

刘晴晴,王盘兴,徐祥德,等.一种东亚冬季风指数的环流意义及优化[J].大气科学学报,2010,33(4):436-442.

Liu Qing-qing, Wang Pan-xing, Xu Xiang-de, et al. An optimized East Asian winter monsoon index and its circulation significance[J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33(4): 436-442.

一种东亚冬季风指数的环流意义及优化

刘晴晴¹, 王盘兴¹, 徐祥德², 李丽平¹

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要:论证了东亚冬季风环流指数 I_G 与冬季蒙古高压强度和南北位置存在显著的同时相关,故 I_G 本质上也是蒙古高压指数。在此基础上,构造了与 I_G 结构相同的环流指数,从中筛选出一批优化的东亚冬季风指数 I_M 。 I_M 保持了 I_G 结构简单、环流意义清晰的优点,且其格点选择更为合理,与中国同期气温负相关联系更强。因为定义 I_M 的格点与蒙古高压关系密切,故 I_M 也可称为蒙古高压指数。

关键词:东亚冬季风指数;优化的东亚冬季风指数;蒙古高压指数

中图分类号:P434 文献标识码:A 文章编号:1674-7097(2010)04-0436-07

An Optimized East Asian Winter Monsoon Index and Its Circulation Significance

LIU Qing-qing¹, WANG Pan-xing¹, XU Xiang-de², LI Li-ping¹

(1. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China;
2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper demonstrates that the East Asian winter monsoon circulation index (EAWMI) I_G is a circulation characteristic parameter that is significantly correlated with the intensity and meridional position of Mongolian high. Therefore it can be regarded essentially as the circulation index of the high. In a similar way to define I_G , a group of optimized EAWMIs, I_M , are constructed and optimally selected, and in comparison with I_G , I_M possesses advantages of simple structure, clear circulation meaning, more appropriately chosen definition gridpoints, and a closer correlation with winter temperatures in China. Because definition gridpoints of I_M have a closer relation with Mongolian high, it can be called Mongolian high index.

Key words: East Asian winter monsoon circulation index; optimization; Mongolia High circulation index

0 引言

我国地处东亚季风区,冬季风异常对我国气候异常变化的影响显著。研究表明,冬季风强(弱)年,我国冬季气温整体偏低(高)^[1];冬季风的异常还可隔季影响到我国夏季天气气候异常,文献[2]

指出1月冬季风强度与7月江淮流域降水的年代际变化呈相反趋势,文献[3]也指出长江中下游夏季降水(气温)与前期的东亚冬季风强度有明显负(正)相关。因此,建立合理的东亚冬季风指数是研究冬季风异常规律及其与我国气候关系的有意义的工作。

收稿日期:2009-01-05;改回日期:2009-02-26

基金项目:江苏省气象灾害重点实验室资助项目(KLME060211)

作者简介:刘晴晴(1983—),女,辽宁锦州人,硕士,研究方向为大气环流异常与短期气候预测, qingecho_19830327@yahoo.com.cn;王盘兴(通信作者),教授,研究方向为大气环流异常及短期气候预测, wangpx@nuist.edu.cn.

