

何晨晨,王振亭,王宗礼.利用 $^{14}\text{C}$ 测年法确定新月形沙丘移动速率[J].中国沙漠,2024,44(1):119-121.

# 利用 $^{14}\text{C}$ 测年法确定新月形沙丘移动速率

何晨晨<sup>1,2</sup>,王振亭<sup>1</sup>,王宗礼<sup>3</sup>

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院,甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学,北京 100049; 3.兰州大学 西部环境教育部重点实验室,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**在沙丘移动过程中,背风坡底部经常掩埋致死低矮沙生植物,而迎风坡坡脚则因风蚀而出露植物残体。通过 $^{14}\text{C}$ 测年法测定植物死亡时间,并根据沿沙丘移动方向从迎风坡坡脚至背风坡边缘的水平距离,即可计算沙丘在这段时间内的平均移动速率。据此,利用灌木植物木质茎残体作为测年材料,得到了民勤绿洲上风向外围区域内3个新月形沙丘的移动速率。通过与高分遥感影像解译结果对比,发现 $^{14}\text{C}$ 测年法能够成功确定新月形沙丘在数十年内的最大平均移动速率。

**关键词:**新月形沙丘;移动速率;植物残体; $^{14}\text{C}$ 测年

文章编号:1000-694X(2024)01-119-03

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00069

中图分类号:P597

文献标志码:A

## 0 引言

流动沙丘的移动方向和速率对理解风沙地貌演化过程与开展沙害防治至关重要。移动方向大致与起沙风的年合成方向相同。移动速率则受风速、沙丘尺寸、含水率、植被盖度、地形等多种因素影响,具体数值可从每年数十厘米到数十米。确定沙丘移动速率的方法包括走访当地居民、实地观测、遥感影像解译、年代测定等<sup>[1-3]</sup>。虽然通过插钎、水准仪、经纬仪、全站仪、地形扫描仪、无人机等开展实地观测能够获得最翔实可靠的沙丘形态变化与移动速率数据,但是费时费力。遥感影像解译是常见的沙丘形态-动力学研究方法,时空分辨率是其主要制约因素。目前,亚米级分辨率遥感影像可以给出较高精度的沙丘移动速率<sup>[4]</sup>。数十年及以上时间尺度的沙丘移动速率只能根据测年结果进行计算<sup>[3]</sup>。然而,风成沙丘沉积物中的测年材料非常有限。以石英和长石矿物为对象的释光测年技术已在沙漠第四纪领域得到广泛应用,可以给出风成沙开始埋藏的年龄,若进一步与沙丘构造探测技术相结合,即可得到沙丘移动速率。例如,这种方法得到了一个线形沙丘在过去1600年内的平均年移

动距离为0.12 m<sup>[5]</sup>。与释光测年相比, $^{14}\text{C}$ 测年法的原理与技术均更加成熟。这里,我们报道一个利用 $^{14}\text{C}$ 测年技术确定流动沙丘移动速率的案例研究。

## 1 研究方法

流动沙丘通过迎风坡吹蚀和背风坡堆积而实现移动。干旱与半干旱地区往往广泛分布着地带性沙旱生植物<sup>[6]</sup>。流动沙丘背风坡在前进过程中能够完全掩埋低矮植物致其死亡。如果植物死亡至完全分解的时间大于沙丘经过的时间,那么沙丘迎风坡底部必将出现保留在原地的植物残体。干旱、高温、霜冻等许多因素可导致植物死亡。如果植物残体仅出现在沙丘迎风坡底部和上风向一定范围内,而不在沙丘移动轨迹上的植物均正常生长,那么可以断定这些残体属于沙埋死亡的植物。图1为民勤绿洲外围新月形沙丘背风坡掩埋灌丛和迎风坡出露植物残体的现场照片。

新月形沙丘通常出现在沙源有限、风向单一的平坦区域。假设该类型沙丘的几何形态在移动过程中保持不变,即可根据沿移动方向从迎风坡坡脚至背风坡边缘的水平距离 $L$ 和植物死亡时间 $T_0$ ,计

