门，第一次看见贡嘎山时那种无比崇拜与敬仰的感情，又一次充盈了我的全部身心。

拍摄地点：峨眉山
海拔：3077米



峨眉山位于贡嘎山东侧，两者间直线距离在100公里以上，但位于峨眉金顶时，由于所处高度基本在云层之上，且峨眉山以西没有更高的山脉遮挡，所以亦可看见贡嘎山东坡的真颜（左）。贡嘎山东坡崖壁是贡嘎山最大的一个金字塔坡面，又因为东坡是阻挡水汽最多的迎风坡，降水量高、冰雪囤积量大，所以东坡之下形成了贡嘎山最大的粒雪盆，粒雪盆下巨大的冰瀑布倾泻而下。这条大冰瀑高1080米，宽1100米，是我国最高最大的冰瀑，一般情况下人们只能远远仰视望而兴叹，但直升机却可以提供飞临其上的鸟瞰视角（右）。

北山脊与东北山脊之间的贡嘎山北坡崖面，是一个最为标准的近于等腰三角形的坡面。

人们常为贡嘎山东坡海螺沟的大冰瀑布所震撼。但在北坡的燕子沟，西坡的大、小贡巴的冰川上段，都有从粒雪盆中涌出的大冰瀑布，虽然不如海螺沟大冰瀑布高，但也足够壮观。只是除了登山探险者外，一般游客较难接近它们。大、小贡巴冰川在贡嘎山的西南山脊前端汇合成贡巴冰川，成为仅次于海螺沟的贡嘎山第二长的冰川。

上面所说的贡嘎山四个方向的坡面，是针对主峰而言。在更大范围，人们根据大雪山山脉的走向，一般只区分贡嘎山的东坡和西坡，它主要表现为大雪山脉这个重要的地理地貌分界，造成的东西两侧地形高差、自然垂直分带、气候等方面的差异。

岩石与构造的变化，造成贡嘎山坡面与山脊形态的差异

一个极高山山峰的形态，既与冰雪侵蚀作用有关，也与它的岩石性质和构造形态有关。贡嘎山主峰及周边为大片冰雪覆盖，地质学者通过出露的岩石以及沟谷中由源头搬运来的岩块推断，贡嘎山包括主峰在内的核心部位，由花岗岩体构成，这一点由1957年中华全国总工会登山队（中国登山队前身）在峰顶采集到花岗岩标本所证实。贡嘎山花岗岩体的周边，为三叠系的变质砂岩、板岩所包绕。一般来说，由于花岗岩体具有较好的结构均一性，以及花岗岩抗风化能力较强，所以它能够形成较为尖锐的角峰和较为平直的崖坡面与山脊线。而砂岩、板岩因为



有层理并因挤压产生褶皱，结构的均一性不如花岗岩，而且抗风化能力也较弱，因此在地形上会显得钝化，并有较多起伏。

根据可观察到的露头以及从山体的地貌形态推断，贡嘎山的以下部分都由花岗岩构成：西北山脊由“骆驼背”至峰顶、脊线十分平直、斜距约2000米地段，北坡的山崖面，东北山脊由燕子沟与海螺沟之间的山坳口至峰顶地段，东坡的山崖面，西南山脊与西北山脊之间的西坡崖面，东南山脊由峰顶向下斜距约400米的地段。

东南山脊，由峰顶向下斜距约400米以后，在卫星图像中可以看到南西侧崖坡上有向南倾斜，并发生弯褶的层理构造，应为砂岩、板岩出露，而这也很可能是东南山脊起伏较大、地形较复杂的原因。此外，大、小

贡巴冰川之间的西南山脊除了前端有花岗岩小岩体外，几乎全由砂岩、板岩构成，它的高度在贡嘎山的四条山脊中也是最低的。西南山脊上端和主峰之间的那个断口，很可能是砂岩、板岩与花岗岩体的接触面所造成。

19 世纪末到现代， 对贡嘎山的眺望与聚焦

贡嘎山东坡地形切割很深，从大渡河谷到主峰的直线距离仅26公里，高差超过6400米，进入峡谷中，由于地形崎岖，要眺望贡嘎山并非易事。东坡最好的观景点，在大渡河左岸（东岸）与贡嘎山隔河相望的邛崃山脉山岭上。

贡嘎山西坡地形起点高，玉龙西河谷的

» 西坡

从近处观察贡嘎山西坡，你会发现西坡和南坡几乎连接了起来。这是因为西坡的小贡巴冰川与南坡的大贡巴冰川，在源头粒雪盆处相向侵蚀，使得西南山脊在上部与贡嘎山顶峰连接处出现了一个断凹。贡嘎西坡的另一个显著特点则在于西北山脊，西北山脊“骆驼背”以上有一段标志性的笔直脊线，坡度大约在40度至45度，斜距约2000米长（右）。在拍摄贡嘎西坡时，摄影师看到主峰西侧的群峰上恰好出现了荚状云。当湿润的空气经过山脉上空时，如果正逢温度下降，空气中的水分就会凝结成荚状云。由于阳光的照射，有的荚状云上还显现出了美丽的虹彩（下）。

最低海拔已在3500米以上，加上植被稀少，看到贡嘎山很容易。此外，在贡嘎山以西的诸多山岭上，几乎都可以观赏贡嘎山的雄姿。

虽然没有留下影像记录，但历史上，贡嘎山周边的原住民，在对贡嘎山的无数次凝视中，一定会把它作为神圣的崇拜之地。最早把贡嘎山的信息传达给外部世界的，是19世纪末的西方探险者。1877年，英国人威廉·吉尔（William John Gill）在中国西部的旅行中，注意到了这座非凡的山峰，并为它绘制了一幅白描的草图。从这幅草图的形态看，应当是贡嘎山的北坡和西坡，以及它们之间的西北山脊，是在贡嘎山西北侧绘制的，这大概是目前能见到的关于贡嘎山山峰的最

早素描。同一时期，还有1878年的奥地利人劳策、1879年的匈牙利人斯西尼、1889年至1990年的英国人普拉特等，进入贡嘎山区进行自然考察以及测量贡嘎山的高度。他们的足迹遍及贡嘎山的西坡和东部，发现了包括海螺沟在内的冰川及其冰瀑布，但遗憾的是他们都未留下贡嘎山山峰的影像资料。

1929年，洛克的贡嘎山之旅可以说开创了世界认识贡嘎山的全新时代。得益于照相技术的成熟，洛克第一次用摄影图片把贡嘎山的面孔清晰地呈现给世人，尽管还只是由西坡拍摄的贡嘎山。洛克1930年发表于美国《国家地理》的“Glories of the Minya Konka”一文，引发了上世纪30年代中外科





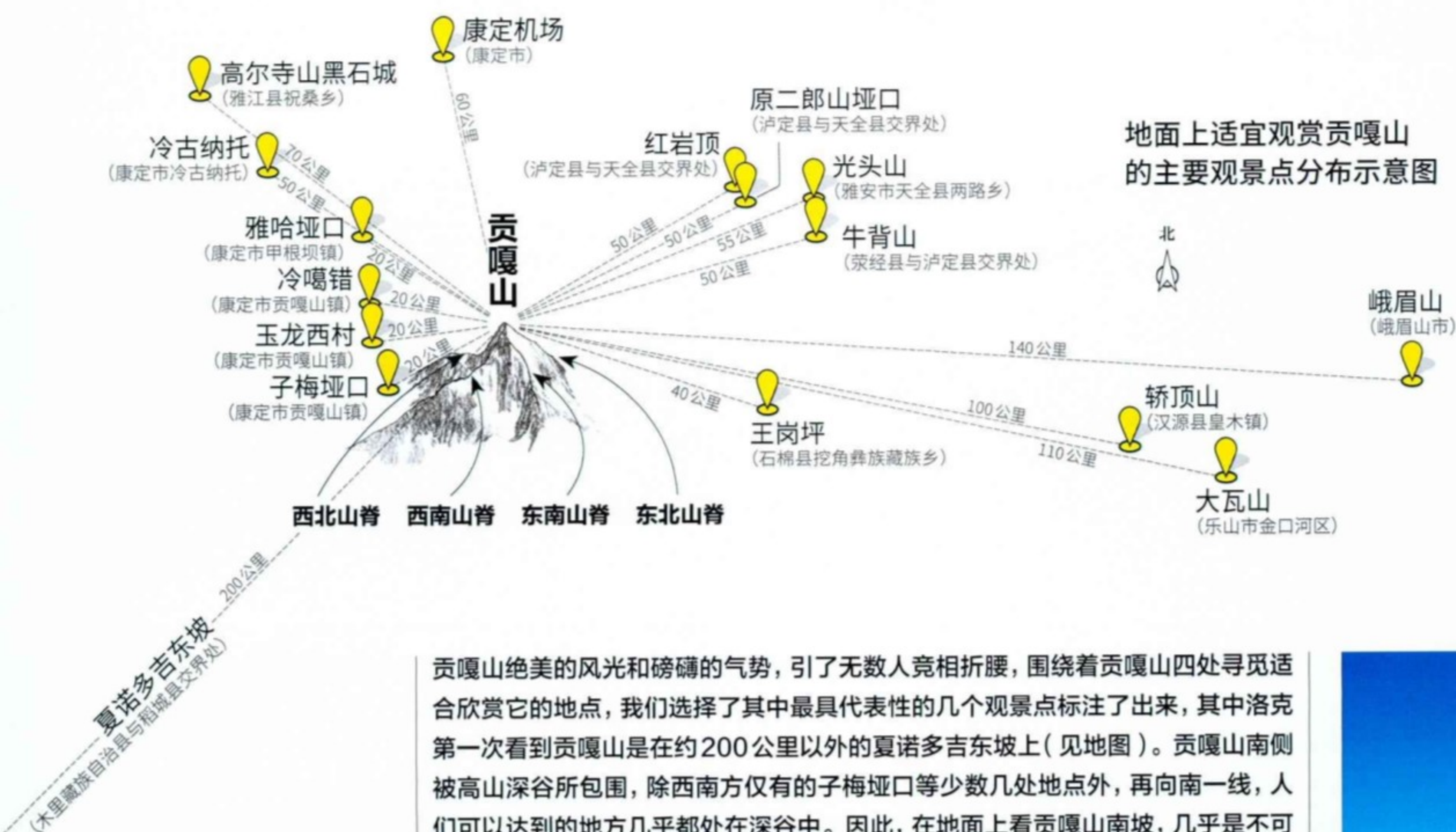
学家、探险家的“贡嘎山探索热”。

1931年，由瑞士人海姆教授率队的、包括中国学者李承三、徐瑞麟、古力齐等的中山大学考察团，对贡嘎山进行了首次全面的科学考察，不仅留下了照片，海姆还从西坡绘制了十分精确的贡嘎山及其周围群峰的素描图。运用现代测量和制图技术，他们还首次绘制了较为详尽的贡嘎山冰川图，贡嘎山

的海螺沟、贡巴沟、燕子沟这三条最大的冰川都有较准确的标绘。

1932年，美国人摩尔（Terris Moore）、波萨尔（Richard Burdsall）沿西北山脊首次登顶贡嘎山，也第一次给人们带来了攀登途中、近距离观察贡嘎山的图片。

此后，由于战乱等原因，人们探索贡嘎山的热情暂时沉寂下来。25年之后的1957



» 南坡

贡嘎山绝美的风光和磅礴的气势，引了无数人竞相折腰，围绕着贡嘎山四处寻觅适合欣赏它的地点，我们选择了其中最具代表性的几个观景点标注了出来，其中洛克第一次看到贡嘎山是在约200公里以外的夏诺多吉东坡上（见地图）。贡嘎山南侧被高山深谷所包围，除西南方仅有的子梅垭口等少数几处地点外，再向南一线，人们可以达到的地方几乎都处在深谷中。因此，在地面上看贡嘎山南坡，几乎是不可能实现的。但在直升机上，你可以直面贡嘎山南坡，南坡之下大贡巴冰川的粒雪盆也清晰地出现在了眼前。受东南走向大断裂的影响，贡嘎山南坡的朝向向西偏转，大贡巴冰川在涌出粒雪盆后也即转向西南方向流淌（右）。

年，中华全国总工会登山队登顶贡嘎山，拉开了中国登山运动的序幕，也再一次留下了不少珍贵的影像资料。但直到80年代以后，开放的中国和贡嘎山，令众多的外国登山队趋之若鹜，才使贡嘎山荣光重现，成为了国内外无数人旅行、观赏的对象。而且，人们在贡嘎山周边发现和开辟了诸多的高山观景平台，这些观景平台，无不以贡嘎山为最主要的观景对象；也无不以贡嘎山及其雪峰群的观赏效果而分出高下。此外，空中飞行与摄影，更是给人们提供了前所未有的观察贡嘎山的全新视角。

四面八方，远近高低，贡嘎山的不同面孔

上世纪50年代以前，人们看到的主要是由西坡拍摄的贡嘎山图片，它被视作那个时期贡嘎山的标准照。而80年代以后，人们更

多地从大渡河左岸的邛崃山脉去观察拍摄贡嘎山，朝向东方的、贡嘎山“金字塔”面积最大的三角形崖面，成为了新时代的正照。贡嘎山东坡的“金字塔”三角面在两个斜边上有略微凸起的次峰，使其看上去像是端坐云端的贡嘎山神之肩。在邛崃山脉南段的王岗坪、轿顶山、大瓦山依次由近到远，刚好在正对贡嘎山东坡的直线上，提供了在不同距离上观赏贡嘎山东坡的最佳地点。

王岗坪北边的牛背山、光头山、红岩顶，正对贡嘎山的东北山脊，可同时看到贡嘎山的东坡和北坡两个山崖面，由于东坡向阳、北坡背阴，一明一暗，两相对映，也使东坡和北坡之间的东北山脊线格外分明。东北山脊是继1932年美国登山队开辟的西北山脊登顶路线后，由日本登山队于1981年开始尝试的第二条路线。但日本登山队自1981年至1994年四次沿东北山脊登顶均告失败，共付出12人遇难的代价。其中1982年登山的



松田宏也，自东北山脊遇雪崩滑坠至东坡海螺沟，沿冰川向下爬行十九天，至海螺沟冰舌前端的城门洞，遇当地彝族村民获救生还。东北山脊虽不如西北山脊陡峭，但冰雪层很厚，雪崩更为频繁，而且为贡嘎山旗云常年笼罩之处，气候更为恶劣，暴风更为强劲，因此山难比例远高于西北山脊。沿东北

山脊唯一登顶成功的是1998年的韩国登山队，但也付出了1人遇难的代价。

在贡嘎山西北方向冷古纳托、高尔寺山一线，正对贡嘎山的西北山脊，可同时看到贡嘎山的北坡和西坡，其中北坡的“金字塔”三角面较为完整，可以看到东北山脊的侧影。在距离比较远的高尔寺山，西北山脊





» 西北山脊

目前所知贡嘎山最早呈现在外部世界的样貌，是1877年英国人威廉·吉尔绘制的一幅白描草图，他绘制了贡嘎山北坡和西坡以及它们之间的西北山脊。这张照片也是从大致相同的角度拍摄的，画面中部最显眼的山脊即为西北山脊。只是当年，人们所见的贡嘎只能是仰视的视角，而现在，我们可以乘直升机在6000多米的高度上几乎平视贡嘎山了。在此高度下，贡嘎山的垂直地带性也展现得非常清晰，从树木葱郁的山麓到白雪皑皑的山巅，一个立体的贡嘎山就这样呈现在了我们眼前。



的脊线已十分模糊，贡嘎山看上去更像一个圆锥体。西北山脊，是1932年的美国登山队，经过数月踏勘选定的登顶路线，并且两人一举登顶成功、安全返回。事实证明西北山脊是贡嘎山登顶最宜行的路线，它也被称为“传统路线”。1932年至2017年，共有13支登山队沿西北山脊冲击顶峰，9次成功，4次失败。西北山脊的易行，只是相对贡嘎山的其他三条山脊而言，它其实也充满危险，1957年中国登山队沿西北山脊登顶成功，但4人因滑坠和雪崩牺牲。到目前为止，人们能使用的贡嘎山登顶路线也只有西北山脊和东北山脊两条。

贡嘎山西侧的玉龙西一线，是从正面观赏贡嘎山西坡的最佳视角，洛克1929年拍摄的贡嘎山靛照就出自这里。由于正对西南山脊，以及西坡崖壁与南坡崖壁的连通过渡，所以西坡这个“金字塔”的三角形表面显得不是那么平整。但在这里可以观察到西北山脊和东南山脊的侧影，尤其是西北山脊“骆驼背”以上的那一段标志性的笔直脊线，坡度大约在40度至45度。东南山脊如前所述，因岩石性质与构造的变化起伏不平。由于山脊路线长，坡度起伏大，地形复杂，所以至今无人选择东南山脊登顶。西南山脊虽然高度最低，但山脊上端和主峰并不连续，之间存在一个雪崩槽密布的陡壁。1991年，美国登山队曾尝试沿西南山脊上端的陡壁登顶，但无功而还。

山就在那里，贡嘎山也在那里。时光流逝，风云变幻，贡嘎山这样奇丽无比的极高山，它那多姿多彩的面容，将会持续地、永久地吸引人们的注目，成为人与自然对话沟通的神圣场所。□

海上风电 抢占沿海新“C位”

我国发电能源的地理分布，也存在一条“胡焕庸线”——生产电力的能源主要集中在西部，而电力需求却主要集中在东部。有人认为，近年来，在东部地区新崛起的海上风电，将是打破这条“电能胡焕庸线”的新尝试。目前风电大举在沿海“跑马圈地”，背后是我国风能区划所透露的一个重要事实：沿海及岛屿是我国风能资源最丰富的地区。而风电给海岸带来的变化，也许远比我们想象的要大。



在江苏南通市，聚集在滩涂上挖蛤蜊的渔民，曾经是一道引人注目的景观；如今，密集分布的风电机组，已成功抢占了海岸沿线的新“C位”。这些不断涌现的风电机组，成了我国沿海地区的一种新景观。近年来，风电的发展，逐渐由陆地转移到了海上。海上风电已成为我国可再生能源领域中，最具规模开发条件和商业发展前景的新贵。我国一直存在着“能源错配”的问题：煤炭、石油、天然气、电力等资源，主要集中在西部；而经济最发达的东部，恰恰最缺能源。风电发展由陆入海，有可能是解决我国能源错配的突破口。摄影 / 宋丽萍



撰文

摄影

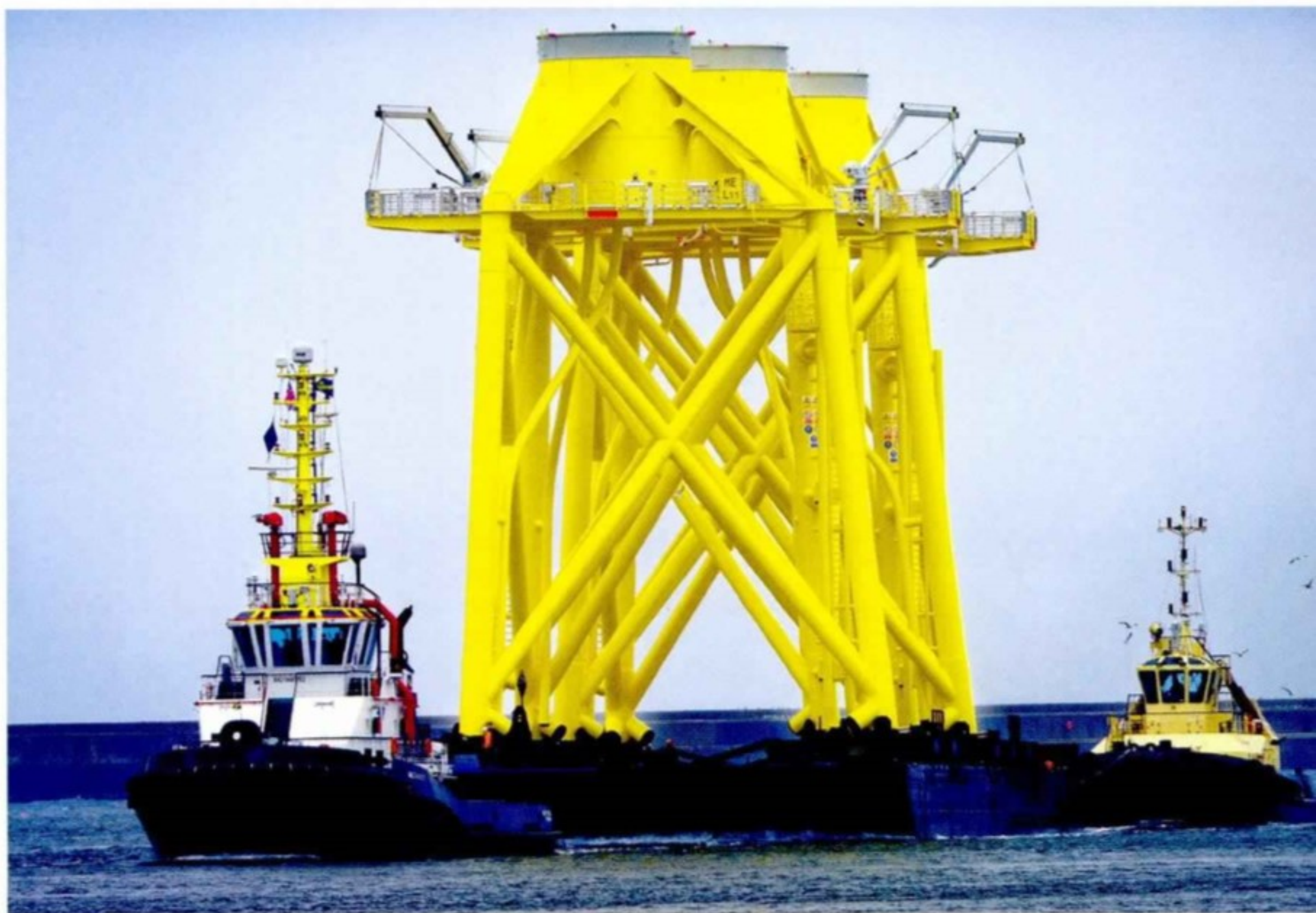
宏立

黄映波 等



南通市是我国较早进行风电开发的地区之一，目前正着力打造风电产业之都

江苏南通市是我国重要的风电设备制造基地，在这里制造的风电设备（左下图 摄影 / 姜忠银）通过轮船运到海上进行安装（下图）。凭借平均风速高、出海便利等优势，南通市是我国较早进行风电开发的地区之一，目前正着力打造风电产业之都。海岸线206公里、年平均风速7.14米/秒、风功率密度357瓦/平方米，这些优越的条件，为南通风电产业发展带来极大便利。目前南通市的海上风电装机容量达145万千瓦，约占全国的1/4。



小

时候，我喜欢自己动手做纸叠的小风车，拿着它迎风一跑，风车就呼呼地转动起来。这种小风车，是我们那个年代人的一种DIY玩具。后来，风车玩具制作得越来越精美，不过这些风车已是工厂出产的商品，早就不需要小朋友自己动手做了。

其实，风车对于我们人类来说，不仅是一种玩具，也是一种工具——用风车的动力来带动磨坊、锯木厂和造纸厂等工厂的机械，由此也成就了一个著名的风车之国——荷兰。1890年，丹麦人P·拉库尔最早研制成功风力发电机，风车进入了新时代——风力发电时代。1986年，我国第一座风电场——马兰风电场在山东荣成并网发电。从此，在我国很多地区的山头，风电机组如雨

后春笋般冒了出来。到2010年年底，中国风电累计装机容量首次超过美国，跃居世界第一。

最近几年，人们注意到，这种新能源的象征——风力发电机组已经由陆入海，悄悄占据了我国沿海许多地区的“C位”。甚至，它们也成为当地一种新景观，吸引了年轻人来到风电机组附近拍摄婚纱照。

而在一些专业摄影师的镜头里，渔民在滩涂捕鱼，远处高高耸立的风电机组也成了避不开的重要背景。由此，一些风电所在地，渐渐成为热门的网红打卡地。

风电给我国海岸带来的变化，也许远比我们想象的还要大。我国第一个海上风电场——上海东海大桥海上风电场全部并网发电，也就是10年前的事情。



用海上风电来破解“电能胡焕庸线”？

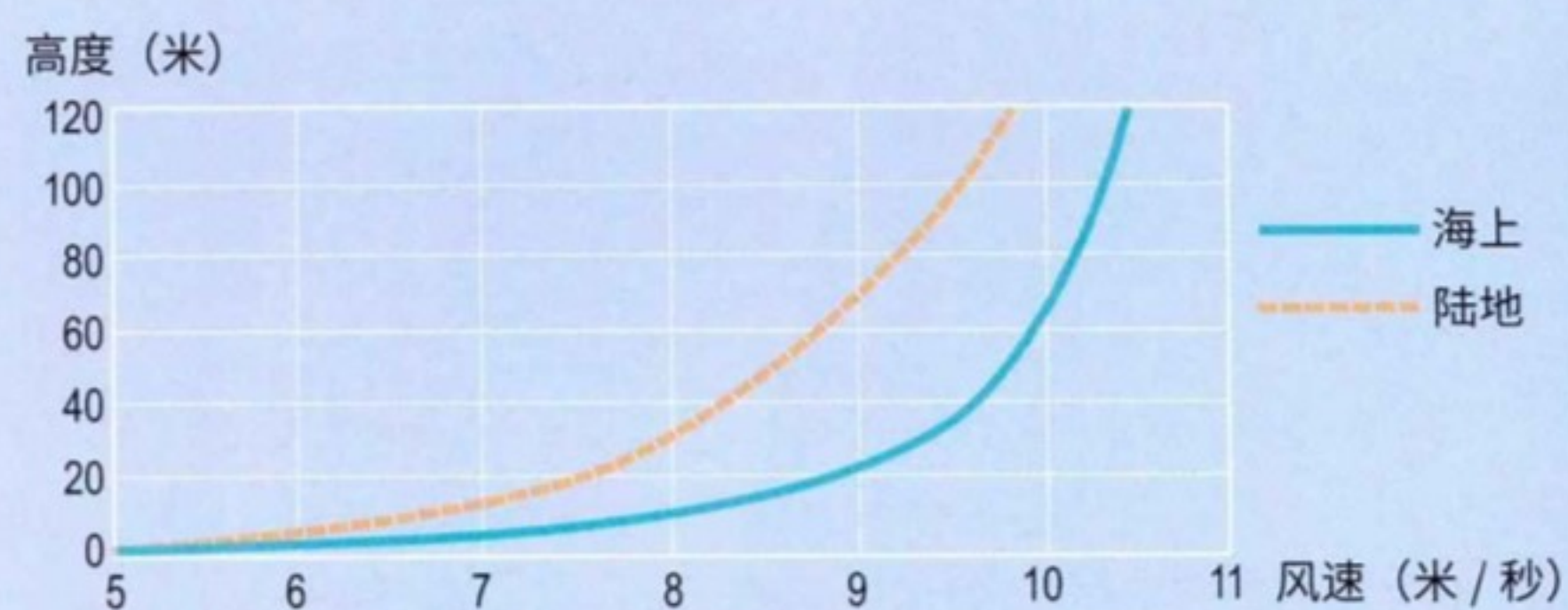
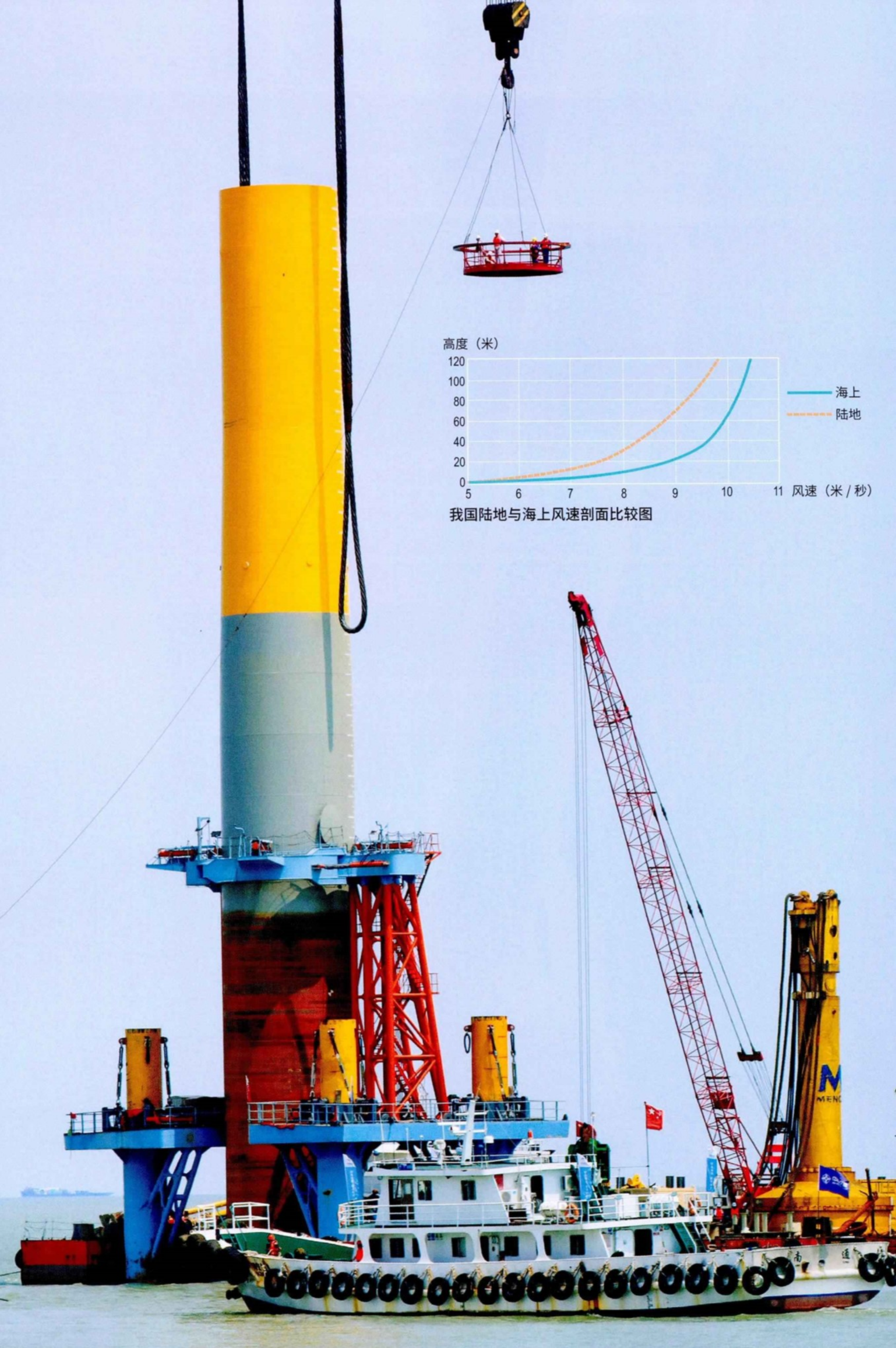
我国有一条著名的“胡焕庸线”，是地理学家胡焕庸先生提出来划分我国人口密度的对比线，这是一条沿着黑龙江黑河与云南腾冲之间画出的直线。这条线的东部，居住着我国绝大部分的人口。

我们知道，我们平常一刻也离不开的电力，是由能源（如煤炭、水能、风能、太阳能等）发电所产生的。如果套用一下“胡焕庸线”，我们可以发现一个有意思的现象：我国发电能源的地理分布，也大致与“胡焕庸线”吻合（姑且称电能地理分布的这条分界线为“电能胡焕庸线”）——在2018年我国电力的生产构成中，有79%的比例是火电和水电，而提供火电和水电的能源——煤炭和水能，主要分布在西部。

海上风速明显高于陆地，可利用的海上风能资源也要高出陆地3倍以上

我国位于亚洲大陆东部，濒临太平洋，季风强盛，海岸线风能资源丰富。通过我国风能区划图（上图，资料来源/朱瑞兆、薛彬《中国风能区划》），我们可以看出：我国风能资源最丰富的地区，沿海一带主要分布在辽宁、山东、浙江、福建、海南和台湾等地区，陆上主要分布在内蒙古北部、松花江下游等地区。通过右页的陆地与海上风速剖面比较图，我们还可以看出，由于没有障碍物的阻挡，在同样高度，海上风速要明显高于陆地。可供利用的海洋风能资源，也要高出陆地3倍以上。右图为海上风电吊装的过程（摄影/姜忠银）。

与此同时，在我国东部地区，单就沿海地区而言，其GDP产值就占了全国的70%以上，电力消耗量在50%以上，再加上密集的人口，使得我国沿海地区有着巨大的电力需求。



我国陆地与海上风速剖面比较图

由于风力资源更优，海上风电场的发电量可比陆上风电场高出 50%

工作人员吊在叶片下，对风电机组叶片进行打磨维护（本页图）。一般说来，海上风电场的建设费用要高于陆上风电场，但总的来看，海上风电场的运营成本并不高于陆上风电场。并且由于风力资源更优，海上风电场的发电量可比陆上风电场高出 50%。近年来，因陆上风电、光伏已基本被“圈占”完毕，海上风电就成为各大企业追逐的新高地，又因产业的捆绑效应，海上风电也成为沿海地区引进项目的宠儿（右页图）。

由此，就导致了我国电力生产与供应长期存在的一个难题：发电需要的能源主要集中在西部，电力需求却主要集中在东部。为了满足东部的电力需求，我国采取的办法，一方面是在东部地区兴建火电站或核电站，另一方面就是耗费巨资，进行跨地域的能源和电力调配。

近年来，为解决电力需求，我国还采取了一个重要的新举措，就是大力发展包括风电、太阳能发电在内的可再生能源建设。截至2018年，在我国电力构成中，风电已占到10%，太阳能发电也占到了9%。

在未来国家能源的战略布局中，可再生能源将占据越来越重要的位置。据有关资料显示：到2050年，我国能源供应将以可再生能源为主导，主要就是风能和太阳能，从而减少石油和天然气的对外依存度，也将煤炭消耗量降至最低。

不过，目前我国已开发的风能和太阳能资源，主要还是集中在西部地区。可以说，我国的这些可再生能源也存在一条“胡焕庸线”。

由此，同样导致了一个尴尬的局面：跟火电和水电一样，西部的风能和太阳能电力，也面临往东部输送的难题。而目前长途电力输送通道欠缺，这正是制约可再生能源行业发展的难关。在电能大规模存储技术没有解决的当下，可再生能源发电不能满负荷运转，只能无奈地“弃风”、“弃光”，这也造成了资源的极大浪费。

正是在上述背景下，我国风电企业开始由陆入海，进军东部沿海地区，不断“跑马圈地”，可以说有着不同寻常的意义：用海上风电，来破解那条令人尴尬的“电能胡焕庸线”。

在海上风电出现之前，那条“电能胡焕庸线”很难有好的破解办法。有了海上风电之后，人们开始眼前一亮：东部地区并非是一个能源贫乏之地，至少沿海一带，还有取之不尽、用之不竭的风能资源。

风能区划： 风电行业发展的科学“宝典”

人们常说，资本的嗅觉是最灵敏的。众多风电企业进入东部沿海地区，一个重要的科学依据就是，沿海地区其实有着我国最为丰富的风能资源。这个区域的风能资源，完



全不亚于我国大陆上那些著名的“风口”。只不过，长期以来，这个区域的风能资源并没有受到应有的重视和开发。

要想了解沿海地区的风能资源，有一个基本的科学概念就不能不提——风能区划。不像一些地理学上的自然或人文区划，相对而言，可能知道风能区划的人并不多。但对于那些从事风电行业的人士来说，风能区划就是他们必须熟记在心的“宝典”。

地球上不同纬度地区所受太阳辐射强度不同，导致地表受热不均匀，于是就形成了不同的风带系统。这也是纬度地带性在气候上的表现。其中东北信风带、副热带高气压带和中纬度西风带，是构成我国风带系统的

基本框架。由于我国地处最大的大陆——亚欧大陆的东部以及最大的大洋——太平洋的西部，还受到这种海陆分布的巨大影响，导致我国大部地区的季风气候极为明显——冬季盛行偏北风，夏季盛行偏南风。这又是经度地带性在我国气候上的表现。

此外，我国沿海一带还有一种特殊的风——海陆风。海陆风是一种具有日周期的地方性风，是因为陆地和海洋吸收、释放热量的差异，所导致的大气运动——日间由海洋吹向陆地，是为海风；夜间由陆地吹向海洋，是为陆风。

就这样，由季风、海陆风以及热带气旋等综合组成的风系，给我国沿海地区带来了丰富的风能资源。

我国应用气候学家朱瑞兆先生，是较早认识到我国风能资源价值的一位科学家。早期他一直在从事建筑气候的研究，是1979年的一次国际性会议，让他的研究方向发生了重大改变——他了解到国外已经在进行太阳能和风能资源的研究，这一领域在我国还是空白。于是他开始研究风能、太阳能资源，提出了我国风能资源的计算模式和分布区划，为我国风能开

发奠定了科学依据。

朱瑞兆先生提出的风能区划，是根据3个指标（风能密度与利用小时数、风能季节变化、极限风速），将全国划分为风能丰富区、风能较丰富区、风能可利用区、风能欠缺区等4个区，30个小区。

上述风能区划中，我国风能资源分布最富集的区域，就在“风能丰富区”，这个区又可分为6个小区，其中3个小区位于沿海地区，包括东南沿海、南部沿海、山东与辽东沿海及其相应的海上岛屿。其余3个小区是在大陆上的“三北”（西北、华北、东北）地区，包括内蒙古北部西端和锡林郭勒盟、内蒙古阴山到大兴安岭以北、松花江下游等地。概括起来说，我国风能资源最丰富的区域，主要就集中在两大区域，其中最多的是沿海及岛屿地区，其次才是三北地区。

最初，我国的风能资源开发就是在三北地区。但正如前文所说，三北地区的风电要想输送到急需电力的东部地区，仍面临不少困难。因此，在东部沿海地区就地发展风电，就成了一种现实的选择。

就风力发电来说，最关键的因素是风力的大小。在这一点上，海上风况总体要优于陆地：离岸10公里海域的海上风速，



到2050年，我国能源供应将以可再生能源为主，其中主要将依赖风能和太阳能

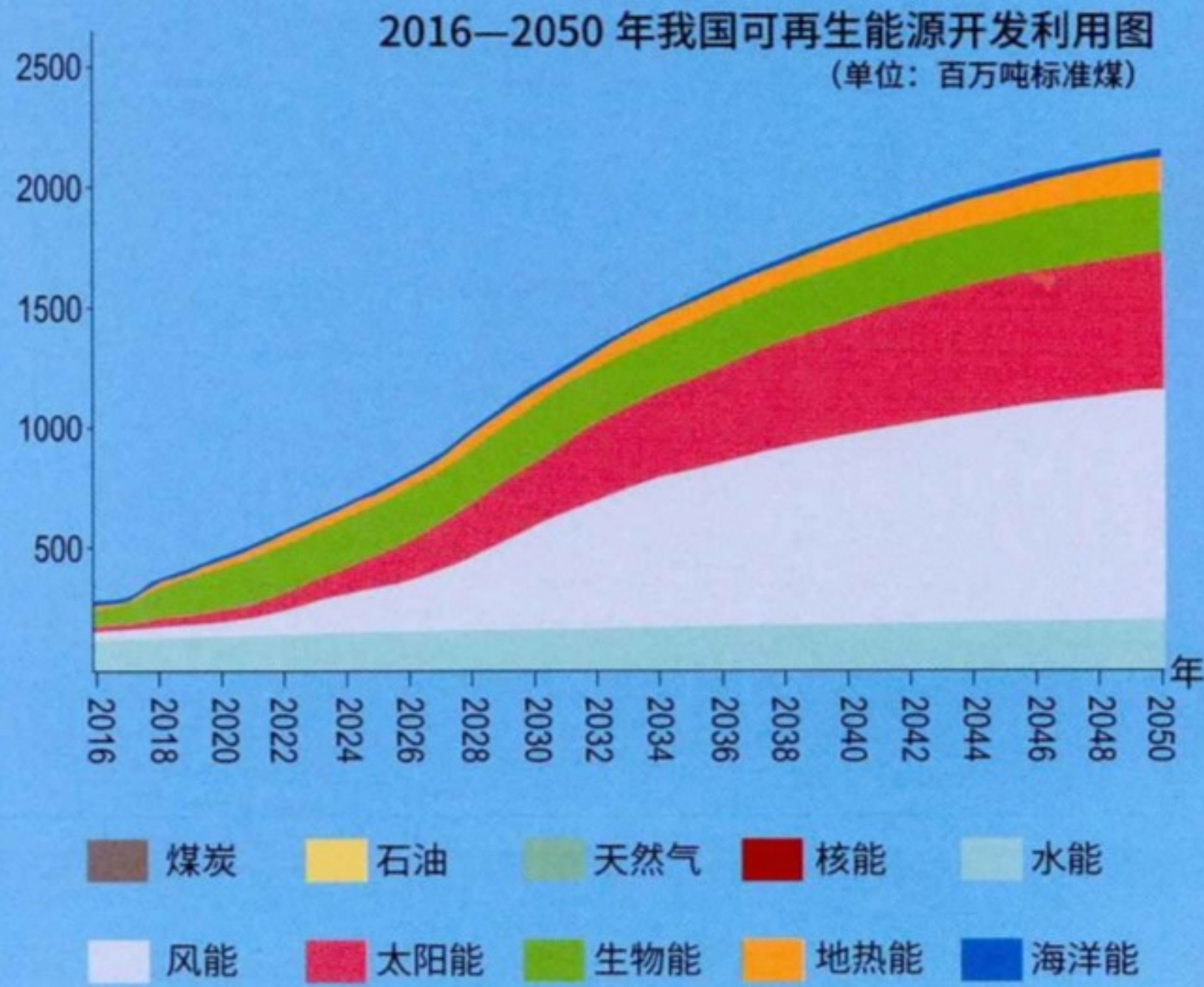
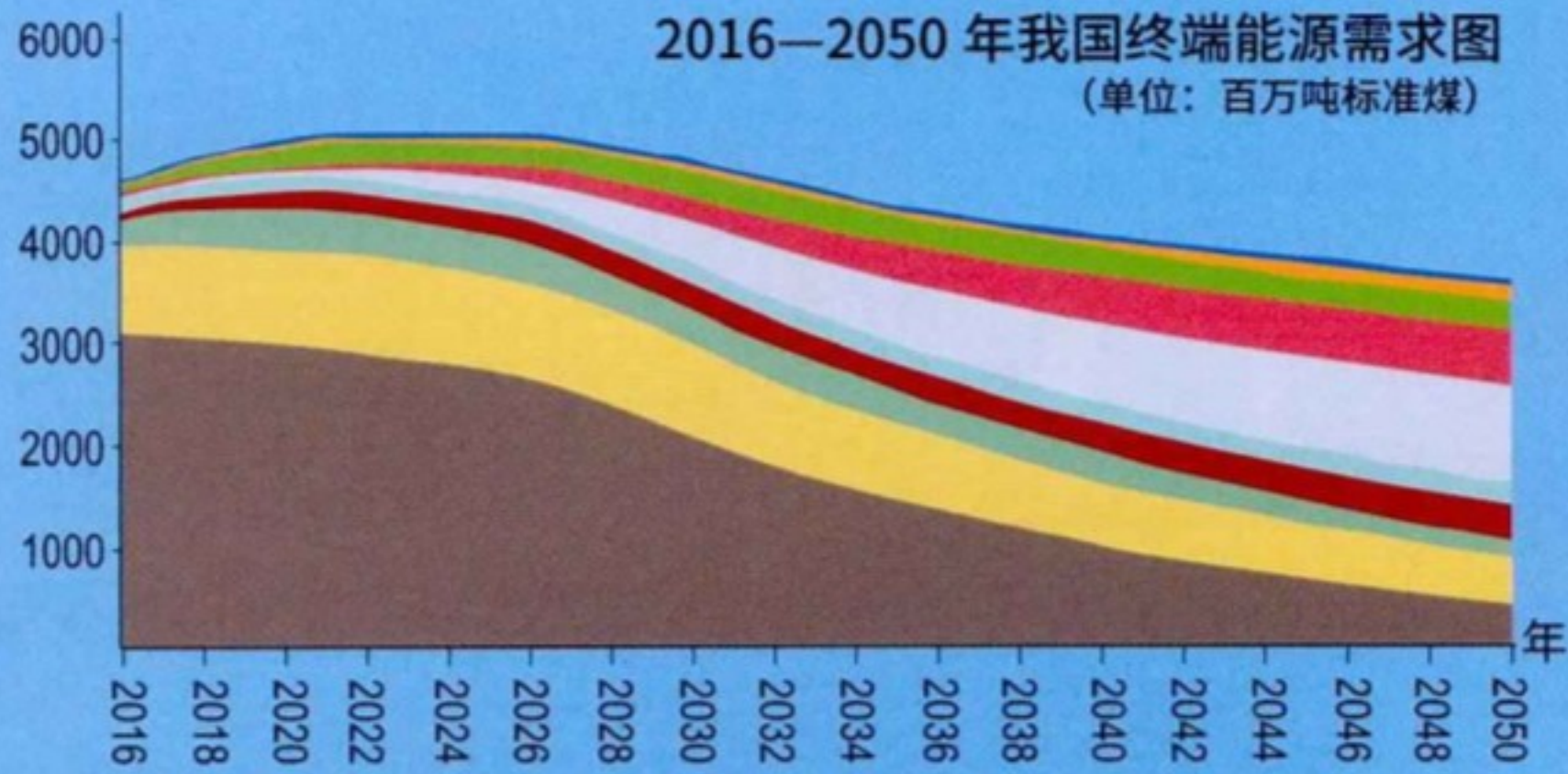
在山东东营市的沿海地区，风力发电机组与太阳能面板铺天盖地，形成了一种新的景观(下图 摄影/崔冠锋)。据有关部门预测，到2050年，我国能源供应将以可再生能源为主，其中主要将依赖风能和太阳能，煤炭消耗量将降至最低(右页图表)。与其他类型的能源相比，风能的优势在于可再生以及清洁、无污染，其缺点则表现为：具有一定的间歇性、不稳定性和人力不可控性。而且随着时间、季节、年份的变化，风速也会随之变化。我国有着巨大的近海风电潜力，并且大部分靠近我们电力负荷高的东部地区，因此海上风电被视为我国风能和新型清洁能源开发的希望。