高辉^[4]将多年来许多气象学家定义的多种冬季风指数归纳为四类:(1)基于海陆热力差异可导致海平面地转风北风分量(v_g)的异常,Hanawa等^[5]用海参威和日本根室两站海平面气压差作为冬季风指数,它仅适用于日本海临近区域。郭其蕴^[1]定义10~60°N间110°E与160°E经线上整10°纬度格点海平面气压差之和为冬季风强度,记为 I_{we} ;Shi和Zhu^[6]将 I_{we} 改进为20~50°N间上述经线整5°纬度格点海平面气压差标准化之和的标准化值,记为 I_s ;Wu和Wang^[7]后将定义 I_s 的7个纬带(间隔5.0°)扩展到21个纬带(间隔2.5°),记为 I_w ;它们适用于东亚广阔区域。(2)基于区域平均低层经向风异常, Ji和Sun^[8]将(115~130°E, 10~30°N)区域平均的1 000 hPa 经向风作为东亚冬季风指数;Chen等^[9]提出用(110~130°E, 10~25°N)、(120~140°E, 25~40°N)区域平均的1 000 hPa 经向风,作为东亚热带、副热带季风指数。(3)基于高层西风急流的异常, Jhun和Lee^[10]将(110~170°E, 27.5~37.5°N)和(80~140°E, 50~60°N)两个区域平均的300 hPa 纬向风差作为季风指数以及王会军和姜大膀^[11]还用(115~145°E, 25~50°N)区域的850 hPa 西风速表示季风强弱。(4)基于东亚大槽附近位势高度场异常,孙淑清和孙伯民^[12]用(125~145°E, 30~45°N)、崔晓鹏和孙照渤^[13]用(110~130°E, 35~40°N)区域平均的500 hPa 位势高度作为东亚冬季风强弱的指标。此外,还有一些学者定义的指数也有重要的参考意义。如陈海山和孙照渤^[14]选取500 hPa 的(80~120°E, 40~70°N)区域定义了东亚区域西风指数来反映中国冬季气温异常;李勇等^[15]利用冬季西太平洋遥相关指数来分析其与我国冬季气温和降水的相关关系;严厉等^[16]探讨了北大西洋和北太平洋海表温度的遥联指数与同期中国冬季气温的相关性。由此可见,用以研究东亚冬季风状况的物理指标较为多样化,着眼点也各不相同。

除以上归纳的几类指数外,郭其蕴^[1]1994年定义了东亚冬季(12月一次年2月)风指数 I_G ,它是贝加尔湖以西三个格点(90°E, 60°N; 100°E, 60°N 和 100°E, 50°N)上冬季海平面的气压距平均值。文献[17]指出指标点位于东亚冬季风主导系统北侧,故蒙古高压中心 I_G 与蒙古高压强度、位置异常关系密切,环流意义清晰。分析表明, I_G 与我国冬季160站平均气温的同期相关明显强于一些常用的东亚冬季风指数,是一个性质优良的东亚冬季风指数。

本文用长序列资料(1951—2007年)验证、分析了 I_G 环流意义及其与我国冬季气温异常关系;在不改变指数 I_G 环流意义及结构的前提下,用普查的方法给出了一批新的东亚冬季风指数 I_M 。 I_M 与我国冬季气温异常的关系较 I_G 更紧密,从而实现了 I_G 的优化。

1 资料及预处理

所用资料为NCEP/NCAR再分析SLP(sea level pressure)资料,时段为1951—2007年期间的56个完整冬季(12月一次年2月),空间分辨率 $\Delta\lambda \times \Delta\varphi = 2.5^\circ \times 2.5^\circ$,以及同期中国第 t 个冬季、第 s 站的平均气温 $T(t, s)$, $t = \overline{1, 56}$, $s = \overline{1, 160}$ 。

由SLP资料,按

$$I_G(t) = \frac{1}{3} \{ P'(t, S_1) + P'(t, S_2) + P'(t, S_3) \} \quad (1)$$

求得 $I_G(t)$, $t = \overline{1, 56}$, t 为冬季序数, $t = 1$ 对应1951年12月—1952年2月; S_1 、 S_2 、 S_3 是格点(90°E, 60°N)、(100°E, 60°N)、(100°E, 50°N); $P'(t, S_i)$ 为第 t 个冬季点的海平面气压距平值; I_G 的单位为hPa。

2 I_G 的环流意义

图1给出了冬季1 000 hPa气候位势高度场及历年冬季1 000 hPa高度场平均图上特征等高线 $f_0 = 220$ gpm综合,图上三角形标出了文献[1]定义 I_G 用到的三个格点。由图1a可见, I_G 是用蒙古高压中心北侧三点的 P' 均值构成的指数;而由图1b上三角形所在位置知,当蒙古高压强度、位置发生年际变化时, I_G 将发生变化。因此, I_G 是蒙古高压强度、位置异常的度量参数,环流意义清晰。

文献[17]用冬季(12月一次年2月)平均1 000 hPa位势高度场图上搜索区 Ω ^[18]内特征等高线 $f_0 = 220$ gpm围成区域上高度差 $\Delta f = f(\lambda, \varphi) - f_0$ 的球面面积分严格定义了冬季蒙古高压强度 P ,并求得了与 Δf 对应的压力场的重心位置 (λ_c, φ_c) ,称为蒙古高压中心位置。用SLP资料求得了1951—2007年1 000 hPa的冬季蒙古高压环流指数 P 、 λ_c 、 φ_c 的时间序列。 I_G 与 P 、 λ_c 、 φ_c 的相关系数 r 分别为0.85、0.21、0.58, I_G - P 、 I_G - φ_c 的相关系数 r 均通过 $\alpha = 0.001$ ($r_{0.001} = 0.39$)的显著性检验。为了便于比较,图2给出了标准化 I_G 与标准化 P 、 φ_c 的时序。

