

基于国内文献计量的古季风演化历史评述

申乐琳¹, 何金海², 杨雪¹

(1 国家气候中心, 北京 100081 2 南京信息工程大学, 南京 210044)

摘要: 本文通过总结2000—2018年中国知网核心数据库的232篇关于冬季风的古气候文献, 结合计量学分析, 得到季风的历史演变及其中存在的问题: 大部分的研究认为, 亚洲冬季风形成时间基本在8.2~7.4 MaBP, 青藏高原的隆升以及我国北方大面积出现的代表冬季风的风尘堆积可能是冬季风形成的重要标志。自冬季风形成至130 kaBP时期冬季风以加强为主, 73 kaBP以后得到的冬季风强度演变结论差距较大, 甚至相反。总结冬季风的驱动机制研究来看, 新生代至第四纪的冬季风以青藏高原的隆升作用影响为主; 第四纪至全新世(甚至早至上新世晚期以来)东亚冬季风主要受到冰盖、全球冰量、太阳辐射量等的影响; 而全新世以来不同时间尺度影响东亚冬季风的机制不一样, 在百年尺度上可能太阳活动的作用越来越重要。

关键词: 冬季风, 古季风, 演变, 文献计量

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.03.020

Palaeomonsoon Evolution Recorded Through Bibliometric Analysis in China

Shen Lelin¹, He Jinghai², Yang Xue¹

(1 National Climate Centre, Beijing 100081

2 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

Abstract: Through the bibliometric analysis of 232 publications of winter monsoon paleoclimate from CNKI database, the historical evolution of winter monsoon and its problems are summarized. Most researches' results show that the formation time of winter monsoon was 8.2–7.4 MaBP. The winter monsoon was mainly presented increase before 130 kaBP, and showed large disparity since 73 kaBP, even opposite. The driving mechanism of winter monsoon was also summarized. The winter monsoon from Cenozoic Era to late Pliocene was mainly affected by uplift of Tibetan Plateau, while the winter monsoon was affected by ice sheet, global ice volume, and solar radiation since late Pliocene. The influence mechanism of East Asian winter monsoon on different time scales are various since Holocene. On a century time scale, the solar activity may show greater importance.

Keywords: winter monsoon, palaeomonsoon, evolution, bibliometric

0 引言

冬季风控制东亚大陆长达半年之久, 对东亚地区冬、夏季环流变化有十分重要的制约作用, 而东亚冬季风不仅是全球最强大的冬季风, 也是北半球冬季最活跃的环流系统, 它不仅影响中国的气候, 其影响范围还可能扩展到南半球, 但是, 过去缺少对不同时间尺度冬季风变化的独立研究, 对古季风尤其是这样^[1]。在世界上, 古气候学这门学科好像到了20世纪60年代才引起地球物理学家的注意。在60年代, 曾举行过三次古气候学的世界会议, 在这几次会议上提出的文章多半是关于地质时代的气候^[2]。季风是亚洲

地区最为活跃的气候系统, 亚洲古季风研究20世纪80年代左右始于印度洋, 随后开展的东亚古季风研究以黄土高原的陆地研究最为成功, 21世纪以来不断向海上扩展^[3]。王绍武等^[4]认为在古气候研究中, 历来强调冰期—间冰期旋回, 很长时间以来, 人们没有注意到季风的变化也有自己的特色, 而只是在冰期—间冰期框架内研究季风, 指出冰期冬季风强, 夏季风弱, 间冰期夏季风强、冬季风弱。但研究表明古季风主要变化周期与冰期—间冰期旋回有很大不同: 至少在近700~800 ka, 冰期—间冰期旋回以100 ka周期为主, 而冬季风则以40 ka周期为主。冬季风的强度用黄土的粒度来反演, 黄土粒度大表示冬季风强、粒度小表示冬季风弱, 且冬、夏季风的关系是不固定的, 这是古气候研究的一个巨大进步。安芷生等^[5]总结了当前东亚古季风和古环境的研究在时间上向两个方向发展,

收稿日期: 2020年11月25日; 修回日期: 2021年5月24日

第一作者: 申乐琳(1984—), Email: shenll@cma.gov.cn

资助信息: 国家自然科学基金项目(41375089)