收稿日期:2023-04-05; 改回日期:2023-06-29

资助项目:国家自然科学基金区域创新发展联合基金项目(U21A2001);国家自然科学基金面上项目(42371005)

作者简介:何晨晨(1994—),男,陕西咸阳人,博士研究生,主要从事风沙地貌与风沙工程研究。E-mail: hechenchen22@mails.ucas.ac.cn

通信作者:王振亭(E-mail: ztwang@lzb.ac.cn)

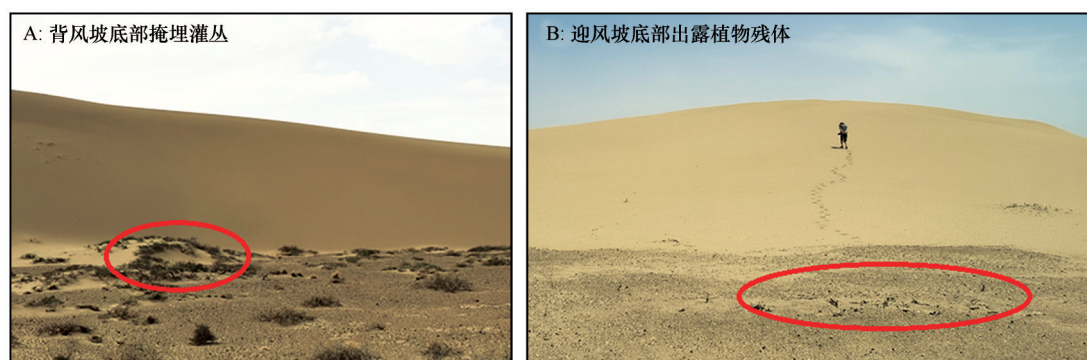


图1 流动沙丘对灌丛的掩埋与出露作用

Fig.1 Burial and outcropping of shrubs by moving dunes: A. Buries shrubs at the bottom of the lee slope, B. Plant residues are exposed at the bottom of the windward slope

算沙丘移动速率 $v$ 。

$$v=L/(T-T_0) \quad (1)$$

式中： $T$ 为采样时间，植物死亡时间 $T_0$ 由 $^{14}\text{C}$ 测年法测定。(1)式成立的前提在于植物被压埋后立即死亡且保留在原地，新月形沙丘则始终处于沿主风向前进状态。植物从在沙丘背风坡死亡到残体出露于迎风坡脚的时间为 $T-T_0$ ，这期间沙丘顺风向移动距离恰好为迎风坡坡脚至背风坡边缘的距离 $L$ 。

## 2 结果分析

民勤绿洲地处河西走廊东端的石羊河下游，是中国北方防沙带的重点建设区域。为了探讨上风向流动沙丘对绿洲的危害程度，我们于2022年7月利用全站仪实测了新月形沙丘的形态参数并根据高分遥感影像计算了2014—2022年的最大平均移动速率<sup>[4]</sup>。在野外工作期间，我们发现这些新月形沙丘迎风坡坡脚处的沉积物和地表经常分布碳屑和植物残体。沙丘下风向和两翼以外区域的灌丛

均正常生长，无明显衰亡现象。可见，植物死亡的原因为沙丘前移时的压埋。我们采集了与根系一起保留在原地的灌木植物木质茎作为 $^{14}\text{C}$ 测年材料。经兰州大学西部环境教育部重点实验室加速器质谱 $^{14}\text{C}$ 测年法测定，3个样品均死亡于1950年以后，通过对比树木年轮中记录的大气中现代碳比值<sup>[7]</sup>，最终确定样品年龄。1950年以来的现代碳比值先升后降，于1964年达到最大值。因此，每个样品对应于两个死亡时间。以1964年以后的死亡时间作为式(1)中的 $T_0$ ，采样时间2022年作为 $T$ ，计算沙丘的最大平均移动速率 $v_1$ (表1)。同时给出了由高分遥感影像得到的沙丘底面质心在最近9年间的最大平均移动速率 $v_2$ 。虽然两种方法中的时间长度至少相差十余年，但得到的结果 $v_1$ 和 $v_2$ 非常接近。鉴于高分遥感影像空间分辨率较高，可以利用 $v_2$ 检验 $v_1$ 的可靠性。5.04%的最大相对误差充分说明 $^{14}\text{C}$ 测年法可以用于确定民勤绿洲外围新月形沙丘在数十年内的平均移动速率。