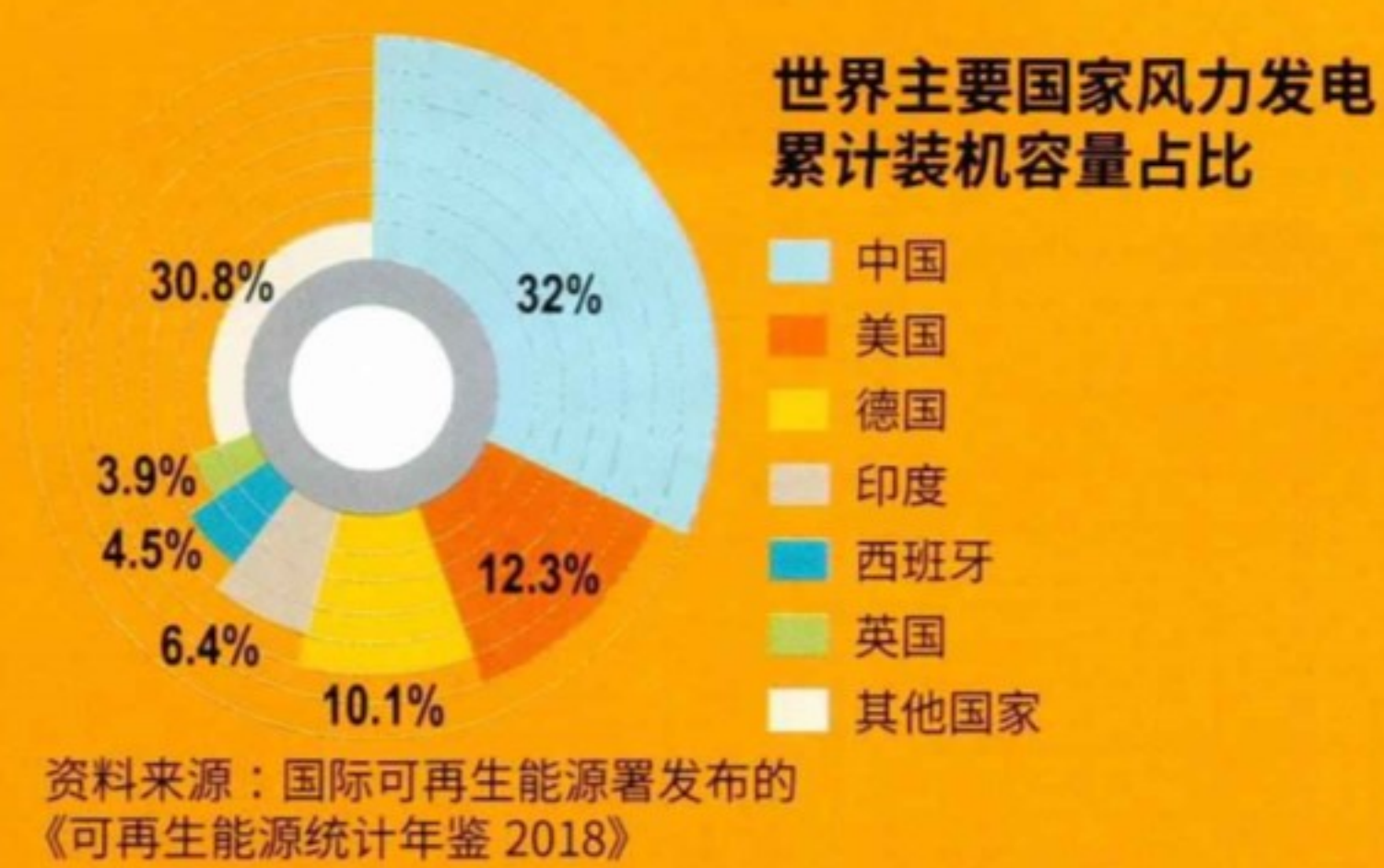
通常要比沿岸高出20%。同等条件下，海上风电机组的年发电量，要比陆地高出50%以上。

由于风电是安装在远离人类居住的海上，在噪音方面不受限制，还可采用较高叶尖速比(风轮叶片尖端线速度与风速之比称为叶尖速比，是表述风电机组特性的重要参数)，进一步提高发电产能；同时，海上很少有静风期，因此风电机组可以有更长的发电时间。通常来说，陆上风电的年发电利用

小时数约为2000小时，海上风电则能达到3000小时以上。

不过，目前我国虽然早已是世界风电装机容量第一大国，但海上风电还只是刚刚起





未来我国有望成为全球最大的海上风电市场，风电也将成为第三大电力来源

步。在我国风电行业中，还是以陆上风电为主，2019年全国陆上风电累计装机2.04亿千瓦，占比97%；海上风电累计装机593万千瓦，占比仅有3%。而世界超过90%的海上风电，是分布在北欧沿岸。

尽管如此，近年来，我国海上风电的发展还是极为迅猛的：截至2019年底，全球共有23个在建海上风电项目，中国就有13个，占全球的56.5%。未来，中国很可能会成为全球最大的海上风电市场。

有研究者认为，我国沿海地区的风电建设，对鸟类的生存带来了影响。这些影响，主要表现在鸟类被风电机组设备碰撞致死，鸟类栖息地的丧失等；风电机组产生的噪音和电磁场，也会对鸟类的迁徙路线产生一定影响。目前，世界上超过90%的海上风电分布在北欧沿岸，中国是全球海上风电第三大市场。未来，中国有望成为全球最大的海上风电市场。预计在未来20年内，中国的风力发电装机容量将超过1亿千瓦，风电也将成为火电和水电之后的第三大电力来源。摄影 / 秦金武



“风车森林”与礁石效应： 海上风电引发的新话题

如果从海上风电的空间分布来看，可分为潮间带、潮下带、近海及远海的风电场。随着潮间带、近海海域资源的紧缺，再加上海上风电深远海安装技术和能力的提升，越来越多的风电场开始走向深远海。

相比陆上风电，海上风电机组的尺寸更大，高度可达二三百米，有的单叶片长度就超过100米，比足球场还长。这些“巨无霸”整齐划一地排列在海岸线上，形成“风车森林”，足以改变海岸的天际线，也造成了海洋空间的破碎化。

这种海洋空间的破碎化，已引起人们的关注。比如说，风电场对鸟类迁徙，以及海洋鱼类、哺乳动物、底栖生物和海水水质、水文动力的影响；海底电缆的电磁辐射影响等。有研究表明：电磁辐射可能会对某些具有磁敏感性的海洋生物产生影响。足够强度的磁场，还会影响海洋生物的生殖和发育等生理过程。

在影响生态环境之外，海洋空间破碎化也会对渔业、海上交通等与人类有关的活动产生影响。不过上述这些问题，目前还没有科学的结论。

除了使海洋空间破碎化，海上风电还会带来一种影响——礁石效应。目前我国海上风电场的建设主要集中在浅海，采用的都是固定式基础，也就是在海底打一个地基，以固定风车。这个基础很像沉船，慢慢会形成一种人工岛礁。有研究表明：风电涡轮机附近，鱼类的数量要比周围其他地方更多。海上风电机组还为鱼类和无脊椎动物提供了庇护和产卵场所。另外，在风电基座堆石的硬底质上，也建立了由许多新物种组成的新动物群落，生物多样性有所增加。

或许，要说我国海岸线新出现的风电机组，能否破解“电能胡焕庸线”，以及究竟会给当地带来什么影响，现在都还为时尚早。不过，正如一位能源研究领域的人士所说：今天的煤炭、石油和天然气，就是明天的胶片、唱片和纸张。人类使用能源和电力的方式，正在发生着不可思议的改变……





川西林盘，就是成片的树竹丛林中隐藏着的“桃花源”。沃野平畴的天府之国，在一马平川的田野上，古代先民自觉地创造出一种聚落形式：两三家相连，五六家毗邻，也有单家独居的，无一例外，植树种竹，代代相传，成为一道独特的风景线。



林盘

成都平原的 田间“绿岛”

在成都平原，你经常能看到一种景观：在一望无际的田间，时不时出现几户人家的宅院被高大乔木和翠绿竹林所掩映，四周水渠环绕。这是成都平原上一种独特的聚落——林盘。为什么在广袤的平原上，会出现林盘这种散居的聚落形式？它又是如何影响着当地人的生活？本文作者为您一一解答。

撰文

孙吉

摄影

冉玉杰

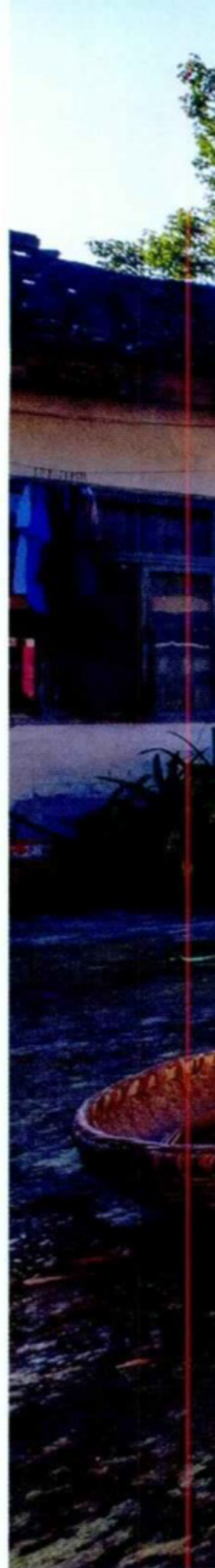
我

家住在成都，因为工作关系经常乘坐飞机，曾无数次在春暖花开的季节俯瞰过成都平原。从高空俯瞰，飞机的舷窗外是一幅写意、和谐的田园画卷：天空浮云悠游，大地光影变幻，一望无际的田野平坦肥沃，流水蜿蜒，与葱绿稻田和金黄油菜交织而成烂漫的乐章。

田间不时出现的丛丛“绿岛”如翡翠般镶嵌在这富庶的平原上，这些“绿岛”就是林盘，一种独属于成都平原的人居模式：翠竹高林掩映之间，数户农家比邻聚居，河溪

水渠交错纵横，耕田层层环绕四周。这个人与自然环境调适出的诗意聚落，蜀人将其形象地称为林盘。

2020年，我作为“川西平原传统农耕智慧”调研项目的成员，参与了一场对成都平原古老农业文化遗产体系的发掘与追溯项目。而早在十年前，我当记者时便关注并报道过家乡这种独特的林盘聚落，正是充满烟火气的林盘带给我最复杂感慨的情绪。记忆中，每逢节假日回到老家祖屋时，空气中总弥漫着竹笋、腊肉、稻麦、鱼腥草、柴灶、香火的味道。





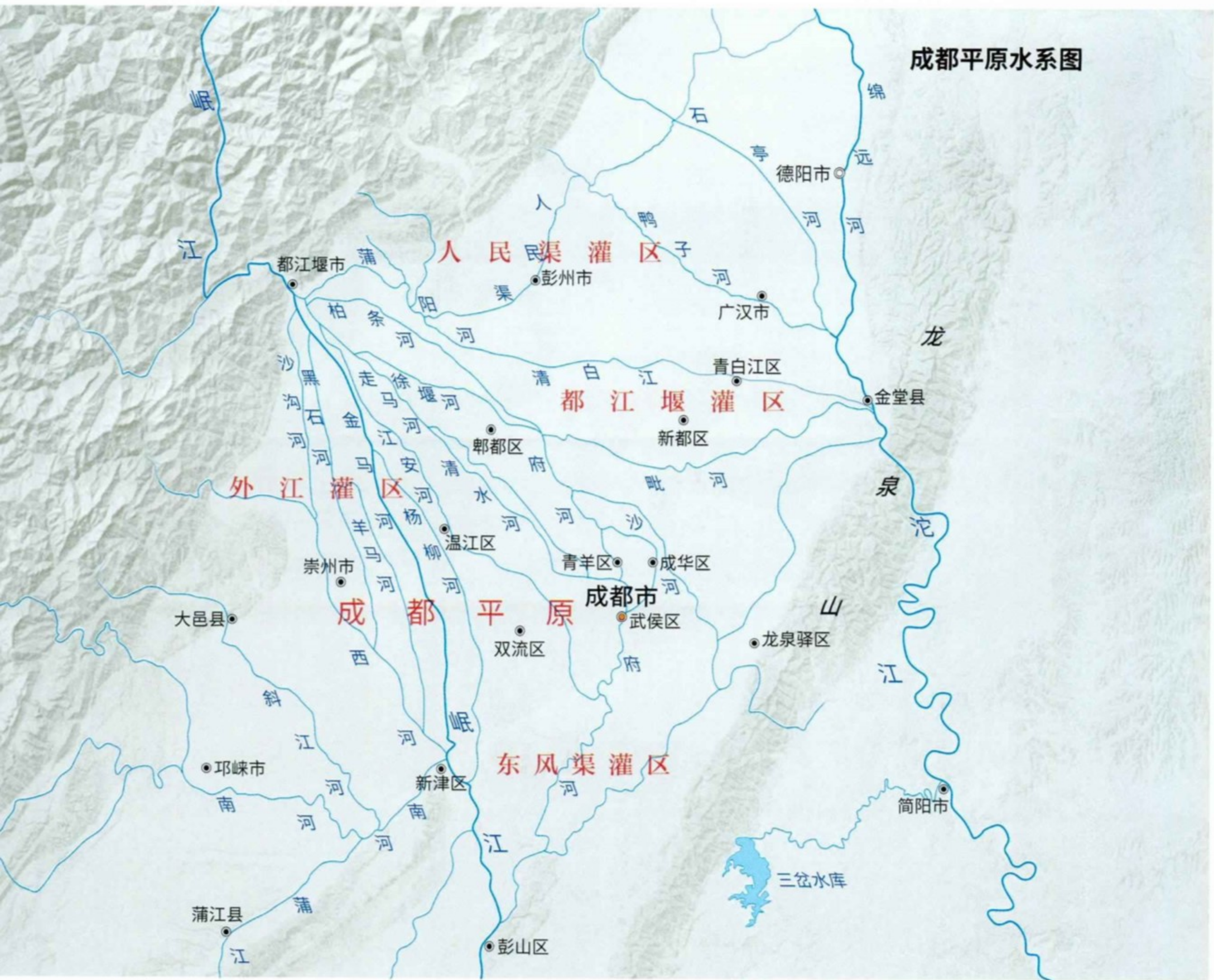
成都平原的农田连天接地，“沃野千里，号为陆海”。
密集的水网将这片平原的土地分割得大小不一，
毫无规则，林盘就在这看似凌乱的田间生长起来。

“随田散居”是成都平原 最为适用的居住方式

一马平川的成都平原，也叫川西平原或川西坝子，由岷、沱两江及其支流冲积而成。传统意义上的成都平原，西止龙门山脉，东界龙泉山脉，南至新津区附近的熊坡山，面积达约9100平方公里，海拔450米—750

关于都江堰，宋代诗人范成大有这样的描绘：“一路江水分流入诸渠，皆雷轰雪卷，美田弥望。”建于两千三百年前的水利工程，至今仍在用，历代不断开拓完善，造就了自流灌溉的千年水网，也造就了“随田散居”的居住方式，林盘内是起居空间，林盘外便是稻田与耕地（左图）。每个林盘都有院坝，农忙时晾晒农作物，节庆时可以摆酒席，日常是休闲地（上图）。

米之间。在山地纵横的中国西南地区，一块面积广阔、气候温润、水源充足的土地，是人类难得的栖息之地。而这块平原仿佛经过某种超凡意志的精心设计，地形由西北向东南微倾，平均坡度3‰—10‰。



公元前256年，秦蜀郡太守李冰率众开凿都江堰水利工程，他巧妙地利用川西平原倾斜的天然地势，导引滔滔岷江内外分流，“引水以灌田，分洪以减灾”。数条干渠倾流而下，分流交错，呈扇形渠网铺展于广阔的平原之上。“灌溉三郡，开稻田”，这些无需人力的自流水网两千多年来从不间断地润泽着成都平原。加之蜀地先民世代代精耕细作，使这里成为一片肥沃的土地，农田连天接地，“沃野千里，号为陆海”。密集的水网将这片平原的土地分割得大小不一，毫无规则，林盘就在这看似凌乱的田间生长起来。

都江堰水利工程巧妙地利用川西平原倾斜的天然地势，导引滔滔岷江内外分流，数条干渠倾流而下，分流交错，呈扇形渠网铺展于广阔的平原之上。“灌溉三郡，开稻田”，这些无需人力的自流水网两千多年来从不间断地润泽着成都平原。那些密集的干、支、斗、农、毛渠道（水利工程中的专有名词，它们组成了农田灌溉的给水系统），编织成纵横交错的水渠网。

2020年11月，我和摄影师前往村民陈明全家采访，他住在成都市郫都区安德街道安宁村。从大路拐进村子，在水量丰沛的徐堰河两岸，如同毛细血管般的水渠与迷宫般的田间道路，让一向精准的导航瞬间失灵。那些密集的干、支、斗、农渠道（干、支、斗、农是水利工程中的专有名词，它们组成了农田灌溉的给水系统），宽如江河，窄仅

闵庆文

中国科学院地理科学与资源研究所
资源生态与生物资源研究室 主任



绘图 / 李亚龙

林盘是一个社会、经济和自然的复合生态系统

经历了长期的发展演化，在成都周边广大的农村区域形成了星罗棋布的乡村院落，这些院落空间以建筑实体形式和周边的高大乔木、竹林以及河流与农田等有机融合，构成了以林、水、宅、田为主要要素的川西林盘，同时也造就了成都平原所特有的以林盘为核心的乡村田园景观。虽然人们常常习惯于以“林盘”来表达这种乡村景观，但其却是一种具有典型地域特色、蕴含深厚历史文化价值并具有社会、经济、生态属性的复合系统。

林盘是一个典型的社会聚落。这种以林盘聚落为单元的分散聚居模式的形成，有着川西平原良好的地理条件作为支撑，也受到传统农耕文化的作用，还有因自然和社会原因造成的迁徙活动的影响。林盘中一般有三五户农户，各家皆为独院，加上有林木掩映，既保证了私密性又可互通有无，这种生活密度使得邻里关系融洽。

林盘是一个典型的经济场所。林盘内部多为圈层式结构，其中院坝是林盘中内向型的开敞小空间，是农家进行家庭副业劳作之

所。栽种的速生用材树种，多为农家生产和生活的材料，而房前屋后的空地则被利用起来变成微型菜园、果园供应日常饮食所需。

林盘是一个典型的生态系统。平面空间呈现层级展开的形态，外围农田与林盘通过纵横交错的道路和水系紧密结合。仅从生物多样性来看，慈竹、白夹竹等竹类，桉树、喜树等阔叶树，柏树、杉木等针叶树，桃、柚等果树以及药材和花卉等经济林木，夜交藤（何首乌）、金刚藤、薜荔藤、八月瓜等藤本植物，蕨苔、贯众、石松等蕨类植物，还有家畜、家禽可谓应有尽有。这些生物既成为村民生计与经济的保障，还有调节微气候等生态服务功能。

林盘是人与自然共同作用的结果，凝聚着人类生存与发展的智慧。房舍、林木、农田和灌渠相辅相存，完美体现了“天人合一”的生态智慧。一块块绿岛散落镶嵌在农田中，通过道路、水渠连接起来，这种“沃野环抱、密林簇拥、流水人家”的川西田园景观，已成为西蜀地区的文化符号。

跨步，编织成纵横交错的水渠网。我们唯有反复问路，才能在这道“几”字形的河湾中慢慢接近目的地。

或许陈明全老人久等未果，索性来到徐堰河边等候我们。见面后陈明全说：“路不好找吧，这里沟渠太多了。”有了他带路，我们的速度明显加快，他也顺便解释起这些让人迷惑的田间水网：“我们种田全赖水利灌溉，这些河道沟渠虽然将农田分得不成方

块，但是打理起来很方便。”

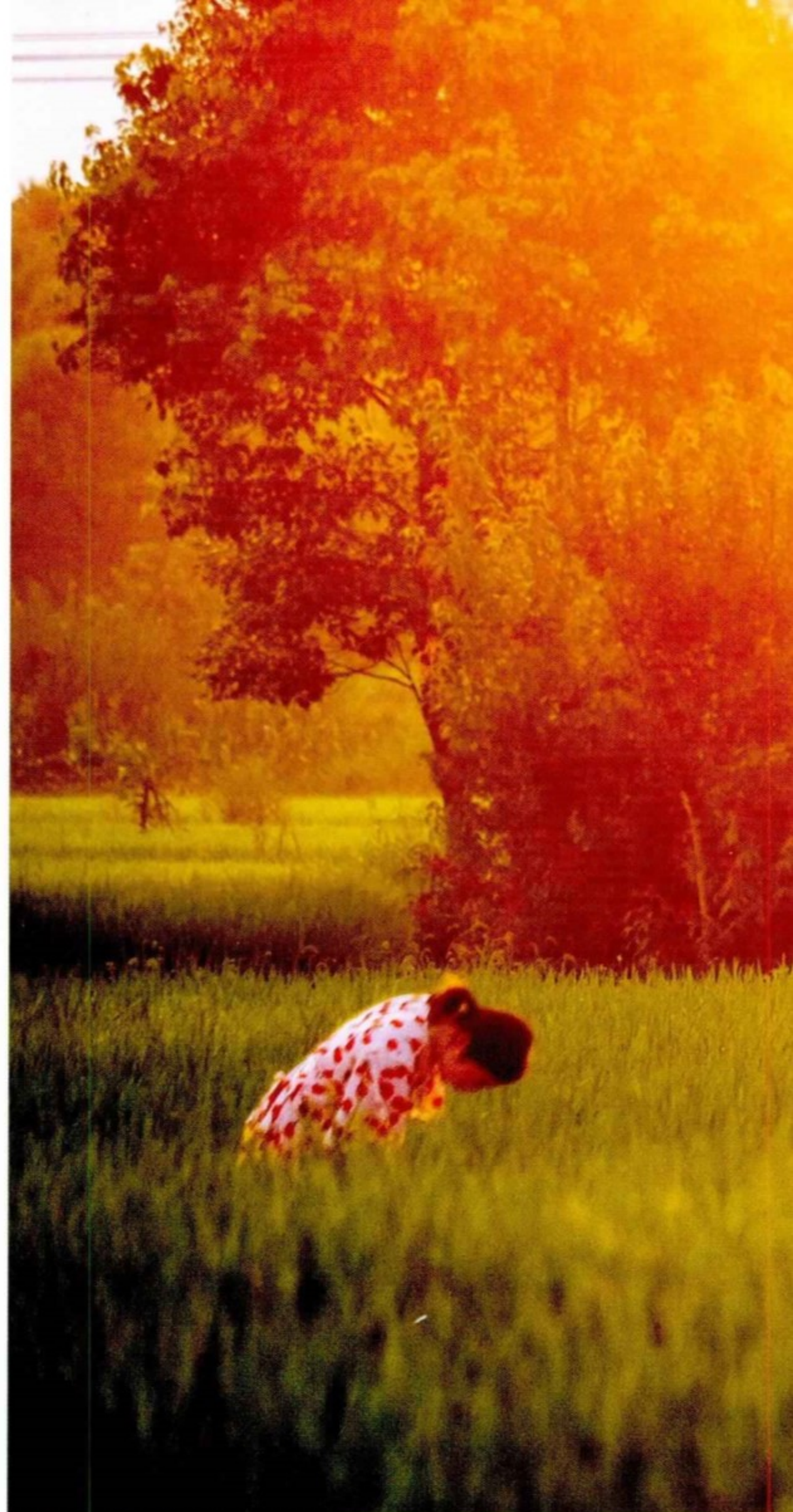
我不得不承认，倘若抛开让外来者头疼的迷路问题，仅仅出于生产和生活的便利性，这种依水耕作、随形开垦的理念是极为经济有效的。而它的背后，则是都江堰水利工程所开辟的河渠水网系统与农业开垦灌溉需求之间的相互协调。那些沿河分布的，看似零散而随机的稻田正是完美适应了川西平原的水网环境。

川西平原的农耕方式是一种不同于中原地区“井田制”规模化耕作的生产方式，对水资源的利用和维护相较分散，且更依赖某种社会契约，“分散劳作”不仅成为可能，更成为一种经济有效的选择。加之川西平原地下水丰富、埋藏浅、取水容易，湿软的土地不利田间长距离运输生产工具，“随田散居”亦顺理成章变成最为适用的居住方式。

水系与移民催生的林盘小而散的聚落形式

在陈明全的带领下，我们来到他居住的林盘边，清澈的溪水从旁流过，陈家那栋宽敞的院落就隐藏在高拔繁茂的乔木与竹丛之间，杉木深暗、银杏飘黄，金橘与绿柚缀满

在川西平原上，林盘与田野之间有树木和竹林阻隔视线，形成独立空间。林盘间鸡犬相闻，阡陌纵横，当地居民走亲访友、外出购物、傍晚散步都会经过田园。从某种意义上说，田园就是公园：人工与自然共同创建的公园里，有果树、蔬菜和稻田，蜻蜓和鸟自由飞翔，空气中是植物弥散的芬芳。千百年来，当地人自给自足的生活是让人向往的田园生活。



**缓步田野走进林盘，属于春天的活力正在展露：
桢楠、银杏、香樟等树木错落有致地生长，
茂盛的慈竹林正在孕育新鲜的笋芽，
田间的青葱、稻苗随风摇曳……**

眼帘，这是属于秋季的色彩。而这幅景象与我第一次来陈家调研的时候迥然不同。那是万物生发的3月，当我们缓步田野走进林盘，属于春天的活力正在展露：桢楠、银杏、香樟、桉木、皂角、麻柳等树木错落有致地生长，茂盛的慈竹林正在孕育新鲜的笋芽，画眉、八哥、蜡嘴等鸟类在林中欢快争

鸣，田间的青葱、稻苗随风摇曳……

每次看到林盘，总让我想起西晋文学家左思在《蜀都赋》里描绘的成都平原：“栋宇相望，桑梓接连。家有盐泉之井，户有橘柚之园。其园则林檎枇杷，橙柿棣棣。橪桃函列，梅李罗生。”中国现存最早的代表性地方史书《华阳国志》在《蜀志》篇中，更



是尽情赞叹蜀地的富庶：“其山林泽鱼，园囿瓜果，四季代熟，靡不有焉。”都江堰水利工程造就了成都平原的富庶，陶养出蜀人休闲浪漫的精神气质。

陈明全家所在的林盘名为土城，他告诉我们：“这个林盘一共住着7户人，土城的名字来自附近一段夯土城墙遗址。传说明末清初张献忠据蜀之时，有一股势力在此附近筑城为王，虽然城墙在1958年被夷平，但至今还有遗址。我们家是清初战乱平定后，随着‘湖广填四川’的移民运动而来的。听说当时的成都平原地广人稀，土地荒废，随手插一个竿竿就可以算作自己的土地。后来移民分批涌来，田地开垦划界，但也不是大家族围住一起，就形成林盘这种小聚居的格局。”

陈明全口中所说的“湖广填四川”，是清初最重要的一次移民运动。战乱初定之后，政府招徕移民，而那些主要从湖广行省迁徙而来的移民，需要重新建立适应本土环境的移民社会结构。不同于历史上中原世家举族南迁依然延续的聚族而居，这些大多由贫苦家庭或个人构成的零散单元。前仆后继而来的移民们，必然引发资源的分配争夺或潜在冲突，林盘之间距离适宜，除了生产居住之便，亦是安全之需。

据考证，清代诗人王培荀在《听雨楼随笔》中云：“川地多楚民，绵邑为最。地少村市，每一家即傍林盘一座，相隔或半里，或里许，谓之一坝。”林盘的人居模式逐渐定格而成：一丛丛竹木树林掩映着由三到五



林盘体系景观示意图

川西坝子上，无处不在林盘。林盘组成大小不一的聚落，大的数十家，小的三五家，往往是以水系来划分，如两条河流之间会是聚落，河的两岸是不同的聚落，通常以姓氏为名，如何家大院、张家院子等。聚落中有池塘、菜地、稻田，还有散养的鸡鸭等。“锦里烟尘外，江村八九家。圆荷浮小叶，细麦落轻花”，这是忧郁的“诗圣”杜甫难得的清新之作，亦正是天府之國小农家园的真实写照。绘图 / 爱染

户，或十几户小家独院聚集而成的院落，宁静朴拙的宅子大部分为木结构、泥土墙、小青瓦坡顶。大多院落结构是单层的“枷担弯”（L形）或撮箕口（三合院），富庶之家亦可能盖起“四合头”（四面房屋）。彼此之间以林木相隔，门前溪流绕过，林外是一望无际的田野。

林盘之内，小家独院多为宗族近亲、兄弟，住户不多，关系简单，邻里关系容易融洽，既保证了私密性又可互通有无。

林盘之间以田为界，彼此相距不过数十至数百米，若即若离的状态，让林盘内的居民既享受着小家庭独立的自由，又有守望互助的便利。

“在以前我们这里的人都是互相帮忙干农活，要是谁外出办个事情，只要招呼一声，地里的农活就不会耽误。至于修房子、插秧、打谷子等大事，附近林盘的居民都要来帮忙，可惜现在都得说钱了。”陈明全有些感慨地说。



为何川西林盘形成散居的聚落形式？

方志戎

四川大学建筑与环境学院 博士



绘图 / 李亚龙

从地理生态环境来看，成都平原位于四川盆地的西缘，是典型的冲积平原，地表松散，沉积物巨厚，土地肥沃，宜于耕作。成都平原海拔450—750米，地势平坦，由西北向东南微倾，平均坡度0.3%—1.0%，地表相对高差大都在20米以下，有利于发展自流灌溉。成都平原地理生态环境得天独厚，其土地肥沃、河网密布、物产丰饶、耕作条件优越且均好性强；气候温润、冬暖春早，气温“年较差”和“日较差”都较小、降水充沛，雨温同步等，这都有利于农业种植和提高复种指数，有利于养殖和开展多种经营，十分适合人类的聚居和发展。

从人文生态环境来看：古蜀文明是由治水而兴盛的。战国后期都江堰水利工程的修建和不断完善，使得成都平原上灌渠纵横，密如蛛网，创造了水利和耕作上的便利，使得随田散居的林盘聚落得以遍布于平原。成都平原自古蜀时期就发展了以稻作为主的多品种农作物的农耕生产体系，错落分块的稻田体

系在水土保持上具有积极的作用，与农村家庭养殖业形成一套高产、稳产循环农业体系，对维护成都平原的生态稳定起到重要的作用，川西林盘正是这种既有利于大田生产又有利于农村家庭副业生产的聚落形式和结构体系。

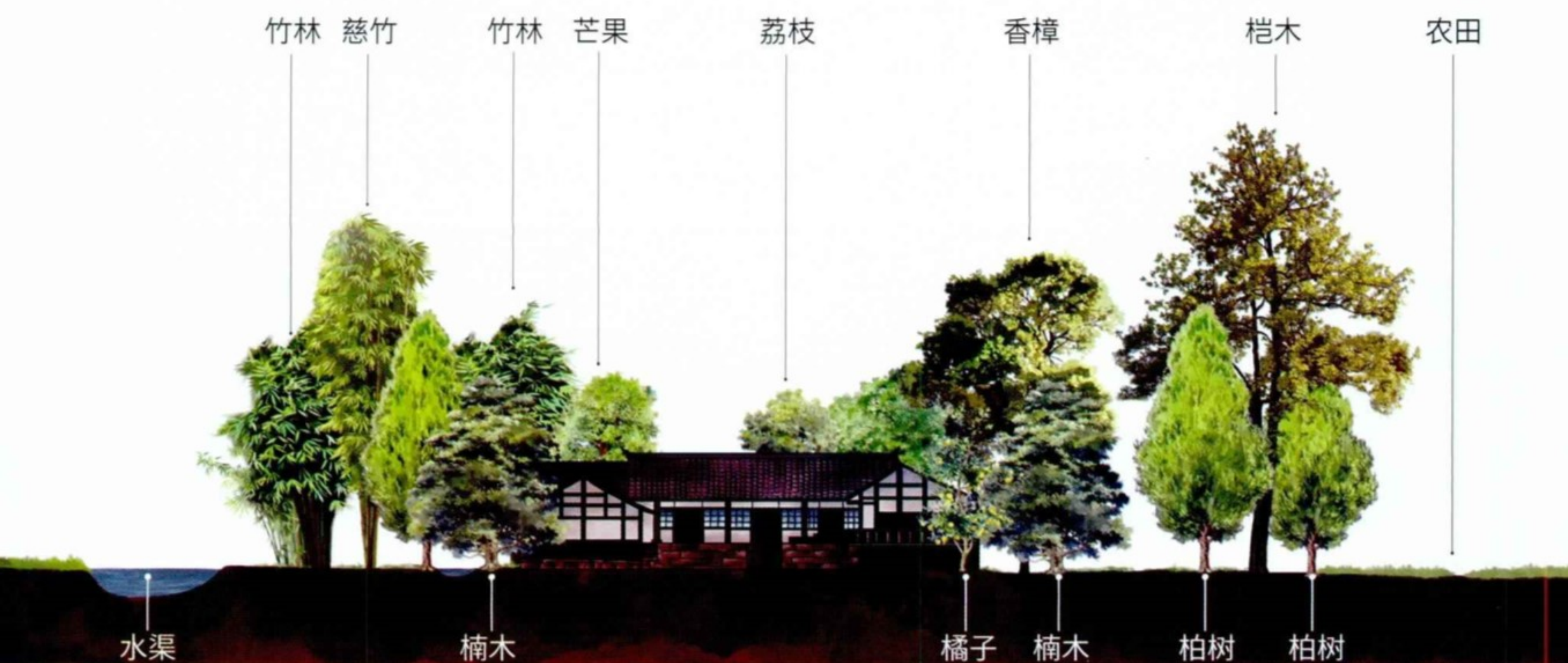
古蜀文明发端久远，自成一格，其宝墩文化、三星堆文化、金沙文化都体现了有别于中原文明而自成体系的结构框架。战国后期，秦并巴蜀，自此纳入华夏大统，但因西蜀远离政权中心，在正统思想观念上亦多作变通，重“道”而不拘儒家“纲常”，形成追求安乐、悠闲、自在的生活理念，也是“析产异居”的散居式林盘的文化基础。在历史长河中，成都平原经历了六次大规模的移民风潮，它既促进了社会经济的发展和繁盛，也造就了其文化多样性特质，以林木为屏障的散居式林盘，在形态和功能上具有极大的包容性，成为社会文化包容并蓄的优越载体，体现了兼容变通的文化智慧。

多个林盘间的地理中心即是场镇

曾怀清居住在都江堰市天马镇柏河社区，2020年11月初，我去他家调研，按照惯例沿着柏条河前行。这条历史上因漂木而得名的河流，如今是成都市民的主要水源地，也是都江堰四大干渠中唯一没有电站设施的河道。在成都市河流研究会所做的河流健康评估中，它的生态环境指数高达90分以上，是一条水量丰沛、环境优美的景观河流。

我从都江堰市出发，途经胥家镇（现被归并入天马镇）。进入柏河社区便是曲折蜿蜒的乡村道路，沿着沟渠田地辗转半天才抵达曾家所在的林盘——曾家院子。空旷的院落里只有看家的小白狗冲着我汪汪叫，我才想起今天是农历初五，曾怀清肯定在胥家镇的某个茶馆里。曾怀清曾经跟我说过，这里每月逢农历初二、初五、初七和阳历10号都会赶场，地点就在胥家镇。距离曾家院子仅2里路程的胥家镇，是方圆5—10里

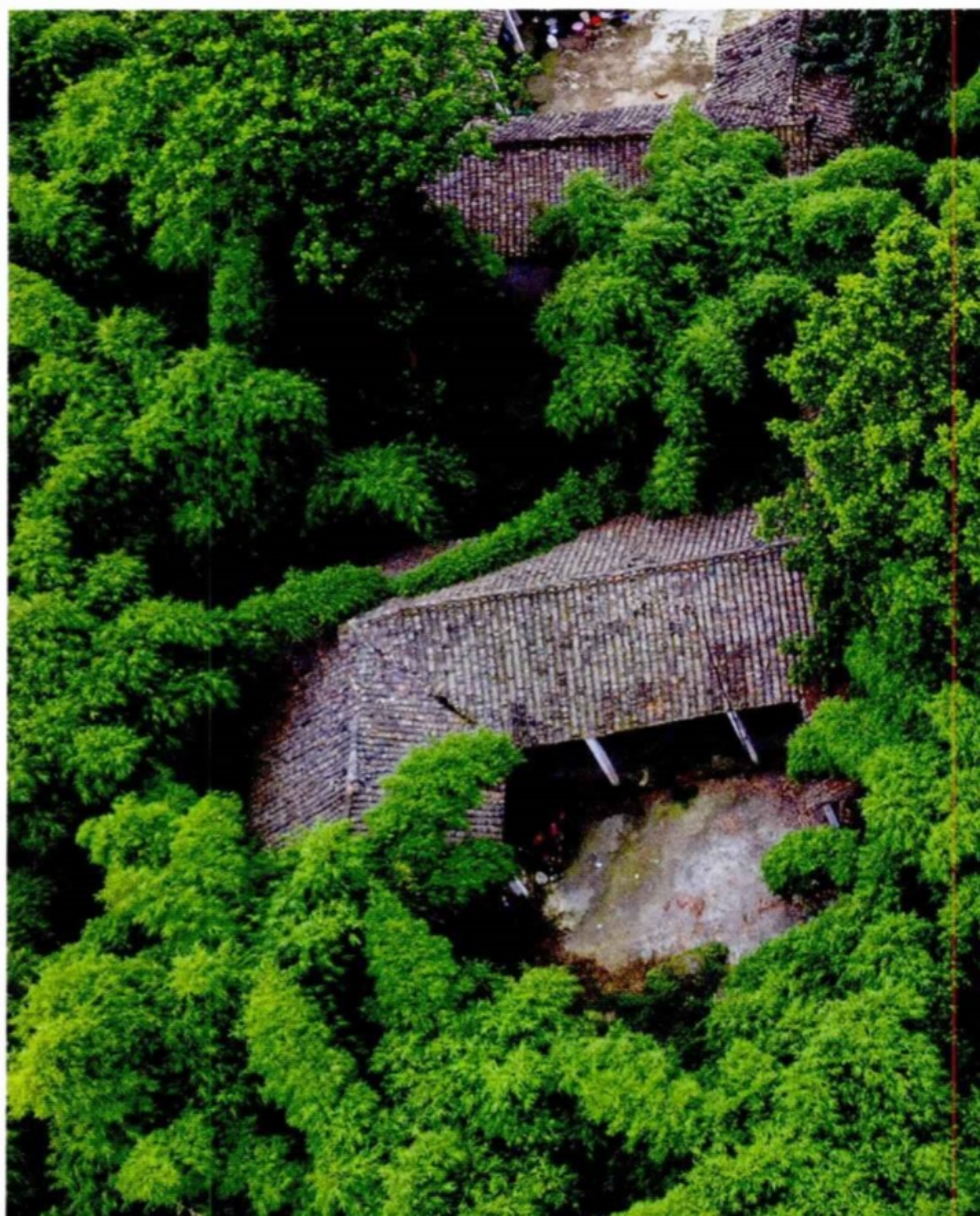
《蜀都赋》里描绘的成都平原：
“**栋宇相望，桑梓接连。**家有盐泉之井，
户有橘柚之园。其园则林檎枇杷，橙柿棗棣。
榧桃函列，梅李罗生。”



林盘体系景观示意图

内居民开展人际交往、商贸交易、文化娱乐等活动的聚集地。“胥家镇我们村最近，聚源镇有十多里远，蒲阳街道大概10里路，天马镇则有12里路”，在曾怀清的心中，除了生活的林盘地图外，还有一张用于商贸交际的场镇地图。在这两张交织重叠的地图中，不同的林盘呈点状分布。一定数量的林盘组成村落，多个村落之间的地理中心大多即是场镇，作为该区域的行政、经济和文化中心。

这种从林盘延伸而出的聚落体系，放大至整个川西平原的范围内，就是一张庞大而有序的人类活动网络：从林盘到村落，从村落到场镇，从场镇再到城市，川西平原形成了复杂不紊的网络状聚落体系。





房前屋后遍植树竹，这种空间形态隐含着蜀地的风水观：每个林盘在建造时，都竭力模仿这一山川形势，林木树冠的高低错落形如山丘起伏，取为宅前屋后靠“山”之象，居屋前开一院坝，取山前平原之意，门前是水渠，意为玉带，林盘形成藏风聚气的格局，负阴而抱阳，林盘又是人造的微观的风水吉地。所植树竹，有主人喜欢的水果，也有楠木、桉木等高大乔木，能为生产生活提供材料的竹子，是每个林盘必不可少的植物。树竹又为冷湿空气的交流形成了区域小气候，经过测量，林盘内的气温比外部低 5°C 。闲时，主人会用竹子制作一些器具（上图）。左页绘图 / 王航



林盘之间以田为界，彼此相距不过数十至数百米， 若即若离的状态，让林盘内的居民既享受着小家庭 独立的自由，又有守望互助的便利。

曾怀清对临近的中心县市都江堰或是成都这样的大型城市毫无兴趣，场镇完全能满足他的物质和精神生活的需要，买点油盐酱醋等生活用品，卖些饲养的鸡鸭和地里的蔬菜水果，有时会会朋友，除此之外，林盘里就可以自给自足。等了半天，我终于看到老人家从远处缓步走来，手中提着一瓶酱油。