一是强调末次冰期旋回、末次冰消期、全新世和最近2 ka高分辨率古季风记录探讨东亚季风气候尤其是冬季季风气候的不稳定性特征及其可能机制；另一方面，从最近约7 Ma以来黄土高原风尘堆积序列中，提取近代东亚季风的起源与演变过程的信息，探索东亚季风变迁与全球冰量和青藏高原隆升的关系。随着古气候研究的迅速发展，获取古气候代用记录的途径不断拓展，许多学者纷纷将粒度、磁化率、地球化学等分析测试手段运用到古环境信息研究中，提取了一系列古环境代用指标，同地球轨道参数、青藏高原隆升、北极冰盖消长、东亚季风演化等全球事件相联系，并对其开展了沉积学、地球化学、矿物学、古生物学、环境磁学等研究^[6]，涉及的领域越来越广，各种高分辨率的季风序列也越来越多，但它们彼此之间不一致甚至相互矛盾的指标已成为当前气候变化研究的一大困扰^[7]。因此本文总结了国内21世纪以来冬季风的历史演化类文献，旨在总结地质时代古季风的演化历史，以深入认识冬季风变迁的规律和变化机制，并找出哪些研究内容不一致，以便于今后的研究验证并进一步统一。

1 文献检索与统计

本文文献数据以中国知网（CNKI）的“核心期刊”和“CSCD期刊”为来源进行检索，以“主题”为“冬季风”为检索条件，检索时间为2000—2018年，检索了648条文献，检索时间为2020年4月19日。为了更加精确地统计，我们用Excel对数据进行去重处理，并在文献筛查中，人工剔除了一些教育学行业、正文仅简单提及甚至类似“冬季风潮”这些与冬季风并无实际关联的文章，最终筛选出610篇与冬季风主题契合度较高的文献。为了从古气候角度得到冬季风的演变特征，我们从这610篇文献中人工筛选出时间尺度在千年以上的冬季风研究共232篇，为了描述方便，下文将这232篇文章笼统地称为古季风文献，并对其计量报告做一个简单的分析。

从2000—2018年古季风发文章量占冬季风总发文章量的比例来看（图1），古季风的发文章量占比在2002年达到最大（57%），然后开始波动下降，至2016年达到最低，仅为19%，2017年开始回升，虽然2013—2015年是冬季风发文章量最大的三年，导致古季风发文章量占比下降，但同时这几年是古季风发文章量减小的三年，更加剧了古季风发文章量占比下降，说明近些年涉及冬季风主题的古季风研究可能进入了一个瓶颈期，这也是本文研究的原因之一，希望能给学者们提供一个新的视野和角度，在相关研究方面取得进一步的进

展。统计古季风发文章量较多的作者，主要集中在鹿化煜（15篇）、安芷生（11篇）、李安春（10篇）、翦知湑（9篇）、潘保田（9篇）、靳鹤龄（8篇）、郑洪波（8篇）、苏志珠（8篇）等专家及其团队中。表1列出了该领域被引前十的文献。可以看出，21世纪以来鹿化煜、安芷生和翦知湑（汪品先）团队在该领域具有较高的活跃性及重大贡献，且从研究内容可以看出，21世纪以来古季风的研究主要以亚洲季风为主，尤其是东亚季风，学者们通过获取不同载体提取东亚季风的起源与演变过程，这与安芷生等^[5]得到当前东亚古季风研究已从探讨冬季季风气候的不稳定性特征向提取近代东亚季风的起源与演变过程转化结论一致。且从表1还可以看出以2003年为界，提取古季风的载体也已从内陆黄土高原向中国沿海内陆架甚至深海的古气候记录扩展。

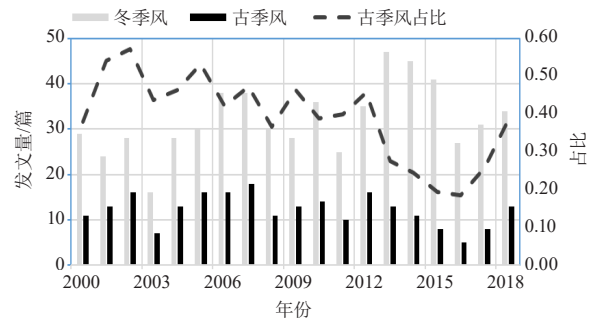


图1 2000—2018年古季风发文章量占冬季风总发文章量的比例
Fig. 1 The proportion of papers in the field of palaeomonsoon in 2000—2018

表1 2000—2018年古季风发文章被引前十的文献
Table 1 Top 10 high citation literatures in the field of palaeomonsoon in 2000—2018