表1 利用 $^{14}\text{C}$ 测年法确定和遥感影像解译的3个新月形沙丘移动速率对比

Table 1 Comparison of migration speed of three Barchan dunes interpreted by carbon-14 dating method and remote sensing images

沙丘位置	现代碳 比值	死亡年份 $T_0$	沙丘长度 $L/\text{m}$	利用 $^{14}\text{C}$ 测年法确定的 移动速率 $v_1/(\text{m}\cdot\text{a}^{-1})$	遥感影像解译的移动 速率 $v_2/(\text{m}\cdot\text{a}^{-1})$	移动速率相对误差 $( v_1-v_2 \times 100/v_2)/\%$
38.789°N, 102.989°E	1.236	1983	99.85	2.56	2.48	3.24
38.773°N, 102.997°E	1.106	1997	97.85	3.91	4.08	4.07
38.641°N, 102.875°E	1.088	1999	117.29	5.10	5.37	5.04

因为新月形沙丘在单向风作用下移动，并且沙生灌木木质茎很好地保存了植物被沙埋死亡时间的信息，所以由 $^{14}\text{C}$ 测年法得到的沙丘移动速率具有较高精度。至于这种方法能否用于其他类型的流

动沙丘及迎风坡脚出露的草本或碳屑材料，则有待进一步研究。

**致谢：**西北师范大学闫俊丽、兰州大学向羿和曹辉辉在野外采样与室内测试中提供了帮助，谨致

谢忱！

### 参考文献：

- [1] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 杨岩岩, 刘连友, 屈志强, 等. 新月形沙丘研究进展[J]. 地理科学, 2014, 34(1): 76–83.
- [3] Thomas DSG. Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands[M]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011.
- [4] 何晨晨, 吴盈盈, 田永胜, 等. 民勤绿洲外围新月形沙丘宽高比与移动速率变化特征[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 280–291.
- [5] Bristow C S, Lancaster N, Duller G A T. Combining ground penetrating radar surveys and optical dating to determine dune migration in Namibia[J]. Journal of the Geological Society, 2005, 162(2): 315–321.
- [6] Danin A. Plants of Desert Dunes[M]. Berlin, Germany: Springer, 1996.
- [7] Niu Z, Feng X, Zhou W, et al. Tree-ring  $\Delta^{14}\text{C}$  time series from 1948 to 2018 at a regional background site, China: influences of atmospheric nuclear weapons tests and fossil fuel emissions [J]. Atmospheric Environment, 2021, 246: 118156.

## A case study on determining the migration speed of barchans based on carbon-14 dating

He Chenchen<sup>1,2</sup>, Wang Zhenting<sup>1</sup>, Wang Zongli<sup>3</sup>

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. MOE Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In the migration of active dunes, small psammophytes often die while being buried by the lee of the dune, and subsequently plant residues appear at the toe of the windward because of wind erosion. The mean migration speed of the dune during this time can be computed according to the death time measured by carbon-14 dating and the horizontal distance from the windward toe to the lee edge along the migration direction. Based upon this principle and selecting the residues of shrub stems as dating materials, the migration speeds of three barchans at the upwind marginal area of the Minqin oasis are obtained. Compared with the more accurate results given by the interpretation of remote sensing images, it is found that carbon-14 dating can successfully determine the maximum time-averaged migration speed of barchans during several decades.

**Key words:** barchans; migration speed; plant residue; carbon-14 dating