看似散居无序的林盘，其实暗含着深刻

茶文化是川西坝子盛行的一种市井文化，从城镇到乡村，无处不见茶铺和悠闲的品茶人。在没有空调的时代，坝坝茶是重要的交流场所。在林盘的空地上，摆上桌子就是茶铺子，如果是在场镇上，当地人往往也会选择林下的坝子喝茶。茶铺，是连接林盘的交际空间，也是城里人喜欢的休闲场所。

的内在逻辑。当我与曾怀清老人一起沿着幽深林木掩映的泥土小径，从田野进入家宅的过程，是一种田（空）—林（虚）—宅院（实）的空间递进，以及黄绿（田）—墨绿（林）—灰黑（庭院）的颜色递换，这是林盘造就的独特体验。



繁茂的林木一向被视作 林盘的象征

曾怀清招呼我坐下，点燃旱烟，缓缓说道：“屋后种林木竹子，屋前开院坝，河渠绕田地，林盘大概就是这么个格局，但林木不是随便种的。我在1990年修建这座房屋时，先请来金马镇的郑道士看风水和方位，给他煮了2个荷包蛋表示敬意。道士做了一番仪式，最后把原定房屋的位置‘往前一尺’，寓意着人向前进。”

蜀人自古追求仙道，倾慕自然山川，风

水之术在此长盛不衰。林盘的空间形态便是崇尚风水的现实反映：从风水格局上看，川西平原沃野千里，东西向面山，水网密集，是一块风水宝地。而每个林盘在建造时，都竭力模仿这一山川形势，由于川西平原地势平坦，人们便于房前屋后栽竹种树。

远远望去，林木树冠高低错落形如山丘起伏，取为宅前屋后靠“山”之象，居屋前开一院坝，取山前平原之意，周围水渠环绕，流水潺潺，聚风藏气，负阴而抱阳，林盘顿时成为微观的风水吉地。

几乎所有林盘要种慈竹，竹子有很多用



途，比如用老竹子落叶盖住的新笋更易发芽，也更好吃；可以编织竹椅竹凳、农业用具、搭棚建房等。繁茂的竹林一向被视作林盘的象征，但它不是全部，林盘居民们在这方微观世界种植了多种多样的植物。陈明全

随口就为我们数出十几种不同的林木及其用途：“麻柳用作制作打谷子的拌桶，桤木和青杠树用作烧柴，慈竹用于做蒸笼、打晒垫、编箩筐、农田棚架。”此外还有枇杷、柚子、柑橘、核桃、梨等等种类繁多的果



川西平原东西向面山，水网密集，
是一块风水宝地。而每个林盘在建造时，
都竭力模仿这一山川形势，
由于平原地势平坦，
人们便于房前屋后栽竹种树。



川西坝子上的农业，是典型的小型农业，每户的耕地就在房前屋后，加之川西平原地下水丰富、埋藏浅、取水容易，湿软的土地不利田间长距离运输，因此人地关系往往是“分散劳作”的形式。平坦的田野，紧邻居所的耕地与稻田，当地村民劳作的强度远远低于山区。

树，加上林盘周边那几亩肥沃的田地，庭院饲养的家禽和家畜，小小的林盘基本满足了居民们从居住到生产、生活的基本需求。

但现实相当残酷，中国现代化建设的发展模式与城乡张力，已使川西平原绝大多数林盘发生了巨大的改变。比如城市化进程，让林盘的空间不断被挤压；比如很多年轻人向往城市生活，并不愿意继续居住在林盘里等等。希望人们都能真正走进林盘聚落，去感受这座绿岛的田园之美和内涵。□

从空中俯瞰成都平原，可以看到这样的聚落体系：从林盘到村落，从村落到场镇，从场镇再到城市，川西平原形成了林盘—村落—场镇—区域县市—中心城市（成都）这一逻辑清晰、复杂不紊的网络状聚落体系。若干聚落联缀成网，展现着川西坝子经久不衰的蓬勃生命力。



孙家碾

崇州市

叶家大院

花红 (徐巷子)

在有的情况下，南极的冰雪会“变色”。2020年初，如果你有机会乘船徜徉在南极半岛附近，只要把目光从那些漂浮在船舷边千奇百怪的冰山上移开，稍稍远眺，就会发现冰山背后的雪坡上经常会出现一抹红晕，或一片“绿茵”。这是因为在厚厚的冰雪下，一个隐秘而充满生机世界正在向人们展露真容。

微藻爆发

南极的“喜”与“忧”

撰文

秦昭



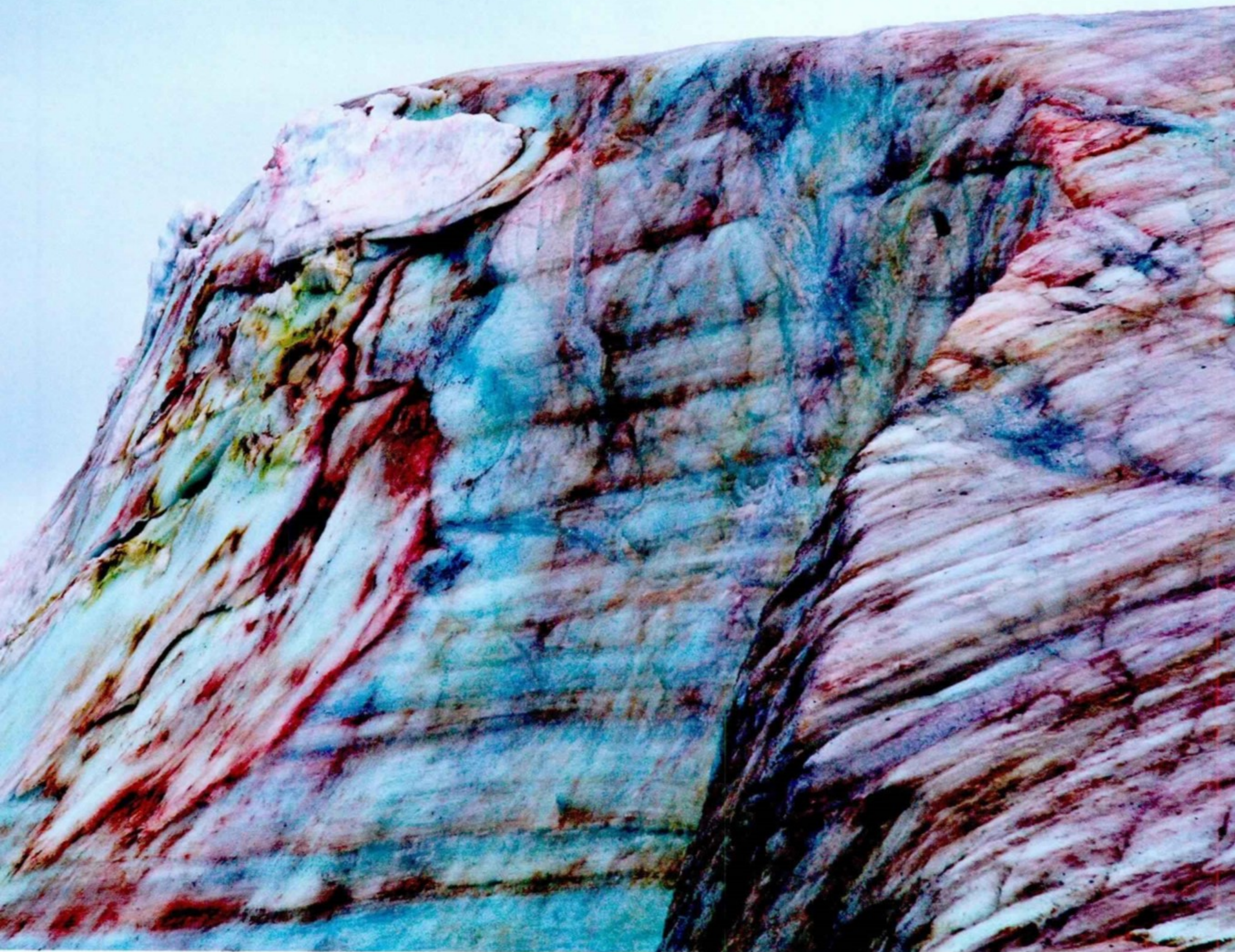
极地区域常年零摄氏度以下的低温、一连数月的漫漫极夜、季节性融化量不到1%的地表积雪，使得只有极少数高等植物才能在这里生存，而微藻却可以生长得很茂盛。以雪地衣藻为例，它能在极端条件下（如高光辐射强度、冰冻或异常干燥）保持孢子休眠状态，等到条件具备时迅速繁殖，大面积爆发。图为南极半岛格雷厄姆地的一座岛屿上，一群企鹅站在被雪地衣藻染成粉红色的雪地中。摄影 / Hemis



有时候在临海冰架百米厚的断面上，也一层层交织着醒目的红红绿绿的色彩，使白色的冰雪断崖变成了有着彩色纹理的大理石高墙。

虽然很早就有人注意到雪藻爆发这一现象，但对于它的研究还很少。2020年5月，英国剑桥大学的一个研究小组利用欧洲气象卫星的遥感图像，在南极半岛南纬68度以北监测到了1679块雪藻群落。他们根据监测结果制作出了南极半岛第一幅雪藻群落分布图，并标注出了不同群落雪藻细胞的平均浓度（右页图）。本页图为南极半岛一座冰川上颜色各异的雪藻。

摄影 / Jason Edwards / Alamy



今

年2月，我做了一次南极之行。南极给我的最大惊奇是，这个冰雪世界竟然不是白色的。

我说的是南极的雪——那一片片白雪竟然可以呈现草地般的绿色、甚至玫瑰般的殷红！恰在此时，社交媒体上疯传一组来自乌克兰南极沃尔纳德基科考站的图片。图片上，在科考站附近的雪地上出现了大片的暗红色。这略显夸张的颜色显得十分怪异，各种触目惊心的名字也随之而来：“果酱雪”，“覆盆子雪”，甚至“血浆雪”，最常见的称呼则是“西瓜雪”。

这时我正在南极，身处在这种奇异的景观之中。

是谁在极地涂抹颜色？

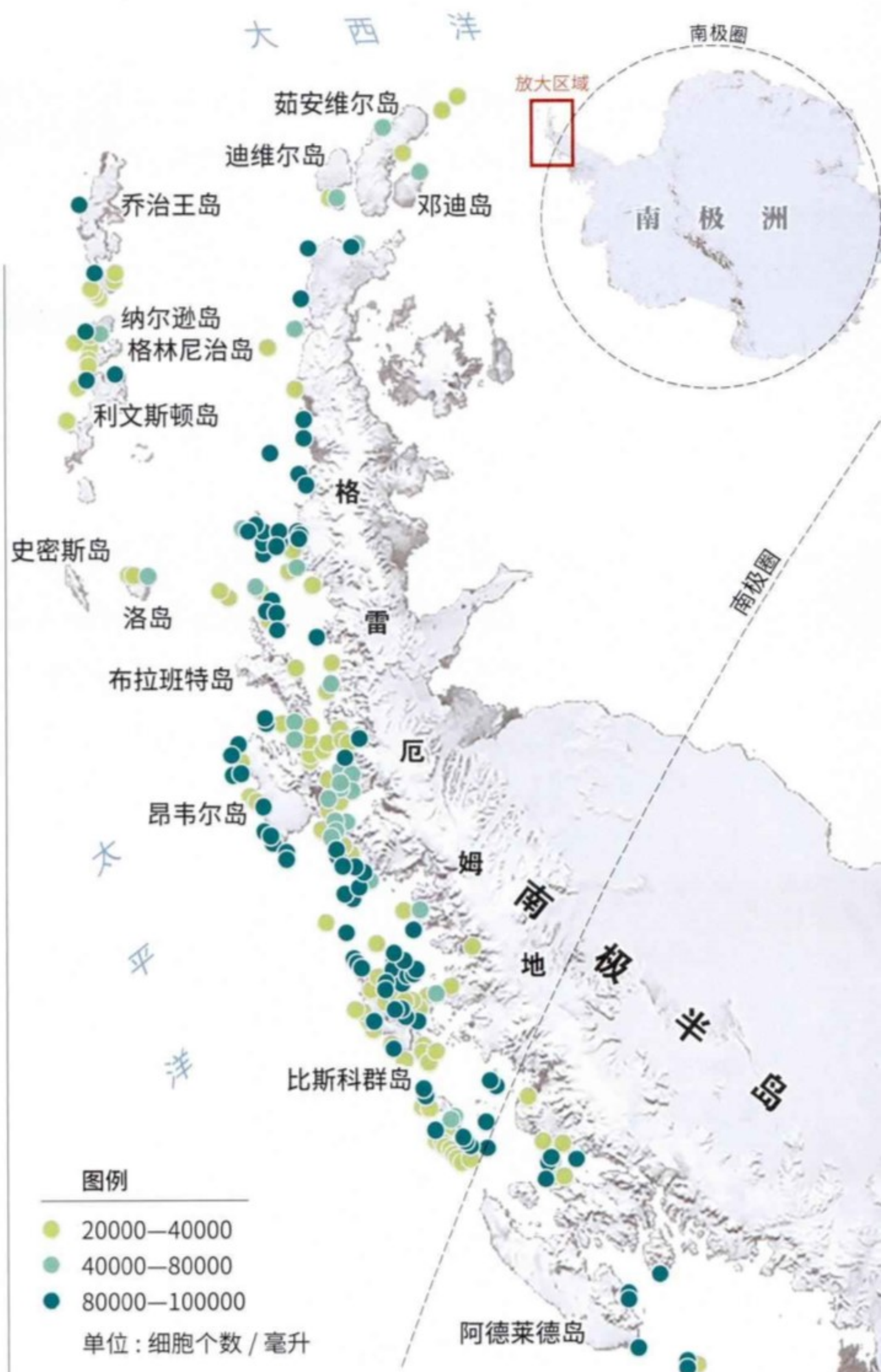
达莫角是一个位于南极半岛中部的海岬，拥有优美的锥形曲线。锥形山山顶两翼是舒缓的雪坡，覆盖着无人涉足过的莹润雪层。

正是在达莫角的雪坡上我第一次注意到了一片片的粉红色。南极的雪实在是太洁白无瑕了，这让这些本来不太鲜明的红色产生了很强的色彩反差，打破了南极蓝白二色单调的画面。

其实只要留心观察，这种带颜色的雪地在南极的很多地方都能见到。除了雪面，有时候在临海冰架百米厚的断面上，也一层层交织着醒目的红红绿绿的色彩，使白色的冰雪断崖变成了有着彩色纹理的大理石高墙。

跟乌克兰科考站的“西瓜雪”一样，这都是雪藻的手笔。

雪藻是一种微藻，即微型藻类。微藻多是直径只有几微米的微生物，遍布于全球水体中，但在极地环境中所起的作用尤为重要。这是因为，极地区域的极端环境使得极少有



南极半岛雪藻群落分布示意图

资料来源: *Remote sensing reveals Antarctic green snow algae as important terrestrial carbon sink*

高等植物可以在这里生存，最能适应这里的，是具有特殊抗低温特性、可以忍耐长久的微光环境又能抵抗24小时白昼强烈的紫外线光照的微藻。它们成了极地最重要的初级生产力，大规模生长时能够为雪层提供充足的有机碳源，从而为其他冰雪微生物群落提供充足的能量。可以说，它作为食物链中最基础的一环支撑起了极地的生态系统。

微藻只是一个统称，研究者在南极和北极发现了上千种不同的微藻。在南极，生物量很可观的微藻就多达上百种，其中，最常

见的是绿藻、硅藻、甲藻和褐藻。由于生境的不同，微藻又被通俗地称为“雪藻”和“冰藻”。雪藻是指生长在南极陆地雪层中的微藻，它们在冰雪表面大规模繁衍，以绿藻（即绿藻门）居多，其中尤以衣藻目最为常见，统称为“雪地衣藻”（Chlamydomonadalean）。冬季，雪藻在厚厚的雪层下休眠，等到夏季冰雪融化，温度、光照等生境条件一旦适合，雪藻就会出现爆发性生长，将雪地染上各种色彩。冰藻是指生活在海冰底部的微藻，以硅藻居多。它们借助透射下来的微弱阳光和海水里的营养盐进行光合作用而生存。夏季，冰藻也会出现爆发性生长，以它为食的南极磷虾的数量会随之猛增，企鹅、海鸟、海豹、鲸类等接踵而至，南大洋很快就变得生机勃勃。

微藻的生长最简单清晰地诠释了阳光对地球生命的重要性。借助阳光，微藻通过光合作用把二氧化碳和水，转化成生物所需的氧气和有机物。

不论是藏身于海冰底部的冰藻，还是积雪之中的雪藻，激发它们从休眠半休眠状态跃升到爆发性生长状态的关键因素都是阳光的到来：夏季阳光回归极地后，气温升高到0摄氏度以上，积雪开始融化成水，雪藻细胞获得能量开始分裂生长。雪藻细胞每天可以分裂数次，细胞个数可以呈指数级增长，在短时间内迅速分化从而引起爆发。雪藻细胞内的叶绿素是其进行光合作用的物质，也赋予了雪藻青绿的颜色。有些雪藻体内还含有（或者能产生）抗紫外线的类胡萝卜素，使雪藻呈现出红色、褐色。

除了阳光和水，氮、磷、铁等营养物质也是雪藻爆发的重要条件。我在南极见到的最明显的或者面积较大的雪藻群落大多离动物的栖息地不远，尤其是在企鹅聚集地附近。这是因为企鹅的排泄物为雪藻生长提供了很好的养分。作为南极一个重要的食物链传导环节，也正是企鹅把冰藻和雪藻“串联”在了一起。简单地说就是，南极磷虾吃

冰藻，企鹅吃南极磷虾，企鹅的粪便又成了雪藻的“肥料”。

不过，尽管在两千多年以前的古希腊学者亚里士多德的著作里就提到过雪藻，尽管在1818年欧洲探险家就详细描述了极地的雪藻，尽管如今人们对雪藻的认知有了很大进步，但是，至今人们对雪藻爆发的原因和后果的认识依然很有限。

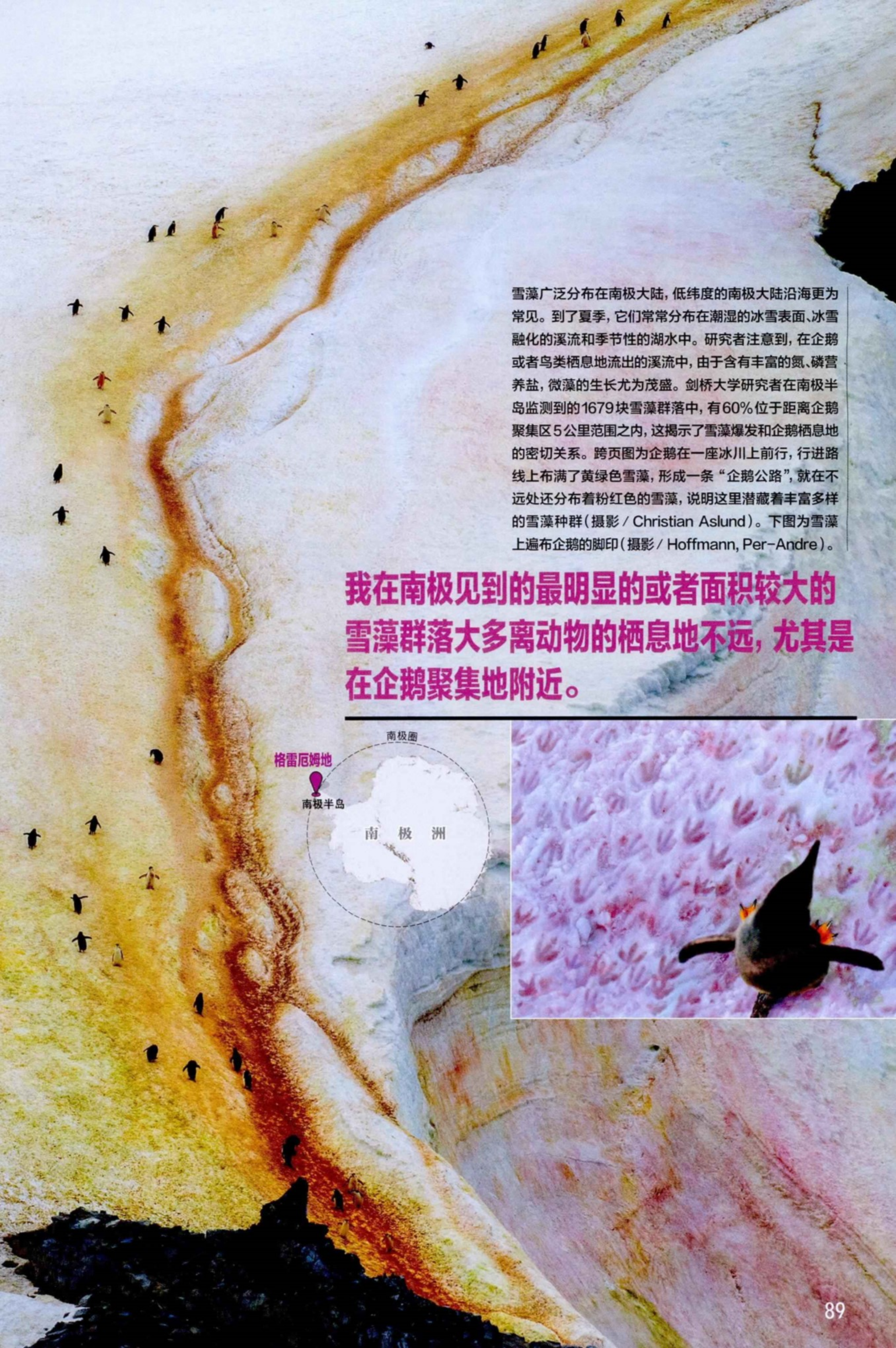
2020年2月底，乌克兰南极沃尔纳德斯基科考站雪藻爆发时，正值南极半岛刚刚监测到了有史以来的夏季最高温——18.3摄氏度（往年在这个季节只有0摄氏度左右），于是人们自然而然地把雪藻的大爆发与全球气候变暖联系了起来，认为这是全球气候变暖的佐证。

雪藻爆发，是负面影响吗？

南极半岛监测到创纪录高温的那几天，我正好又一次登上达莫角，看到这里本来厚厚的雪坡因为积雪融化而露出了一片片岩石，或者变成了水洼。三周前看到的玫瑰色雪藻并没有扩大面积，而是因积雪的过度消融而变得破败凋落了。

南极雪藻爆发是否是地球气候变暖的结果？科学界的回答是比较谨慎的。因为夏季高温并不是使雪藻爆发的唯一因素，光照、合适的酸碱度和充足的养分都能起到重要的作用。特别是因为科学界对南极雪藻的关注和研究开始得比较晚，尚没有足够的历史数据来论证气候变化与雪藻爆发的直接相关性。目前可以肯定的是，气候变暖将使一些冰雪圈层中的雪藻爆发时间提前，生长期延长。而且随着比较温暖的沿海低地岛屿的积雪消失，失去原有的生境，雪藻群落将可能向南极内陆更寒冷的地区转移。

比起南极雪藻大爆发的原因，目前科学界更关注的是其带来的影响。2020年5月，英国剑桥大学的一个研究小组利用欧洲气象卫星的遥感图像制作了南极半岛第一幅雪藻



雪藻广泛分布在南极大陆，低纬度的南极大陆沿海更为常见。到了夏季，它们常常分布在潮湿的冰雪表面、冰雪融化的溪流和季节性的湖水中。研究者注意到，在企鹅或者鸟类栖息地流出的溪流中，由于含有丰富的氮、磷营养盐，微藻的生长尤为茂盛。剑桥大学研究者在南极半岛监测到的1679块雪藻群落中，有60%位于距离企鹅聚集区5公里范围之内，这揭示了雪藻爆发和企鹅栖息地的密切关系。跨页图为企鹅在一座冰川上前行，行进路线上布满了黄绿色雪藻，形成一条“企鹅公路”，就在不远处还分布着粉红色的雪藻，说明这里潜藏着丰富多样的雪藻种群（摄影 / Christian Aslund）。下图为雪藻上遍布企鹅的脚印（摄影 / Hoffmann, Per-Andre）。

我在南极见到的最明显的或者面积较大的雪藻群落大多离动物的栖息地不远，尤其是在企鹅聚集地附近。



夏季, 冰藻会爆发性生长, 以它为食的南极磷虾的数量会随之猛增, 海鸟、海豹等接踵而至, 南大洋很快就变得生机勃勃。

群落分布图, 希望以此为基础对雪藻爆发对未来生态圈层的影响做出评估。

这个研究小组在南极半岛南纬 68 度以北共监测到了 1679 块雪藻群落, 总面积 1.95 平方公里, 它们的总生物量约为 1300 吨。他们还注意到有 60% 的雪藻群落位于距离企鹅聚集区 5 公里范围之内。

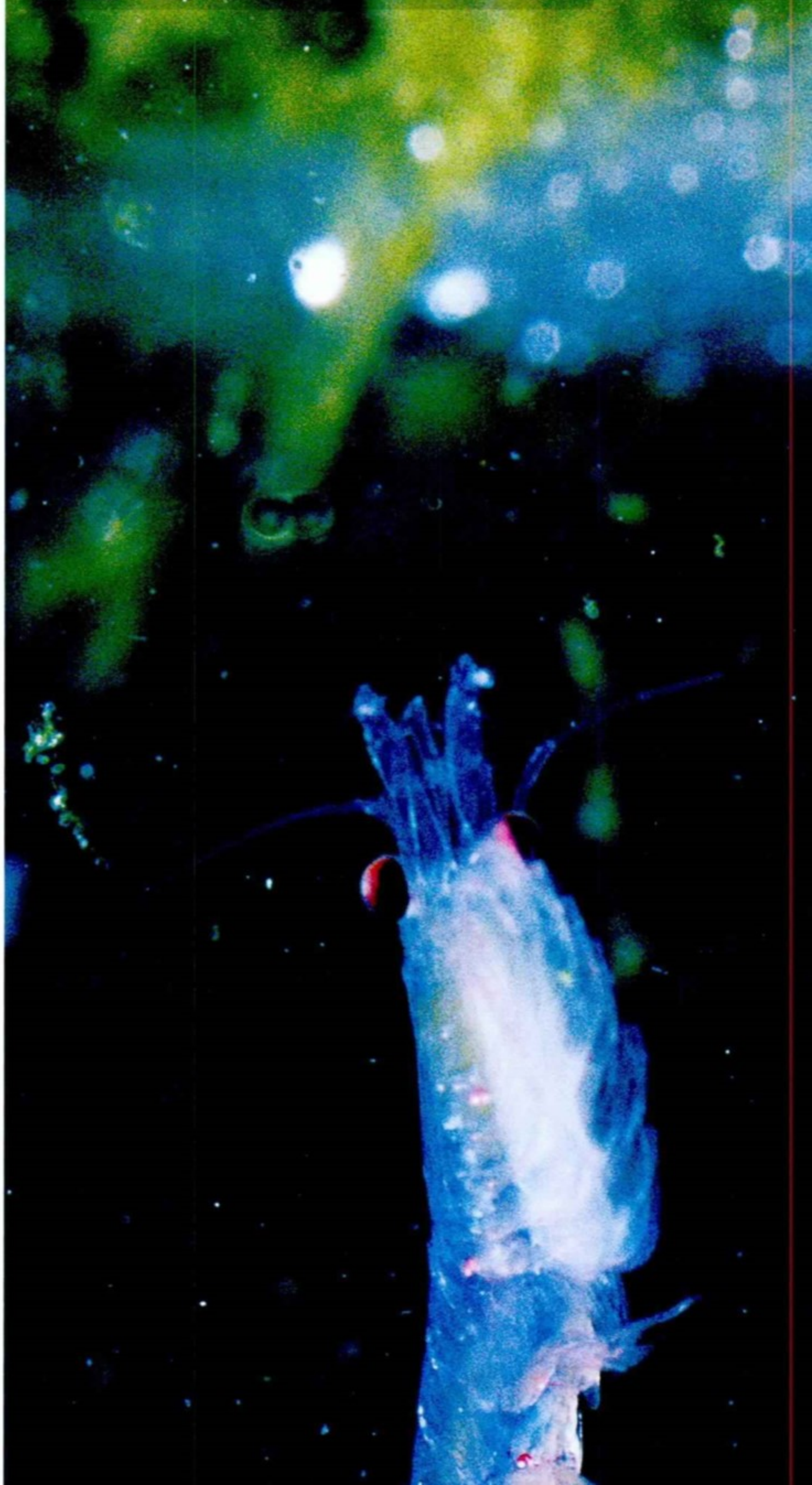
在他们的研究报告中, 我们看到了雪藻爆发正面和负面的反馈。

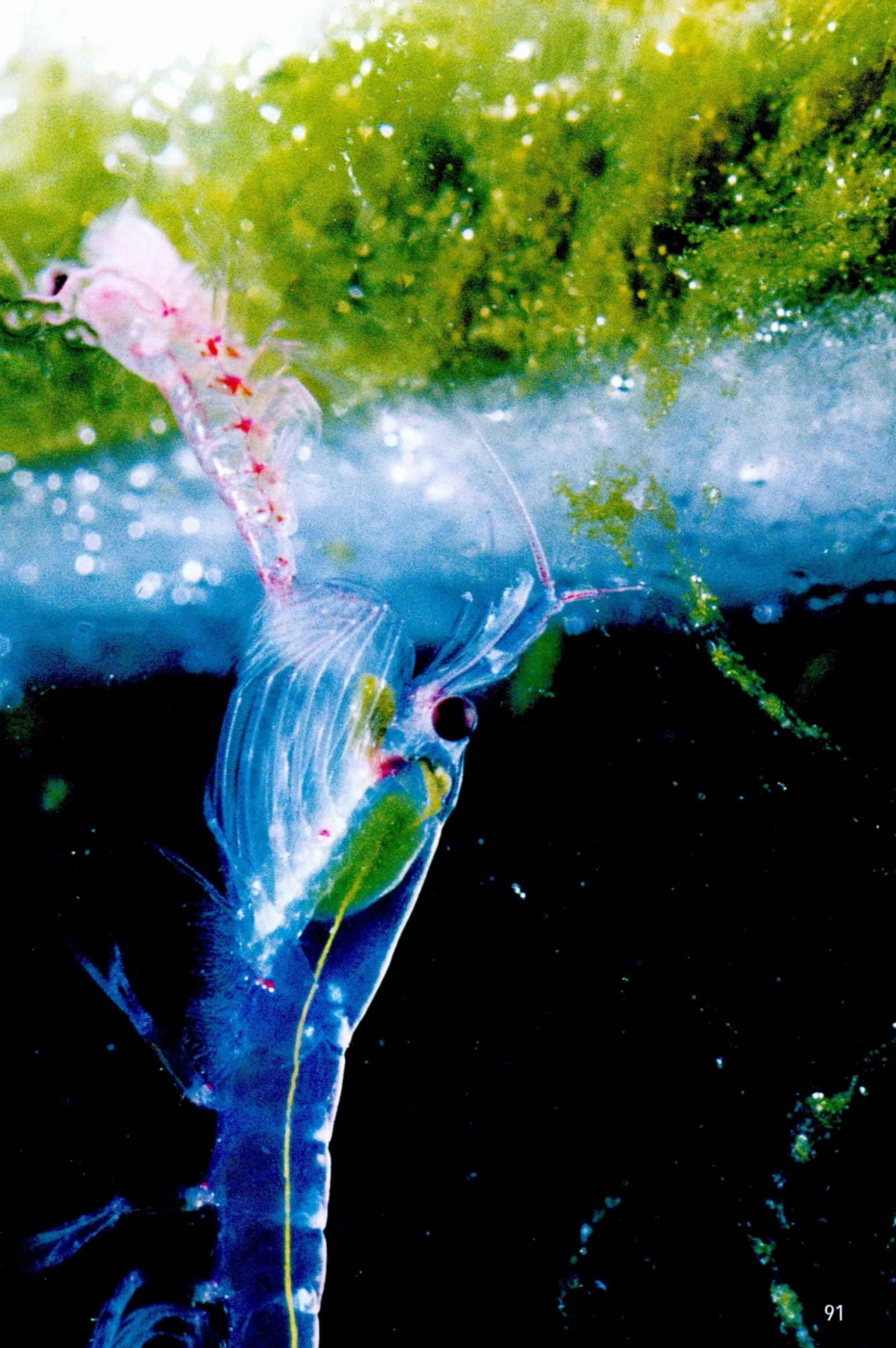
首先是雪藻爆发在积雪表面形成暗区, 很大程度上降低了积雪表面对阳光的折射率, 让来自阳光的热量更多地被冰雪表层吸收, 从而可能会进一步加速冰雪融化。

新鲜积雪的折射率是最高的, 高达 99%。剑桥大学的有关研究结果表明, 在有雪藻生长的情况下, 红色雪藻可以使积雪表面的折射率下降到约 60%, 而绿色雪藻甚至可以使之下降到 45%。

近年来, 利用卫星遥感技术对俄罗斯、加拿大、挪威和丹麦格陵兰岛的雪藻数据进行的遥感光谱分析, 也证实了雪藻生长与冰雪面积变化的相关性。在格陵兰岛进行地球科学研究的小组在很长时间内一直推测, 那些大面积覆盖在冰盖表面的黑色物质可能是风从别处带来的烟尘颗粒和污染物, 最近才证实这是一种雪藻藻华。他们发现, 夏季格陵兰岛 5%—10% 的冰盖融化可归因于冰盖表面藻类的大规模繁殖导致的冰面生物性暗化, 其影响远远大于污染物沉降的影响。在研究区域, 由于雪藻降低了阳光折射率, 使该区域的冰层在一个夏季的融化量至少增加了 13%。

在极地的大洋中, 冰藻是食物链的“种子”。冬季, 海水凝结成冰, 冰晶间会形成一些肉眼无法分辨的缝隙, 里面充满了海水, 冰藻就生存在这些缝隙中, 尤其会集中于海冰底部。它通过休眠的方式度过漫长而昏暗的寒冬, 当夏季来临, 阳光回归极地, 它就能借助透过冰层的阳光和冰缝中海水的营养盐进行光合作用, 爆发生长。这时, 大量南极磷虾就会前来觅食, 进而吸引来以南极磷虾为食的海洋动物。图为南极磷虾正在进食冰藻, 绿色的冰藻聚集在它头部的胃中, 肠道里的冰藻也清晰可见。摄影 / Flip Nicklin







“西瓜雪”的出现并不完全是因为气候变暖

罗玮
中国极地研究中心
研究员
绘图 / 李亚龙

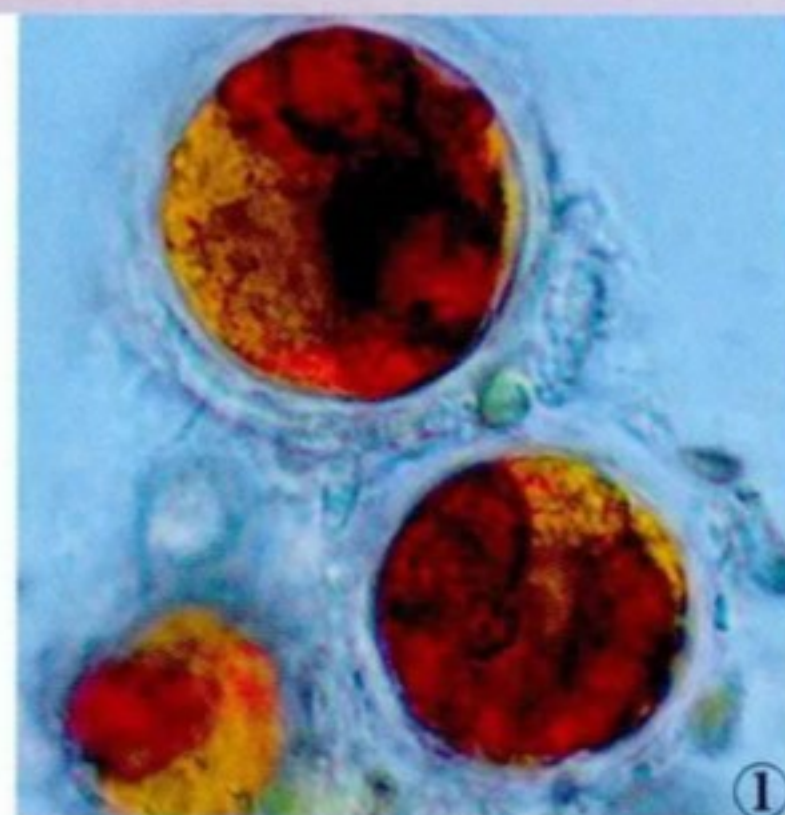
雪藻是冰雪上最高产的微生物，且具有绚烂的色彩。在春末夏初的融雪期，极地和高山的雪原上，雪藻可大量繁殖。大部分雪藻藻华都是由衣藻目引起的，它们统称为“雪地衣藻”(Chlamydomonadalean)。

雪地衣藻可适应低温、贫营养、高光辐射强度生境，可随机占领雪、冰等生境。雪藻细胞的出现可能是由于极地风、鸟类或者冰川融水的携带，而其爆发则与所在生境的雪地物理化学性质(如氮磷等营养盐含量、温度、pH值、电导率、雪表湿润度、光照等)紧密关联。雪藻的生长及快速增殖需要液态水、光照和营养供给。以南极地区为例，夏季冰雪开始融化，导致雪表湿润度提升，加之极昼的光照充沛，而且企鹅、海象、海豹等动物的排泄物可能为雪藻的爆发提供潜在的关键营养源——这些均为雪藻随机爆发的生态学因子。因此，南极沿海地带是雪藻爆发的常见区域。

雪地衣藻种类异常丰富，不同种类的雪地衣

藻可以使雪地染上完全不同的颜色(红、橘、黄或绿色等)。近年来新闻和社交媒体上常常出现的粉红色“西瓜雪”，常常源自一种叫做“*Chlamydomonas nivalis*”的雪地衣藻。但是，与人们印象中不太一样的是，“西瓜雪”的出现并不完全是因为气候变暖，而更多是因为光照较强时雪藻细胞的“光抵御”反应，或者雪藻外部营养条件的改变。以“光抵御”反应为例：雪地衣藻在光照达到80000勒克斯(lux，光照度单位)时依然能正常生长，但当光照过强时，细胞就可能进入孢子休眠阶段，通过合成虾青素或类胡萝卜素协助吸收紫外线，抵抗高强度辐射，从而使细胞内的叶绿体免于损伤。这是一种典型的极端环境下的微生物“光抵御”保护性措施，会促使冰雪表面颜色急剧暗化。这种生物暗化使冰雪表面反照率降低，从而导致局部区域加速升温，影响雪冰界面的融化过程。有研究表明，这种生物暗化作用可能加速冰川融化。

“西瓜雪”是对于红色雪藻爆发的形象描述，其实“西瓜雪”中可以包含多种雪藻。图①和图②分别为研究人员在同一片“西瓜雪”中提取的两种雪藻：*Chlamydomonas*和*Chloromonas*，前者是典型的红色雪藻，后者中的黄色部分则显示出细胞正开始合成色素，向红色转变(摄影 / 罗玮)。图③为雪藻爆发时的显微影像(摄影 / 罗玮)，优势种群为*Chlamydomonas*。图④为研究人员在对采集回来的南极雪样进行预处理(摄影 / 李文俊)。



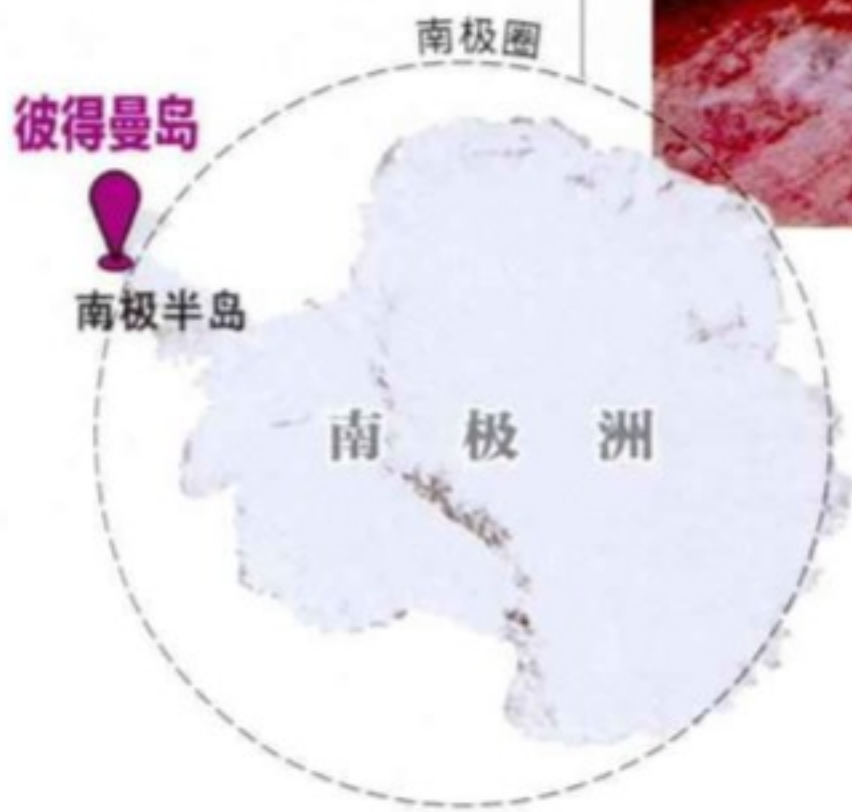
在雪藻爆发对冰雪界面产生的影响中，降低阳光折射率被认为是最重要的负面影响。不过，事情还有另一面。在剑桥大学的研究报告中，我们也看到了雪藻爆发对地球气候带来的正面影响，这就是对二氧化碳的固碳作用。

森林通过光合作用而吸收二氧化碳，同时释放氧气，因此被誉为“地球的绿肺”和“固碳库”。然而实际上，那些低调的微藻被大大忽视了。微藻的固碳量其实极为可观，它们通过光合作用固定的二氧化碳，占全球二氧化碳固定量的40%以上，所生产的有机碳总量更是达到高等植物的约7倍。

剑桥大学的研究者认为，南极区域爆发的雪藻是南极大陆最重要的二氧化碳吸收器。据计算，他们所监测的约两平方公里的雪藻群落每年因光合作用而吸收的碳高达479吨，相当于87.5万辆汽车各自行驶16公里所排放的碳量。

还有研究者曾于2011年在南极阿蒙森海域的冰间湖观察到了罕见的冰藻大爆发。冰藻爆发伴随着的光合作用产生了极高的固碳效果。检测结果显示，冰间湖水域中的二氧化碳水平罕见地低，只有100ppm（Parts Per Million，百万分之一），而大气中的平均二氧化碳含量为390ppm。

有学者认为，激发这次冰藻大爆发的关键因素，是某种原因导致的海水里铁元素含量的增加。由于在远洋生态系统中铁元素的含量通常是非常低的，于是他们提出了一个大胆的实验性设想：在远洋局部区域投放铁元素，促使微藻生长，既为远洋动物提供食



研究表明，红色雪藻可以使积雪表面的折射率下降到约60%，绿色雪藻甚至可以使之下降到45%。这种由微藻爆发导致的冰雪界面生物性暗化大幅降低了阳光折射率，加速了冰雪融化。在上图中可以看到，这个区域的冰雪消融很快，已经露出了雪层下的陆地。
摄影 / Michael Greenfelder

雪藻爆发在积雪表面形成暗区，很大程度上降低了积雪表面对阳光的折射率，让来自阳光的热量更多地被冰雪表层吸收，从而可能会进一步加速冰雪融化。

物，也可以扩充海洋浮游植物的固碳效能。有研究团队于2007年在太平洋科隆群岛（加拉帕戈斯群岛）海域进行了铁元素实验性投放，虽然气象卫星观测到了随后的局部海域微藻爆发，但大量质疑也随之而来，反对这种没有对可能的负面后果进行深入评估就贸然实施的行动。