第一作者	标题	被引次数	发表年份
孙东怀 (鹿化煜)	中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义	380	2000
汪海斌	黄土高原西部地区黄土粒度的环境指示意义	217	2002
安芷生	东亚季风气候的历史与变率	137	2000
陈骏 (鹿化煜)	中国黄土层Rb和Sr地球化学特征及其古季风气候意义	131	2001
向荣	济州岛西南泥质区近2300a来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化	120	2006
张美良	贵州荔波1.5万年以来石笋高分辨率古气候环境记录	97	2004
肖尚斌 (李安春)	近8 ka东亚冬季风变化的东海内陆架泥质沉积记录	95	2005
汪品先 (翦知湑)	南海演变与季风历史的深海证据	88	2003
刘志飞 (汪品先)	南海北坡ODP1146站第四纪粘土矿物记录:洋流搬运与东亚季风演化	87	2003
彭子成	贵州七星洞晚更新世晚期石笋的古气候环境记录	78	2002

图2分别列出了冬季风发文章量前十四、且古季风发文章量为前六的期刊，可以看到，古季风文章集中发

表在《第四纪研究》《科学通报》《海洋地质与第四纪地质》《中国沙漠》《中国科学（地球科学）》，以及《沉积学报》，即除了古气候研究领域期刊以外，还有地质地理类及综合类期刊发文较多，这可能与研究古季风用到的载体及方法有关。值得一提的是，冬季风发文量较高的大气科学类期刊如《大气科学》《大气科学学报》《热带气象学报》《气象学报》等，2000—2018年都没有发表与冬季风有关的古季风文章，然而研究古气候和地球气候的历史，有助于我们认识气候变化的成因，对预估未来的气候变化有重要的意义^[8]，因此建议这些期刊可以吸纳一些相关的古季风研究，以拓宽大气科学类学生的眼界，增加冬季风研究的新视野。

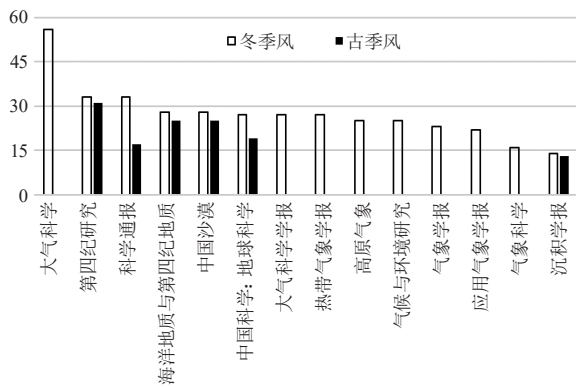


图2 冬季风文章数量排名前十四的期刊
Fig. 2 The top 14 journals on winter monsoon research, 2008—2018

2 主题研究

统计了这232篇古季风文章的主题，除了23篇综述/简讯类文章以外，其他的古季风文章主要可分为两类：一类主要涉及冬季风造成的影响（51篇），例如东亚冬季风对粉尘的搬运作用反映大气粉尘的演化

历史^[9]，东亚冬季风强度对海岸沙丘发育的影响^[10]，还有南亚冬季风对北印度洋的环境影响^[11]等；另一类则主要是根据不同载体得到的古季风演变特征及其原因的探讨（158篇），即从古气候角度寻找冬季风的代用指标出发，重建冬季风序列，然后得到冬季风的演化，并描述冬季风的变化特征或周期，进一步寻找冬季风的驱动机制并通过数值模拟来验证。需要注意的是，并不是这158篇文献都独立完成了这一整套过程，绝大多数文献的研究内容属于这个过程中的某一个或者某几个。从时间尺度来看，这158篇文献涉及的地质时期最早至晚白垩世，最晚至最近千年，因此本文参照文献^[12]的时间分层顺序从老到新的历史演化脉络总结古季风研究中的结果。

2.1 新生代前（6500 万年前，即 65 MaBP 前）的冬季风

白垩纪是地球历史中距今最近的温室效应活动期，全球和区域气候模式已经被广泛应用于白垩纪大陆古气候研究^[13]，统计的这158篇文献中有2篇涉及新生代前的气候变化，即白垩纪时期东亚气候的模拟研究。陈军明等^[13-14]通过气候模式复原了白垩纪时期（80 Ma，对应于晚白垩世坎佩尼阶）东亚大气环流和气候状况，并得到当时东亚地区存在季风现象，与现代季风相比，当时的冬季风强度偏强，且在偏暖的白垩纪时期，冬、夏季风具有同步变化的关系。

2.2 新生代（65.5 MaBP）至第四纪（2.588 MaBP）的冬季风

新生代时期的气候状况是研究最为详细的一个地质时段：一是古气候地质记录保存相对完整；二是这一时期地球系统状况与现代关系更为密切。从这158篇文献中来看，有20篇涉及此阶段。从这20篇文章大致总结了东亚冬季风强度的演变，在这个阶段大部分

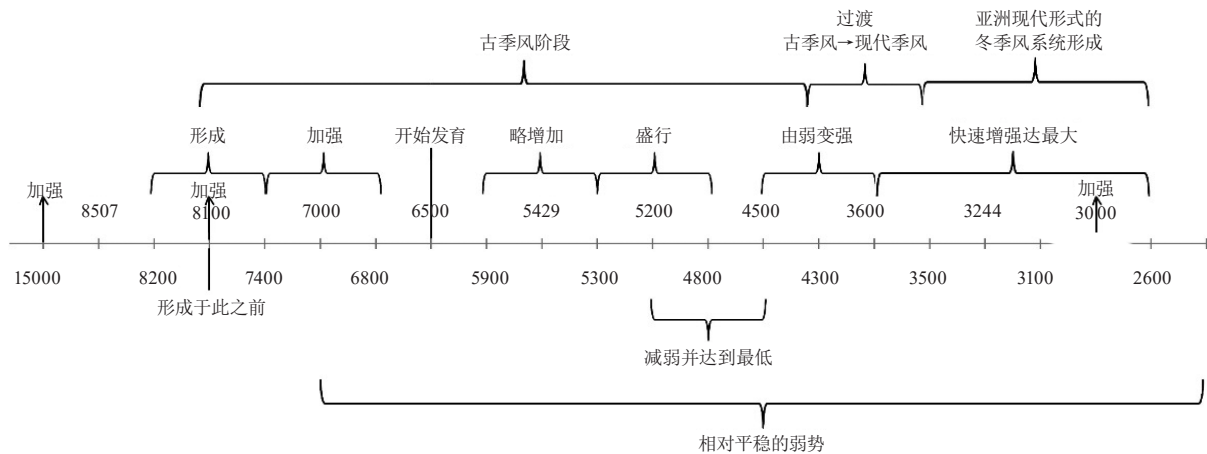


图3 根据文献总结的新生代至第四纪期间冬季风强度演变（时间轴单位为ka，1 Ma=1000 ka）
Fig. 3 The evolution of winter monsoon intensity from Cenozoic Era to Quaternary period (unit: ka)

研究得到的结论差别不大(图3)。

对于东亚冬季风的形成时间,结论比较一致:黄土高原的红黏土粒度揭示的亚洲冬季风形成时间基本在8.2—7.4 MaBP^[15-16],且都认为青藏高原的隆升可能是东亚冬季风形成的主要影响因素之一;宋春晖等^[17]通过对青藏高原古近系中类似风成堆积的红色砂层石英砂微形态详细研究也推断古近纪(65 MaBP)东亚季风可能还未形成,同时推断此时青藏高原隆升可能还未达到足以激发亚洲冬季风的高度,并认为晚中新世末—上新世以来(特别是8 Ma以来)我国北方大面积出现代表冬季风的风尘堆积,则是冬季风已形成的重要标志。自49 Ma后,新生代气候进入一个长期的降温时期^[12],对应于冬季风强度的变化,大部分阶段得到的研究结论比较一致,即整体来看是冬季风加强阶段,只是在5.2—4.8 MaBP,同样利用黄土高原红粘土的粒度,有研究得到这个阶段临夏盆地冬季风盛行^[15],但也有研究认为这个时期东亚冬季风相对于6.5—5.2 MaBP是减弱的^[18],这些结论的差异可能跟对比参照时间和所研究地区有一定的关系。另外杨杰东等^[19]根据黄土—古土壤序列的酸不溶物Sr和Nd同位素变化得到7—2.5 MaBP整个期间东亚冬季风是弱的,且相对稳定。这可能是与2.5 Ma至今的冬季风强度相对比而言。另外还有研究利用印度洋的沉积序列得到了喜马拉雅隆升明显强化了印度冬季风^[20-21]。说明新生代时期古冬季风的驱动机制,不管是东亚冬季风还是印度冬季风,都不能忽视青藏高原的隆升作用,另外也有研究得到上新世晚期以来东亚冬季风主要受