在大洋中“种植森林”，开发藻类“固碳库”，对抗温室效应——近年来这类有点匪夷所思又有充分科学根据的设想被越来越多地提了出来，人们把它们归纳为一个新的概念——地球工程学。

地球工程学，狂想还是科学？

近20年来，地球气候的明显变化引起了越来越多的关注。持悲观观点的人认为，人类已经越过红线，全球气候变暖已经不可逆转，仅用减少二氧化碳排放来扭转这个趋势的方式已经为时过晚。地球工程学的概念就是在这种情况下应运而生的。

简单地说，地球工程学是利用现代工程手段来解决地球面临的环境问题的一门新兴科学，它目前关注的焦点就是温室效应造成的全球气候变暖。

地球工程学针对这个问题提出的办法有两大类：一是如何屏蔽阳光或者加强地球对阳光的反射，二是如何尽可能吸收或储存大气中的二氧化碳。前者代表性的方法有：用硫酸盐气溶胶注入平流层，制造小范围的“人造冬天”，以降低地球的温度，或者在太空设置反射镜，把射到地球的阳光屏蔽掉。后者的关键词是“固碳”，例如向海洋施放铁元素以助微藻生长，吸收更多的二氧化碳。

这些大胆新奇的设想和实验，尽管为人类应对温室效应提供了新的思路和方向，但是在把这些手段付诸实践之前必须三思而行。原因很简单：地球工程学是在用人为的方式干预地球的自然状态。在目前人类尚未掌握可靠技术的情况下，这样做很可能带来我们无法预知的巨大风险。以向远洋投放铁元素为例，藻类的爆发是否会影响到海洋中本来的生态平衡？是否会带来对远洋生态的负面影响？这些都值得更全面的评估。

在几十亿年间，微藻为我们供应着生死攸关的氧气。在这个意义上，微藻是地球生命的守护者。但是，也有学者提出假设：有

毒微藻的超大规模爆发，也很可能是地球生物5次大灭绝的重要杀手之一。

微藻是那样的“卑微”，然而它们却有能力决定地球生命的存亡。

在我国南极长城科考站周边海域巡游时，一幅画面深深地印在了我的脑海里：一座几十米厚的冰雪断面上，触目惊心地分布着红色和绿色的雪藻。在它的顶部聚集着一小群彷徨无助的企鹅，雪藻和粪便让它们雪白的肚皮显得十分污秽。在这个画面的背后，我看到了冰雪、阳光、氧气和二氧化碳，也似乎看到了地球生命的过去、现在和未来。□



微藻既是南极重要的二氧化碳吸收器，也是最重要的有机碳源之一，与人们的固有印象不同，它的爆发有其正面影响。



由于极地高等植物多样性匮乏，所以微藻被认为是这里最重要的有机碳源之一，它们支撑起了极地的生态系统。关于微藻爆发这个神秘而瑰丽的自然现象，人们还所知甚少。科学界已经注意到，微藻的爆发不单有负面影响，也有其正面意义，比如对于二氧化碳的固定作用，不过显然，这个自然之谜仍然有很多内容值得探索。图为南极半岛一次生物量极大的雪藻爆发，原本洁白的雪层变成了绿茸茸的“草地”。摄影 / Peter Bassett / NPL

审稿专家 / 罗玮 中国极地研究中心研究员
责任编辑 / 付薇 图片编辑 / 吴敬
版式设计 / 李晟 地图编辑 / 陈云



金鲳鱼

海水养殖的“新宠”

随着海洋鱼类资源的不断减少，海水养殖成为人类获取蛋白质的主要方式。在广西壮族自治区北部湾，一个个巨大的金鲳鱼养殖网箱布满海面。近几年，金鲳鱼养殖量快速提升，有望成为南方海水养殖鱼类第一大品种。这种鱼有何独特之处，为何如此受欢迎？又带来了哪些隐忧？



每年到了8月份，广西北部湾的海面上停满了打捞鱼的船只。在那一个个深海网箱里，养着数万条金鲳鱼。它们即将被运往码头，装箱打包发往全国各地。金鲳鱼无肌间刺、肉质细嫩，味道鲜美，是其他海水鱼品种无法媲美的，而且一斤卖到二十块，价格也更加亲民，因此深受消费者的青睐。北部湾海域的海水质量好，水体相对稳定，受台风影响小，目前是广西最主要海水养殖区。摄影 / 凌英朝

“半”

城绿树半城楼，一方碧海一市鱼”，从地图上看，防城港的江山半岛如一只美丽的大脚，伸进碧蓝的北部湾。江山半岛位于广西壮族自治区防城港市，它与钦州市和北海市所在的北部湾海域是广西最主要海水养殖区。在这片湛蓝宁静的海面上，布满了一个个巨大的“甜甜圈”。那是深海养殖（相对于近岸养殖，深海指水深超过6米的海域）的网箱，每个“甜甜圈”里面生活着八万到十万尾金鲳鱼。一望无际的大海，被“甜甜圈”圈成辽阔的海洋牧场。

广西北部湾， 从南珠之湾到金鲳鱼养殖基地

江山半岛早在汉代就有人采珍珠，清末至今百余年间出产久负盛名的南珠。早些年，淡水珠还未人工培育，南珠成了名副其实的摇钱珠。不光南珠，广西北部湾的水域非常适合养殖，还盛产贝类和多种海鱼。

白龙村是藏在江山半岛上最不起眼的一个小渔村，渔民龙雪明坐在我面前，有点局促不安。他曾经是渔民，尽管很多年不下海捕鱼了，仍依稀可见渔民的印痕：皮肤黝黑，指节粗大。龙雪明说：“小时候，这里鱼真多。随便伸个网兜，都能捞上石斑鱼、青蟹……那些年，鱼多到不怕人，而现在捕鱼的大船也越造越多，加上人违法使用电拖网，海里的鱼捕得都快绝了种。”

说实话，弃船上岸是一次被生态逼迫的革命。白龙村的渔老们见出海捕鱼连柴油钱都收不回来，就开始尝试在海岸边搞养殖。龙雪明和村里的年轻人上岸先养起了珍珠，但慢慢发现找他们买鱼的人要比找他们买珠的更多。后来受淡水珠冲击，珠宝消费市场萎缩。养珍珠感觉越来越没前途。龙雪明尝试拦网养青蟹、牡蛎、鲈鱼、石斑鱼，反正什么好养就养什么。

2008年，龙雪明认识了海南大学水产专业毕业的杨薇，两人结为夫妻。在龙雪明家的鱼种场，杨薇所学专业有了用武之地，夫妻俩开始尝试养殖海鲈鱼。海鲈鱼是肉食性为主的鱼类，嘴比较刁，要喂食小鱼，只有封海期时才吃一点饲料，从鱼苗长到上市的标准400—500克需要将近一年的时间。

后来他俩发现金鲳鱼是一种很有潜力的经济鱼类，而且北部湾的水域非常

目前已经能人工养殖的鱼类主要有：大黄鱼、鲈鱼（花鲈鱼、加州鲈鱼、河鲈鱼、松江鲈鱼）、鲢鱼（包括牙鲢、大菱鲃）、金鲳鱼、石斑鱼、鲷鱼（真鲷、黑鲷、黄鳍鲷、斜带髯鲷）、美国红鱼、鲱鱼、军曹鱼等。金鲳鱼具有成为大宗养殖品种的优势，它是典型杂食性“吃货”，食量大，消化快，生长特别迅速，而且可以网箱或池塘养殖，还能与虾蟹鱼混养。摄影 / 刘世旭

中国已经掌握 40 余种海水鱼的人工繁育和养殖技术，相对于其他海水鱼类来说，金鲳鱼养殖产业的发展时间并不算长，却后来者居上，成为南方沿海地区的重要养殖鱼类。





适合金鲳鱼的生长。

金鲳鱼是暖水性中上层鱼类，分布在印度洋、太平洋、大西洋的热带、亚热带和温带海区中。它对海水温度和水质要求较高，最适生长水温22—28℃，水温降至16℃以下时，便不再摄食，14℃以下会大量死亡。北部湾属于亚热带海洋性季风气候，冬无严寒，夏无酷暑，全年平均气温约23℃，水文条件适合金鲳鱼的生长。海水养殖最害怕遇到台风，每年夏天是台风的高发期，北部

每年的8、9、10月份，是金鲳鱼的捕捞旺季，一筐筐刚打捞上来的金鲳鱼，整齐地码放在摆满冰块的泡沫箱中，即将运往全国各地。金鲳鱼主要以活鲜、冰鲜、冻品鱼三种形式流通。其中，冻鱼流通量最大占近七成，冰鲜的占近三成，活鱼主要是供应香港和澳门。冰鲜形式的金鲳则流向沿海等地，如珠三角、长三角，并辐射东北等地。冻品流向全国各地，并出口美国、俄罗斯、欧盟、东南亚等国家和地区。摄影 / 刘世旭

每年3月是金鲳鱼的投苗期，5到6个月它就能长到400—500克，达到上市的标准了。而同样重量的海鲈鱼，养殖周期却要将近一年。



湾作为一个天然的半封闭浅水海湾，水体相对稳定，受台风影响小。同时，北部湾保持着远海一类水体、近海超二类水体的海水质量，这些都为金鲳鱼大规模养殖提供了良好的环境。

独特的生物学特性使得金鲳鱼成为最有发展潜力的海水鱼类

金鲳鱼体型较大，是典型杂食性“吃货”，食量大，消化快，生长特别迅速。相对于其他海水鱼类来说，金鲳鱼养殖产业的发展时间并不算长。在上世纪80年代开始，广东省有零星养殖，但由于技术不成熟，一直没有形成规模。直到2002年后，科研人员解决了种鱼鱼苗获取的难题，金鲳鱼的产量开始大幅提升。

经过近20年的发展，金鲳鱼已经成为我国海水养殖中重要的优质海水鱼类，是广西、广东、海南、福建等四个省份沿海地区主要养殖的品种。在《中国渔业统计年鉴》中，2019年海水养殖产量中，大黄鱼22.5万吨、石斑鱼18.3万吨、鲈鱼18万吨，金鲳鱼的产量并未进入统计年鉴中。据中国渔业协会金鲳鱼分会粗略统计，2019年金鲳鱼的产量约15万吨。

骆剑是海南大学海洋学院副院长，他一直在做鲳鲈良种选育的研究。采访时他提到：“金鲳鱼是优良的海水养殖品种，对水产者来说，金鲳鱼规模化繁殖技术成熟、生

长速度快、养殖周期短、资金回笼快；对消费而言，金鲳鱼是平价的海水鱼类，没有肌间刺，食用很方便。从当前的发展情况来看，2020年金鲳鱼有望成为南方海水养殖鱼类第一大品种。”

每年3月是金鲳鱼的投苗期，5—6个月它就能长到400—500克，达到上市的标准了。而同样重量的海鲈鱼，养殖周期却要将近一年。到了8月份，在防城港的码头上，停满了挂着“桂”、“粤”、“赣”等车牌的车辆。一筐筐刚从

鲳鱼是餐桌上常见的海鱼，因体形扁平，也被称作平鱼或扁扁鱼。“真鲳鱼”是鲈形目鲳科鲳属种类的统称，分别是银鲳、灰鲳、镰鲳、珍鲳、翎鲳和中国鲳。在市场上，经常有人区分不出金鲳鱼和“真鲳鱼”，它们的外形确实很相像，金鲳鱼最明显的特征是鱼鳍呈现金黄色，故名“金鲳”。绘图/爱染

鲳鱼、鲳鲹鱼，傻傻分不清楚？金鲳鱼虽叫“鲳鱼”，但在分类上属于鲈形目鲹科鲳鲹属，也被称作布氏鲳鲹或卵形鲳鲹。

北部湾打捞上来的金鲳鱼，整齐地码放在摆满冰块的泡沫箱中，即将运往全国各地。

防城港市防城区农业农村局渔业管理股陈先毅告诉我，他见证了防城区12年深海网箱养金鲳鱼的发展史。2008年刚开展深海养鱼时，防城区只有100口网箱，年产400多吨，到今年8月，已有500口深海网箱，年捕捞2万吨。深海网箱的周长从当初的每口只有40—50米发展到80—120米。一口90米周长的深海网箱，一次性捕捞金鲳鱼达10万斤，而120米周长的网箱将达到16万—17万斤。3年后，防城区将拥有深海网箱2000口，年养殖量占全国养殖量的30%。

金鲳鱼是鲳鱼吗？

潮汕地区有句民间谚语：好鱼马鲛鲳，表达了对马鲛和鲳鱼的喜爱，其中鲳鱼一向被视为名贵的海水鱼。金鲳鱼虽叫“鲳鱼”，但在分类上属于鲈形目鲹科鲳鲹属，也被称作布氏鲳鲹（*Trachinotus blochii*）或卵形鲳鲹（*Trachinotus ovatus*）。而“真鲳鱼”是鲈形目鲳科鲳属种类的统称，分别是银鲳、灰鲳、镰鲳、珍鲳、翎鲳和中国鲳。在市场上，经常有人区分不出金鲳鱼和“真鲳鱼”，它们的外形确实很相像，金鲳鱼最明显的特征是鱼鳍呈现金黄色，故名“金鲳”。

在所有“真鲳鱼”中，银鲳鱼是餐桌上常见的海鱼，因体形扁平，也被称作平鱼或扁扁鱼。这种鱼肉质鲜美、细软，非常适合香煎或清蒸。由于银鲳鱼的捕捞量太大，野生资源急剧下降，价格也水涨船高，一斤银鲳鱼卖到六七十块。

虽然市场需求量大，但银鲳鱼是出了名的难养，这在业界早已成为共识。银鲳鱼的鳞片非常容易脱落，在拉网捕捞时，鳞片会大量脱落，不光品相不好，还会引发其他疾病的爆发。而且银鲳鱼的食道上有一个特殊的结构——食道侧囊，它必须等食道侧囊的食物消化后才能接着进食，这增加了投喂饵料的难度。

相对于“娇气”的银鲳鱼，金鲳鱼更“皮实”，已经实现商业化养殖。虽然金鲳鱼有蹭鲳鱼“热点”的嫌疑，但也不失为一种美味的海水鱼，而且一斤卖到二十块，价格也更加亲民。



中国鲳
pampus chinensis



银鲳
Pampus argenteus



在金鲳鱼的捕捞量逐年攀升的同时， 水体污染的问题也刻不容缓

在2013年《中国海洋发展报告》中，中国拥有海洋面积396.28万平方公里，位居世界第十，却提供了全球80%的海产养殖量。突飞猛进的海洋养殖业，一方面给市场带来了充盈丰富的海鲜产品，提升了国民蛋白质的摄入水平，另一方面在平衡市场价格上功不可没。

但来势迅猛的海洋养殖产业的发展，对远海海洋、环境、鱼类生态的影响尚处在一个未知的阶段。按照国际统计标准计算，中国已经成为海水养殖第一大国。海水养殖的对象主要是鱼类、虾蟹类、贝类以及海参等其他经济动物。

随着海水养殖业的快速发展，近海养殖成为主要的海洋污染源。研究表明，水产养殖外排水对水域营养物的负载逐年增大，排出的氮、磷营养物质成为水体富营养化的污染源。同时，近海养殖中消毒剂、杀虫剂、抗生素、疫苗



的大量使用，以及养殖量超过水体承载能力所造成的硫化物污染也成为近海养殖负面清单。

2017年，我国近海网箱养殖被禁止，规划不合理的养殖网箱统统被拆除，给传统近海养殖带来了重创。近十年，从近海走向远洋，我国海洋养殖产业发生着根本性的变化，深海养殖规模滚雪球一般越滚越大。从深海网箱的周长来看，十几年间从40米发展到120米，但随之而来的隐患也是显而易见的：饲料危机、海水的富营养化、药物对水体的影响、人工繁殖养殖种群对海洋鱼类生态的影响。

饲料危机几乎是所有海洋牧场从业者第一担心的问题。当前，远海养殖所



网箱内环境稳定，水体大，更接近于自然而且鱼类活动范围广，成活率高。得益于深水网箱的种种优势，大力发展深水网箱养殖已成为水产养殖的趋势。除金鲳鱼外，深海网箱养殖同样也适用于石斑鱼、花鲈、金鼓鱼等名贵鱼类和珍珠螺的养殖，有利于生态环境的修复，以及减轻近岸和浅海养殖的压力。随着深海网箱技术的发展，周长80米、100米、120米，甚至更大周长的抗风浪网箱正投入养殖业。摄影 / 凌英朝

20 世纪 80 年代，中国的海水养殖逐步从传统渔业走向现代渔业，养殖方式也由过去的粗放养殖向集约化养殖转变，深海养殖网箱是近十年来迅速发展的养殖设备。

使用的饲料主要成分是鱼粉，几乎全部来自南美地区，会受到相关地区的价格波动以及国际贸易保护主义的影响。2019 年我国饲料用鱼粉进口数量为 142 万吨，进口金额为 134.9 亿元。而饲料残余的问题也同样存在。每年 3—10 月是金鲳鱼的生长周期，一口 90 米周长的网箱，全周期投放饲料量达 90—100 吨，饲料残余量和鱼类排泄物量惊人。北部湾的水体循环相对缓慢，随着养殖量的爆发性增长，海水养殖所产生的水体污染也摆在当地政府和从业者的面前。

随着人口增加，人类对海产品的需求逐年增长，过度捕捞导致海洋鱼类资源的枯竭，而以深海养殖为代表的“海洋牧场”将是人类获取蛋白质的主要渠道。但是如何与海洋和谐共处，是摆在我们面前的一道课题。□

责任编辑 / 康静
图片编辑 / 马宏杰
版式设计 / 崔晓琳
地图编辑 / 陈云

孤独的颜色

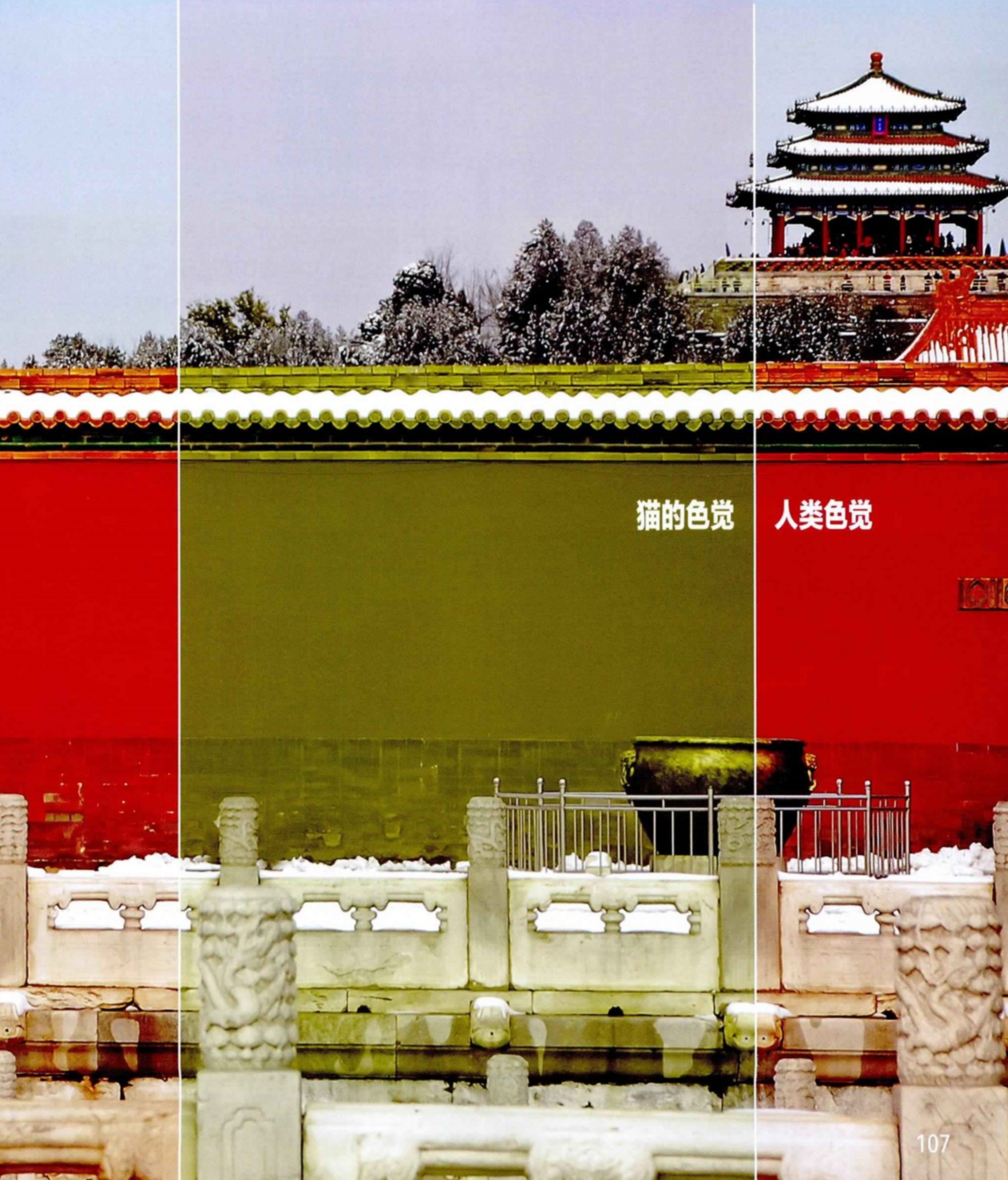
猫与蜂眼中的“红”会是什么样？

猫、狗、牛乃至蜜蜂都无法感受红色。可以这样说，除了人之外，能够感受红色的生物并不多。红色在自然界和生物演化中有着什么样的意义？以世界各地的红花为素材，中国科学院昆明植物研究所的牛洋研究员和同事们展开了相关研究。他们发现，在不同传粉者的眼中，红色花朵展现出截然不同的样貌。



猫眼中的故宫

北京的一场降雪把故宫装扮得分外迷人。在紫禁城内的中和殿西边向北观望，汉白玉台基、高低错落的宫墙与远处景山上的富览亭、辑芳亭、万春亭层次分明，色彩靓丽。偶尔有猫引得游人驻足拍照，猫眼中的紫禁城是否也是红墙黄瓦？按照猫的色觉体系，我们用这个纵条模拟了它们看到的色彩。可以看出，红色的宫墙在猫眼中接近黄绿色，与我们感知的景象截然不同。摄影 / 李劭康



猫的色觉

人类色觉



梳

妆台前，妻子拿着新买的口红细致描画。阳台上红色的石竹花正开得鲜艳，我家宠物猫在花旁晒着太阳，目不转睛地看着她。我多了句嘴，说：“猫肯定认为你的口红白买了，它的眼睛分辨不出红色。”妻子不屑地反问：“你又不是猫，怎么能知道猫看到的世界？”

惠子曾对庄子说：“子非鱼，安知鱼之乐。”妻子和惠子说得都对。人类永远都无法了解其他动物对色彩的真实感受，无法体会它们看到某些色彩时，会有怎样的情感表达。我们甚至无法确定，自己对某种颜色的感受是否和其他人一致。

动物的色觉涉及光学、生物化学、生理学、心理学、数学、艺术与哲学等诸多学

科，自古以来引发过无数激烈精彩的论辩。通过大量解剖学、神经生物学和行为学的研究积累，人类逐渐对其他生物的色觉有了些许了解：芸芸众生，能够感受红色的物种并非主流；不同生物眼中的红，千差万别。

不光是猫，绝大多数种类的哺乳动物都无法识别红色

颜色不是物质，是信息。它的本质是大脑对一段电磁波的解读。感受颜色有三个要素：一是光源，二是物体的反射特性，三是观察者的色觉特性。如果光源和观察者不变，那么物体颜色就取决于它的反射光谱。至于红色，从光谱曲线来说，它在人眼可见光的长波范围有较高的反射率。

猫偶尔惹祸。上月它蹭翻了妻子的红色颜料瓶，颜料泼洒在地板上，在阳光下鲜艳夺目。一边擦地，我一边思考人眼与猫眼对于色觉识别的差异。色觉可以理解为彩色视觉的简称，指视网膜受不同波长光线刺激后产生的一种感觉。

由于特定的物理和化学特性，洒在地板上的红色颜料吸收了绝大部分可见光，仅将其中长波范围的可见光反射出来。这部分长波可见光被人眼接收，视网膜上的视锥细胞含有对应不同颜色的受体蛋白，受体蛋白产生反馈信号，继而被人类大脑解读为红色的色彩感受。

猫的视网膜上缺乏感知红光的受体蛋白，它们能够看到蓝色、黄色，但很难解读人眼看到的红色。在猫看来，人定义的红色大致是黄色。和猫四目对视了很久，我想，它可能以为自己弄翻的是黄色染料。

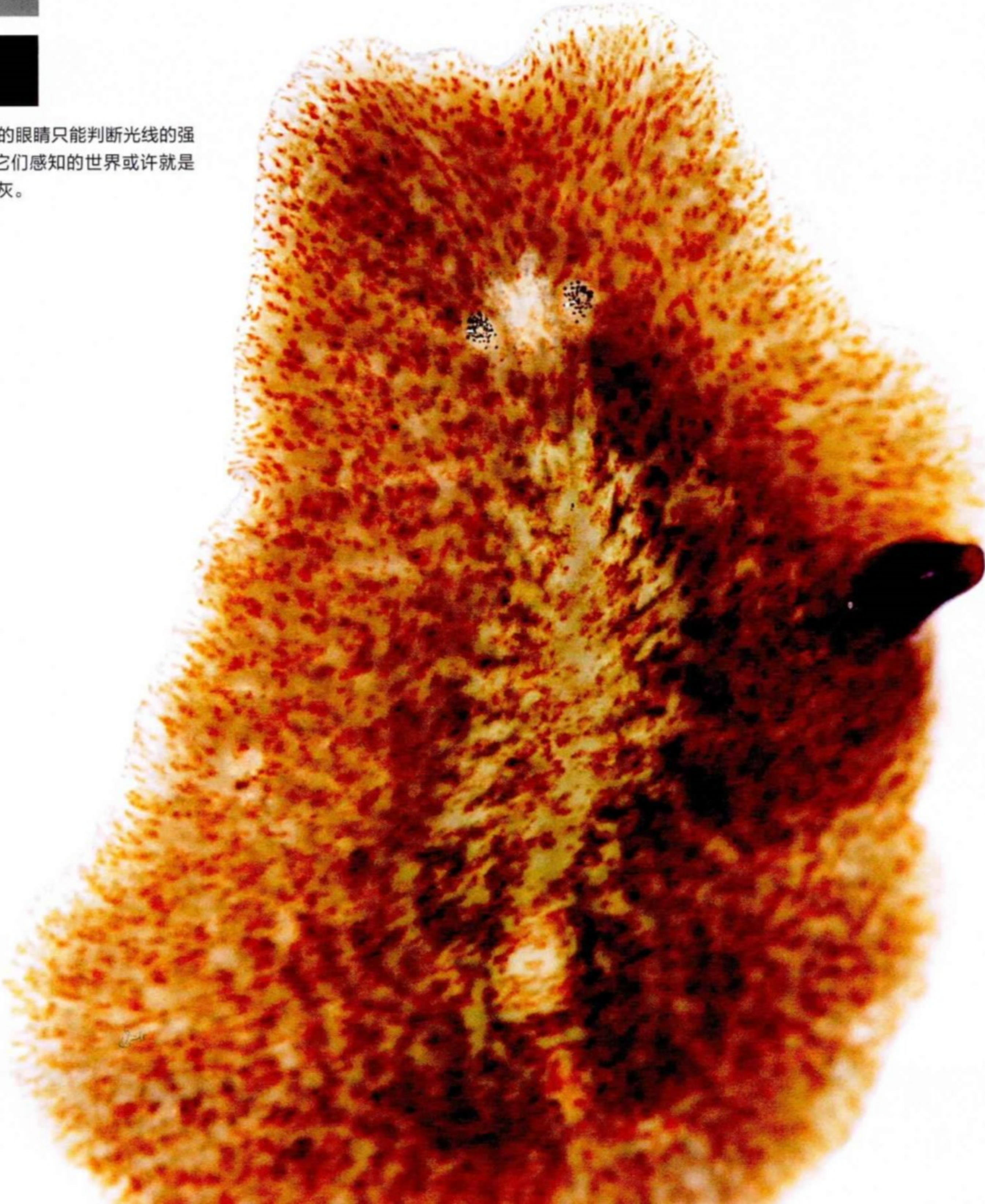
不光是猫，其实牛、羊、狗等大多数哺乳动物都看不到红色。有朋友抬杠：“如果

色彩纷呈还是黑白灰？ 不同的眼睛感知不同的世界

红色的虹膜，黑色的瞳孔——红眼树蛙的眼睛颇有网红气质(左图 摄影 / 刘馨阳)。蛙眼色彩迷人，却不是供人欣赏的，它可能有恐吓捕食者的作用。不同生物的眼睛感受到的是与人类视觉完全不同的世界。下图是扁形动物门的涡虫(摄影 / 张超)，作为较为原始的无脊椎动物，涡虫的眼睛看起来很可爱，但它们其实只是一些感光点，并不能分辨观测物的形态。



涡虫的眼睛只能判断光线的强弱，它们感知的世界或许就是黑白灰。





在猫面前涂抹口红，它可能以为你在吃花生酱

牛对红色不敏感，为何斗牛士要用红布来戏弄和激怒公牛？”和猫一样，牛感受的世界也是黄蓝等色彩构成的。对它们而言，红色并不比黄色更醒目，让牛发怒的是斗牛士的肢体动作。红色布帘的意义在于刺激观众——说到底，火爆的表演是给人看的。

蜜蜂穿飞于花丛， 却对红色视而不见

紧致的石榴籽、玻璃盘中洗净的樱桃、欲放的玫瑰花、《中国国家地理》杂志封面的C形边框……客厅和书房中红色的美好事物随处可见。牛和羊都感受不到红色，我庆幸自己能够体验。

我的工作涉及研究植物演化，希望洞察红色花朵的些许玄机。在新疆伊犁，我曾经见到餐厅柜台上的花瓶中泡着两三朵鲜艳的红花疆罌粟。老板娘说，这几朵花是客人遗弃的。红色的花在草原上非常醒目，容易被发现和采摘。

红色花怕人摘，却不必担心受到羊群、牛马的“特别眷顾”。牛马羊以及猫狗眼中的世界色彩单调，简单的色觉体系或许也有好处，比如可以将世间万物粗略分为两大类：能吃的和不能吃的。

当然，红色花朵不是为了躲避牛马或取悦人类而设计，我们只是恰好有幸欣赏红花的美。花朵的颜色与传粉者关系密切。

最重要而普遍的传粉者就是蜂类，比如

人类色觉 ◀▶ 猫的色觉

牛血红

红棕

宝石红

正红

枫叶红

西柚红

玫瑰豆沙

葡萄紫

梅子红

树莓红

玫红

浆果紫

人鱼姬

烟熏粉紫

裸色



口红在不少女性的生活中属于必备品。宝石红、枫叶红、西柚红、树莓红、梅子红、牛血红、浆果紫、人鱼姬、烟熏粉紫、玫瑰豆沙……口红的色号缤纷复杂，极大丰富了我们对于红色分类的认知。然而除了人之外，大多数哺乳动物并不能识别和分辨红色。在猫、狗等宠物看来，女主人的口红呈现着或深或浅的黄灰色。

和猫不同，蜜蜂看到的色彩体系更加复杂，它们可以看到人类不能看到的颜色。包括蜂在内，很多类群的昆虫都拥有感受紫外光的能力。当我们得意于自己对于红色的视觉体验时，蜜蜂可能正嘲笑人类对紫外光所对应色彩的无知。

蜜蜂。出乎很多人的意料，蜜蜂也无法分辨红色。由于缺乏红光受体，纯红色目标在蜂类眼中非常暗淡，不能当作“颜色”来处理。当然，颜色暗淡并不代表不能识别。如黑白电视一样能看，蜂类或许可以通过亮度和形态差异来识别红色物体，只是分辨效率会非常低。

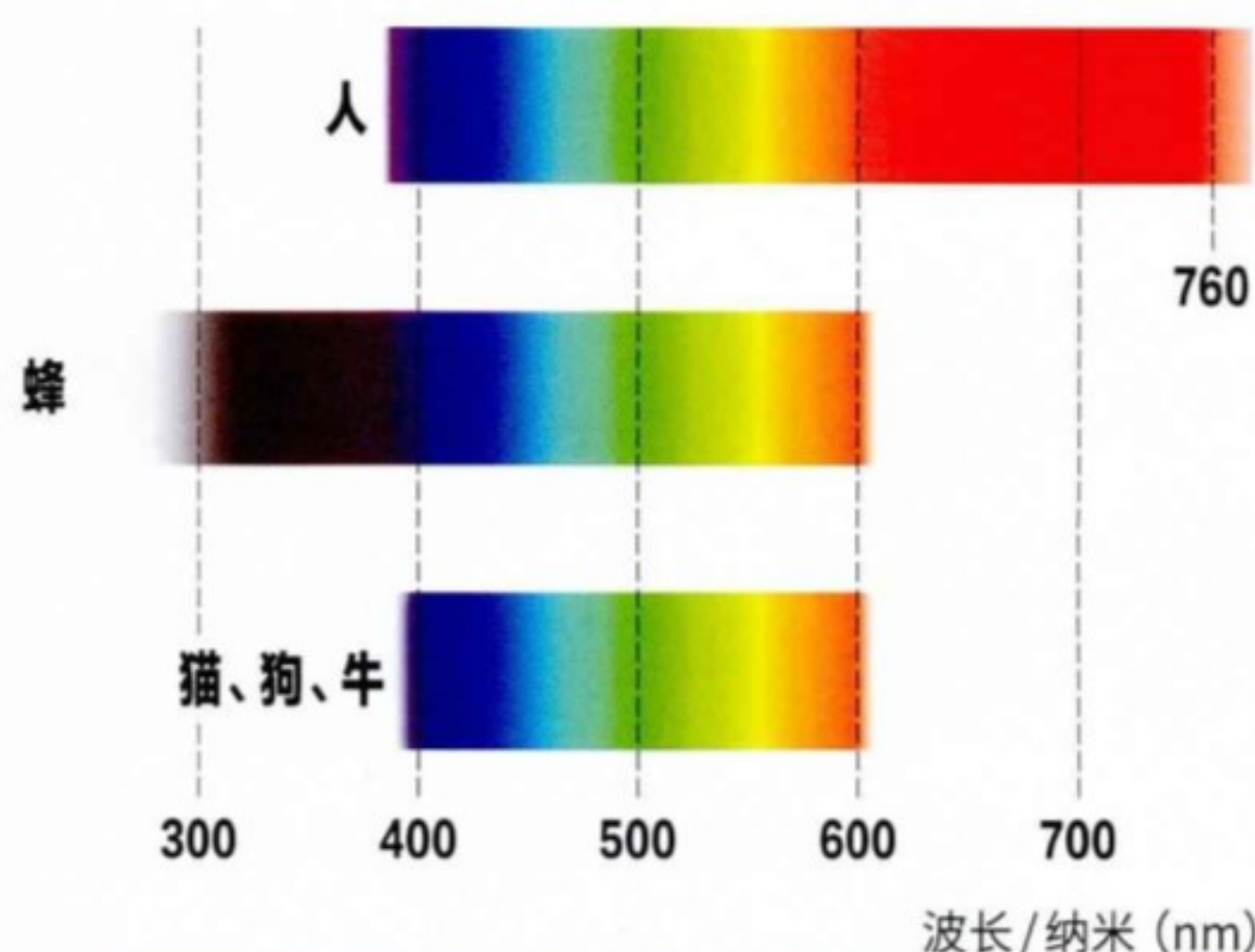
现实版皇帝的新衣——人眼看不到的紫外色在 2018 年当选年度流行色

著名色彩研究机构潘通公司在 2018 年发布的年度流行色令人瞠目：竟然是紫外色。所谓紫外色，是由波长比紫色光更短的紫外光反射而形成，它超出了人眼可见光的



**红色果实在猫和蜂的眼中呈现出
与人类认知截然不同的颜色**

蜜蜂色觉



不同生物眼睛可见的反射光谱范围示意图

在人眼可见光的反射光谱中，红色光的波长较长。大多数种类的生物都无法体会我们看到的红色，在它们的色觉体系中，红色反射光是不可见的。制图 / 牛洋

猫、狗、牛等哺乳动物的色觉

人类色觉

人类、猫狗牛等哺乳动物以及蜜蜂看到的色彩截然不同。面对多种红色的植物果实，我们把图片分为三个部分，分别呈现三类生物感知的色彩模拟效果。

范畴。这是人类看不到的色彩，犹如安徒生童话中皇帝的新装。

紫外摄影技术可以记录由紫外光产生的图像。通过紫外摄影，人类发现包括蒲公英在内的许多植物花心强烈吸收紫外光，而花心周围的区域则强烈反射紫外光。紫外摄影拍到的花朵与我们肉眼看到的花截然不同，花的中心类似射击比赛的“靶心”，仿佛为传粉者专门“设计”的隐藏信号。

作为最常见的传粉动物，蜂类可以通过眼中的紫外光受体识别这种隐藏信号。

包括蜜蜂、熊蜂等种类在内，多数膜翅目昆虫的色觉感知体系很相似：它们可以感受从紫外到黄绿色波段的光刺激，但对红色光很不敏感。自然界真正由蜂类传粉的红色花朵其实相当少见——说红花招蜂引蝶，并不准确。

在我们最近的一项研究中，辗转收集了全球130种开红色花的植物，其中仅有10种是由蜂类传粉的。经过仔细测量与分析，我们发现收集到的这10种由蜂类传粉的红色

可见光下

紫外光下



| 狼毒 *Stellera chamaejasme* |

可见光下

紫外光下



| 灰叶堇菜 *Viola delavayi* |

蜂类以及蝴蝶等昆虫能够看到人眼看不到的紫外反射光谱。我们认为纯红色或者橙色、黄色的花瓣，可能隐含着神秘的紫外色。花瓣不同部位将紫外光反射或者吸收，在蜂类眼中，它们呈现出与人类感知完全不同的色泽和图案。图案看起来有点儿像我们看到的射击“靶心”，蜜蜂等传粉者可以根据“靶心”的位置，准确找到花朵的蜜源。

花其实并不算是纯红色。这些花朵除了反射红色光，还反射少量蓝光或紫外光等短波光（可将其称为副反射）。

之前提到，人眼看不到紫外光。这部分副反射对人类色觉不起作用——在我们看来，花就是单纯的红色。但在蜂类眼中，这些花一点儿都不红，它们看到的是紫外光反射出的颜色。

可惜这种神秘的色彩，人类至今无法描述和体会。

很多花在我们看来色彩没有差别，但在蜂眼中变得截然不同

我的同事陈哲博士在检验蜂类对于不同红色花的反应。

如果把能够反射紫外光的红花变成不能反射紫外光的“纯红色”花，会对蜂类的行为产生什么影响？陈哲想验证这个猜想，可实验不太容易设计。

一次在滇西北的高山做野外调查时，同行的朋友为抵御强紫外线的辐射，在脸上涂抹防晒霜。陈哲的实验方案因此受到启发：“如果给能反射紫外光的红色花抹上防晒

蜂类可看到紫外色，但人看不到



人类色觉 蜜蜂色觉

| 映山红 *Rhododendron simsii* |

人可看到红色，但蜂类看不到

缤纷的花瓣可能隐藏着我们看不到的色彩

人类眼中的红色花至少可以分为两类。一类是“纯红色”，其花瓣仅反射波长较长的红光；另一类可称为“纯红色+紫外色”，如反射光谱曲线所示，除红光外，这类花还可以反射一部分波长较短的紫外光。

拥有“紫外色”的红花反射光谱示意图

500

600

700
波长/纳米 (nm)



霜，让防晒霜吸收掉紫外光，蜂类还能够找到红花吗？”

防晒霜的原理有物理防晒和化学防晒两种——吸收紫外线，需要选择化学防晒的方案。此外，为了降低对蜂类行为的干扰，防晒霜必须无色和无味。查阅各种资料之后，我们以丁基甲氧基双苯酮甲烷和甲氧基肉桂酸辛酯为吸收紫外光的防晒物质，混合芦荟油轻微加热，制成了无色无味、便宜又好用的防晒霜。

由蜂类传粉的滇紫草被选定为实验对象。它的花是红色的，并且带有紫外反射。在位于云南香格里拉市纳帕湖畔的高山植物园，我和陈哲博士找到了这种植物。选择好

样地，我们给一部分花涂抹了防晒霜——这些花在人眼看来颜色并没有变化，但它们变得几乎不能反射紫外光了。当然，花朵的质地可能会因为试剂而受到影响。考虑到这一点，我们给对照组的滇紫草涂上了不含防晒物质的普通芦荟油。

起初怕蜂类产生疑心，或者嫌弃涂过芦荟油的花朵。但我们很快发现，担心是多余的。滇紫草的花朵提供丰厚的花蜜回报，传粉的蜂依旧穿梭往来，乐此不疲。

经过一周的观察，蜂类明显喜欢造访只涂抹了不含防晒物质的芦荟油，仍然具有紫外反射的花；对于涂抹了防晒霜的滇紫草，它们很少光顾。

实验是很好的证实：看似没有差别的红花在蜂眼中截然不同。人类以为无差别的红花，或许有神秘的色彩混在其间。



在中国科学院昆明植物研究所的实验室中，陈哲博士给不同的红色花朵涂抹防晒霜。抹了防晒霜的红色花瓣会将紫外光吸收，进而变成不能反射“紫外色”的纯红色。没有了紫外反射，蜂类是否还能有效地找到红色花朵？为解答这个问题，研究者们设计了给花涂抹防晒霜的方案。给花抹防晒霜比给人抹麻烦得多，为了不让气味等因素干扰蜂的判别，陈哲博士自制了“独家秘方”。待到在实验室中证实防晒霜“秘方”可以有效遮蔽紫外色，就可以去野外正式开展研究实验了。