冰盖体积大小的控制,而太阳辐射量变化也起一定作用^[22]。

2.3 第四纪(2.588 MaBP)至全新世(11 kaBP)的冬季风

第四纪时期的气候以频繁的冰期-间冰期振荡为特征,海洋有孔虫氧同位素与黄土—古土壤完整记录了过去2.6 Ma发生的这种周期气候波动及其过程^[12],这段时期代用资料比较丰富,从这158篇涉及冬季演变的文献中来看,有89篇涉及此阶段,几乎占一半以上,也是研究冬季风演变最多的阶段。从这些文章中大致总结了东亚冬季风强度的演变,如图4所示。可以看出冬季风的演变并不连续,呈波动变化,130 kaBP之前大部分研究得到的结论较一致,冬季风以增强为主,73 kaBP之后得到的结论差距较大。胡凡根等^[23]在福建老红纱剖面年代学框架基础上,进行粒度分析,选取对环境敏感的粒度组分为 $>251.105 \mu\text{m}$ 来反映东亚冬季风的强弱变化,得到44.0—25.5 kaBP与15.5—11 kaBP为东亚冬季风减弱期。而张慧娟等^[24]提取湖相沉积物的敏感粒度组分($26\sim 159 \mu\text{m}$)来指示冬季风强弱,以及卫蕾华等^[25]利用山西临汾盆地的黄土沉积的高分辨率粒度和磁化率记录得到45.6—13.0 kaBP为冬季风增强期。这种同一时期得到的不同冬季风强度可能与研究的地理位置有一定的关系,需要以后的研究继续从各方面资料进一步验证。值得一提的是,胡凡根等^[23]得到25.5—15.5 kaBP为东亚冬季风最强盛期,且大部分的研究也认为该阶段为冬季风的增强阶段。

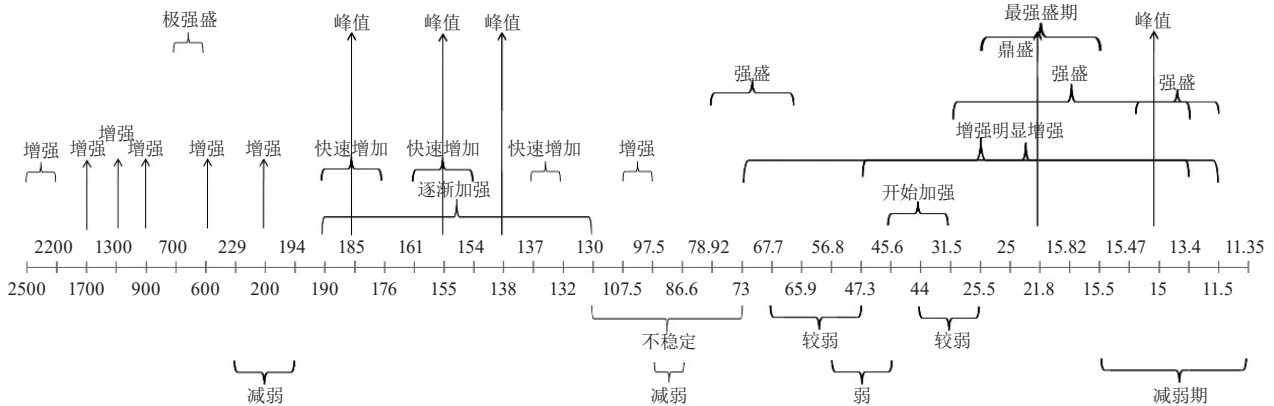


图4 根据文献总结的第四纪至全新世期间冬季风强度演变(时间轴单位为ka)

Fig. 4 The evolution of winter monsoon intensity from Quaternary period to Holocene (unit: ka)

在研究该阶段的冬季风机制时,一部分研究强调了全球冰量对东亚冬季风的影响:如郭光剑等^[26]认为0.6—0.7 MaBP以前,全球冰量达到最大同时青藏高原上发育了最大规模的冰川这些因素强化了东亚冬季风;伍斌等^[27]认为在气候特征总体暖湿的背景

下,冬季风具有以全球冰量(100 ka)为主导周期的变化特征,全球冰量与轨道驱动的北半球太阳辐射对MIS15~13时期黄土高原气候环境的演替和冬、夏季风的消长起了主导作用;王汝建等^[28]得到第四纪以来在轨道时间尺度上,全球冰量的变化可能是东亚冬

季风强度和时间变化的主要控制因素；郭高轩等^[29]认为1.05—0.94 Ma期间极地冰量增加，北半球径向温度梯度变陡，导致东亚冬季风加强。一部分研究强调高纬冰盖（或海冰）的作用：如李森等^[30]认为东亚冬季风在波令和阿勒鲁德暖期较新仙女木冷期强盛，这是北半球高纬度海区海冰面积在暖期缩小、冷期扩大而影响亚洲大陆蒙古—西伯利亚高压暖期增强、冷期减弱的结果；郑洪波等^[31]认为晚第四纪以来东亚冬季风主要受高纬冰盖变化驱动；陈国成等^[32]研究认为，晚第四纪以来东亚冬季风主要受高纬冰盖变化驱动；刘志飞等^[33]研究认为高纬冰盖驱动了晚第四纪东亚冬季风的演化。还有研究认为不同特征的东亚冬季风，驱动机制不一样：如鹿化煜等^[34]认为最近 1024 ka以来东亚冬季风变化的 100 ka和 21 ka等周期可能受地球轨道运动驱动的太阳辐射量变化控制，而 57 ka和 33 ka等周期的驱动机制还有待于进一步查明；李丽等^[35]认为青藏高原构造作用可能对中更新世时期东亚冬季风强化产生重要影响，而更新世以来东亚冬季风变化的整体趋势及轨道尺度变化主要受全球冰量变化和低纬ENSO影响；田军等^[36]认为更新世全球冰量变化对东亚冬季风产生了重大的影响，东亚冬季风在岁差周期上的演化，部分受控于地表的感热对太阳辐射的响应，也受控于南海表层海水的潜热对太阳辐射的响应。

2.4 全新世（11 kaBP）以来的冬季风

冰芯记录表明全新世气候状况总体上相当稳定，总体趋势表现为全新世早期—中期（11—7 kaBP）温度较高，又被称为全新世大暖期。全新世大暖期是地质历史上最近的一次稳定的全球性增温期，对认识理解现代全球增温对地球生态环境系统的作用具有较强的借鉴意义^[12]。从这158篇涉及冬季演变的文献中来看，有47篇涉及此阶段。但是该阶段的研究结论差别特别大，同样的时期不同的研究得到的冬季风强弱特征不一致，甚至相反。葛倩等^[37]认为这种差异普遍存在，一方面可能是由于气候系统内部的响应和传输机制有明显的地域差异，其次可能是用于气候重建的代用指标存在明显的差异。该阶段的研究大部分以重建季风序列为主，得到了很多的冬季风演化历史，采集资料的区域从陆地上的黄土高原、北方沙漠地区至海洋地区的东海、南海以及南黄海。可能由于全新世以来高分辨率资料越来越丰富，冰芯、泥炭、石笋、湖泊沉积物，甚至更高分辨率的海洋载体均被用于全新世古气候的研究，最近的十多年来，学者通过研究不同的载体发现，全新世气候波动幅度远比想象中的要

大^[38-39]。

在研究全新世以来冬季风的机制方面：贾佳等^[40]研究认为耀县地区全新世冬季风直接响应于冰量变化；徐方建等^[41]认为中全新世东亚冬季风变化与格陵兰冰心氧同位素记录的良好对应说明两者有相似的发生机制，可能是太阳活动以及古ENSO对全球气候系统的影响所致；胡邦琦等^[42]认为中全新世以来，南黄海中部泥质区所记录的东亚冬季风变化趋势在千年尺度上主要受控于轨道驱动的太阳辐射量冬、夏季季节性变化差异，但在百年尺度上东亚冬季风增强事件则与夏季风减弱事件相对应，呈现反向变化，可能是对太阳活动减弱的敏感响应。也就是说全新世以来对于不同时间尺度，影响东亚冬季风的机制不一样，在百年尺度上可能太阳活动的作用越来越重要。

3 结论与讨论

本文从文献计量学的角度，通过总结2000—2018年中国知网的“核心期刊”和“CSCD期刊”以冬季风为主题的文章，人工筛选出232篇关于冬季风的古气候研究，从而得到冬季风的古气候演变。结论如下：

（1）从文献计量学上来看，自2012年开始古季风发文量占冬季风总发文量的比例越来越低，最低点位于2016年，虽然自2017年后稍有回升，但仍在40%左右；古季风研究团队也主要集中在鹿化煜、安芷生等专家及团队中，说明年轻学者的队伍还未壮大；期刊方面，冬季风发文量较高的大气科学类期刊近20年没有发表过与冬季风有关的古季风文章，然而研究冬季风演化历史将有助于深入理解全球变化背景下，东亚地区气候变化的动力机制，因此建议这些期刊可以发表一些古季风的研究，以增加大气科学类学生或年轻学者的新视野。

（2）这232篇冬季风的古气候研究内容主要包含两类：一类主要涉及冬季风造成的影响；另一类也是大部分的研究内容及主要方法思路为根据不同载体得到古季风的代用指标，重建冬季风序列，得到冬季风的演化历史，进而寻找冬季风的驱动机制。

（3）归纳冬季风的演化历史可以得到，亚洲冬季风形成时间基本在8.2—7.4 MaBP，且青藏高原的隆升以及我国北方大面积出现的代表冬季风的风尘堆积可能是东亚冬季风形成的重要标志。自冬季风形成至130 kaBP时期大部分研究结论认为冬季风以加强为主，73 kaBP以后得到的结论差距较大，甚至相反。对冬季风的驱动机制研究认为，新生代至第四纪的冬季风以青藏高原的隆升作用影响为主；第四纪至全新世（甚至早至上全新世晚期以来）东亚冬季风主要受到冰