花涂抹了防晒霜，颜色会有变化吗？

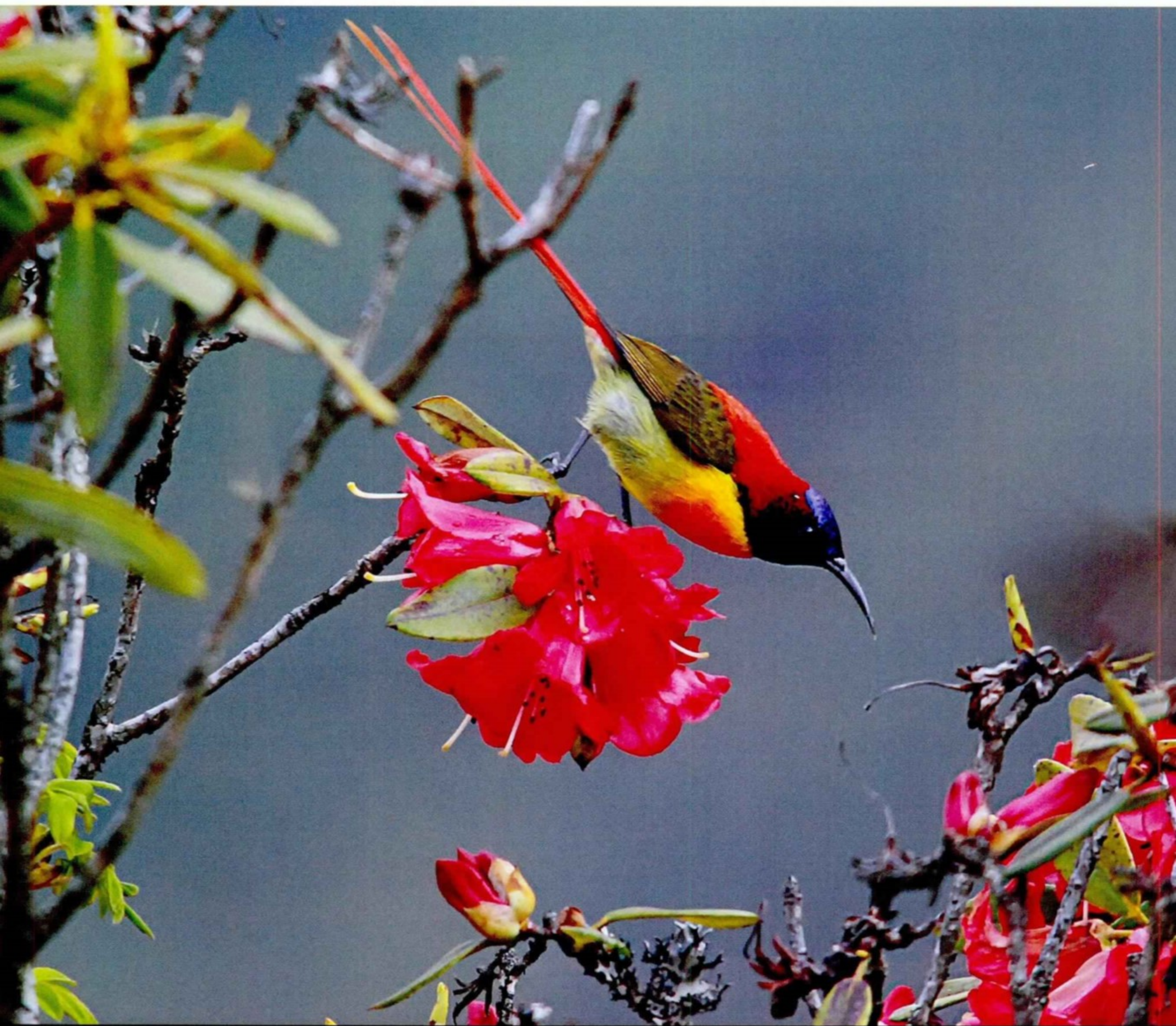
横断山或者美洲大陆——纯红色的花在哪里分布更多？

新的问题接踵而来。

既然没有紫外反射的、所谓的纯红色花在蜂类的视觉体系中不易被识别，也无法吸引牛马猫狗等大多数哺乳动物的注意，那它们存在的意义是什么？

除了人以及部分灵长类动物之外，好在还有部分甲虫和蝴蝶以及鸟类和爬行动物可以识别红色。人们很早就注意到，鸟媒花（由鸟类协助传粉的花）多为红色，而红色的花也多为鸟媒花。

花色在植物传粉、繁殖的过程中有重要的功能。有两种假说解释纯红色花的存在意义：吸引鸟类和回避蜂类。“吸引假说”认



在我国横断山区，火尾太阳鸟是红色杜鹃花的传粉者。在亚非欧所处的旧大陆，太阳鸟是比较典型的传粉鸟类；而在美洲大陆，主要的传粉鸟类以蜂鸟为主。摄影 / 梁丹

没有“紫外色”的红花反射光谱示意图

300 400 500

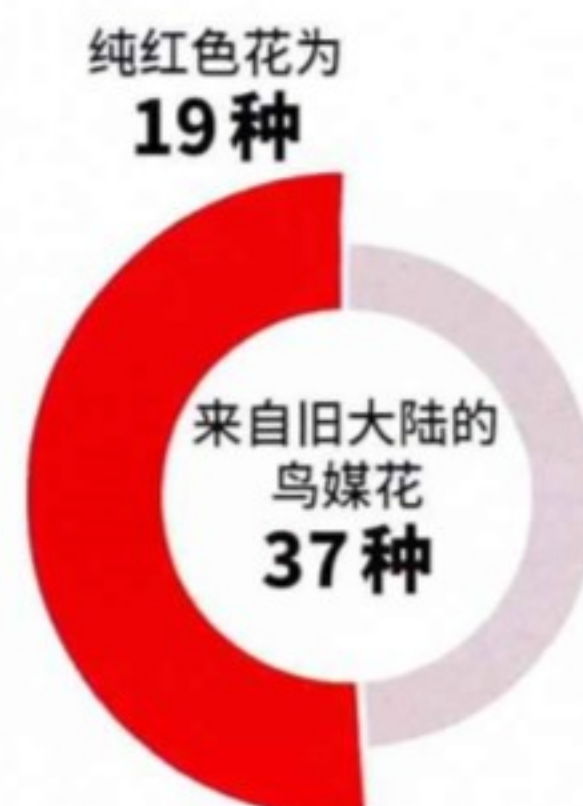
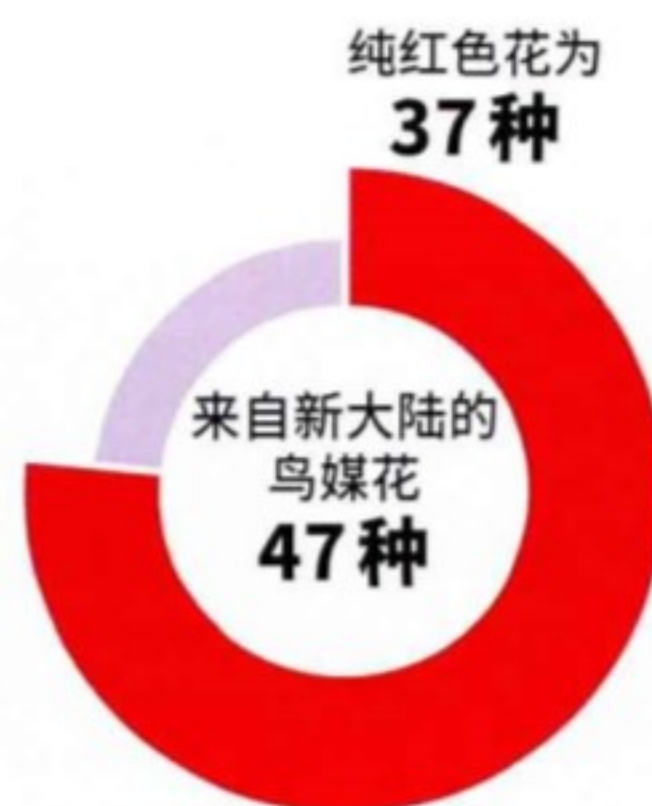




以蜂类传粉的
只有10种
红色花



130 种红花样本中，鸟媒花与蜂媒花数量比例分布图



旧大陆与新大陆， 纯红色的花哪里更多？

几年来，研究人员共收集到130种来自全球各地的红色花。通过分析它们的反射光谱（色彩）与传粉者，发现其中只有10种红花以蜂类传粉。这10种花都带有明显的紫外反射，可以说，它们其实都不是纯红色的花。真正纯红色、没有紫外反射的花很大一部分是以鸟类为传粉者。紫外反射的魔力在于，它能显著增强红花在蜂类眼中的醒目程度；而对于鸟类来说则相反，没有紫外色的红花在鸟类看来更加醒目。研究者将花的来源分为新大陆与旧大陆两类：新大陆指美洲；旧大陆指亚洲、非洲及欧洲。研究结果显示，样本收集到来自新大陆的鸟媒花有47种，其中纯红色花有37种，比例高达78.7%；来自旧大陆的鸟媒花有37种，纯红色花为19种，占51.4%。纯红色的花既可以吸引鸟类传粉，又能够有效回避蜂类盗蜜。相比于旧大陆，分布在新大陆的纯红色花比例更高一些，这意味着生长在美洲的红花有可能在向精准配合鸟类传粉的方向演化。

鸟类和人类可看到红色，但蜂类看不到

右图是一朵纯红色的云南山茶(*Camellia reticulata*)。不反射紫外色的纯红花在鸟类眼中与人眼看到的色彩相似：花朵鲜艳醒目，与绿叶背景反差很大。然而在蜂类看来，红花和绿叶背景的反差很小，几乎难以识别。

600

700
波长/纳米 (nm)





换位思考，研究者在蜜蜂眼睛中是什么颜色？

给红花涂抹防晒霜的陈哲博士历经艰难地完成了研究课题，他即将毕业。颜色的话题涉及太多学科领域，自古至今，一代代伟大的科学家与哲学家都未能给这个难题带来清晰明确的终极解释。即使人类本身，大家色觉一致，我们也不能确定别人看到的色彩和我们自己是一样的，因为色彩有心理属性，它在许多特定场合变得因人而异。很多时候，换位思考非常必要。模拟蜂类的色觉，我们给陈哲博士拍摄了肖像照。拍摄时有人悄声吐槽：秘制的防晒霜，怎就不往你自己身上抹些呢！

为纯红色在传粉鸟类眼中看来更加醒目；“回避假说”则认为花在躲避蜂类。对鸟媒花而言，蜂类的传粉效率大多很低，它们偷盗花蜜和收集花粉的行为还会影响植株的顺利繁殖。

如果鸟媒的红色花在进化过程中丢失了

反射紫外光的能力，那真是太好了。

没有紫外反射的纯红色，既可以有效地将信息传递给鸟类，又能够尽量躲过蜂类，真是一举两得。

陈哲博士和我整理着来自全球各地的130种红色花的反射光谱数据。把它们按照产地来分类，可以看出不同红色花在地理分布上的玄机。

没有紫外反射的纯红色花，在来自美洲大陆的物种中比例最高，其次是非洲和亚洲。可以这样说，美洲的红色鸟媒花比其他大陆更加“专业”，更适合达成吸引鸟和回避蜂的两个目的。而在亚洲和非洲，红色鸟媒花中可以反射紫外光的种类比例较高，它们更容易被蜂类打扰。

例如，我国横断山区分布着很多开红色花的杜鹃花科植物，它们主要由太阳鸟等雀形目鸟类传粉，但相当比例的红色杜鹃花对紫外光存在明显的反射。这些反射紫外光的红色花更容易被蜂锁定，需要承担花蜜或花粉被盗走，却得不到有效传粉的风险。

造成红花植物地理分布差异的原因可能很复杂，我们推测可能与鸟类行为差异有关，也可能与各大洲传粉者的不同竞争策略有关。比如仅分布在美洲的蜂鸟以花蜜为食，它们与特定花朵建立了长期稳定的合作关系。分布在美洲的红花，可能会朝着更加



精准配合传粉鸟类的方向演化。

简而言之，不反射紫外光的纯红色花特化程度更高，更适合以鸟类为传粉者的繁殖策略。这类花，在美洲大陆更为常见。

红色花与传粉生物的协同进化，堪称一场精彩的博弈对决。可是红花忘记了一点，那就是人类的存在。人眼可以很好地区分红色和绿色，能够轻松识别红色的花，进而赞美红色，赋予它美学价值。红色的果实也很

重要，在大多数采食者眼中，它们并不醒目，而现代人类的祖先却可以将其高效采摘，大快朵颐。

完成红花与传粉者的生物地理学研究，陈哲博士顺利毕业。答辩结束，大家给他送上祝福以及一捧红艳艳的鲜花。能够感受红色是珍贵的体验，我们应该庆幸与感恩。□



旭日初升，为低垂的浮云和弥漫的水雾披上一层温柔的晨光。无边的“云海”中，依稀可见的座座“岛屿”是雨林的高大林冠层。这里是马来西亚婆罗洲北部的丹浓谷自然保护区，这里的低地雨林几乎被一个单独的科——龙脑香科树木所占据。这些雨林巨人高耸入“云”的挺拔身姿撑起一片覆盖雨林的绿毯，但在一些年份，图中这片浓绿会被龙脑香树缀满枝头的红色、橙色翅果装点得色彩斑斓，这一集体同步繁殖的现象被称为“大年结实”。

摄影 / Nick Garbutt / NPL



雨林中的 “大年结实” 植物的繁殖智慧

对动植物而言，繁殖是一生的大事，因此它们都会谨慎地分配用于繁殖的资源。动物有发情期，而自然界中的很多植物会在一些年份同步大量繁殖，而在其他年份很少或根本不繁殖。这种被称作“大年结实”的自然现象在温带到热带的森林中都有记录，但最为壮观、涉及物种最多的“大年”发生在东南亚特别是婆罗洲的雨林之中。这里的森林几乎被龙脑香科的巨树所占据，2019年，婆罗洲北部丹浓谷的龙脑香科树木及其他类群的植物在时隔十年之后再次集体进入大规模繁殖期，作者亲历了这一自然事件，并为我们带回这场雨林盛景的第一手报道。

撰文

Daisy Dent

摄影

Christian Ziegler 等

翻译

金畅南

“鸣

——喔——”

一阵悠长的叫声穿透笼罩在重重水汽之中的浓密林冠，带着清晨的气息飘入我们耳中。渐渐地，这位难觅踪影的神秘“歌唱家”叫声越来越嘹亮，频率也愈来愈快。来自雨林各处、此起彼伏的短促叫声纷纷加入，独唱变成了大合唱，彻底将眼前这片雨林唤醒。

这里是婆罗洲北部的马来西亚丹浓谷自然保护区，是这座世界第三大岛屿上保存最完整的热带雨林之一。清晨，“起床”后的婆罗洲长臂猿在广阔的雨林冠层中以时而低沉、时而高亢的叫声呼唤彼此。我知道它们就藏在我们眼前的这一方浓绿之中，只是不肯轻易抛头露面。也许它们知道，在不远处正有另外三只灵长类“远亲”——我和生态摄影师Christian、两栖爬行动物学家Jen挤在林冠观测塔的顶部，充满期待地注视着森林。为了研究雨林生态，也为了观测一种数年才得一见的自然奇观，我们在黎明之前便打着头灯、穿过雨林来到了这里。

当我们静静欣赏这场雨林的清晨歌剧时，林冠绿毯边缘产生了一阵骚动——长臂猿终于现身了，第一只从林间空隙一“荡”而过之后，又有两三个灰色身影尾随其后。或许它们发现了野生的红毛丹树，这种甘甜多汁的果实不仅风靡人类的餐桌，也是长臂猿钟爱的美食。能目睹这些矫健的灵长类让我们觉得不虚此行。而此时，在我们的左前方，树木突然产生了剧烈的晃动，在林冠层绿色的“海面”上搅起一股“浪花”。这应该是比长臂猿体型更大的动物。举起望远镜循声望去，我们终于在茂密的枝叶间瞥见一只生着橘红色毛发的胳膊，正用力拉扯着满是果实的树枝。不一会儿，胳膊的主人终于短暂露面——这是一只雌性婆罗洲猩猩，没等我们细看，它便再次消失在层层叠叠的枝叶中，我们只能通过树木的晃动和嫩枝折断的声音判断它的行踪。现在是早饭时间，它正在林冠间徜徉，搜寻食物。

对大部分动物而言，觅食都是一件颇费工夫的事情。但在此时此刻的丹浓谷雨林里，食物却是最不稀缺的资源，因为这里正上演着一场自然界的奇观，“大年结实”。

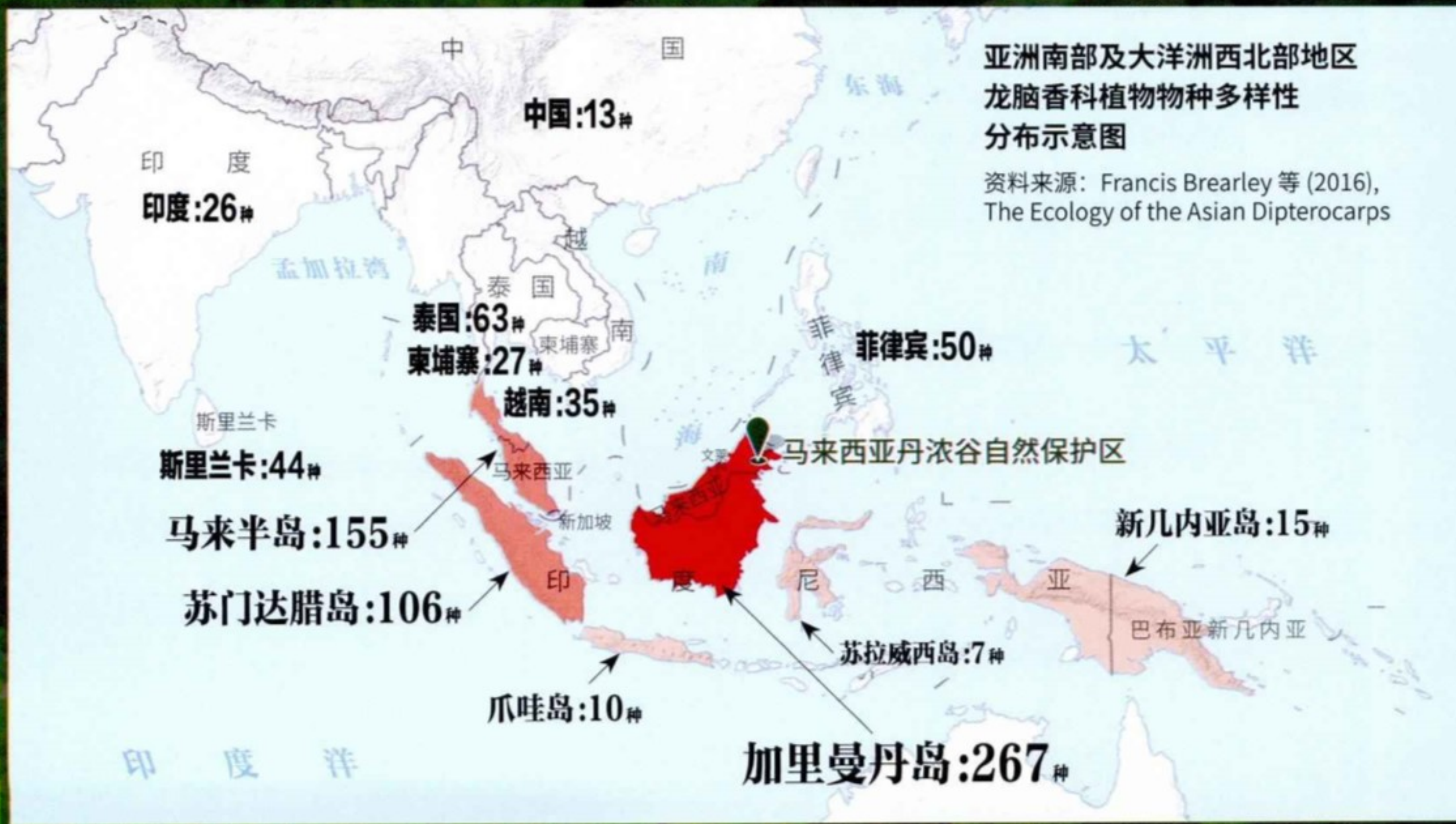
雨林中的巨人，“大年”的主角

在婆罗洲及周边的东南亚雨林中，一些树木似乎会集体患上周期性的“不孕不育”，隐忍多年不开花、不结果，或者只产少量的果实，然后某一年突然集体开花结实。这些“大年”的时间间隔从5到10年不等，而且有地理上的空间差异，以丹浓谷雨林为例，这里树木上一次大规模开花结果已经是十年前的2009年。随着又一次“大年”到来，如今的雨林中，枝头和地面到处充斥着各

“丹浓谷拥有婆罗洲保存最完整的热带雨林之一，对我们而言，这里是研究龙脑香树和其他植物集体繁殖的最佳场所。”



在我国的云南生长着一种著名的高大乔木——望天树，它是龙脑香科大家族的一员，这一家族包含了16个属近700种植物，分布区包括南美洲北部、非洲、南亚和东南亚等泛热带地区，但分布中心位于东南亚马来半岛、苏门答腊岛及婆罗洲所在的加里曼丹岛，尤以婆罗洲的物种多样性最为丰富（下图）。这里气候稳定、降水充沛，优越的水热条件孕育了郁郁葱葱的广袤雨林（左图）。“大年结实”的发生有地理上的差异，同样在婆罗洲，岛上不同区域植物在大年产生的种子规模也不尽相同。婆罗洲北部的丹浓谷自然保护区中有一块面积50公顷、为研究森林生态而设立的大样地（本页上图），这里少有人为干扰，是研究“大年结实”这一自然现象的理想场所，2019年，作者（上图）与摄影师在这片森林中亲历了雨林植物集体繁殖的盛景。



种形态、色彩各异的果实和种子，对以它们为食的动物而言，“觅食”已经是多余的，只需尽情大快朵颐就好。无怪乎植物学家和生态学家都称今年为“硕果累累”的一年。

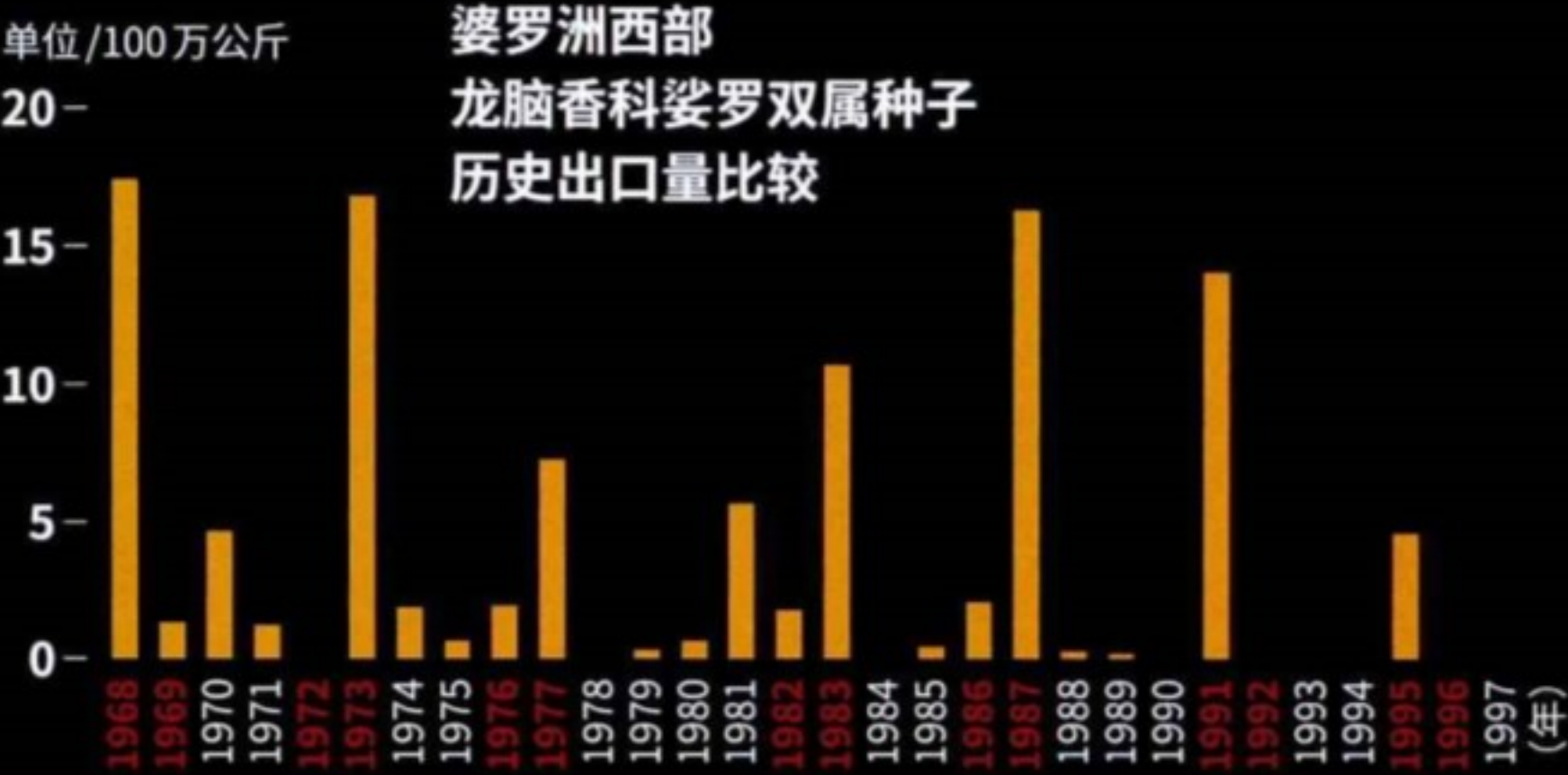
“大年结实”并非东南亚雨林专属的自然现象。实际上，描述这个概念的英文单词“mast”源自古英语，指的是欧洲温带森林中橡树、山毛榉等树木掉落在地面的成堆坚果。从全球尺度来看，温带的栎树阔叶林，以及更高纬度的针叶林都存在周期性繁殖的现象。但热带雨林的物种多样性要高得多，这里“大年结实”涉及的树种常常能达到数百种，在规模上更加壮观。

东南亚的热带雨林几乎被一个单独的科——龙脑香科的树种所占据。这一科的植物包含16个属近700种，生长在中国云南西双版纳的望天树也是典型的龙脑香科树木，它的中文名“望天”形象地反映了这一科树木的特点——它们大多是参天巨木。2019年，人们在婆罗洲的丹浓谷雨林中发现了一棵高100.8米的龙脑香科巨树黄娑罗双，刷新了“热带地区最高树木”的纪录。如果展开一张龙脑香科植物的世界分布图，你会发现东南亚，特别是婆罗洲所在的加里曼丹岛是这类植物最集中的分布地。这里生长着近300种龙脑香科树木，它们占据了整个雨林生物量的70%以上，是名副其实的“优势种”。在林冠观测塔上，经常能看到一些数十米高的龙脑香树木庞大挺拔的身姿从雨林的



龙脑香树的英文名“Dipterocarp”源自希腊语，意思是“生有双翅的果实”，它形象地描述了这一科植物的特点——果实生有长长的翅片。在东南亚雨林，作为优势种的龙脑香科树木常常隐忍多年不开花、不结果，或者只产少量果实，而在一些年份突然集体进入繁殖期，当“大年”来临，枝头挂满的“累累硕果”蔚为壮观，丰富了整个雨林林冠的色调。实际上，尽管龙脑香科树木的果实大多都生有“翅膀”，它们的数量却是变化不等的，并非都是“双翅”。例如一些娑罗双属的树木翅果有“三长两短”共5片翅(左页图 摄影 / Tim Laman / NPL)。龙脑香科树木的果实成熟木质化之后，会如小型螺旋桨一般盘旋着从空中飒飒落下，形成一场种子“雨”(右图)。

“大年”来临， 雨林中的种子“雨”



根据美国密歇根大学 Lisa Curran 教授的研究，以 1991 年婆罗洲西部“大年结实”为例，一公顷的种子量可以达到 24 万颗左右，而通常年份这个数字在 5000 左右。这里龙脑香科娑罗双属种子的出口量则直观地体现了“大年”，以及它与厄尔尼诺—南方涛动的关系(上图)。

冠层穿林而出，如同耸入云端的巨塔，展开的树冠像一棵悬浮在空中的巨型花椰菜，在通常的林冠层之上又形成了一个独特的“露生层”。

在婆罗洲，当“大年”来临时，龙脑香科的树木总是首先响应，随后诸如桑科榕属、壳斗科等其他科属的树木和一些附生藤本植物也会加入，仿佛听从着“巨人”的召唤。一时间，开花、结实的植物会达到数百种，龙脑香科巨树产生的果实量远远超过其他类群的树木，因此在这里，“大年结实”的故事主角正是这些雨林巨人。

这些树木如此有默契地在短时间内大量产生种子，这种策略有着什么样的演化意义呢？



- 01. 龙脑香科坡垒属
- 02. 龙脑香科龙脑香属
- 03. 龙脑香科柳安属
- 04. 龙脑香科娑罗双属

丰富了天空， 也装点了地面



在“大年”与通常年份之间，龙脑香科树木种子的产量差距可以达到10倍甚至更多。行走在“大年”的雨林中，你会发现这些巨树集体同步繁殖所产生的翅果不仅丰富了头顶林冠的色彩，也将脚下平日覆满褐色落叶的地面装点得格外夺目，一些未成熟的翅果也会落到地面，它们的翅片依然保持着鲜艳的颜色（左图 摄影 / Tim Laman / NPL），密集的数量生动地诠释着何谓“大年”。龙脑香科不同属植物的果实常常在地面混杂分布，摄影师收集了17种龙脑香树木的果实，它们在个体大小、翅片的数量和形状方面存在着区别（上图）。

为了基因的延续：动植物之间的“交易”

踩着湿滑的阶梯，我们小心翼翼地 从林冠塔回到地面。雨林是喧闹的，除了林中回荡的啾啾鸟鸣和长臂猿富有穿透力的叫声，我们还能不时听到响亮的“啪嗒！啪嗒！”声，如同雨点在敲打地面。我抬头望去，天空并没有下雨，却不时有一个个螺旋桨般的种子打着转儿从高大的林冠砸落在地面。这些漂亮的种子长着2到5片不等的“翅膀”——它们是不同种类龙脑香树的翅果，这些雨林巨人的种子借助风力飘散。在通常年份，雨林的地面覆盖着厚厚的棕色

落叶。但在这个“大年”，这里已经撒满了龙脑香树的翅果，它们红色、黄色或是橙色的翅片将雨林的地表装点得色彩斑斓。

正当我蹲在地面观察时，前方的灌丛中传来踩踏树枝的“咔嚓”声，两头体型巨大的婆罗洲须猪摇晃着脑袋钻出丛林，站立在距我们数米的地方。这是一种长相奇特的野猪——雄性须猪生着一捧夸张的“大胡子”，看起来邋邋遢遢、不修边幅。它们的嘴里塞满了龙脑香树和其他种类树木的种子，有力的颌轻松将果实的坚硬外皮碾碎，仿佛在吃爆米花。唾手可得的食品吸引了它们全部的注意力，根本无暇将视线转向我们。在这样的“大年”，它们必须抓住一切时机进食富含油脂和营养物质的龙脑香种子，积累大量的脂肪，当“大年”结束时，它们将不得不度过一段食物相对匮乏的时期，转而依靠其他的替代食物果腹。

对生活在雨林中的许多其他动物而言，情况也是一样。在结实大年，龙脑香树的枝头缀满翅果，这些翅果在没有成熟落向地面之前，便会吸引大量的昆虫，一些喜食坚果的鸟类也会从四面八方飞来赶场。平时以树叶为食的猩猩和红叶猴等灵长类动物纷纷调整食谱，攀上龙脑香树高大的林冠，蹲坐在树枝上，不断捋下一把把翅果塞进嘴里。当翅果盘旋着落下，婆罗洲须猪和各类小型啮齿动物一遍遍搜刮地面，从这场雨林的盛宴中分得一杯羹。在结实大年，这些雨林巨人支撑起了一个从林冠到林下的立体食物网。

难道龙脑香科树木同步的繁殖模式仅仅是为了充当“快餐店”，慷慨地为雨林众生提供果腹的食品吗？

这种“毫不利己”的思路显然不符合“自私的基因”理论，大年结实的策略必然会让植物获益，从而有利于它们基因的延续。在集体结实之前，不同种类的龙脑香树同样会在短时间内进入花期，吸引大量访花昆虫前来觅食，提高传粉效率。但这些巨树种间的花期又会有着微妙的时间差，通常是几天到一周，避免为争夺传粉者而过度内耗。通过对龙脑香树种子存活率的统计，研究人员发现即便从林冠到地面，各种各样的动物都对这些种子虎视眈眈，也仍有数量可观的种子能够存活下来，更不用说一些以种子为食的动物还能无意中扮演传种者的角色，帮助植物的种子扩散到更远的地方。“大年结实”或许是动植物之间的一场“交易”，或者说“博弈”，通过同步开花、结实，花蜜和种子满足了各类动物的食欲，植物也能从中获益。如果将猩猩、须猪等动物的种群曲线看作上下波动的心电图，那么“大年”的到来无疑是一剂强心针，会让它们的种群数量上涨。然而这种上涨是“慢半拍”的，当大年过去之后，食品丰富度下降，这些动物的数量又会随之下降。因此当下一次大年来临时，它们的种群数量依然不足以对植物的种子产生过度的捕食压力。龙脑香科及群落中

“尽管大部分龙脑香科树木的果实都长有翅片，但如果仔细观察，就能发现混杂于地面的各属果实之间存在着差异。”



在产生的种子数量上，作为婆罗洲雨林优势种的龙脑香科树木是当之无愧的“主力”。但“大年结实”不是它们的独角戏，当龙脑香树开花结实之时，许多其他种类的植物也会随之响应。一些研究认为，植物这种同步大量结实的策略可以起到相互“掩护”的效果，避免各类昆虫、鸟类和哺乳动物将自己的种子一网打尽。摄影师Christian在雨林中收集了近70种乔木、灌木及藤本植物的种子和



01. 番荔枝科金钩花属
02. 锦葵科榴连属
03. 棕榈科假槟榔属
04. 锦葵科翅子树属
05. 紫葳科木蝴蝶属
06. 豆科楹藤属
07. 木兰科长喙木兰属
08. 锦葵科银叶树属
09. 山榄科胶木属
10. 茜草科九节属
11. 五加科鹅掌柴属
12. 豆科油楠属
13. 龙脑香科铜铁木属
14. 壳斗科柯属
15. 竹芋科柁木属
16. 天南星科天南星属
17. 使君子科诃子属
18. 楝科桤木属
19. 葫芦科翅葫芦属
20. 西番莲科蒴莲属
21. 豆科甘巴豆属
22. 锦葵科舟翅桐属
23. 龙脑香科龙脑香属
24. 龙脑香科娑罗双属
25. 龙脑香科柳安属
26. 豆科密花豆属
27. 葫芦科油渣果属
28. 千屈菜科八宝树属
29. 可能为胡桃科黄杞属
30. 樟科铁樟属
31. 天南星科天南星属
或魔芋属
32. 番荔枝科, 可能澄广花属
33. 楝科仙都果属
34. 葡萄科崖爬藤属
35. 芭蕉科芭蕉属
36. 番荔枝科鹰爪花属
37. 棕榈科山槟榔属
38. 桑科榕属
39. 豆科
40. 谷木科谷木属
41. 无患子科, 可能无患子属
42. 肉豆蔻科红光树属
43. 无患子科番龙眼属
44. 叶下珠科算盘子属
45. 漆树科人面子属
46. 千屈菜科紫薇属
47. 樟科, 可能厚壳桂属
48. 鸭跖草科穿鞘花属
49. 竹芋科
50. 玉蕊科玉蕊属
51. 叶下珠科, 可能五月茶属
52. 无患子科异木患属
53. 豆科, 可能崖豆藤属
54. 木樨草科斑果藤属
55. 无患子科假山罗属
56. 龙脑香科异翅香属

物种鉴定

谭运洪

中国科学院东南亚生物多样性研究中心

程文达

香港大学生命科学学院

果实，它们体现着热带雨林生态系统丰富的生物多样性，也让这里“大年结实”的壮观超过了温带阔叶林和针叶林等其他森林生态系统。果实和种子一旦离开了母树，要鉴定它们是很不容易的事情。在多位专家的帮助下，我们尽力分辨并标识了这些种子和果实所属的类群。

的其他植物通过巧妙的“收”和“放”，控制着雨林的“粮仓”。如果这些植物每年都繁殖，不仅会消耗大量资源，也会让雨林中种子食客的数量维持在稳定水平，降低种子的繁殖成功率。这一周期性的同步繁殖是一种以数量取胜、让种子“逃逸”的策略。

眼前的两头婆罗洲须猪依然在埋头苦吃，为了不打扰它们，我们小心地绕道而行，返回丹浓谷保护区研究站，当掩映在雨林中的建筑逐渐出现在视野中时，我们闻到了餐厅飘来的食物香味。

欣赏了一上午雨林中的饕餮盛宴，终于轮到我们填饱肚子了。

“赢在起跑线”，不只适用于人类社会

在丹浓谷保护区北部，有一块占地50公顷的森林样地，它是“ForestGEO”全球森林监测样地网络的一部分，这一网络将全球各地的72块森林样地连为一体，共同研究全球地理尺度下的森林动态变化。在结实的“大年”，这里也是研究种子数量、种类的最佳地点之一。

我们依然选择在清晨出发，穿过浓密的雨林，走过一座悬在西格麦河之上摇摇晃晃的吊桥，仿佛化身电影《夺宝奇兵》中的印第安纳·琼斯。



幼苗“地毯”： 与时间的赛跑

龙脑香科树木的种子在落地之后的很短时间内就会抽出新芽，即使落在覆满青苔的岩石而非泥土之上也不例外（上图）。龙脑香科的种子富含油脂和营养，而一旦萌发就会变得味同嚼蜡，这是植物种子演化出的一种自我保护策略。因此，越快萌发，就越有机会从那些四处搜刮食物的婆罗洲须猪、冕鹧鸪等动物的嘴下逃出生天。右上图中的“绿毯”是一片争先恐后从落叶之中挺直身子、向着林冠生长的龙脑香科冰片香属植物的幼苗。“大年”来临时，雨林的地面常常可以见到这样生机勃勃的情景。



进入样地不久，我们惊讶地发现林间的地面已经被绿色的“种苗海”所覆盖。龙脑香树的翅果落地之后很快就会萌发出芽。虽然它们的种子备受各种动物的青睐，但萌发之后就会变得味同嚼蜡，这意味着，生存的竞争从它们落地的那一刻就开始了——在越短的时间内萌发，就意味着多了一分从种子掠食者口中存活的机会。“赢在起跑线”，不只适用于人类社会。

为了不踏到这些新生命，我们排成纵列，小心地在这片绿色的海洋中蜿蜒穿行。很多翅果落在半空的树枝以及蕨类植物宽大的叶片上，没能投入大地的怀抱，但它们同样迫不及待地抽出了嫩芽。一时间，我们被这满眼的生命律动所震撼。自从2001年攻读博士学位以来，我一直在婆罗洲工作，这还是第一次见到如此多的种子同时萌发。我曾听说，这一次的大年结实是一个世纪以来规模最大的一次，尽管这一说法尚未得到证实，但眼前的这一幕的确令人叹为观止！



婆罗洲猩猩

Pongo pygmaeus

婆罗洲猩猩以及长臂猿、叶猴等灵长类动物会在大年调整食谱，取食龙脑香树缀满枝头的翅果。与黑猩猩、大猩猩等“大猿”不同，婆罗洲猩猩是独居的。一些学者认为这一行为模式或许正是对植物“大小年”繁殖造成的食物丰富度变化所产生的适应，目的是为了避开结群活动增加种内竞争。



不同种龙脑香树的花朵形态、色彩各不相同。开满枝头的花会吸引蓟马、蜜蜂等访花昆虫前来觅食（图中以龙脑香科青梅属花朵为例）。花落后结出的翅果是象甲等昆虫的美食。

巨人们的“大年” 雨林中的盛宴

本跨页插图／陈磊

插画素材提供／程文达 Christian Ziegler

在东南亚特别是婆罗洲的雨林中，龙脑香科树木是当之无愧的“优势种”，这些巨树高耸的树冠遮天蔽日，为雨林撑起一把绿伞。当这些巨人进入同步繁殖的“大年”时，挂满枝头的翅果会将它们浓绿的树冠变得色彩斑斓（插图仅以画面正中的树冠为例）。通过周期性的“开仓放粮”，这些巨树庞大的种子量将改变整个雨林的动态，从林冠到地面，这些雨林巨人开花、结实、翅果如雨点般盘旋着落下（图中翅果来自不同属的龙脑香树木），不仅为雨林众生献上一场盛宴，也将它们紧密地联系在一起。



婆罗洲须猪是婆罗洲雨林中重要的传种动物之一。雄性长有滑稽的“大胡子”，通常体重在50到120公斤，但在“大年”，依靠吞食龙脑香树富含营养的种子，它们的体重可以超过200公斤。一些研究称须猪可以调节繁殖周期，使其与种子大年同步。

婆罗洲须猪

Sus barbatus

龙脑香科翅果一旦发芽，口感就会大打折扣，失去对各种食客的吸引力。因此在天敌环伺的地面，快速发芽是种子提高自身存活率的防御机制。

发芽的种子



普氏松鼠

Callosciurus prevostii

树冠和地面的翅果会吸引松鼠和鼠类等啮齿动物。丰富的食物会刺激它们的贮食行为，一些鼠类将吃不完的种子藏到远处，间接帮助龙脑香科以及其他类群植物的种子传播。

“大年”到来时，常可看到鹦鹉等鸟类聚集在龙脑香树的树冠上享用还未成熟的翅果。当这些果实落到地面时，便成了一些雉类，如冕鹪鹩的食物。

冕鹪鹩

Rollulus roulroul

雨林中的食肉动物虽然对种子不感兴趣，但被龙脑香树的种子吸引而来的各种啮齿动物却是它们唾手可得的美餐。“大年”时期，龙脑香树周围常可发现诸如瓦氏棱喉蜥这样的掠食者蹲坐在灌丛中守株待兔。

瓦氏棱喉蜥(瓦氏铠甲蜥)

Tropidolaemus subannulatus

在婆罗洲的雨林中，植物种子与动物的互动不仅限于龙脑香科的翅果与婆罗洲须猪等动物之间。因新冠疫情而令人闻之色变的蝙蝠，特别是如图中的短耳犬蝠这类食果蝙蝠，却是婆罗洲许多植物的重要传种动物，它们协助了植物种子的扩散。而为了吸引这些传种者，许多植物，例如结出“无花果”的榕属植物也要为蝙蝠提供美味的食物(右下图 摄影 / Chien Lee)。榕属植物的花序是隐头花序，膨大的花序将真正的花包裹在其中，传粉高度依赖一类榕小蜂的协助，一些榕属植物甚至有“一对一”服务的榕小蜂物种。图中的两只榕小蜂拍摄于婆罗洲的丹浓谷雨林，体长只有不到1毫米(本页下图)。这些微小的蜂类在无花果内部产卵，同时帮助传粉，这种古老而精巧的共生关系让人感叹演化的神奇。在“大年”到来时，榕属等植物中的一些种类也会参与到同步结实之中，是研究动植物之间协同演化的理想机会。

吞食、传种与传粉：
动植物间的“相爱相杀”



我们蹲在一颗正在萌发的种子旁边，想为它拍摄一张微距照。球形的种子和三片长长的“翅膀”已经变成了深棕色，一抹新绿从种皮中钻了出来，新芽下方生着两片子叶，它们是粉红色的，表面皱皱巴巴，在真正的叶片长出之前，这看似不起眼的子叶能让新生的幼苗进行光合作用，增加在这场生存竞争中的存活率。

尽管如此，这些幸运的种苗离那些身躯庞大的雨林巨人还相去甚远，事实上，它们很可能要以低矮的姿态在雨林下层隐忍几十年——经过自林冠层开始的层层过滤，照射到林下的阳光非常有限。新生的树苗常常需要扮演“种苗库”的角色，当高大的树木死亡、轰然倒下时，被遮挡的阳光才能洒到它们的叶片之上。这时它们要做的便是抓住机遇，向着林冠层奋力生长，努力去填补那些空缺。

每一棵龙脑香巨树的背后，或许都隐藏着这样一段曲折的成长故事。

究竟是“谁”宣告了“大年”的到来？

近些年，一些研究认为婆罗洲须猪或许能预知龙脑香科树木繁殖“大年”的到来——它们会在这一时刻来临前，早早交配进入繁殖期，让新生的后代获得充裕的食物。不过，这是个例还是普遍规律，尚不得知。或许这些其貌不



扬的“胡子猪”真的如此聪明，能预测食物丰富度的变化并采取适应性的策略，让自己也有了“繁殖大年”。它们如何感知雨林中的巨树即将进入“大年”？或者说，究竟是什么决定了“大年”的到来？龙脑香科的树木能够自己主动调节繁殖周期，还是受到了某些气候

“大年结实”是一种复杂的植物繁殖策略,体现着动植物之间的协同进化与相互博弈

张知彬

中国科学院动物研究所 研究员
欧洲科学院 外籍院士



绘图 / 李睿清

在温带、亚热带以及热带的森林中,一些植物会选择在特定年份集体同步大量繁殖,而在其他年份很少或者根本不繁殖。这种明显的“大小年”现象被称作“大年结实”。大年结实是松科松属、壳斗科栎属以及龙脑香科等许多植物普遍采用的一种繁殖模式,那么不同的植物之间为什么要演化出同步繁殖的策略呢?