盖、全球冰量、太阳辐射量等的影响；而全新世以来不同时间尺度影响东亚冬季风的机制不一样，在百年尺度上可能太阳活动的作用越来越重要。

本文通过总结冬季风的古气候研究内容发现从寻找代用冬季风的指标入手，高分辨率的替代性序列是研究冬季风演变的关键，而这些指标分为2类：一类为“风”的指标，如粘土矿物、孢粉、黄土沉积等，另一类为“雨”的指标，如石笋等^[43]。而现在慢慢发展到沿海内陆架甚至深海，并得到了越来越多的古季风序列，这是古季风研究的重大进步，但同时也加大了不确定性，因此后续的研究应该参考前人研究并与之对比，进一步论证或者延长已有序列的时间长度以保持古季风序列的连续性可能是下一步研究的重点，希望引起相关学者的重视。对于古冬季风的机制研究，除了前人研究得到的冰盖、全球冰量、太阳辐射量等的影响以外，参照现在的气候变化，人类活动产生的温室气体对气候能造成巨大影响，那远古时期的火山产生的气溶胶呢，是否也会有影响？另外王绍武^[8]认为岁差影响造成的太阳辐射变化对全新世冬季风有影响，而全球CH₄的变化就是以岁差周期为主，它们之间是否存在关联，也是需要进一步研究的内容。