我们通常将决定植物在某一年是否同步繁殖的直接或间接因素称为这一策略的“近因”,典型如气候因素;而将植物演化出这一策略的背后驱动力称为“远因”。在研究大年结实远因的过程中,不可忽视的一点是动植物之间的相互关系。为了保证种子的存活率,延续基因的传递,植物演化出了许多相应的机制,例如通过快速发芽将种子的营养转移至根部,从而躲避诸如小型啮齿动物之类的动物捕食。而动物则会演化出相应对策,例如我们在云南西双版纳发现,鼠类演化出了切根的行为,阻止假海桐等植物的种子萌发,种子则通过重新萌发来反制鼠类的“切根”行为。一些植物如大叶藤黄的果实甚至演化出海星一般的克隆能力,被动物啃食之后散落在地上的残块也能发芽。然而动植物之间并非只存在单纯的捕食和对抗关系,一些以种子为食,特别是有贮食行

为的动物本身又是植物种子扩散的帮手,因此植物又需要依靠营养丰富的种子和果实吸引它们前来取食、扩散。所以,动植物之间既存在合作、又存在对抗,在“勾心斗角”的博弈过程中,双方形成了协同演化的机制。

我们的研究发现,植物大年结实所产生的巨量种子会刺激有贮食行为的动物,特别是小型啮齿类,将吃不完的种子搬运到远离母树处作为存粮储存起来,间接促进植物的种子扩散;有的种子分散储藏地表,有利于种子萌发。在四川都江堰的亚热带常绿阔叶林,我们通过为期四年的研究追踪了21600颗栓皮栎、栲、毛脉南酸枣等植物的种子,希望探究动植物关系对植物演化出大年结实策略的影响。结果发现,当植物同步繁殖时,大量产生的种子刺激动物分散贮藏种子(即扩散效应),同时,大量的种子增加了种子逃逸的几率(即饱和效应),使得参与大年结实的所有植物受益,这在生态学上被称为“似然互惠”;反之,如果植物采用异步繁殖的策略,当一些植物产生大量种子时,就会对那些“不合群”、没有参与“大年”的植物产生压力,降低它们的繁殖成功率,这种机制被称为“似然捕食”。因此,尽管生长在同一区域的不同植物平时会为了阳光、养分而相互竞争,当涉及到

繁殖这件大事时,彼此放下争斗、“群策群力”才是明智选择。正如不同的餐馆之间虽然竞争客源,但又总是倾向彼此聚集在一起形成“美食街”,利用“群聚效应”吸引来大量的客源,使得大家都能从中获益。我们将这种合作与对抗的关系定义为非单调生态学作用,它在生物多样性和生态系统稳定上发挥着关键作用。

目前国内外对于大年结实的规律和机制已有一定的认识。一般认为,外因和内因都发挥重要作用。外因方面,大尺度气候条件如厄尔尼诺—南方涛动引发的温度、降水等变化为植物同步开花、结实提供了外部条件。例如,有研究表明地中海地区的橡树、东南亚的婆罗洲雨林的龙脑香科植物的大年结实与大尺度气候变化密切相关。内因方面,动物植物之间的协同进化和博弈也是植物大量结实的内部驱动力。植物大量结实既有利于其扩散,又有利于其逃逸捕食。然而,大年结实是一个十分复杂的生物学现象,许多问题仍有待解决。例如,植物之间如何相互交流,协调彼此的花期和结实期,从而同步繁殖。未来通过长期监测,或操纵实验,以及在全球尺度上将各种因素进行综合分析,我们才能真正解开植物选择这种繁殖策略的谜团。

和地理因素的召唤？

在婆罗洲，大年结实发生的时间间隔是不固定的，不过通过比对发生年份的气候数据，研究者发现越来越多的证据表明这种同步的繁殖模式或许与厄尔尼诺—南方涛动带来的高温和干旱有关，而且干旱越严重，结实的规模越大。在干旱季，雨林林冠层的高大树木会为了减少水分散失而落叶，有些甚至会枯死，这时，变得稀疏的林冠便会为幽暗的雨林下层提供一种最稀缺的资源——阳光。对龙脑香科树木和雨林里的其他植物而言，此时把资源集中分配给繁殖，或许能保证最多的种苗顺利向林冠生长。尽管这一解释未必完美，但2009年和2019年的确都是“厄尔尼诺年”，在2019年初，澳大利亚、东南亚以及中国南方的云南等地都发生了大旱，婆罗洲丹浓谷的雨林中，超过70%的树种加入了这次“大年结实”的行列，规模空前。在研究站，我们把样地中收集到的种子和果实摊放在桌上。除了各类大小不一的龙脑香科翅果之外，其他种类植物五颜六色、形状各异的种子和果实直观体现着热带雨林极高的生物多样性，这是温带阔叶林和针叶林难以企及的。

窗外下起了大雨，摄影师Christian和两爬学家Jen用背包挡着头，从雨幕中狼狈地跑回屋内。他们在高大的龙脑香树下拍摄到一条鲜绿色的蝮蛇，这美丽而致命的猎手依靠体色与周围萌发的幼苗完美融为一体，耐心等待着被种子吸引来的各类小型啮齿动物。当“大年”到来，龙脑香树种子缀满林冠，随风飘落，影响的不仅仅是以种子为食的须猪和猩猩等动物，而是将雨林众生一环一环地紧密联系在一起。一个半世纪之前，与达尔文齐名的演化生物学家华莱士来到婆罗洲，这片生机勃勃的雨林激发了他对物种起源和演化的思考。时至今日，笼罩在雨林之上的不仅有云遮雾罩的水汽，也有许多至今无法解答的谜题。尽管对“大年结实”的研究已经持续了很多年，但这种现象的难以预测性，以及区区数月的持续时间都增加了研究的难度。龙脑香科及其他类群的植物究竟如何协调彼此的花期和结实期？未来随着全球气候变化和人类对雨林干扰的加剧，这种自然奇观的格局又是否会发生改变？都是尚待研究的课题。

骤雨初歇，我走出研究站，抬头仰望眼前的龙脑香林，这些雨林巨人伟岸的身姿令人动容。尽管它们庞大的树冠遮天蔽日，但仔细观察你就会发现，两棵龙脑香树的树冠彼此之间一定存在着间隔，而不会交织相连，树冠间清晰的空隙如同流淌在天空中的河网一般壮观，这种现象被称作“林冠羞避”，或者“害羞的林冠”。在树木密集生长的热带雨林，为何这些巨人既能默契地同步进入“大年”，又能心照不宣地保持着彼此的“社交距离”，探寻这一切的缘由，或许就是观察、研究大自然的乐趣所在。□

一颗龙脑香树的果实拖着两片长长的翅膀坠向地面，如果足够幸运，它将会与身后的那些“前辈”一样，成长为一棵雨林中的参天巨树，然后在合适的年份结出满树翅果，产生自己的后代。这一过程可能需要数十年，维系着雨林中生生不息的循环与演替。作为一种优质的木材，东南亚雨林中龙脑香科的各属树木一直承受着巨大的砍伐压力，人为活动破坏了群落结构，也降低了这些雨林巨人在“大年”时的繁殖成功率。按照现有的研究，龙脑香科树木的同步繁殖会受到气候因素的调控，如今全球气候变化的加剧，是否会影响到它们“大年结实”的节律，尚未可知。摄影 / Cyril Ruoso / NPL

雨林之中， 生生不息的循环

责任编辑 / 金畅南
图片编辑 / 吴敬
版式设计 / 介彬
地图编辑 / 陈云



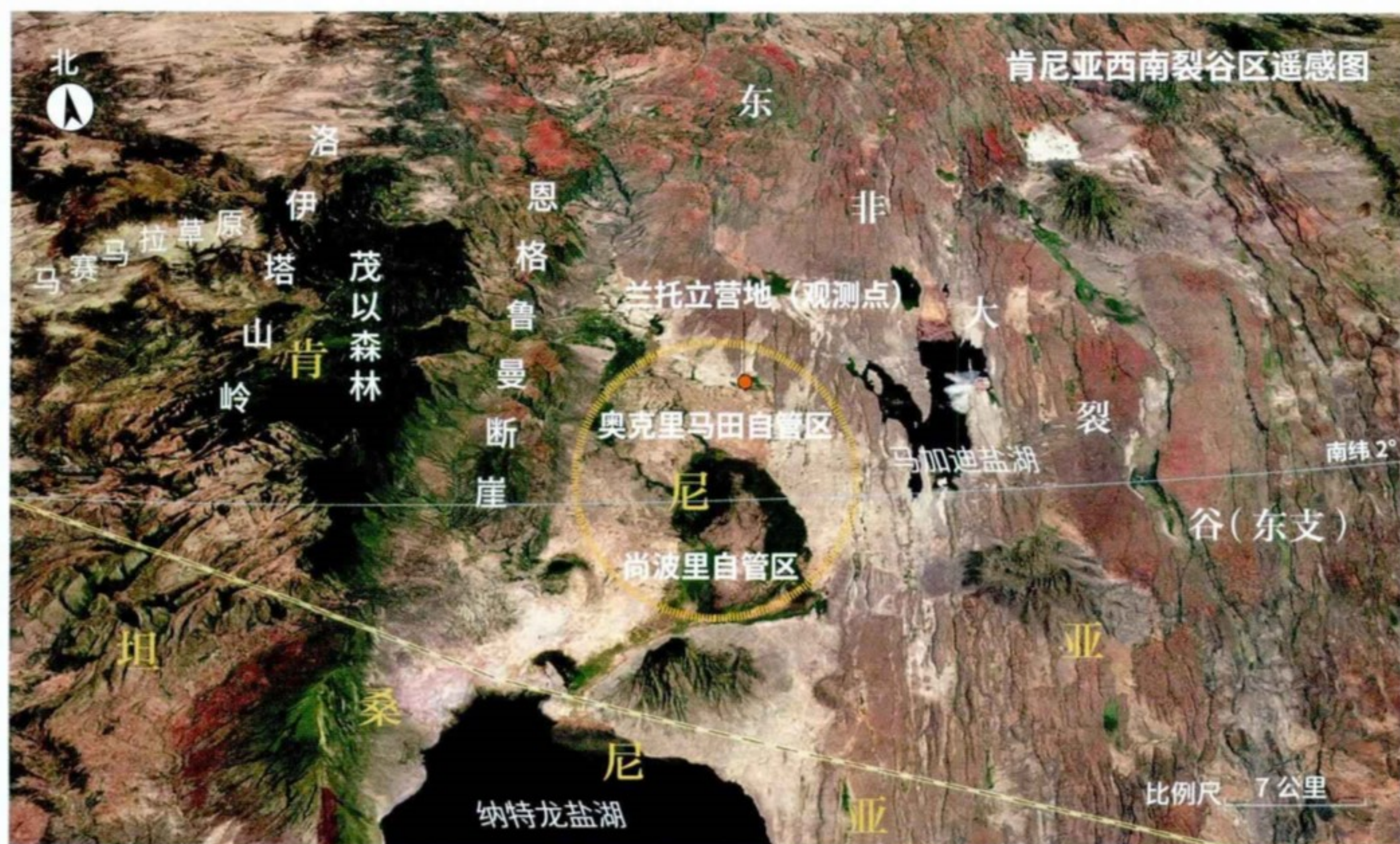
管中窥豹

动物行为包括动物的觅食行为、攻击行为、防御行为、繁殖行为等多种类型。近几年,国内一些摄影师也在借助天然或人工掩体来拍摄、观察动物,但是很多人并不满足于此,本文作者杰夫就不远万里,多次前往东非国家肯尼亚,在肯尼亚西南部的“尚奥保护区”的一处人工水塘中,进行了长期的拍摄、观察。肯尼亚西南部是地球上野生动物最丰富的地区之一,摄影师在此拍摄到了什么?又观察到了哪些有趣的动物行为呢?本文就将为您一一揭晓。

华人摄影家 在肯尼亚人工水塘的 动物行为观察



在肯尼亚西南部的“尚奥保护区”，当地村民为了取水，在山上接近泉眼的地方打出一口深井，泉水在供应村民需要的同时，还形成了一个蓄水池塘。每到旱季，这个水塘便成为了野生动物的固定饮水地。逐渐地，这个水塘引起了环保机构和野生动物摄影师的关注。摄影师杰夫就在这里经过长期的观察、拍摄，为众多野生动物留下了珍贵的影像。图为日出前后，一只狮子正在水塘中畅饮。



“尚奥保护区”处在马赛马拉旱雨季分明的热带草原气候、茂以森林常年湿润的热带雨林气候和东非大裂谷底常年干旱的三种不同气候类型的交汇地带，不同气候条件下的野生动物的活动范围便在此相互覆盖。

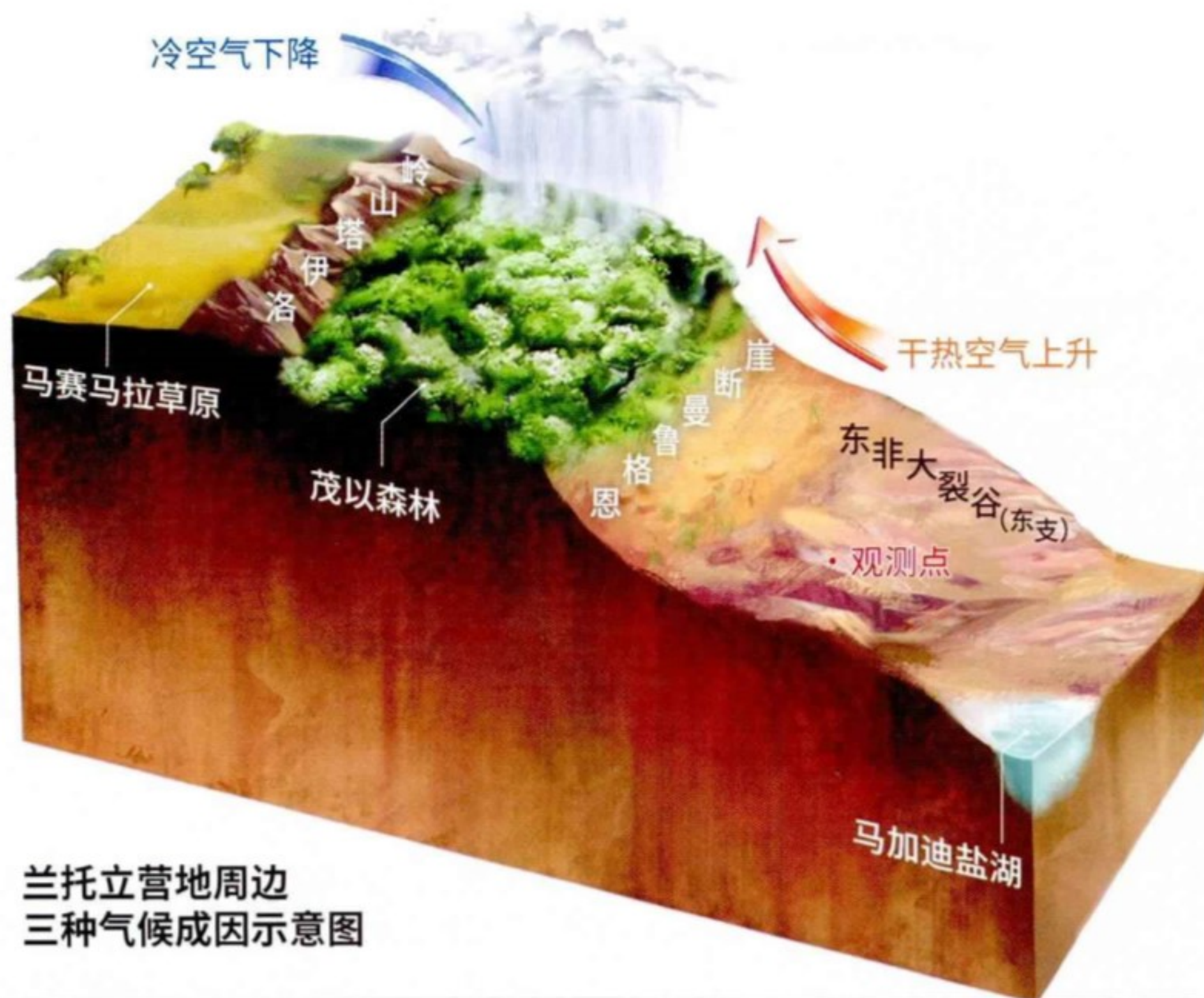
说

说起肯尼亚的生态环境和野生动物，大部分人首先想到的就是马赛马拉大草原（Masai Mara，也译成马萨伊马拉）里动物大迁徙中的角马、狮子、猎豹等，其实肯尼亚的生态环境和野生动物远不止于此。肯尼亚东面印度洋，西接东非大草原，赤道横穿东西，东非大裂谷纵贯南北，全国平均海拔1500米，每年3—6月、10—12月为雨季，其他季节为旱季，全国各地降水量从200毫米到1500毫米不等。这种独特的气候特征，造就了肯尼亚异常丰富的动植物多样性，让这里享有世界野生动物王国的美誉。其中一个

代表性地区就是位于肯尼亚西南的“尚奥保护区”，这一区域由位于东非大裂谷的尚波里和奥克里马田野生动物保护区两部分组成，这里是肯尼亚南部最后一块没有进行大规模开发的区域，这也让它成为了全球物种多样性的一个范本地区。

“尚奥保护区”的兰托立营地（Lentorri Lodge）有一处人工水塘，旱季时，每天都会吸引大量野生动物前来饮水，其中还有很多难得一见的物种，因此这里成为了环保机构观察野生动物行为的绝佳场所。多年来，我一直在这里拍摄、观察野生动物，并将它们的行为定格在一帧帧的画面中。





兰托立营地周边
三种气候成因示意图

水塘位于干旱的东非大裂谷，
周边便是马赛马拉草原和茂以森林

东非大裂谷气候干旱，地表蒸发量非常高，热气流随坡上升，在洛伊塔山岭遇到从马赛马拉高原下降的冷空气，便造成了持续的降雨，形成了茂以森林这片类似于热带雨林的小气候区（绘图 / 梁安琪）。兰托立营地位于东非大裂谷的“尚奥保护区”内，西部紧邻茂以森林和旱雨季分明的马赛马拉草原，保护区及周边有几个较大的湖泊，不过这些湖泊都是咸水湖，这个水塘便成了保护区及周边最明显的一块淡水区域（左页地图），成为了不同气候环境下动物的固定水源。下图为该区域的航拍图，可以从不同的地表植被分辨出差异化的小气候区。摄影 / 王宁



一方小小的水塘成为了 观测、拍摄动物行为的绝佳场所

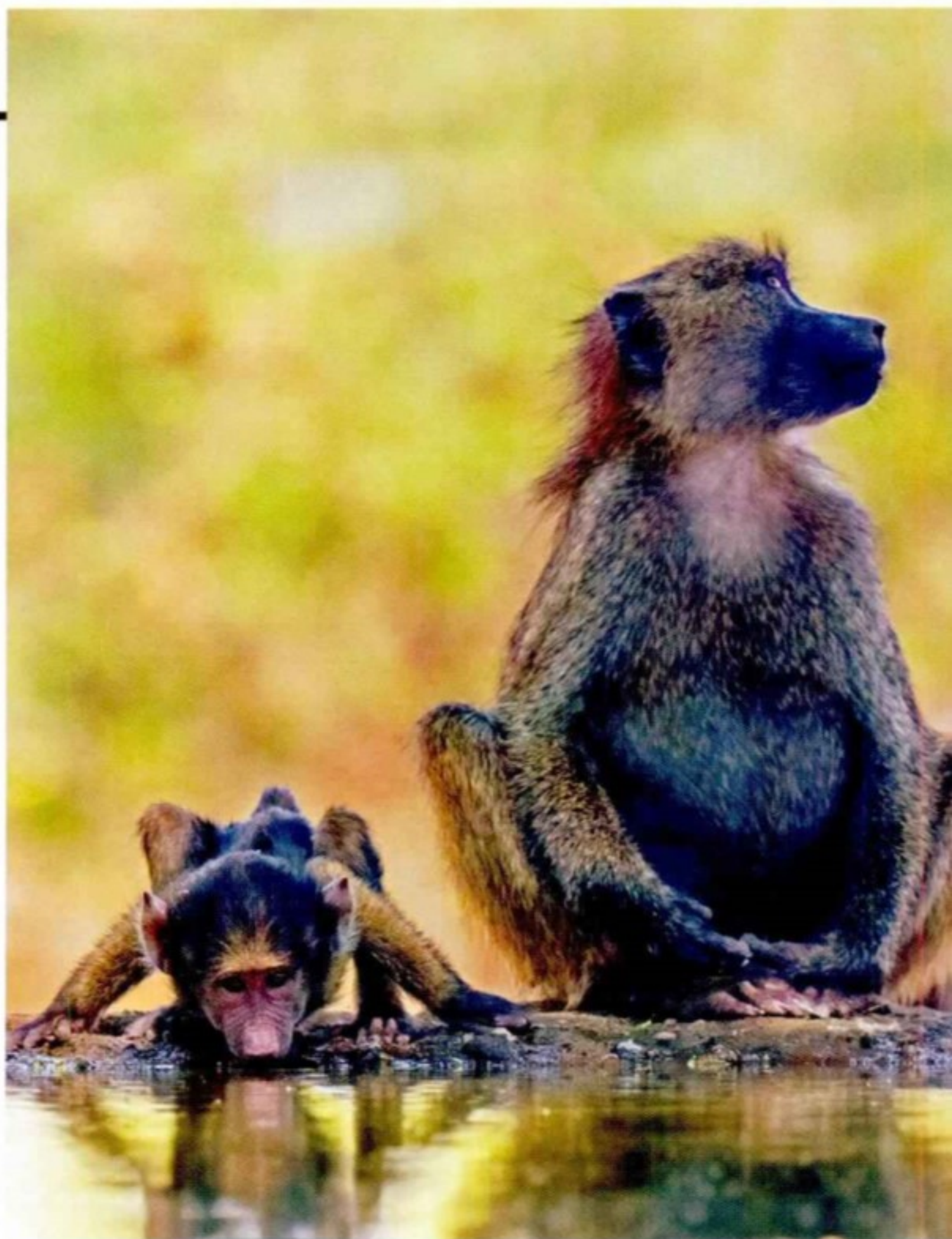
这方水塘本是当地居民为解决饮水需求而形成的，没想到却吸引了众多野生动物的到来，环保机构注意到这个现象后便开始在这里观察动物行为，摄影师在水塘附近的掩体中将它们的行为定格在一帧帧的画面中。清晨，水塘便被各种鸟儿所占据，随着气温的上升，食草动物和杂食动物会逐渐到来。到了下午气温最高时，附近的20多只狒狒会占据水塘，在里面嬉戏打闹，成为水塘一霸，此时其他小型动物都不敢靠前，真是“老虎不在家，猴子称大王”。右图 摄影 / 王宁



狒狒家族到来后，便成了水塘一霸，它们不仅在这里饮水解渴，更肆无忌惮地把这里当作自己的领地，大狒狒带着儿女们在水塘里戏水玩耍。

一个人工水塘竟然成了 野生动物旱季时的固定饮水区

“尚奥保护区”位于东非大裂谷中，面积有近200平方公里，西部是著名的马赛马拉高原，东部则是马加迪盐湖（Lake Magadi）。从海拔200米的马加迪盐湖，到马赛马拉高原东部边界洛伊塔山岭（Loita Hills），直线距离只有60多公里，而海拔落差却达到了近2000米。这样的垂直落差并不是急落直下的，它是由洛伊塔山岭东坡的两级台阶逐级而下实现的。第一台阶便是比洛伊塔山岭低600米的茂以森林（Mau Forest），茂





张劲硕

中国科学院
动物研究所 博士
国家动物博物馆
研究馆员、副馆长

绘图 / 肖琼

不同的动物依靠不同的本领 寻找到水源是野外生存的 必备技能

东非大裂谷保存了独特的生态系统，东非野生动物大迁徙成为了地球上的壮丽景象，吸引着无数科学家、爱好者前去研究与观察。我有幸十余次来到东非的肯尼亚领略野生动物的神奇和伟大，其中观察多样的动物种类的不同行为是最为有趣的事情。譬如本文讲到

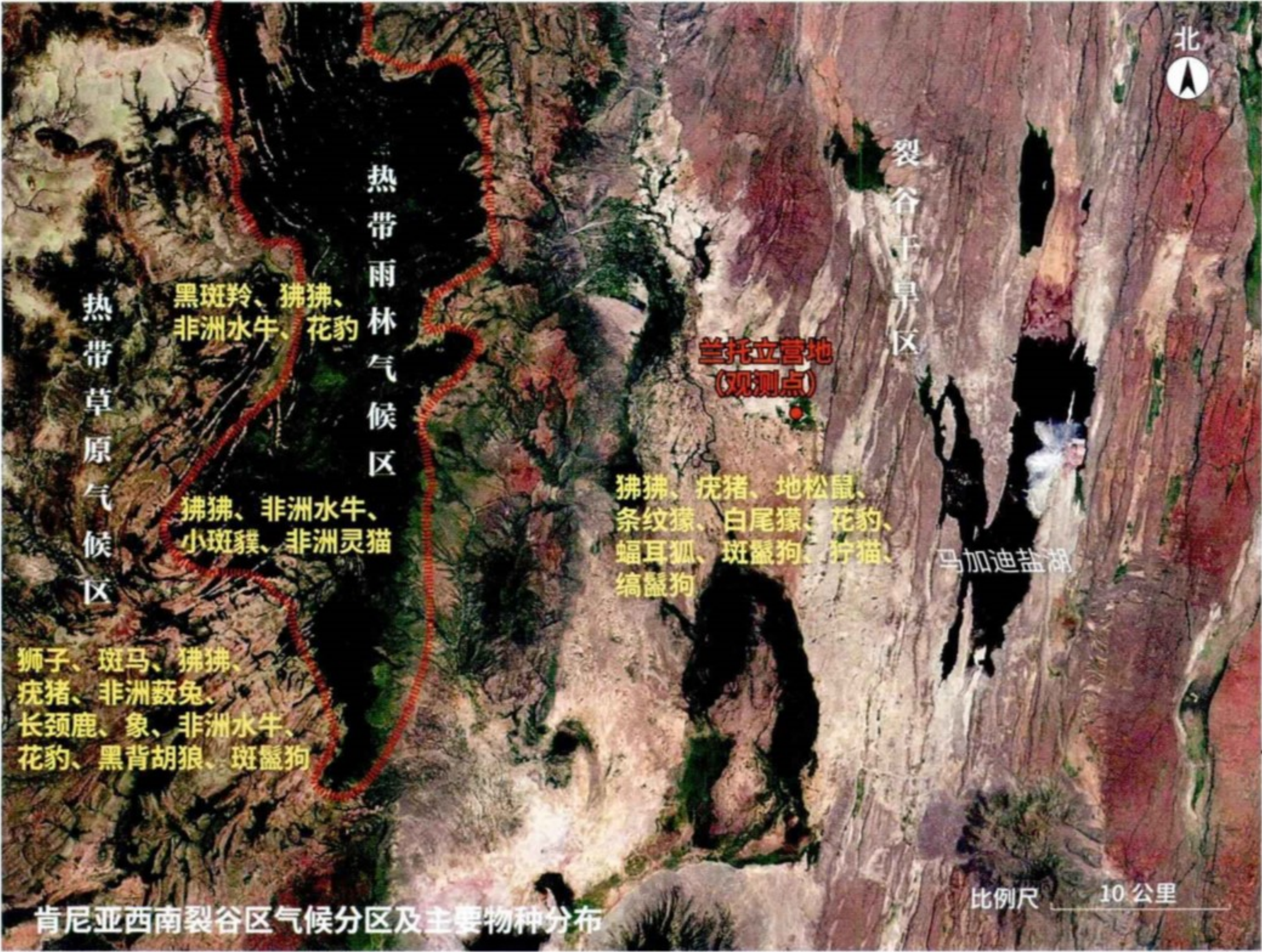
在水塘边所见证的各种动物行为，宛若福尔摩斯探案动物世界，这令作为观察者的我们无限着迷。这里浓缩着几乎整个东非野生动物世界。它们惊人的嗅觉提示，这里有最需要的水源，即使十几、甚至几十公里之外，大象等食草类动物都可以嗅到哪里有水。食肉动物则是附近的常住居民，因为它们清楚有水的地方永远不缺食物。不同动物依靠不同本领寻找到水源是野外生存的必备技能，懒散的仪态与警觉的表情，吃与被吃，追逐与逃跑，细嚼慢咽与大快朵颐……都交织在这里。

以森林郁郁葱葱，形成了一条宽30多公里的森林地带。第二台阶便是从茂以森林东缘，经过相对海拔约1000米的恩格鲁曼断崖，进入到海拔700多米的大裂谷缓坡台地，再过渡到海拔200多米的谷底。恩格鲁曼断崖底部便是“尚奥保护区”的西部起点。

由于东非大裂谷气候干旱，地表蒸发量高，热气流随坡上升，在第一台阶遇到从马赛马拉高原下降的冷空气，便造成持续的降雨，所以才会出现茂以森林这片类似于热带雨林的小气候区。茂以森林树木繁茂，降水丰沛，被称为马赛马拉的绿肺，其中的河流也成为了周围4000多人的生活水源。“尚奥保护区”便处在马赛马拉旱雨季分明的热带草原气候、茂以森林常年湿润的热带雨林气候和东非大裂谷底常年干旱的三种不同气候类型的交汇地带，不同气候条件下的野生动物的活动范围便在此相互覆盖，平时很难在同一地域见到的动物便会同框出现。在“尚奥保护区”进行野生动物观测和拍摄最方便的地方就是“尚奥保护区”中部的兰托立营地。

兰托立营地原来只是个户外露营地，是当地马赛村庄建立的，目的是给徒步的背包客们提供过夜休息的地方。后来，由于人口增加，对水源的需求激增，当地政府便在这里打井，建立了一个蓄水池，再用管道将水引至山下的村庄。在“尚奥保护区”周边也有几个湖泊，不过都是咸水湖，这个水塘成为了保护区及周边最明显的一块淡水区域。逐渐地，这个蓄水池便成为了旱季时野生动物的固定水源地。环保机构注意到了这个现象，从2009年营地重建时，科学家们便定





经历了白天喧嚣的水塘，晚上也不得安静。日落前后，水塘最热闹的时段才刚刚开始，众多动物犹如“逛夜店”般，在这个小小的水塘边开始自己的“夜生活”。



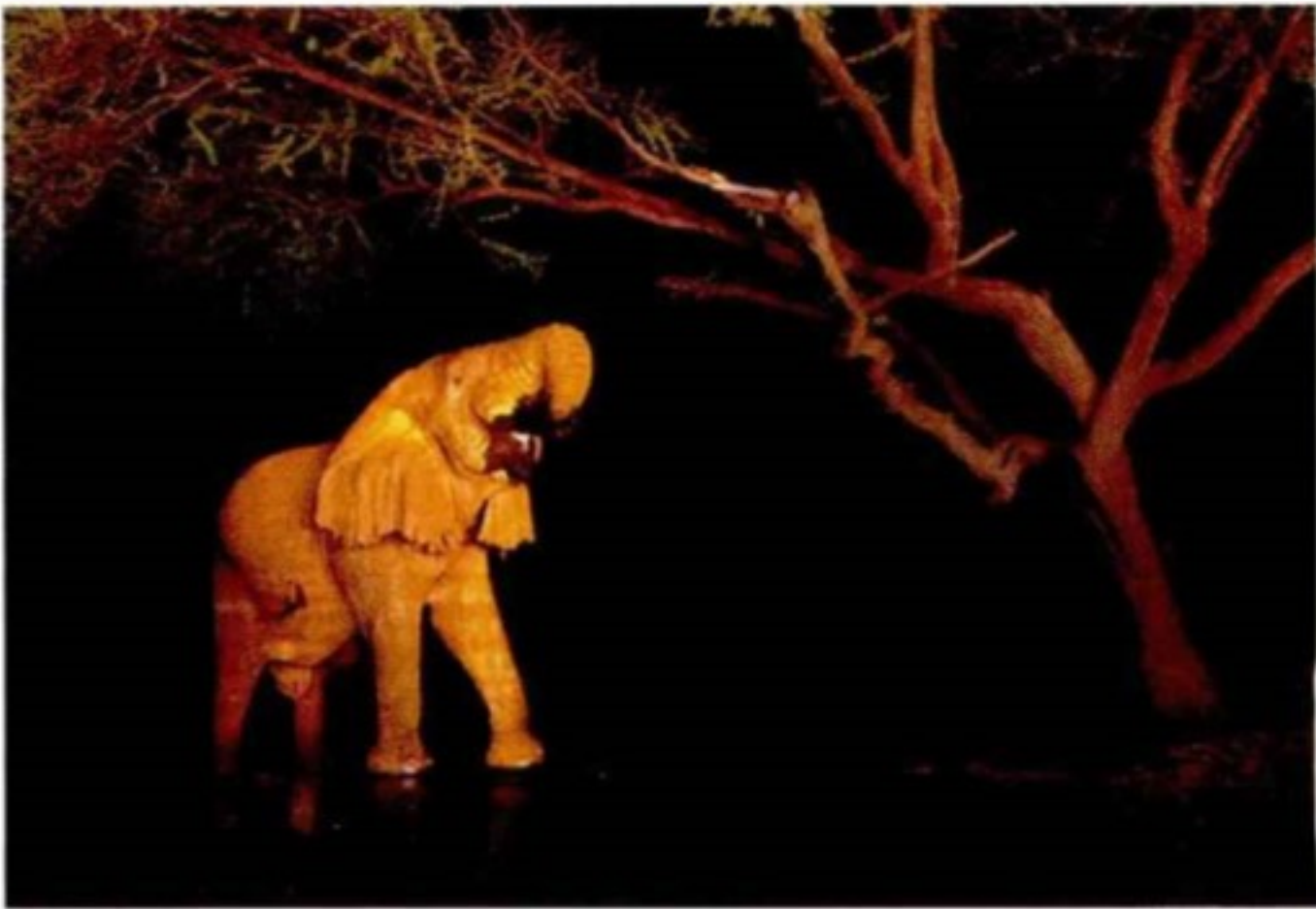
期在水塘附近的掩体内观测、记录动物的种类和行为。

后来，营地工作者在山上接近泉水水源的地方重新打出一口深井，泉水在供应营地和下游村民需要的同时，还在掩体前重新形成了一个面积更大的蓄水池塘。每到旱季时，很多动物都会来这里饮水，物种之丰富，行为之多样，让这处水塘成为了观测、拍摄动物行为的理想场所。我到达之后，常常是24小时都趴在掩体内，可以拍摄到9米外的野生动物，还不会打扰到它们，经过长期在此拍摄，一幕幕珍贵的野生动物资料便由此而生了。



从清晨到夜晚，方寸间的小水塘变成了动物万花筒

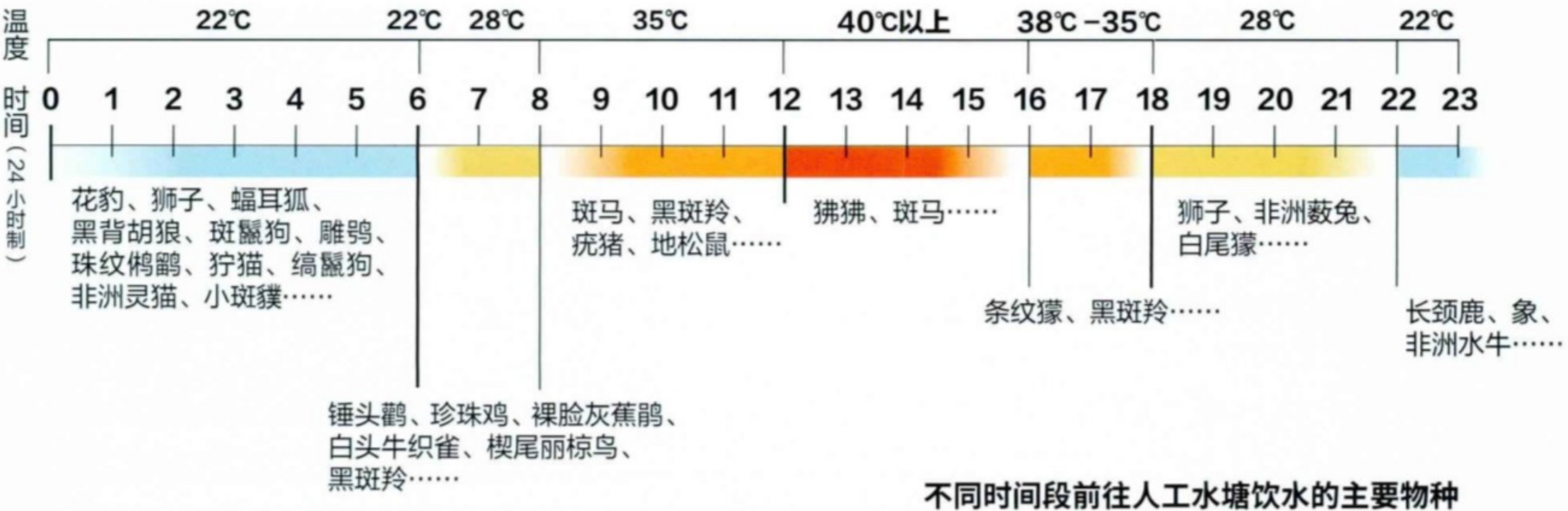
随着时间的推移，我发现这个小小的水塘俨然成了一个动物万花筒，将长期拍摄到的动物影像进行叠加，便会发现不同动物出现的频次和密度会随着时段和气温的变化而变化。狮子是所有猫科动物里来得最频繁的，它们出现的最早时间是晚上6点，最晚则是凌晨6点日出前后，这时气温多在22℃左右，比较凉爽。有时天气过于炎热，狮子白天也会偶尔光顾水塘。从6点到8点，气温会从22℃升至28℃，此时最“勤快”的



白天的喧嚣过后，夜晚的水塘才迎来了最热闹的时刻

下午4点以后，气温逐渐从40多摄氏度回落到30多摄氏度，狒狒家族便起身离开了，此时，小型的食草动物才敢近前喝水。日落之后，气温继续回落，水塘迎来了真正的热闹时刻。随着夜幕降临，非洲薮兔、白尾獐等小型动物和夜行动物便陆续光临水塘，晚上10点到午夜，多是长颈鹿、大象和非洲水牛等大型动物来此喝水。长颈鹿劈开双腿，将脖子探近水面，用宽大的舌头卷起水珠饱饮，大象用长长的鼻子吸水，还会用鼻子给自己喷水淋浴，洗完澡后才回到丛林中。动物之间互不打扰，各得其所。下图 摄影 / 王宁





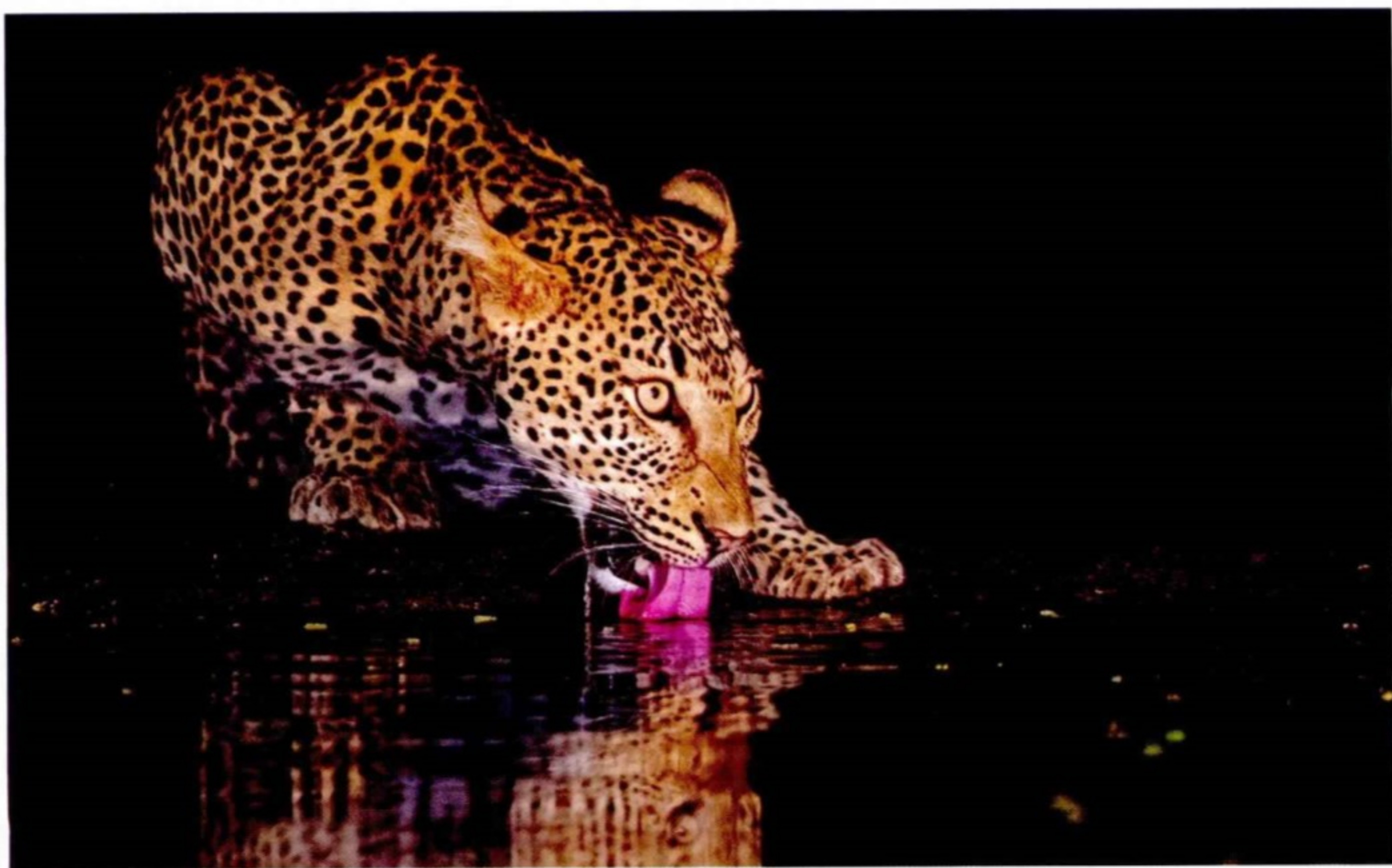


一些动物为了饮水，往往要跋涉很长路途，一路上十面埋伏，险象环生

随着时间的变化，气温也会发生变化，来水塘饮水的动物种类也不尽相同。摄影师根据长期的观察，发现不同时间段到来的动物有所不同，再把所捕获的影像叠加，便大致得出了每种动物到来的固定时间（左页图表）。通过长期观察，摄影师还发现，许多动物为了补充水分，往往要长途跋涉，一路上险象环生，有些动物还会被天敌捕获，大自然的生存法则颇为严酷。本页图展现了来饮水的黑斑羚和花豹，有时黑斑羚在饮水后会被花豹捕获，而花豹往往会在后半夜来饮水。

动物就是各种鸟儿了，日出前水塘便被各种鸟类络绎不绝地光顾，比如锤头鹳、珍珠鸡、裸脸灰蕉鹃、白头牛织雀、楔尾丽棕鸟等，寂静的山谷间都是它们清脆的叫声。和鸟儿同时到来的往往都是食草动物，比如黑斑羚等，经过一夜休眠，黑斑羚醒来第一件事就是饮水，并且它们还会对着水中倒影欣赏自己的模样，好似起床之后要精心打扮才能出门一般。上午的气温会很快升到35℃，炎热的感觉会迅速加剧，这也让更多的动物前来频繁地喝水，这些动物主要是斑马、黑斑羚、疣猪、地松鼠等食草动物或杂食动物，这个时候，同一只动物会频繁来到水塘。由于肉食动物大多还在潜伏休息，所以这些食草动物警戒心理都比较弱，不同的物种会同时饮水，互不干扰，一派悠然自得的景象。

为了饮水，一些动物要跋涉几公里，甚至几十公里过来，但路上却危机四伏，有一些还免不了被天敌捕获，想要生存着实不易。



从中午到16点，气温会骤然飙升到38℃以上，极度的炎热和干旱促使附近的20多只狒狒过来，狒狒家族到来后，便成了水塘一霸，它们不仅在这里饮水解渴，更肆无忌惮地把这里当作自己的领地，大狒狒带着儿女们在水塘里戏水玩耍。这时，其他小型动物怯生生地在远处张望，即使再口渴，也不敢靠近，等待着狒狒家族远去，真的是“老虎不在家，猴子称大王”。只有体型较大的斑马等才敢挤进狒狒家族的“承包地”，在狒群中找到一个豁口饮水。直到下午16点以后，气温逐渐回落到28℃，玩耍

结束的狒狒家族才集体离去。这时，一些诸如条纹獐这种耐旱的小型杂食动物才敢靠近水塘，赶在天黑前赶快补充水分。

经历了白天喧嚣的水塘，晚上也不得安静。日落前后，水塘最热闹的时段才刚刚开始，众多动物犹如“逛夜店”般，在这个小小的水塘边开始自己的“夜生活”，它们都是草原上的夜行者。狮子也慢慢到来，然而更多的则是小型动物，比如非洲薮兔，还有白尾獐。白尾獐不光是来饮水的，它们还会捕食水边的昆虫和青蛙，在畅饮的同时，还能饱餐一顿，一举两得。而大型的食草动

狞猫、缟鬣狗耐旱，所以在东非大裂谷底部出现很正常，非洲灵猫和小斑獐却喜欢湿润的环境，不同气候条件下的物种在同一地区活动，就显得颇不寻常了。



物，如长颈鹿、大象、非洲水牛，往往都会在22点到24点到来。这时，长颈鹿会劈开双腿，将脖子探近水面，用宽大的舌头卷起水珠饱饮，在长颈鹿周边还有一些没有退去的条纹獐等小型动物，双方互不干扰，各得其所。大象的到来搅动了水塘的宁静，它们长长的鼻子不仅可以给身体补给水分，而且还会充当花洒来淋浴，一天的劳累后，好好洗个澡，再回丛林休息。从24点到早上6点，是肉食夜行动物最活跃的时间，它们都比较隐蔽谨慎，停留的时间也都不长。花豹迅速地舔完水，解渴后便快速离开了。蝠耳

狐、黑背胡狼、斑鬣狗、雕鹗等也都在这时光临水塘，开启它们的“夜生活”。

值得一提的是，我在水塘附近还拍到了花豹将饮水后的黑斑羚捕食的画面，为了饮水，一些动物要跋涉几公里，甚至几十公里过来，但路上却危机四伏，有一些还免不了被天敌捕获，想要生存着实不易，但这却是大自然的生存法则。

**意料之外，情理之中：
不同栖息环境下的动物都来同一方水塘饮水**

非洲常见的大象、长颈鹿、狮子等动物在水塘的出现并没有让摄影师觉得有过多的惊喜，但狞猫、缟鬣狗、非洲灵猫、小斑獾、斑鬣狗等动物的到来着实让摄影师为之兴奋。这是因为这几种动物都是“夜行者”，行动非常敏捷，很多研究者往往都不能得见它们的全貌，但摄影师却捕获了它们非常多的珍贵画面。另外，狞猫、缟鬣狗、斑鬣狗都是极为耐旱的动物，而小斑獾和非洲灵猫却是湿润环境下的动物，不同气候条件下的物种在同一地区活动，是因为三种不同的气候环境都在水塘能辐射到的范围之内。既出乎意料，又在情理之中。

狮子



非洲灵猫



黑背胡狼



一方水塘，让我记录下了众多 难得一见的物种

其实，拍摄到狮子、花豹、大象、长颈鹿、狒狒这些动物并没有让我有多兴奋，因为它们都是非洲常见的物种，真正让我兴奋的是那些进入我镜头的难得一见的物种。

狞猫是一种中型猫科动物，只有在夜间才会出行，极为隐秘，是很难在野外观测到

的动物。狞猫还极为耐旱，所以一天夜里，一只狞猫来到水塘饮水时，我的兴奋之情远高于狮子、花豹的到来。狞猫有一张标准的瓜子脸，一双宝石般闪烁的大眼睛占据了整个面庞的近一半，一双长耳非常机警地支棱起来，即便是喝水时，耳朵也不停转动，捕获四周风吹草动的声音。狞猫喝完水便迅速地离开了，动作干脆利落，瞬间便消失在茫茫黑夜中。除了狞猫，缟鬣狗的出现也让我为之兴奋。缟鬣狗体长1米左右，尾长25—40厘米。缟鬣狗的视力非常好，但听觉和嗅觉都很差，所以缟鬣狗饮水时，眼睛不停地观察周围动静，耳朵却不会像狞猫那样转

在这方水塘记录下的野生动物虽不能穷尽所有物种， 却可以管中窥豹，以小见大

特殊的地理、气候条件造就了“尚奥保护区”的物种多样性，许多本没有交集的物种活动区域实现了重合，让人不得不惊讶这片小小水塘的神奇。摄影师虽然进行了长时间的拍摄，但仍不能穷尽周边所有的物种，只能管中窥豹，以小见大。在野生动物研究和环境保护的意义上，肯尼亚的西南裂谷区是东非最后一片几乎没有进行过大规模开发的净土，丰富多样的物种让这里成为了研究东非生物地理的范本。



动。缟鬣狗非常警觉，奔跑速度也很快，想在野外给它拍一张肖像非常困难。在它低头饮水的刹那，我迅速按下快门，将它的表情记录下来。非洲灵猫也是全夜行动物，也是极难在野外观测到的猫科动物。非洲灵猫对水源的依赖度很高，捕猎时以听觉和嗅觉主导，和狞猫一样，非洲灵猫也是小心谨慎地前来饮水，一边饮水，一边转动耳朵，捕捉四周的声音。小斑獬每到黄昏时才开始活动，它们爬树能力一流，动作敏捷，让很多动物学家都很难得见它的全貌。小斑獬和狞猫的外形有些相似，只不过饮水时，舌头伸得更长，一副更为小心谨慎的样子，喝完水

后，它便在夜色中隐秘不见了。

狞猫、缟鬣狗耐旱，在东非大裂谷出现很正常，非洲灵猫和小斑獬却喜欢湿润环境，不同气候条件下的物种在同一地区活动，显得颇不寻常。这是因为“尚奥保护区”处于三种小气候环境的周边，东非大裂谷以西便是湿润的茂密森林，茂密森林到兰托立营地的距离很近，所以非洲灵猫、小斑獬便出现在这里，和狞猫、缟鬣狗的活动区域重合，既出人意料，却又合乎情理。

野生动物观察和拍摄，遥远的东非提供了值得借鉴的经验

许多本没有交集的物种活动区域实现了重合，让人不得不惊讶这片小小水塘的神奇。我在这里记录下了大量的动物物种，当然，即便拍摄得再多，也不能穷尽这方水塘周边所有的物种。我也只能通过这些观察和影像以求管中窥豹，以小见大。

肯尼亚西南裂谷区物种丰富多样的特点让这里成为了研究东非生物地理的范本。越来越多的研究机构已经开始入驻并观察动物行为，这些影像在记录动物的同时，也在唤起公众对物种多样性的关注。现在肯尼亚动物保护机构和当地村庄都在积极拓展自管区性质的动物保护地，严格限制工业开发，使得这个区域可以继续保持良性状态。野生动物摄影必须以尊重自然、爱护动物、崇尚科学、保护生态为原则，尽量不打扰它们的生活。我又想到了国内一些观察、拍摄动物的情况，现在中国摄影师已经有了这方面的意识，如何能在观察记录动物行为时，最小程度地干扰动物活动？遥远的东非已经累积了一些值得借鉴的经验。我想在不远的未来，中国的野外摄影师也可以用真挚的画面，向公众传达这种观察动物行为的理念。■

审稿专家 / 张劲硕 中国科学院动物研究所博士
国家动物博物馆研究馆员、副馆长
责任编辑 / 钱朝华 图片编辑 / 王宁
版式设计 / 崔晓琳 地图编辑 / 王岩



华西雨屏带

从雨雾之极到生物秘境

在四川西部的成都平原向川西高原的过渡地带，有一条近似南北向的狭长地带。这里终日细雨连绵，云雾笼罩，被当地人戏称为天漏的地区。这个狭长的地带就是华西雨屏带。从 19 世纪开始，这里就是植物学家、气象学家、博物学家、地理学家研究的热点地区。华西雨屏带在哪里？又到底有何独特之处？

华西雨屏带有雾极之称, 其中峨眉山的雾日多达 323.4 天

华西雨屏带地处四川盆地与青藏高原东缘的交会地带, 由于地势陡升, 冷热气流往往形成上百公里的锋面, 导致雨雾多的现象。图为雅安市宝兴县达瓦更扎下午的云海, 冷空气遇到暖湿气流往往会形成积雨云。在雅安市, 南至荥经, 北至宝兴县, 年降雨天数超过 200 天。摄影 / 高华康



科学家为华西雨屏带绘制了轮廓

自竺可桢在上世纪30年代提出“华西地形雨”的概念之后，学术界开始了对这一地区的研究，“华西地形雨”慢慢演绎成了“华西雨屏带”。这是一个与气象地理、生物地理息息相关的区域，范围一直模糊。长年在这一带开展研究的植物学家专家庄平大致做了一个描述：北端止于绵阳市平武县，南端直抵凉山彝族自治州雷波县，东西横亘50—70公里，南北纵贯400—450公里，总面积约2.5万平方公里。



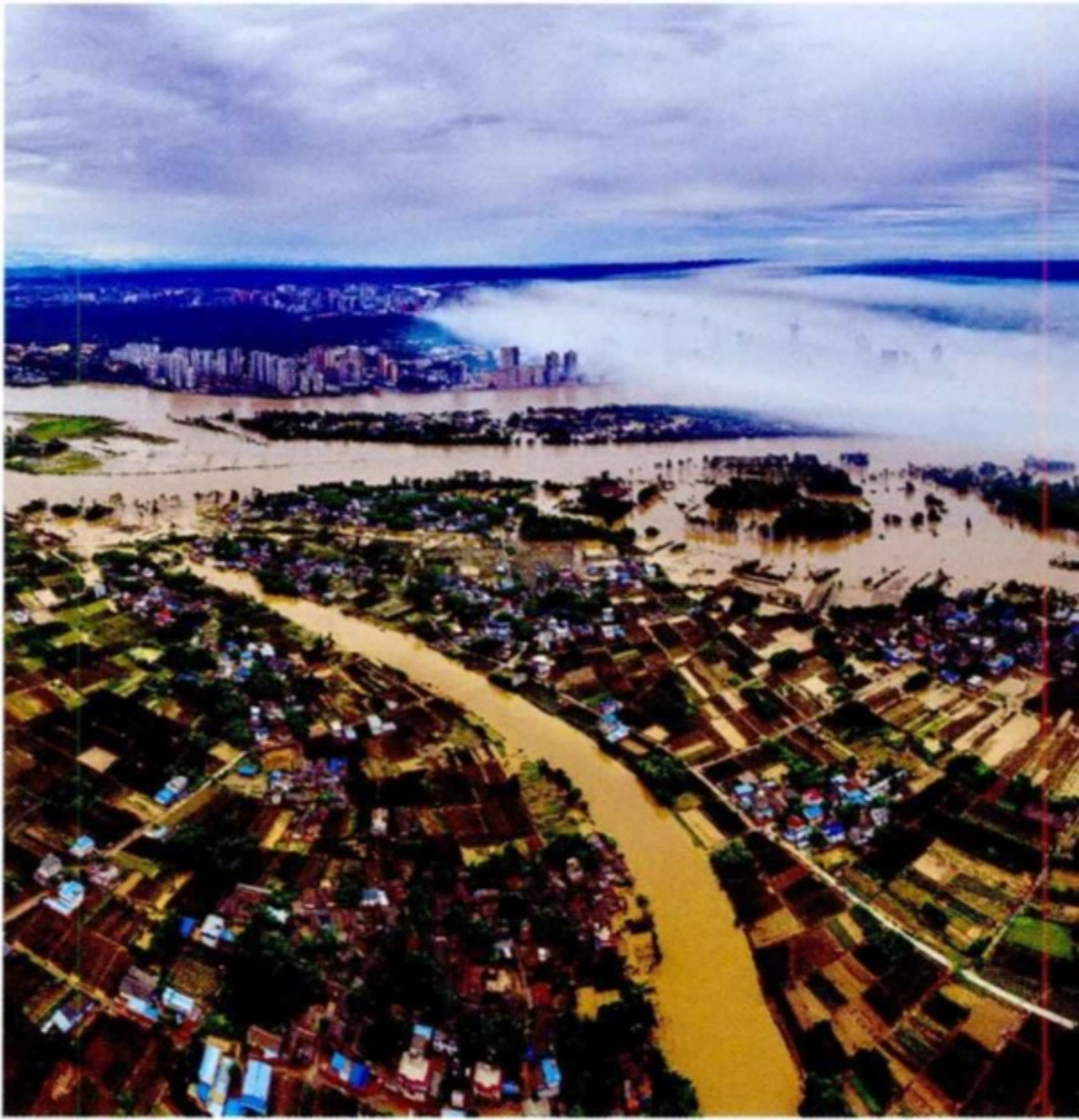
华西雨屏带区域图

在

自然科学领域，“华西雨屏带”是个颇为神秘的词汇。它经常出现在植物学和动物学的研究报告中，却很少有人能将它讲清楚。对于这片四川盆地西部边缘的过渡地带，不同领域的学者们长久以来一直在寻找更精准的定义并努力达成共识，最终确定了北起绵阳平武县，南抵凉山彝族自治州雷波县的区域。这个区域东西横亘50—70公里，南北纵贯400—450公里，由岷山山脉、邛崃山脉、大相岭至黄茅埂所构成的狭长地带，包括了绵阳市、德阳市、成都市、雅安市、眉山市和乐山市，总面积约2.5万平方公里。

这是川西平原向高原的急剧过渡地带，平均相对高差约2000米，最高可达5000米。突然陡升的地势如一面耸峙的屏风，来自太平洋和孟加拉湾的暖湿气流与高原的冷空气，数股气流交汇于此，带来异常丰沛的降雨，因此得名“雨屏”，当地人称这一带是四川的“降雨窝子”。

在所有关于华西雨屏带的描述中，最广为人知的说法是，这一带是“西蜀天漏”女娲补天唯一遗漏的地区。每年5月到10月，集中出现在这一带山区的降雨现象——西



南低涡（影响我国降水的重要天气系统之一，发生于我国西南地区700或750百帕等压面上的气旋性环流或有闭合等高线的低涡），因常被副热带高气压阻留在此，造就了我国仅次于台风的第二暴雨系统，而处在华西雨屏带的雅安、峨眉山等地便迎来了暴雨连绵的日子。到了9月至11月，当副热带高压南退，频繁南下的冷空气与暖湿空气相遇，又形成一年中降雨的第二峰值期：阴雨

华西雨屏带年均降水量 1200—2000 毫米，超越 我国绝大多数地区，几个重 要的集雨区如雅安年降水量 达 1700 毫米，堪称我国内 陆降水最丰沛的区域。

乐山大佛遇千年不遇的洪水，“借机洗脚”

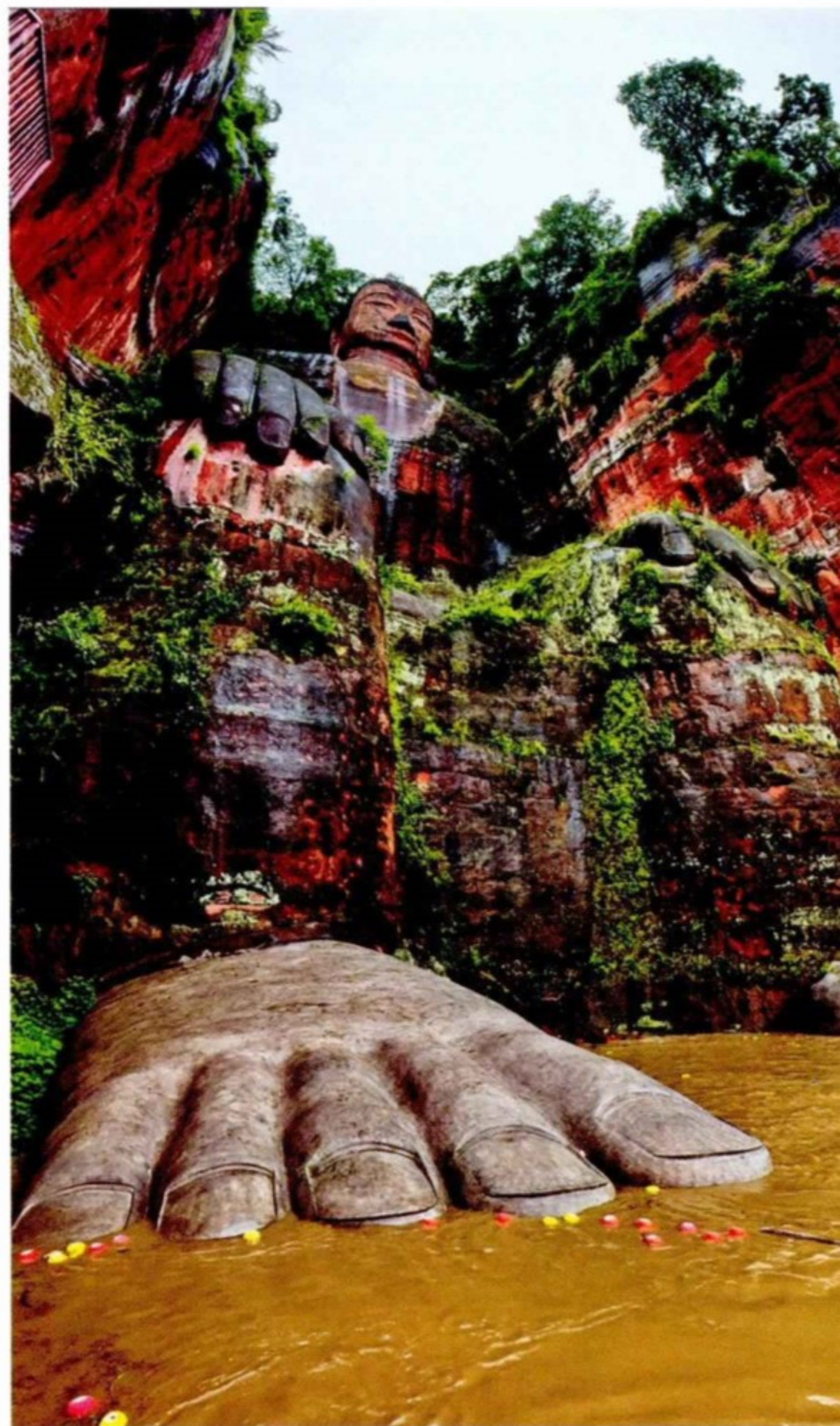
2020 年 8 月 11 日至 8 月 18 日的 8 天里，华西雨屏带受孟加拉湾和西太平洋暖湿气流及西风带冷槽激发的西南低涡气流的影响，形成了巨大的降雨。而四川的几条大河如岷江、大渡河和青衣江均流经华西雨屏带，三条大江最后在乐山汇合，导致“大佛洗脚”。当 8 月 18 日最大洪峰经过乐山市时，摄影师拍到了这张“大佛洗脚”的图片（右图 摄影 / 孔胜）。乐山民间一直有种说法：“大佛洗脚，乐山跑不脱。”这次大佛“洗脚”时，乐山旧城区真的全部被淹（下图 摄影 / 高路川）。



绵绵的“华西秋雨”现象，覆盖了华西雨屏带的广袤山林。

竺可桢，研究华西雨屏的第一人

1931 年，国际气象组织开展第二次“国际地球观测年”活动，并与世界各国约定联合观测地球物理现象为期一年，以此研究全球气候变化。为了达成这个目标，委员会主



席、丹麦气象研究所所长考尔博士给时任中华民国中央研究院气象研究所所长的竺可桢写信，希望中国能承担部分观测工作。

这无疑提升科研水平、扩大国际影响的难得机会。作为中国近代地理学和气象学先驱的竺可桢欣然接受，他在异常困难的条件下，决心除了增加南京和北平的气象观测业务外，还新设立两个高山气象测候所：一个位于泰山，一个则位于华西雨屏带的峨眉山。1932 年 7 月，中国第一个高山气象测候所在峨眉山千佛顶建成，中国的第一批高海拔地区风向、风速、气压以及能见度等珍贵的气象数据在这里获得。



峨眉山丰沛的雨量和云雾让人印象深刻，一些重要的气象地理论断便在这里萌生。1935年，竺可桢在《气象研究所集刊》发文首次提出：“四川素以润湿著称，峨眉山则为中国云量最丰之地……华西地形雨所占地位，极为重要。”根据当时仪器测量的数据，竺可桢认为峨眉山“差可与世界雨量最丰之乞拉朋齐相抗衡”。但他同时也注意到，“惟峨眉山之雨量，亦非全属地形雨，以其常降于平静无风空气上升之际，但亦时降于东北风盛行，低气压中心自南经过之时”。

同一时代的涂长望先生，也有惊人发现。他获得了1933年8月到1934年8月，峨眉山雨量达9225毫米的数据。这是什么概念，2019年北京市全年降雨量为511.1

毫米，而8月的降雨量仅为63.9毫米。他为此专门撰写《峨眉山之雨量》一文解释成因：“高山迫使西南季风或东南季风抬升，这时来自海洋的湿空气由对流或者由来自西北的冷空气下切，被迫抬升到一定高度，降水就将发生。再加上峨眉山处于低压路径地带，甚至位于低压形成地区，这些都将造成特大降水。”

尽管最让两位前辈兴奋不已的降雨数字已被证明有误差，但正是两位中国近代气象科学的奠基人开启了世人对于四川盆地边缘山地的气象学认知。以峨眉山为起点，人们逐渐展开对华西雨屏带的研究。时隔85年后，两位前辈关于降雨成因的探究与结论，与当今学术界对华西雨屏带夏季暴雨的解读在诸多方面相互印证。



这里有中国内陆的雨极与雾极

2020年8月，历史性的暴雨刷新了四川省的诸多雨量纪录。根据监测显示，四川盆地中西部，在8天内的累积降雨量普遍超过250毫米，不少地区达到400—600毫米，位于华西雨屏带的德阳市、绵阳市局部地区更高达1000—1197.4毫米，一周的降雨量相当于北京两年的雨量。强暴雨导致岷江、青衣江、沱江、涪江等主要江河洪峰水位迅速突破纪录，四川省前所未有地启动了Ⅰ级防汛应急响应，而长江三峡水库则在20日迎来了高达74000立方米每秒的建成以来最大入库流量。

更让人难以理解的是，从8月17日上午风云4号高清卫星云图上看去，这条浓密惊人的雨带以东，却是晴空万里。四川省气象局气象专家郭洁说：“四川西部出现这么强的连续暴雨过程，是综合因素所致。”为了

在所有关于华西雨屏带的描述中，最广为人知的说法是，这一带是“西蜀天漏”女媧补天唯一遗漏的地区。每年5月到10月，处在华西雨屏带的雅安、峨眉山等地便迎来了暴雨连绵的日子。

华西雨屏带的夜雨是白天降雨的三倍之多

华西雨屏带地处成都平原向川西高原的过渡地带，地势的相对高差在2500米以上。太平洋与孟加拉湾的暖湿气流在这里被高山所阻挡，并与高原的冷空气相遇，从而形成巨大的降雨量。其特点往往暴雨骤至，夜雨居多，夜间暴雨是白天的三倍之多。摄影 / 颜晓云





把抽象的云图概念形象化，她结合一张生动形象的卡通图片——“三人灌水四川”给我讲述了这次强降雨的产生原因。

“一个来自南海和孟加拉湾暖湿气流的小人，正源源不断地向四川盆地输送着水汽，另一个代表着西风带冷潮的小人则形成了汇集水汽的西南低涡，当两者移动的步伐遭遇第三个小人——来自西太平洋的副热带高压，丰富的水汽沿四川盆地西部边缘的山前迎风坡上升，巨量降水便形成，同时第三个小人还牢牢控制了雨带的东移。加之前期连续的晴热高温天气，最终形成了如今我们从气象卫星云图上看到的‘东边炎日西边暴雨’的气象景观，而华西雨屏带就是这次降雨量所在区。”郭洁说道。这场巨大的暴雨导致乐山市市区普遍被淹，乐山大佛百年来首次被“洗脚”（雨水淹没了脚背）。

竺可桢当年提出的“华西地形雨”现在能被气象学所清晰解读，通过不断更新的观测手段，人们清楚认识到这片地域在气象上的价值：根据最新的统计数据，华西雨屏带

在高空中，能清晰看到从青藏高原涌来的云瀑

受青藏高原的冰川和高海拔影响，华西雨屏带的“隔壁”就是冷气流的制造者，大量的冷气流会自西向东运动。通过高空的航拍，我们能清晰看到青藏高原冷湿气流形成的云海向华西雨屏带运动，越过高原面之后下沉形成瀑布云。山的东坡温暖湿润、植被丰富，而西坡寒冷干旱、植被稀少。摄影 / 田捷砚





戴维在宝兴的山林里，先后找到了200余种珍稀动植物：大熊猫、川金丝猴、扭角羚、苏门羚、短尾猴、亚洲黑熊、绿尾虹雉、雉鹑、大卫两栖甲以及被誉为“植物活化石”的珙桐等等。

南国的冰雪，往往与鲜花共舞春天

图为雅安市荥经县大相岭自然保护区马草河区域中盛开的芒刺杜鹃，拍摄季节是4月中旬，一场突如其来的雨夹雪，彰显南国冰雪的特点：鲜花与雪花共舞。马草河区域有着完整的生态系统，珍稀的动物有大熊猫、小熊猫、云豹、牛羚等，鸟类资源非常丰富，中国已知的1000多种鸟类中，只有三种是被中国人发现并命名：金额雀鹛、四川旋木雀和弄岗穗鹛，其中四川旋木雀与金额雀鹛就生活在从马草河至宝兴夹金山一带的森林中。摄影 / 刘乾坤

年均降水量1200—2000毫米，超越我国绝大多数地区，几个重要的集雨区如雅安年降水量达1700毫米，峨眉山中高山区年降水量达2000—2400毫米，洪雅和柳江一带年降水量更高达2500毫米，堪称我国内陆降水最丰沛的区域。雅安与峨眉山年均降水日数多达263.5天，峨眉山最多可达290天，雄踞全国之冠。从这个意义而言，华西雨屏带堪称中国内陆当之无愧的“雨极”。

海洋季风与山势共同创造中国内陆“雨极”之时，亦塑造出华西雨屏带另一最显著气质——冠绝于世的云雾与屈指可数的日照，常年日照时数仅为900—1200小时，



李忠东

四川省地矿局物探队 副队长

华西雨屏带在空间上客观地形成屏障,成为气候、降水的分水岭

华西雨屏带的西部和西北部有一系列高山阻挡,使西部、西北部干燥气流不易入侵,而利于截住东南暖湿气流,从而成为我国内陆地区降水最丰沛的区域。由于华西雨屏带处于地形急剧变化的区域,降水又极其丰沛,因而山地生态系统也极具特点,素以自然风景优美、天然植被类型丰富、动物资源种类多样而享誉中外,而且这里独特的生态环境为大熊猫提供了最佳的栖息地,我国60—70%的大熊猫分布在本区。

华西雨屏带还是一个地理与人文的分界线。它的东侧是平原、丘陵,是沃野千里的富庶,是田园牧歌的诗意,是天府之国蜀韵烟雨的温婉。而另一侧,则是雪山,是苍茫起伏的高原,是极寒的荒凉。它是一条屏障,将农耕文化与高原游牧文化分割开。

华西雨屏带在空间上客观地形成屏障,成为气候、降水的分水岭,造成自然地理的巨大反差。纵观巴蜀的历史,每一次地理文化的大发现、大突破都是基于对这个“樊篱”不屈不挠的抗争。南方丝绸之路是如此,茶马古道亦是如此。哪怕是到了近现代,这个屏障仍然难以穿越,当年修建乐西公路、成昆铁路、川藏公路时,无数筑路人献出了宝贵生命。

但是,华西雨屏带却有着无与伦比的奇绝自然景观。板块之间的激烈碰撞和拼接,形成大面积的高大山体和众多深切河流、峡谷。丰富的降水又使这里生机盎然,它几乎荟萃了四川盆地边缘最经典的自然景观,瓦屋山、峨眉山、青城山、夹金山、大相岭等等。

比同纬度地区整整少了600小时以上,是中国日照最少的区域之一。最具代表性的依然是峨眉山:这座海拔3099米的山,常年隐身云雾之中,中高山区日照时数仅551.4—934.6小时,意味着平均每天日照时数仅有2.5小时,而年均雾日多达323.4天,最多时高达334天,峨眉山的雾秒杀世界各地的所谓“雾都”(重庆年平均雾日104天、伦敦年均雾日94天、东京年均雾日55天)。

持续 100 多年来,不间断的物种发现

降雨与云雾成为华西雨屏带最显著的特点,而这样的天气并没有阻挡人们了解它的脚步。从19世纪开始,杰出的博物学家、地理学家、气象学家和生物学家们纷至沓来,在这一地区发现了成百上千的新物种。

1869年2月,一位名叫让·皮埃尔·阿尔芒·戴维(中文名谭卫道)的法国人从成都华西坝的天主堂来到了偏僻潮湿的雅安邓池沟天主堂,担任第四任神父。在他任职的六年时间里,除了发展传教事业,他还身兼巴黎博物馆通讯员,将业余精力主要用于探索自然世界。3月23日,一只活着的幼年“白熊”被带到戴维面前。后来的故

事人们耳熟能详：“白熊”就是明星动物大熊猫，而戴维则成了大熊猫的发现人。他在宝兴的山林里，先后找到了200余种珍稀动植物：大熊猫、川金丝猴、扭角羚、苏门羚、短尾猴、亚洲黑熊、绿尾虹雉、雉鹑、大卫两栖甲以及被誉为“植物活化石”的珙桐等等。

与戴维关注一地不同的是，被称为“植物猎人”的E. H. 威尔逊则是各处游走。1903年6月，威尔逊登上大瓦山，4天的时间里，他采得须蕊铁线莲、瓦山安息香、宝兴马兜铃等数个新种；同年10月，威尔逊在峨眉山进行了3天的植物考察，采集了40多种蕨类标本。

距离宝兴200公里的峨眉山更多浓雾与阴雨，是中国生物学家的“福地”。1904年6月18日，植物学家黄以仁先生在峨眉山采集到台湾相思树（*Acacia confusa* Merr.）标本，这是目前所知国人用于植物学研究最早采集的标本。

1933年，从英国爱丁堡大学植物系留学归来的方文培，来到了峨眉山。这里拥有完整的垂直植被带，最让其惊喜的是种类繁多的杜鹃，随季节和海拔的不同次第开放。

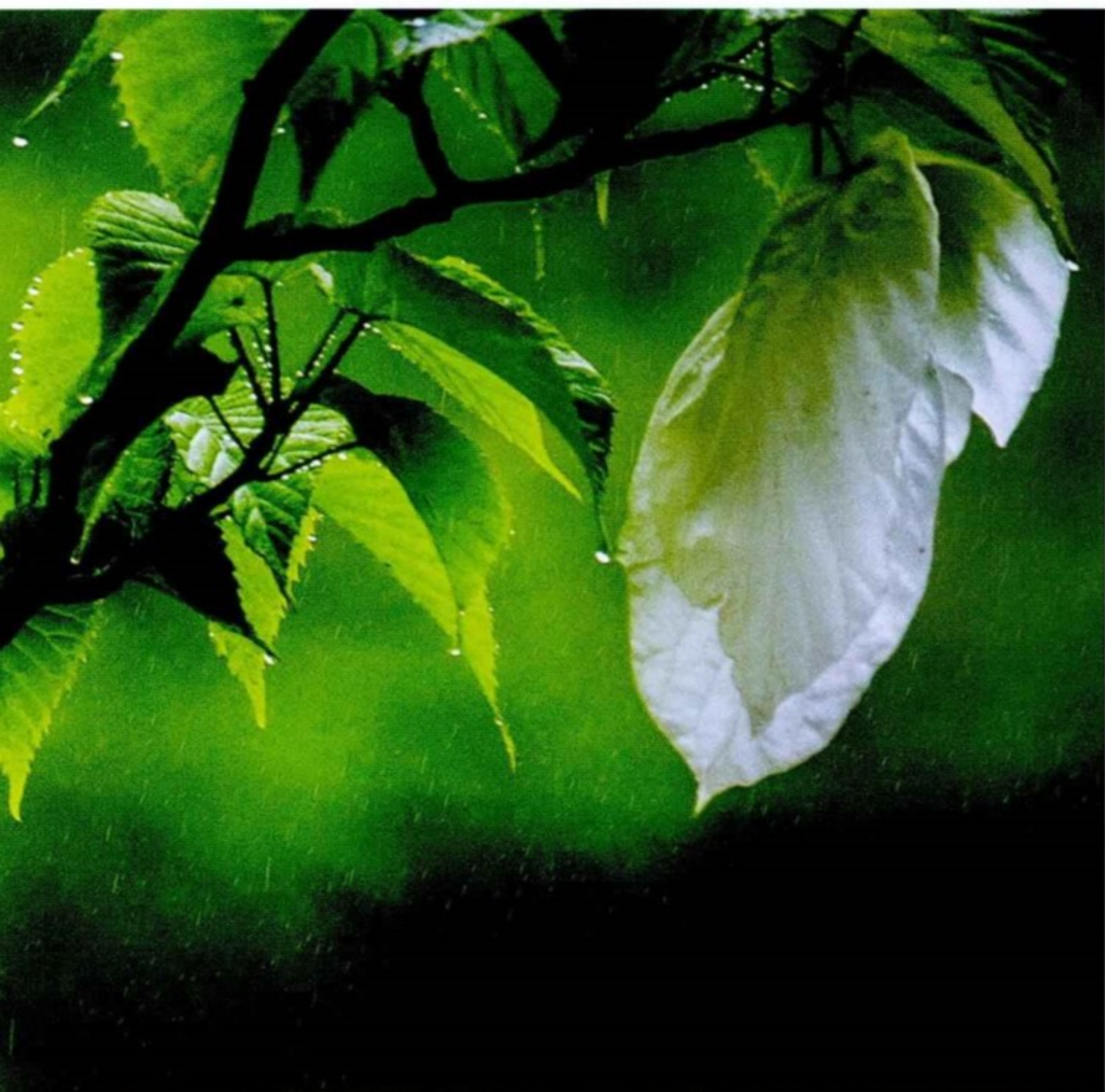
方文培在峨眉山开展了多年缜密专业的野外考察，不仅确定峨眉山至少有3000多种植物，而且从中选取有重要价值的植物及地区特有种共200种，编纂出版了汉英双语《峨眉山植物图志》。这部中国早期地区性的植物志代表作，实现了“中国人编写自己的植物志”的愿望。

庄平是中国科学院植物研究所研究员，1985年7月从北京调到四川省自然资源研究所（现四川省自然资源科学研究院）任职。他一直与华西雨屏带的植物打交道，一待就是8年。1987年5月，好友邬家林给正在峨眉



山的庄平带来一个意外惊喜：他和同事在野外找到了久违的峨眉拟单性木兰。庄平听闻兴奋不已，因为这种珍稀特有植物已经从人类视线中销声匿迹40多年，甚至当时有专家推测，它可能已经在原产地彻底灭绝。

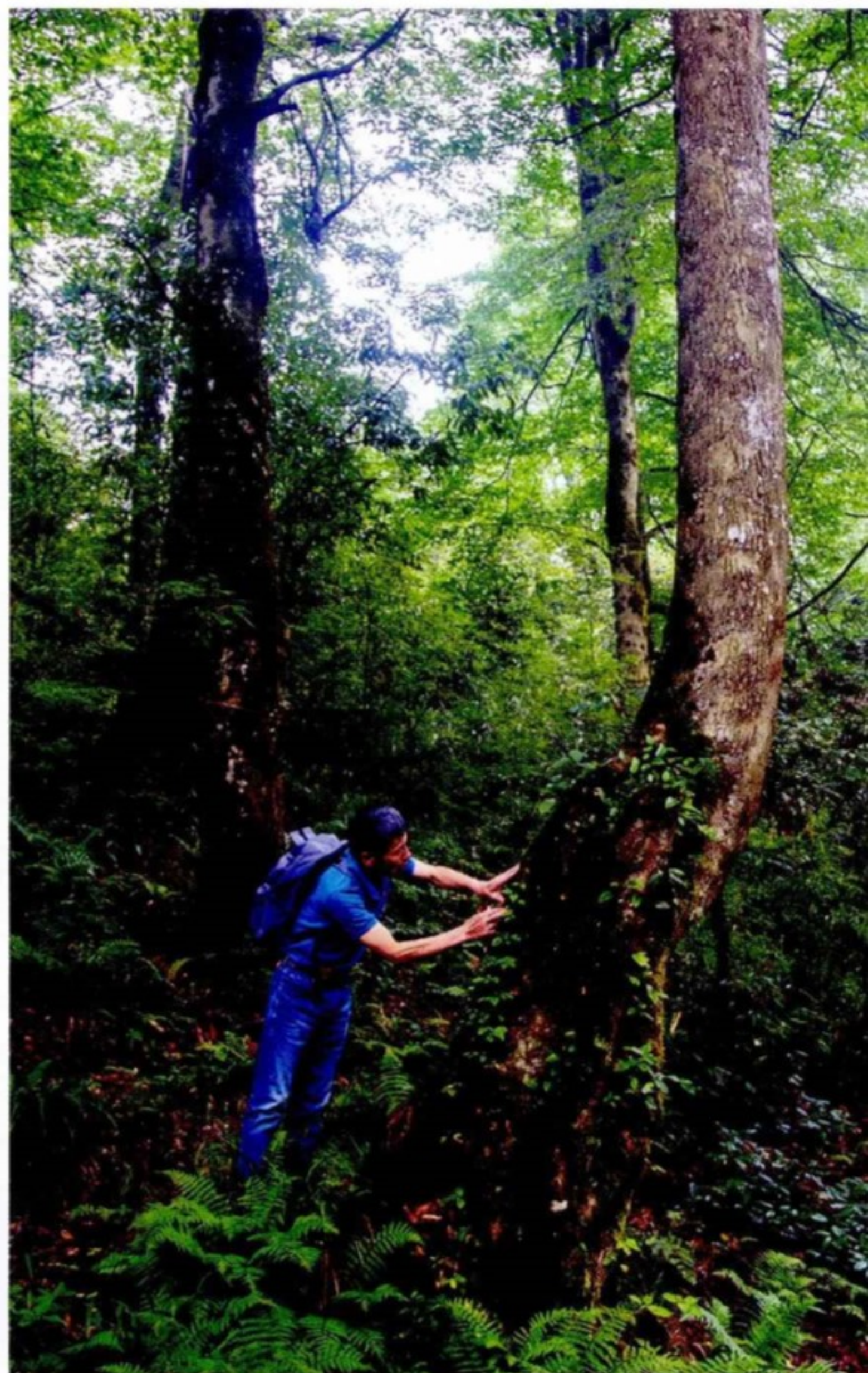
这是在我国植物学领域具有特殊意义的物种。1940年，植物学家郑万均先生在峨眉山采集到一份峨眉拟单性木兰的雄花枝标本。11年后，中国植物学前辈胡先骕与郑万钧共同建立了拟单性木兰属，这个属成为仅分布于我国华南和西南的一个特有属，而峨眉山作为其分布的北界，对研究木兰科的



方文培在峨眉山确定至少有3000多种植物，从中选取200种，编纂出版了汉英双语《峨眉山植物图志》，实现了“中国人编写自己的植物志”的愿望。

100多年来，华西雨屏带一直受到科学界的关注

地处华西雨屏带的瓦屋山，一直是博物学家、生物学家喜欢探索的区域。1908年，植物猎人威尔逊曾登上瓦屋山，并从这里寻找到多种珍稀植物；2009年，世界上最大的野生珙桐林在瓦屋山到大相岭一带被发现，经过样方测量有10万亩之多。上图为瓦屋山雨中的珙桐（摄影/尹霜林），右上图是中科院植物研究所研究员庄平，在一棵山毛榉科植物的树干上，观察苔藓和附生的蕨类植物（摄影/刘乾坤）。



系统演化具有不可替代的地位。

就像神秘的峨眉拟单性木兰一样，当年戴维发现并用他的名字命名的大卫两栖甲在消失多年后，也重新进入研究人员的视野。2014年，四川省林业和草原局野生动物保护站副站长顾海军是“宝兴县大卫两栖甲保护项目”的参与者。他说：“对于这种几乎已成传说的物种是否还能重现于世，一开始谁也不太确定。体型不足1厘米长的大卫两栖甲虫，是中国特有物种，宝兴的河流溪水边是它目前已知唯一的栖息地。”

除此之外，昆虫学家在峨眉山发现了中国最多的蝴蝶种类。我国约有蝴蝶2000多种，分布于峨眉山的有266种，比素有“蝴蝶天然乐园”之称的西双版纳还多34种。植物学家则认定这里是中国兰科植物分布最集中地区，已知47个属220多种，占全国150属的三分之一，其中中国特有种69种，峨眉山特有种48种——包括引人瞩目的峨

华西雨屏带另一最显著气质是云雾与屈指可数的日照，常年日照时数一般仅为900—1200小时，比同纬度地区整整少了600小时以上，是中国日照最少的区域之一。

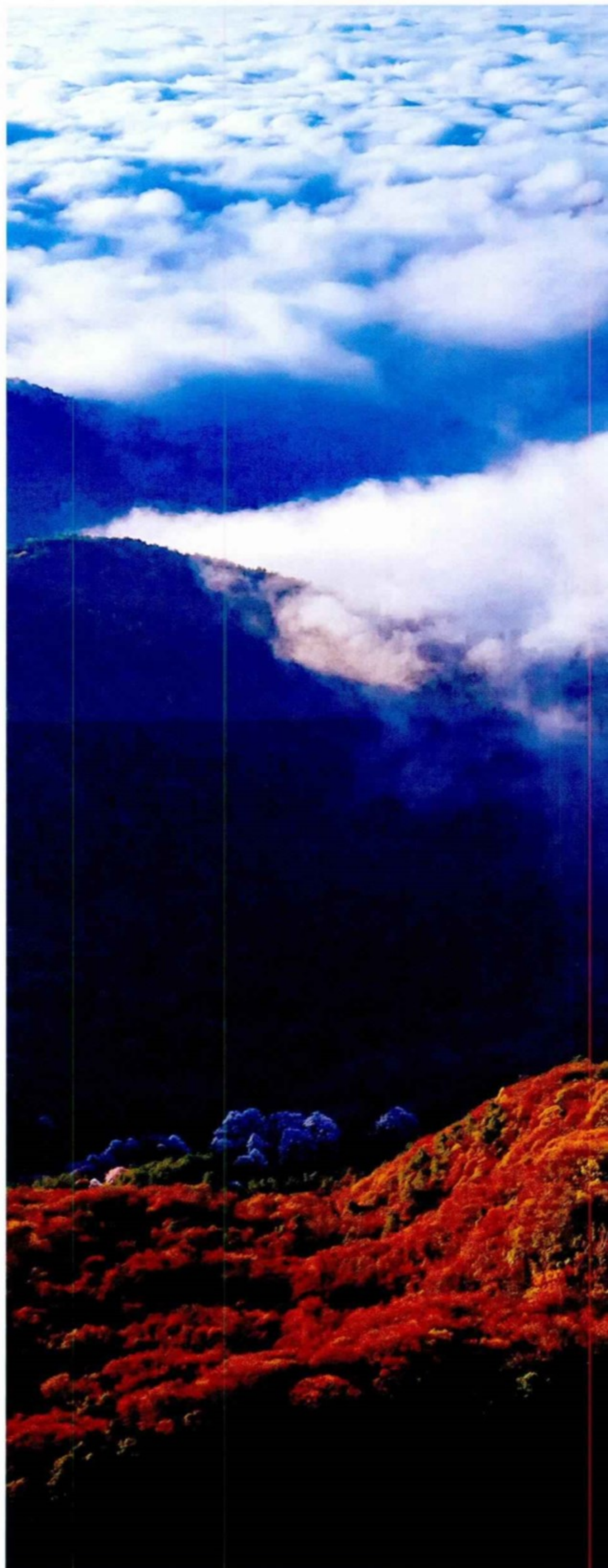
成片的辛夷花在华西雨屏带被发现

地处华西雨屏带北端的江油市藏王山是个极为隐秘的地方，在这里的沟谷中，每年春天会盛开成片的辛夷花。这些花的植株高达十余米，无人机从高空拍到的粉色树冠，便是辛夷花。同时，这里还是濒危珍稀植物距瓣尾囊草的保护区，也是大熊猫、川金丝猴、牛羚等珍稀动物的栖息地。摄影 / 邓崇刚