参考文献

- [1] 王绍武, 闻新宇, 黄建斌. 东亚冬季风. 气候变化研究进展, 2013, 9(2): 154-156.
- [2] 竺可桢. 中国近五千年气候变迁的初步研究. 中国科学(A辑), 1973, (2):168-188
- [3] 汪品先, 翦知湑, 赵泉鸿, 等. 南海演变与季风历史的深海证据. 科学通报, 2003, 48(21): 2228-2239.
- [4] 王绍武, 黄建斌, 闻新宇. 古气候的启示. 气象, 2012, 38(3): 257-265.
- [5] 安芷生, 刘晓东. 东亚季风气候的历史与变率. 科学通报, 2000, 45(3): 238-247.
- [6] 王敏杰, 郑乐平, 郑洪波, 等. 中国北方红黏土研究进展及问题. 海洋地质动态, 2010, 26(9): 11-18.
- [7] 张德二. 历史文献记录用于古气候代用序列的校准试验. 气候变化研究进展, 2010, 6(1): 70-72.
- [8] 王绍武. 古季风. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 229-231.
- [9] 鄧光剑, 姚檀栋. 末次冰期以来源自中亚的粉尘记录的对比. 冰川冻土, 2005, 27(1): 80-87.
- [10] 胡凡根, 李志忠, 靳建辉, 等. 基于释光测年的福建晋江海岸沙丘粒度记录的风沙活动. 地理学报, 2013, 68(3): 343-356.
- [11] 方念乔, 丁旋, 胡超涌, 等. 氧同位素第6期北印度洋的一次重大古海洋学事件. 地球科学, 2004, 29(2): 127-134.
- [12] 中国工程院应对气候变化的科学技术问题研究项目组. 应对气候变化的科学技术问题研究. 北京: 科学出版社, 2015: 103-126.
- [13] 陈军明, 赵平, 王成善, 等. 晚白垩世 (80 Ma) 东亚气候的数值模拟. 地学前缘, 2009, 16(6): 226-239.
- [14] 陈军明, 赵平, 王成善, 等. 晚白垩世 (80 Ma) CO₂浓度对东亚气候影响的数值模拟. 第四纪研究, 2009, 29(6): 1044-1054.
- [15] 弓虎军, 张云翔, 黄雷. 甘肃临夏盆地新近纪红粘土粒度组成的古环境意义. 沉积学报, 2005, 23(2): 260-267.
- [16] 吕连清, 方小敏, Mason J A, 等. 8.1Ma以来朝那黄土-红黏土剖面粒度揭示的冬季风与北半球高纬气候的耦合演化. 中国科学(地球科学), 2001, 31: S149-S154.
- [17] 宋春晖, 孟庆泉, 夏维民, 等. 青藏高原北缘古近纪石英砂表面特征及其古环境意义. 沉积学报, 2009, 27(1): 94-103.
- [18] 曹军骥, 张小曳, 程燕, 等. 晚新生代红粘土的粒度分布及其指示的冬季风演变. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 99-106.
- [19] 杨杰东, 陈骏, 张兆峰, 等. 距今7 Ma以来甘肃灵台剖面Nd和Sr同位素特征. 地球化学, 2005, 34(1): 1-6.
- [20] 方念乔, 丁旋, 张振国, 等. 东北印度洋两类主要的深水沉积序列及其对喜马拉雅隆升的响应. 地质科学, 2009, 44(4): 1181-1198.
- [21] 方念乔, 丁旋, 刘勇勤, 等. 东经90°海岭的远洋沉积记录与晚新生代重大构造——环境事件. 地学前缘, 2002, 9(1): 103-111.
- [22] 翦知, 汪品先, 赵泉鸿, 等. 南海北部上新世晚期东亚冬季风增强的同位素和有孔虫证据. 第四纪研究, 2001, 21(5): 461-469.
- [23] 胡凡根, 李志忠, 靳建辉, 等. 福建东部海坛岛老红砂敏感粒度组分对东亚冬季风演变的响应. 中国沙漠, 2013, 33(2): 443-452.
- [24] 张慧娟, 杨桂芳, 陈正洪, 等. 北京延庆古湖沉积物粒度敏感组分记录的区域冬季风演化历史. 地质科技情报, 2018, 37(3): 81-86
- [25] 卫蕾华, 蒋汉朝, 何宏林, 等. 末次冰期山西洪洞高分辨率粒度和磁化率记录的H5事件及其气候演化意义. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(4): 193-202.
- [26] 鄧光剑, 潘保田, 管清玉, 等. 中更新世全球最大冰期与中国沙漠扩张. 冰川冻土, 2002, 24(5): 544-549.
- [27] 伍斌, 吴乃琴. 黄土高原S5古土壤形成期的气候环境——陆生蜗牛化石的证据. 第四纪研究, 2008, 28(5): 901-908.
- [28] 王汝建, 翦知湑, 肖文申, 等. 南海第四纪的生源蛋白石记录: 与东亚季风、全球冰量和轨道驱动的联系. 中国科学(地球科学), 2007, 37(4): 521-533.
- [29] 郭高轩, 蒋汉朝, 蔡向民, 等. 北京新5孔第四纪孢粉记录及其对更新世气候变化的响应. 第四纪研究, 2013, 33(6): 1160-1170.
- [30] 李森, 强明瑞, 李保生, 等. 末次冰消期东亚季风区西北缘气候快速变化事件. 地质论评, 2004, (1): 108-114.
- [31] 郑洪波, 陈国成, 谢昕, 等. 南海晚第四纪陆源沉积: 粒度组成、动力控制及反映的东亚季风演化. 第四纪研究, 2008, 28(3): 414-424.
- [32] 陈国成, 郑洪波, 李建如, 等. 南海西部陆源沉积物组成的控制动力及其反映的东亚季风演化. 科学通报, 2007, 52(23): 2768-2776.
- [33] 刘志飞, 赵玉龙, 李建如, 等. 南海西部越南岸外晚第四纪黏土矿物记录: 物源分析与东亚季风演化. 中国科学(地球科学), 2007, 37(9): 1176-1184.
- [34] 鹿化煜, 张福青, 刘晓东, 等. 最近1000 ka来东亚冬季风变化的多时间尺度分析. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 79-82.
- [35] 李丽, 陈宇星, 王慧, 等. 更新世以来南海表层水温变化及其古气候意义. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(4): 1-7.
- [36] 田军, 汪品先, 成鑫荣, 等. 从相位差探讨更新世东亚季风的驱动机制. 中国科学(地球科学), 2005, 35(2): 158-166.
- [37] 葛倩, 刘敬圃, 初凤友, 等. 全新世高海平面以来东海陆架泥质沉积的东亚季风记录. 海洋科学, 2011, 35(7): 103-108.
- [38] Bond G, Kromer B, Beer J, et al. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. Science, 2001, 294: 2130-2136.
- [39] DeMenocal P, Ortiz J, Guilderson T, et al. Coherent high- and low-latitude climate variability during the Holocene warm period. Science, 2000, 288: 2198-2202.
- [40] 贾佳, 夏敬胜, 魏海涛, 等. 耀县黄土记录的全新世东亚冬夏季风非同步演化. 第四纪研究, 2009, 29(5): 966-975.
- [41] 徐方建, 李安春, 万世明, 等. 东海内陆架泥质区中全新世环境敏感粒度组分的地质意义. 海洋学报, 2009, 31(3): 97-104.
- [42] 胡邦琦, 杨作升, 赵美训, 等. 南黄海中部泥质区7200年以来东亚冬季风变化的沉积记录. 中国科学(地球科学), 2012, 55(10): 1568-1581.
- [43] 李琪, 李前裕, 王汝建. 20万年来南海古海洋研究的主要进展. 地球科学进展, 2012, 27(2): 224-239.