眉红门兰。许多颠覆性的发现与结论均源自华西雨屏带的山林间，特殊的气象条件使这里成为孕育生命的“秘密伊甸园”。

物种、特有种、珍稀种及其分布形式，均是被用来表示某一地区生物多样性的重要指标。从这个角度去审视华西雨屏带，它已经超出地理学与气象学的定义，即使仅从物种丰富程度上，它就堪称具有世界影响力的生物热点地区，而且这里还在源源不断地产生令人震惊的发现。这些被现代知识体系发现、描述并第一次呈现给世人的独特物种，赋予华西雨屏带生态学意义——世界重要的模式标本产地（生物学名词，在确定及发表某一群生物的学名时，应指出此学名的特征与作为分类概念标准的模式标本，这些用于命名的模式标本采集地点称为模式产地）。然而，华西雨屏带的面积仅占中国国土面积的0.26%。□

责任编辑 / 刘乾坤 康静 图片编辑 / 王彤 吴敬
版式设计 / 崔晓琳 地图编辑 / 王岩





生蚝

珍藏海水的滋味

一只肥美的生蚝从海水中走上餐桌，至少要经历2—3年的时光。它们每天都要过滤数百升含有各种浮游生物和有机碎屑的海水，直到将这片海域中的味道留在蚝肉中。因此，每片海域中的生蚝都有自身独特的滋味。中国是世界上的生蚝养殖大国，总产量居世界首位，南北海域的人们纷纷用各种烹调方式发掘着生蚝美食的精髓。



钦州市犀牛脚镇沙角村的渔民们正把刚从其他海域运来的大蚝放在浮排上进行吊养，浮排是用毛竹编制的，同时以泡沫浮子作为浮力来源，再以沉箱进行固定，可以漂浮在固定的海面上。这样的养殖方式被称为浮筏吊养，适宜于海水较深的海湾。这里位于北部湾大风江海域，大风江入海时带来了大量的营养物质，为近江牡蛎的生长提供了天然的食物来源。当地的海水品质在全国首屈一指，属于适宜海水养殖的一类水质，出产的钦州大蚝脆甜肥美，符合做刺身的标准。

摄影 / 吴国胜



撰文

摄影

林晓

黎彩弟 等

没有一个广东蚝民不是遍体的伤痕

初冬半夜，正值退潮时分，渔船的马达声穿破了深夜的寂静。腥咸的海风带着刺骨的寒冷，冻得刚从被窝里爬出来的蚝民瑟瑟发抖，他们正横七竖八地躺在甲板上休息。海上并非一片漆黑，清冷的月光笼罩着海面，也照在蚝民们黝黑的脸上。

广东省阳江市阳西县程村镇红光村是远近闻名的“蚝乡”。蚝民们热爱冬天，又害怕冬天。中秋过后到清明节之前，是品尝程村蚝的最佳时期。尤其是深冬的蚝肉最为肥美，当地流传着一句话：“冬至到清明，蚝肉肥晶晶”，经历过寒潮的生蚝为了积蓄过冬的能量，已经吃饱喝足变得肥硕，能卖出好价钱，但冬夜的寒冷也令人生畏。

每个蚝民都需要掌握潮汐的涨落时间，蚝排只在退潮时露出海面，蚝民要趁着涨、退潮的间隙起蚝，而一年中有将近一半的退潮时间都是在深夜，熬夜苦干已成为蚝民的家常便饭。

渔船缓慢地划过大片沐浴在月光中的红树林——这里属于洋边海红树林保护区，红树林为鱼虾、生蚝等海洋生物提供了优质的海水环境。当地的生蚝养殖区位于深入陆地的海湾，风浪较小，且有黄什河、西一河、织篴河等5条河流汇流于海，海水咸淡度适中，富含众多的单细胞藻类，十分适合中大蚝的育肥。

渔村里80%的村民都从事与生蚝相关的产业。当地养蚝的历史长达数百年，养蚝技艺代代相传又历经变革，养蚝渐成该村的



撬开蚝壳，嘴唇抵住蚝壳边缘，轻轻吮吸，舌尖触及蚝肉，柔软多汁，嗖地一下，丰富肥美的蚝肉进入口腔，绵密得宛若一个法式深吻。——安东尼·伯尔顿《厨师机密》



肥美的蚝肉呈乳白色，营养丰富，也被称为“海洋牛奶”

右上图中，正是生蚝的收获季节，程村镇的生蚝批发市场上呈现出一片繁忙的景象。在这个市场上不只能买到广东省各地的生蚝，还能买到广西甚至越南的生蚝。渔民们正忙着处理刚从全国各地运来的蚝绳，他们需要将原本用水泥粘在蚝绳上的生蚝一块块凿开。卖生蚝的女孩名叫陈南儒，她主要负责做生蚝的线上销售，在抖音上收获了许多粉丝。左图中，蚝民撬开成熟的生蚝（摄影/曾开宏），乳白色的蚝肉完全裸露在阳光下，饱满的肉体铺满了整个蚝壳，像是即将要汩汩流出的牛奶，使人忍不住想要一口吞下。



支柱产业。村民谢汝细家中六代都是养蚝人，他告诉我，老一辈蚝民养蚝，是将石头投入海中，让海水中的蚝苗自然依附在石头上生长，寒冬劳作时要在水中站好几个小时，有时甚至需要潜水起蚝，出水时冻得全身僵硬，连湿衣服都脱不下来。后来才开始搭建蚝棚，用绳索吊养的方式养蚝，操作更加轻松方便。

缥缈的月光中，海上遍布退潮后露出水面的蚝排。一根根长达5米以上的木桩被深深地扎入海底，数根圆竹被捆绑在木桩上，呈方格状横放在海面上，横放的竹竿下面每间隔50厘米就吊着一根尼龙绳，蚝苗是一对对背靠背地用水泥粘在绳索上的，一根蚝绳大约能粘9对18只生蚝，看上去像是一串串浸没在海水中的葡萄藤。也有蚝排被绑在泡沫箱上，无论涨退潮都始终浮在水面上，被称为“浮排”。

借着月光和波光，蚝民下船开始劳作。海上寒风四起，蚝民们站在纤细的圆竹上，将水里的蚝绳拉出来，仔细查看后扔在船上。站在不足一个脚掌宽的圆竹上工作，仿佛表演杂技，稍有不慎便会跌进海里，而水下都是尖锐的蚝壳，像是埋藏在海中的尖刀，随时会划伤裸露的肌肤。“没有一个蚝民不是遍体的伤痕。”蚝民告诉我。

生蚝一开始在河口的咸淡水区域中生长，在收获上市之前还要放在咸水区进行育肥，在每年的繁殖期和收获季还需要将蚝绳取出来挪动到盐度不同的海域，蚝民们把给生蚝搬家叫做“走鬼”。蚝民们期盼下雨，雨水能促使生蚝更快地排卵，顺利地过渡到收获季。如果因不下雨导致海水过咸，处于繁殖期的生蚝很有可能因排不出卵而憋死。“养蚝就是看天吃饭的手艺。”蚝民感叹道。

明末清初的诗人屈大均在《广东新语》

中描写过蚝民们冬季收蚝，出没于风波之中的艰辛场景：“冬月真珠蚝更多，渔姑争唱打蚝歌。纷纷龙穴洲边去，半湿云鬓在白波。”

中国是全球生蚝养殖大国，总产量居世界首位

用特制的开蚝刀撬开蚝壳，乳白色的蚝肉已经铺满到蚝壳的边缘，饱满得像是即将汩汩溢出的乳汁，颤巍巍的鲜嫩蚝肉令生活在广东的资深生蚝美食专家陈汉宗不由得喉头上下涌动。他钻研出了一百多种生蚝的吃法，人称“蚝爷”。他建议我先尝试“冰镇生蚝”，即挑选最肥美的生蚝直接下水清蒸，再冰镇之后食用。此时的蚝肉熟透了，但却极具“生吃”的口感。

当我咬破蛋清般的嫩滑蚝肚，丰富的汁液从生蚝体内喷薄而出，在口腔中肆意激荡，像海潮一般淹没了我的味蕾，似乎要在我的口中重现那片盈满月光的海。就算咽下很久，那种腥咸的气息依然久久不退，仿佛那穿梭在红树林中的海风，仍然在不知疲惫地吹拂着我的唇齿。学着像蚝爷一样，再轻啜一口冰凉酸甜的白葡萄酒，清凉的果香带走了海的黏腻，只留下蚝肉的鲜甜余韵。

生蚝，学名为牡蛎，是我国主要的养殖经济贝类之一，在中国南北沿海均有分布。目前在全世界主要的生蚝养殖国中，中国的

南方海域的牡蛎产值远超于北方

下图中蚝民们将成品生蚝从海水中拉出来，准备运到岸上进行销售（摄影 / 魏山国）。右下图表反映了全国各生蚝养殖大省在2018年的总产量，可以看出来排名前三的分别是：福建、广东、山东三省，而福建和两广地区的牡蛎总产量占据全国的70%，南方海域的牡蛎产值远超于北方。而据研究者调查，全国市场上销售最好的生蚝也来自于两广地区。



中国是世界上最大的生蚝养殖国，年养殖总产量约占世界总产量的80%—90%，漫长的海岸线遍布生蚝养殖区，每片海域的生蚝都有自己独特的风味。

牡蛎具有强大的水质净化及碳汇等生态功能，如合理控制养殖密度将能发挥其改善环境的作用



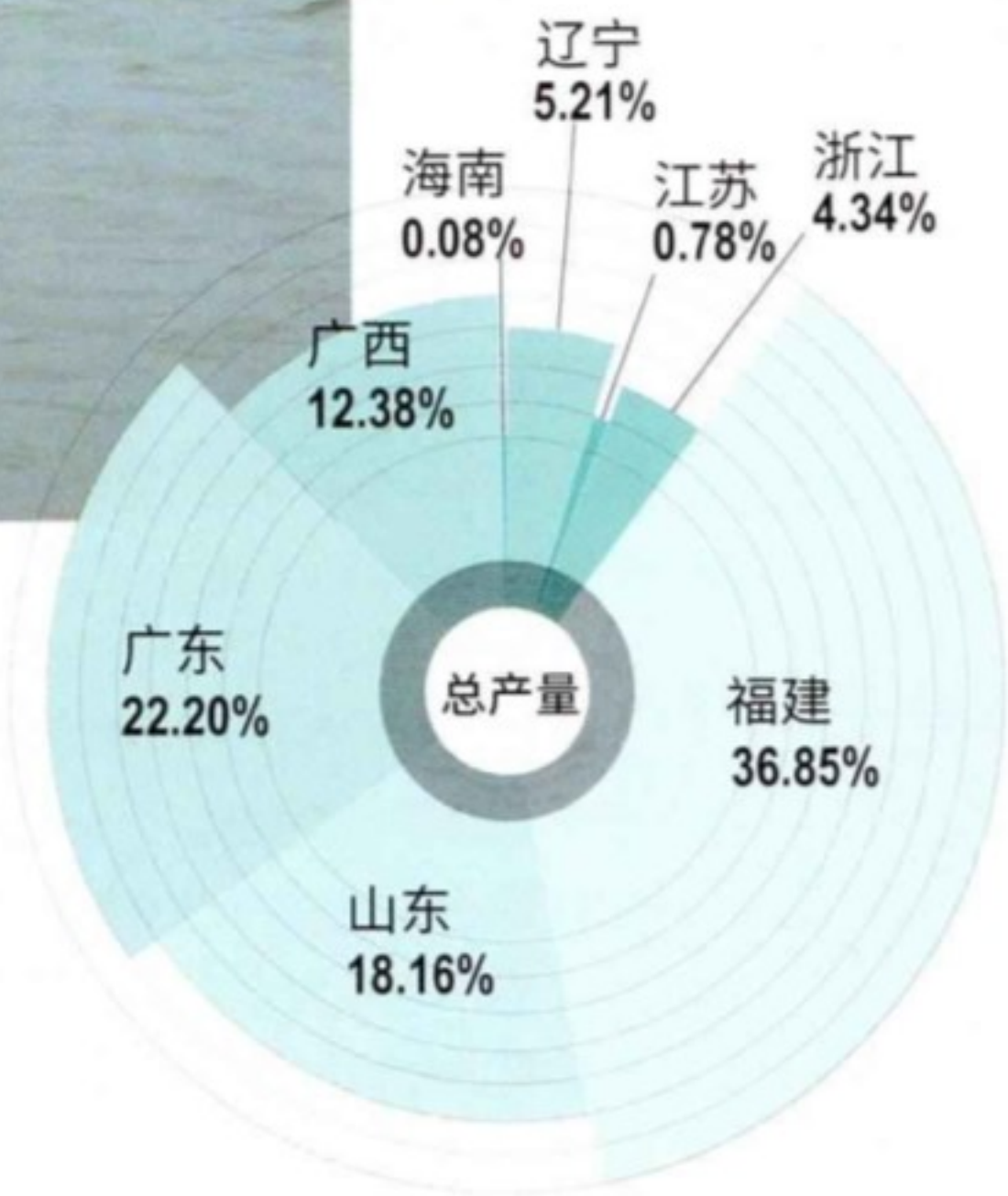
张跃环

中国科学院
南海海洋研究所
海洋动物遗传学
与分子生物学研究组
副研究员

绘图 / 郭鼎一

牡蛎是全世界产量最高的一种经济贝类，它除了为人们的餐桌提供美味和营养来源以外，还有着很多重要的生态功能。牡蛎以鳃滤食海水中的浮游单胞藻、有机质、碎屑等为食，在滤食过程的同时，也过滤了海水中的悬浮物和污染物，一只成体牡蛎每天可以过滤150—200升海水，由于其强大的滤水功能，牡蛎也被称为活体海水过滤器，具有净化水质、减少赤潮爆发等生态功能。因此包括我国在内，全世界有很多科学家正在尝试以牡蛎作为活体过滤器，来净化被污染的水域环境。

同时，牡蛎的贝壳在生长过程中，需要利用海水中的二氧化碳和钙元素，形成碳酸钙成壳。所以牡蛎养殖还具有强大的碳汇功能，是一种环境友好型的碳汇渔业。据统计，全球每年600万吨左右的牡蛎生产总量，可以固定324万吨海洋中的二氧化碳，相当于12.96万棵拥有50龄的大树每年对大气中二氧化碳的吸收量。由此可见，牡蛎不仅仅是一种美食，还是环境保护的践行者。但是，牡蛎在养殖密度上还需要考虑当地水体的生态承载力以及海区自净能力，如果养殖密度过高反而会适得其反。选择合适的生蚝品种，在合理的牧养密度下，因地制宜地采用合理的养殖方式，不只有利于生蚝产业的健康发展，也有利于养殖海域的环境改善。



2018年中国生蚝养殖大省牡蛎（蚝）产量
资料来源：2019 中国渔业统计年鉴

养殖总产量所占份额最大，尤其是在近10年以来，中国的生蚝养殖总产量呈上升趋势，一直保持在500万吨以上，大约占世界总产量的80%—90%。生蚝的名称在各地也有不同，有着“南蚝北蛎”的说法。两广人称牡蛎为“蚝”；闽南、台湾人将其称为“蚵仔”；而在山东半岛、辽东半岛它又有“石蛎”、“海蛎子”之称；浙北的沿海城市又称之为“蛎蝗”。

收获季节的生蚝肉肥滑嫩爽，含有丰富的优质蛋白质、糖原、微量元素，以富含锌、硒和牛磺酸而著称。同时，因其成熟的



明末清初的诗人屈大均在《广东新语》中描写蚝民们的劳作场景：“冬月真珠蚝更多，渔姑争唱打蚝歌。纷纷龙穴洲边去，半湿云鬓在白波。”

肉体呈乳白色，也被称为“海洋牛奶”。

中国南北沿海主要养殖的牡蛎种类分为四种，分布区域各有不同：长牡蛎，也被称为太平洋牡蛎、真牡蛎，喜好高盐低温环境，主要分布在辽宁、山东等长江口以北的黄渤海；葡萄牙牡蛎，也被称为福建牡蛎、僧帽牡蛎，喜好高温高盐环境，是福建省的主要养殖品种；香港巨牡蛎，也被称为香港牡蛎、白蚝，喜好高温低盐环境，主要分布在福建以南海域，为两广地区及东南亚国家

**海面上蚝排密布，
蚝农们因地制宜采用不同的方式养殖生蚝**

中国北到鸭绿江，南到海南岛的漫长海岸线上遍布生蚝养殖场，蚝农们因地制宜采用不同的方式养殖生蚝。上图中，在广西钦州市犀牛脚镇平山村的滩涂上，密密麻麻地插着水泥蚝柱，水泥蚝柱顺着潮流方向排列，牡蛎都寄生在蚝柱上，这种养殖方式叫做“滩涂插养”，退潮后平时没入海中的蚝柱都露出了尖，蚝农们趁机到养殖区域采收大蚝（摄影 / 刘世旭）。右图中，平静的海面上蚝排密布，像是一片片海上的农田。这是广东省湛江市通明海一带的内海湾，咸淡水交汇的海域培育出了驰名全国的湛江生蚝。当地用浮筏养殖和沉排养殖两种方式进行养殖（摄影 / 彭镇强）。



的主养品种；近江牡蛎，在民间被称为红蚝，广布于中国南北沿海的河口区域，喜好低盐环境。

两广地区是牡蛎养殖的大省，以养殖香港牡蛎为主，河口地区也有近江牡蛎的养殖。广东的海岸线极为曲折，形成了大小不同的海湾五百多个，拥有宽阔的浅海滩涂，同时处于亚热带气候区，气候温和，降水丰富，非常适合生蚝的生长。尤其以江门、阳江、湛江、珠海、汕尾和汕头的生蚝最为知名，远销到全国各地。

而广西更是占据了生蚝养殖的天时地利，沿海有南流江口、大风江口、钦州湾内龙门七十二泾、茅岭江口、北仑河口等淡水河口且流量较大，河口海区咸淡水交汇，再加上沿岸红树林滩涂广布，海水水质优良，给牡蛎提供了良好的栖息地。

品尝生蚝,等于体验这个地区的海

一只肥美的生蚝从蚝苗开始到走上餐桌，大致需要两年到三年的时间。生蚝主要以海中单细胞浮游生物和有机碎屑为食，尤其喜食浮游硅藻。牡蛎的食欲尤其旺盛，一只成体生蚝，每天至少能滤食150—200升含有各种浮游微生物的海水，直到将这片海域的精华特质留在蚝肉中。因此有人说，“品尝生蚝，等于体验这个地区的海”。

广东海洋大学食品科技学院的秦小明团队曾经做过一个有趣的实验，他们在2019年4月—5月期间分别于广西壮族自治区钦州市茅尾海、广东省湛江市太平镇、阳江市程村镇、汕头市等四处不同海域采集了同一种香港牡蛎的标本，将牡蛎肉洗净打浆后用专业仪器对其营养成分进行测评，发现钦州





不加任何调料，将生蚝带壳放入蒸锅中直接清蒸，是目前较为大众的家常做法。蒸熟后掰开蚝壳将整个蚝肉直接吞下，最能体味到蚝肉本身的鲜甜。

**冰凉的白酒冲淡了生蚝那微微的金属味道，只剩下
海鲜味和多汁的嫩肉。我吸着生蚝壳里冷凉的汁液，
再借畅快的酒劲冲下胃里，那股空虚的感觉消失了，
我又愉快起来。——海明威《流动的盛宴》**

下图中，服务员端着用龙虾、冰镇生蚝、秘浸金蚝制作的大拼盆穿梭在人头攒动的餐厅中。摄影 / 王宁



上图中，厨师正在用小火烤制金蚝，生晒了十余天的鲜蚝由乳白色变成紫金色，因此也被称为“金蚝”，将金蚝再置入禾秆草谷物中进行发酵，令金蚝逐渐有了溏心的口感。油光闪闪的金蚝在烤制后散发出更加浓郁的咸香。摄影 / 王宁

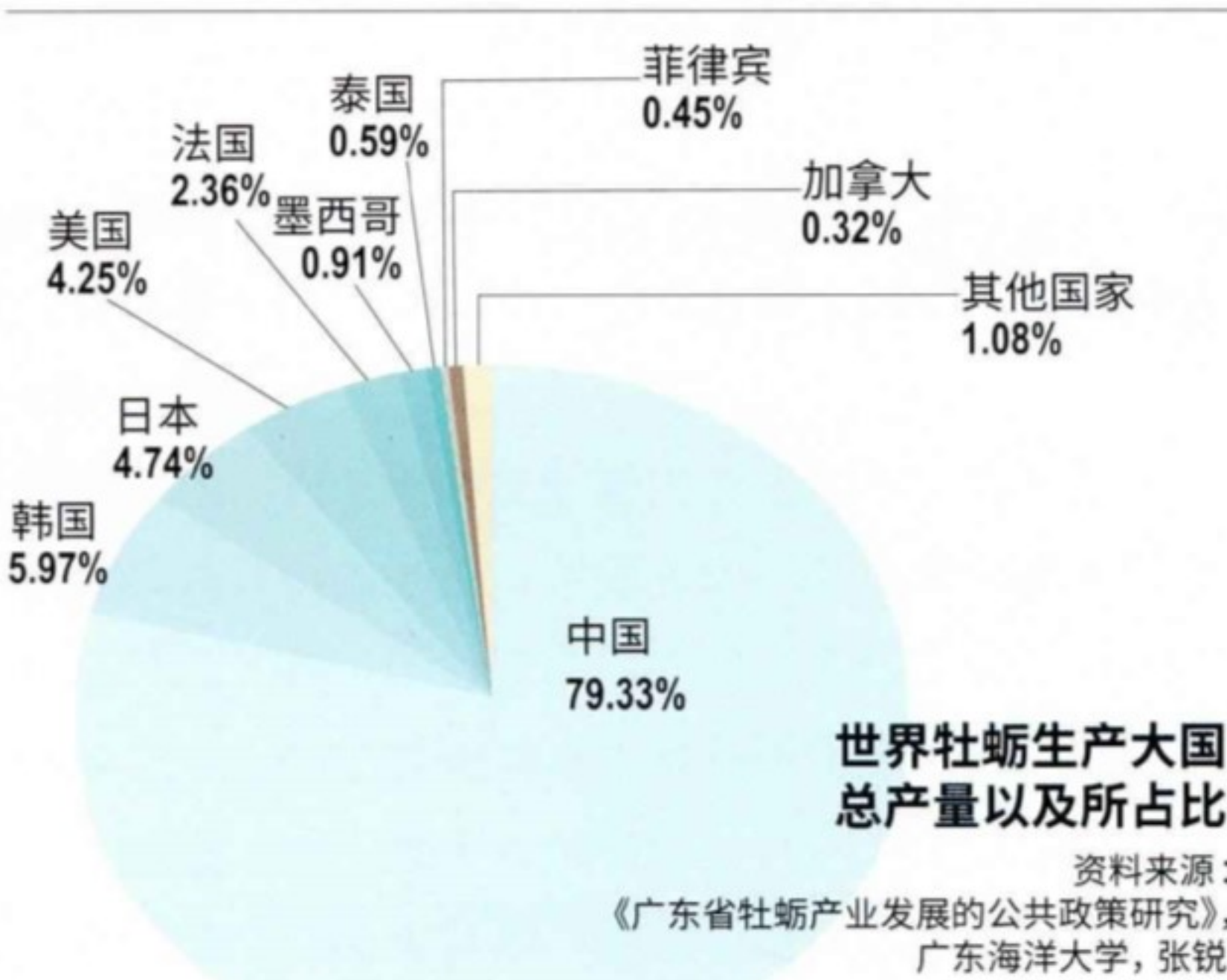
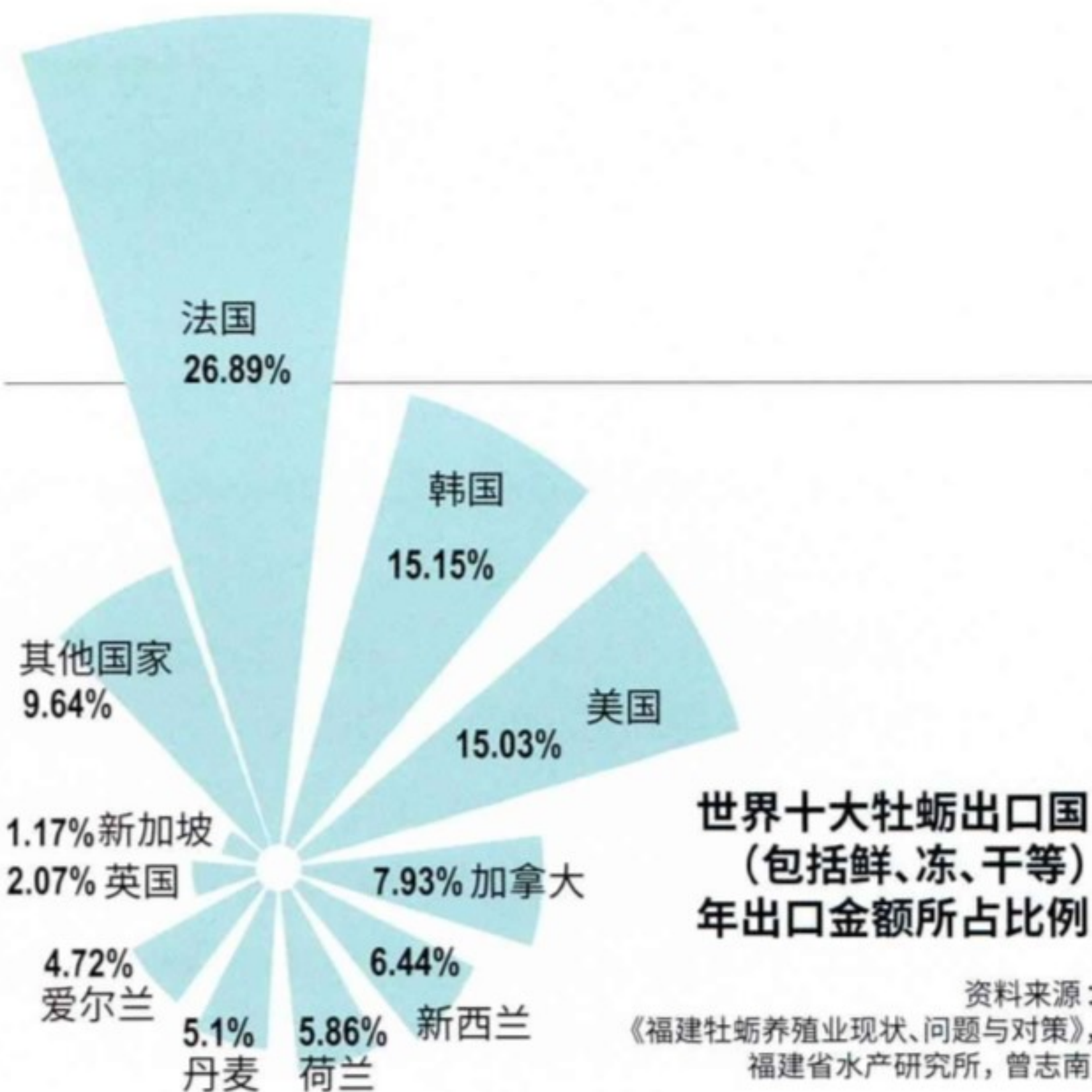
蚝的蛋白质和牛磺酸含量最高，程村蚝的糖原表现最为出色，相比其他海域的蚝更加鲜甜，而湛江蚝的甜菜碱含量更为突出，更加饱满多汁；汕头蚝的脂肪含量较高，色泽显得更加洁白。

这就说明，虽是同一种牡蛎，但因生长海域的盐度、湿度和饵料种类组成的不同，牡蛎体内的生化成分差异较大。也就是说，每片海域的蚝都有自身独特的风味。

同时他们还发现，牡蛎的主要营养成分呈现出明显的季节性变化，牡蛎在进入夏季之后产卵，产卵之后的生蚝会变得很虚弱，口感和风味较差。因此不同海域的牡蛎拥有不同的排卵期，而最佳品尝时期也会因为排卵期和海域的不同发生变化。比如，两广地区的香港牡蛎从10月到春节前后风味最佳；但品尝北方海域的生蚝则需在12月到清明节之前，而福建牡蛎的最佳品尝时期则稍微早些，在4月到8月之间。但是，近年来中国科学院南海海洋研究所喻子牛研究员团队新培育的太平洋牡蛎三倍体品种弥补了国内夏季生蚝市场的不足，这是一种人工培育出来的拥有三套染色体的牡蛎，具有无法繁育后代的特质，因为没有排卵期所以不会出现季节性的风味变化，全年保持肉质肥美，与传统的太平洋二倍体牡蛎相比还更能凸显“高蛋白、低脂肪”的营养优势，使得我们的夏季餐桌上也能出现肥蚝。

中国科学院南海海洋研究所副研究员张跃环研究牡蛎养殖育种多年，他告诉我，不同品种的生蚝口感也会有明显的变化。国内消费者最喜欢的是两广地区的蚝，其次是山东蚝，再次是福建蚝。北方地区的蚝一般来说口感比较爽脆和清淡，而南方生蚝的口感更加复杂。

夜幕降临，走进北京三元桥附近的一家



日料餐厅，南来北往的贝类都在此汇聚。在这家餐厅中能吃到的生蚝大都来自渤海湾和山东半岛附近的产地，而南方蚝则以湛江生蚝为主。店主瓢哥钻研生蚝食材多年，对于生蚝品质的好坏，瓢哥有一双“火眼金睛”：先是看蚝肉够不够肥，再切开看生蚝胃里的藻类是否有异味，还要看鳃的颜色。一般来说，水质好的海域中生长的蚝鳃是白灰色的，但靠近黄河口一带的北方蚝鳃却带有淡黄色，入口后舌尖甚至能感受到极其细微的颗粒感，咀嚼时甚至能听到摩擦音。

多年以来研究蚝类的烹调，瓢哥练就了极为刁钻的味觉。他发现在渤海湾与黄海的分界线内外，即以辽东半岛的尖端旅顺老铁

山角和山东蓬莱田横山之间的连线为界，北方蚝的口感有着泾渭分明的区别。在分界线以西的渤海湾内出产的生蚝略带淡淡的淤泥味；而在分界线以东，靠近黄海的产区，生蚝却带有清新的西瓜皮味，比如大连湾牡蛎和山东乳山牡蛎，这也是在店内最受欢迎的两种生蚝。生蚝风味的变化与海水水质密切相连，渤海湾属于内海，缺少洋流的交换，水体含氧量较低；而靠近黄海的产区水质却相对新鲜，造就了生蚝口感的变化。

中外大文豪的餐桌上， 生蚝是从不缺席的嘉宾

千百年来，中国人对生蚝美食精髓的发掘可谓淋漓尽致。长江以北地区，山东的海蛎小豆腐，辽宁沿海的萝卜丝海蛎包子、炸蛎黄，每个地区都拿出看家本事将蚝做出各种花样。而长江以南对蚝的痴迷更不逊于北方，蚝烙、蚵仔煎、炭烤生蚝，都是人尽皆知的美味。最近年轻人流行吃“桑拿蚝”，木桶里装一打白嫩的蚝肉铺在荷叶和佛手瓜上，蒸制几分钟后开锅，吹弹可破的肉体里，丰富的汁液变成半乳状，像是给舌尖上裹了一层奶油。

新鲜生蚝不易保存，广东的气候温暖潮湿，为了让生蚝储存得更久，人们将蚝肉拿到阳光下晾晒，晒干后的蚝肉被称为“蚝豉”。逢年过节，老一辈的广东人都会做一道“发菜蚝豉”，寓意为“发财好事”。“蚝豉”分为生晒和熟晒，生晒是指将新鲜生蚝直接放在阳光下晾晒，而熟晒指将煮熟后的生蚝进行晾晒。

而蚝爷在做菜时一直坚持使用“生晒”的蚝豉。冬至来临前后，新鲜生蚝大量上市，而阳光有着恰到好处的柔和，不会太晒

也不至于太阴冷，这是制作“蚝豉”最好的时候。如果阳光太晒的话，生蚝还会爆油。每到此时，蚝爷会亲自到市场里挑选个头较大的生蚝，放到网架上晾晒。他的晒蚝场上，生蚝的颜色从灰白、浅黄、金黄，最后变成赤金色、紫红色、紫金色。蚝爷根据蚝豉晾晒时间的不同，研究出不同的菜肴。刚晒了十几个小时的蚝豉是淡黄色的，体内的水分并未完全流失，但肉质却更加紧实，可以用来制作秘浸金蚝。晒到半干时，最好用来迅速清煎，咬下去，外脆里嫩有如软糖。晒足十几天的蚝豉呈紫金色，外表裹着薄薄的油分，肉质柔韧而有弹性，此时的蚝豉被称为“足干金蚝”，蚝爷常用来制作“云腿蒸金蚝王”。在蚝豉中塞一片宣威火腿，金蚝浓郁的咸鲜味和火腿在蒸汽中相互融合，入口后释放出无与伦比的甘香。

如果你是渔民看重的客人，他们会拿出家藏的“蚝汁”款待你。别看就是一小碟酱色的稠汁，这可来之不易，通常只有过年时会做，过程耗时耗力，需要用新鲜蚝肉慢火烹煮48小时以上，直到浓白的蚝汤变成酱色浓汁，100斤鲜蚝只能煮出2斤蚝汁，蚝汁成为激发粤菜师傅们灵感的上好调料。

在中外大文豪的餐桌上，生蚝是从不缺席的嘉宾。那洁白如玉的肉体中绽放的微妙味道被莫泊桑、海明威反复描写。生蚝的鲜美还慰藉了被流放到海南的“老饕”苏东坡，他还曾在品尝生蚝之后，喜不自胜地创作了《食蚝》一文。在文中，他叮嘱其幼子不要让北方人知道蚝肉之美，担心众多北方的士大夫为了品尝生蚝美味而争先要求被贬谪到海南，跟他抢食美味的生蚝。

虽然我国是世界上最大的生蚝生产国，但论出口量却在国际市场上很难进入前十名，生蚝主要为内销产品。在全球的生蚝出





口国中，法国、美国、韩国、加拿大等国家的产量虽然不比我国，但是出口量却远大于我国。张跃环副研究员告诉我，这主要是由于中外采取不同的养殖模式导致的，国内主要采取高密度、集约化的养殖模式，其出口价值不高，在高端生蚝产品的制作上相对欠缺。而国外生蚝大都采用单体、低密度的养殖模式，对养殖流程把控极为严格，以产出高端的生食产品为主。因此，我国在提高牡蛎养殖规模的同时，还需要对牡蛎的品质性状进行改良，生产出高质牡蛎产品，才能开拓更加广阔的市场空间。□

冬季的阳光和北风， 将新鲜生蚝变为能储存更久的蚝豉

深圳的某个晒蚝场上，一大片金黄色的蚝豉在冬天柔和的阳光下闪耀着漂亮的色泽。乳白色的新鲜生蚝在阳光和北风共同的作用下，会逐渐变成灰白色、浅黄色、金黄色，最后还会变成赤金色、紫红色、紫金色。晒干后的生蚝被称为“蚝豉”，蚝豉的发明不只令生蚝可以保存更长的时间，还不会削减生蚝本身的鲜咸口感。广东人利用晒干蚝豉制作各种美味佳肴。

摄影 / 龚碧艳

审稿专家 / 张跃环 中国科学院南海海洋研究所
海洋动物遗传学与分子生物学研究组副研究员
责任编辑 / 袁玥 图片编辑 / 马宏杰
版式设计 / 崔晓琳 地图编辑 / 王岩

四大特权

成为杂志社会员

获得当年期刊之外再享

此图为示意图
礼品请以实物为准

1. 甘肃张掖七彩丹霞景区 门票
张掖色彩艳丽的山坡上，
好像上帝把颜料挤出来，
流淌一地。

2. 浙江良渚古城遗址公园 门票
印证了中华文明是人类历史上
唯一——一个绵延 5000 多年
至今未曾中断的灿烂文明。

3. 青海茫崖艾肯泉景区 观景台门票
从空中俯瞰，仿佛一只藏在青海的“大地之眼”。

4. 海南东寨港红树林自然保护区
景区门票（既游船票）2 折优惠福利
中国“最典型、最具代表性、资源最丰富、
红树植物种类最多”的红树林。



2021年《中国国家地理》、《中华遗产》杂志会员礼品 「畅游中国」2021年臻选景区会员礼品



此图为示意图
礼品请以实物为准

2021年《博物》杂志会员礼品 《博物绘》涂色本

礼品赠送截止时间：

2020 年 12 月 31 日；礼品将随 2021 年 1 月刊一同邮寄。

- ◆获赠一份精美礼品
- ◆在杂志社直营店购书享受会员价
- ◆免费参加《中国国家地理》大讲堂
- ◆有机会参加杂志社组织的科考活动

2021年

会员招募

中国国家地理+博物+中华遗产

会员热线：4006-521-360

杂志会员价

《中国国家地理》	一年会员 360 元
《中国国家地理》	三年会员 980 元 (原价1080元)
《博物》	一年会员 180 元
《博物》	三年会员 510 元 (原价540元)
《中华遗产》	一年会员 360 元
《中华遗产》	三年会员 980 元 (原价1080元)
《中国国家地理》+《博物》	一年会员 480 元 (原价540元)
《中国国家地理》+《中华遗产》	一年会员 640 元 (原价720元)

推荐

《中国国家地理》+《博物》+《中华遗产》
一年会员 810 元 (原价900元)

交纳会费方式

方式一：网购（支付宝/网银/微信）

1. 地理商城 <http://store.dili360.com>
2. 淘宝旗舰店 <http://zhongguoguojiadili.tmall.com>
3. 中国国家地理微店 <https://h5.youzan.com/v2/tag/sqa8z452>

方式二：银行转账

账号：110060210010149195002
开户行：交通银行北京分行亚运村支行
开户名：《中国国家地理》杂志社

为便于我们更好地为您服务，请把转账凭证
及收件人的联系方式和所购产品信息
一起传真至 010-64859755

方式三：邮政商务汇款

商户客户号：111300308
商户客户名称：《中国国家地理》杂志社



手机淘宝扫描



微信扫描

天猫 12.12

双十二全店图书 5折起
满300再减40



手机扫描二维码
进入活动页面

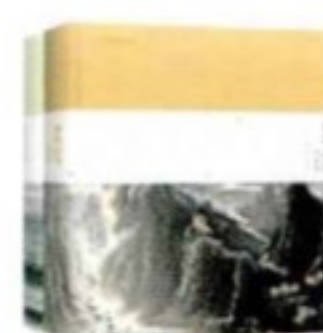
中国国家地理天猫旗舰店



《了不起的科学第1辑》
定价 ¥ 196.8 元
双12价 ¥ 98.4 元



《给孩子的世界地理大数据》
定价 ¥ 198 元
双12价 ¥ 99 元



《唐宋词选 豪放派+婉约派》
定价 ¥ 176 元
双12价 ¥ 88 元



《了不起的科学第2辑》
定价 ¥ 196.8 元
双12价 ¥ 98.4 元



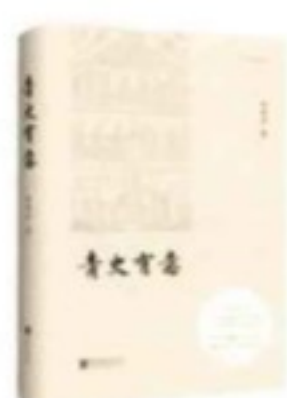
《千家诗选》
定价 ¥ 88 元
双12价 ¥ 44 元



《我们要去大自然了》
定价 ¥ 68 元
双12价 ¥ 34 元



《了不起的科学第3辑》
定价 ¥ 196.8 元
双12价 ¥ 98.4 元



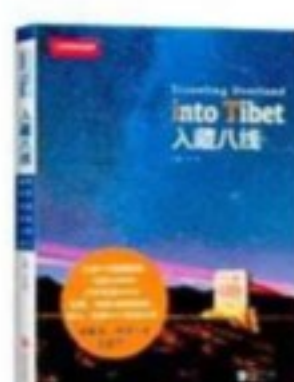
《青史有意》
定价 ¥ 68 元
双12价 ¥ 34 元



《消失的动物》
定价 ¥ 98 元
双12价 ¥ 49 元



《博物少年科普精选》
定价 ¥ 198 元
双12价 ¥ 99 元



《入藏八线》
定价 ¥ 68 元
双12价 ¥ 34 元



《东北专辑》
定价 ¥ 68 元
双12价 ¥ 34 元



《楚辞选》
定价 ¥ 88 元
双12价 ¥ 44 元



《山水田园诗选》
定价 ¥ 88 元
双12价 ¥ 44 元



《西藏专辑》
定价 ¥ 68 元
双12价 ¥ 34 元



《传奇中的大唐》
定价 ¥ 58 元
双12价 ¥ 29 元



《声律启蒙》
定价 ¥ 88 元
双12价 ¥ 44 元



《选美中国》
定价 ¥ 98 元
双12价 ¥ 49 元



《发现广东》
定价 ¥ 88 元
双12价 ¥ 44 元



《诗经选》
定价 ¥ 88 元
双12价 ¥ 44 元



《选美中国合集》
定价 ¥ 299 元
双12价 ¥ 149.5 元



《发现内蒙古》
定价 ¥ 78 元
双12价 ¥ 39 元



《谁能吃掉谁：中国特辑》
定价 ¥ 79.2 元
双12价 ¥ 39.6 元



《雨林野疯狂》
定价 ¥ 78 元
双12价 ¥ 39 元



T-Cross途铠 驰城 无界

2021款 现已超值登场
售价11.49万元-15.99万元



全新德系精品城市SUV T-Cross途铠，以几何潮流设计，勾勒动感硬朗气质，领跑城市潮流；以高效动力，自在驾驭决逐前路的澎湃能力；以多维空间，满载年轻多元的世界；以数字科技，引燃年轻感官；以主被动安全，稳稳纵驰一路向前。T-Cross途铠，无可阻挡，纵情探索城市无界！



10.2英寸高清彩色液晶仪表



Beats音响系统配备
6扬声器带低音炮



9.2英寸高级智能多媒体
交互系统（带智能导航）



扫一扫预约试驾
前往经销商发现更多

svw-volkswagen.com

上汽大众
SAIC VOLKSWAGEN