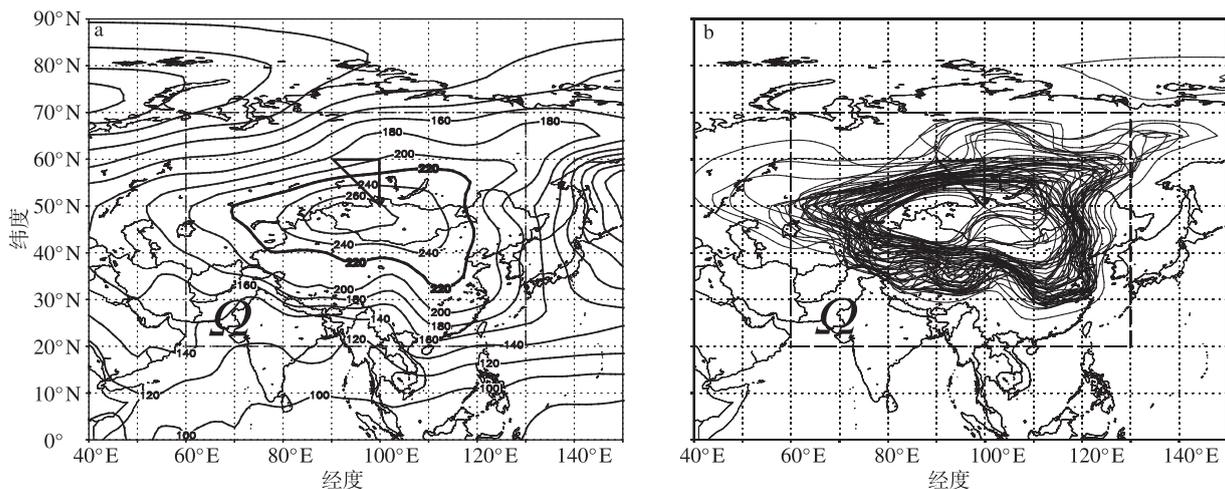


图 1 1951—2007 年冬季 1 000 hPa 气候位势高度场 (a; 单位: gpm) 及逐年蒙古高压特征等高线 ($f = 220$ gpm) 综合 (b)^[17] (三角形标出了定义 I_G 的三个格点, 虚线矩形是文献 [17] 计算蒙古高压指数的搜索区 Ω ^[18])

Fig. 1 (a) Winter 1 000 hPa geopotential height (gpm) field averaged from 1951—2007 and (b) yearly characteristic isohypses ($f_0 = 220$ gpm) of Mongolian high^[17] (The vertices of the triangle marks the three grid-points used to define I_G , and the dash-line rectangle denotes the searching area Ω ^[18] in the calculation of Mongolian high circulation index^[17])

由此可见, I_G 与蒙古高压强度、经向位置存在显著正相关, 蒙古高压异常强 (弱) 和异常偏北 (南) 年, I_G 偏高 (低), 东亚冬季风偏强 (弱)。

3 I_G 与中国冬季气温变化的关系

用 NCEP/NCAR 再分析 SLP 资料^[19] 分别计算了 1951—2007 年期间 56 个完整冬季的 I_G 、 I_{we} 、 I_s 和 I_w 与中国同期 160 站气温^[20] 的相关关系, 统计结果及相关分布如表 1 和图 3 所示。从表 1 和图 3 可以

看出, I_G 与我国冬季大部分地区的气温存在显著的负相关关系, 且相关程度明显强于另外三种常用的东亚冬季风指数。

4 I_G 的优化

综上所述, I_G 有明确的环流意义和简单的结构, 又与我国冬季气温有强相关, 故 I_G 是一个很好的东亚冬季风指数。一个值得研究的问题是, I_G 是否为具有上述优良性质指数中最好的一个。

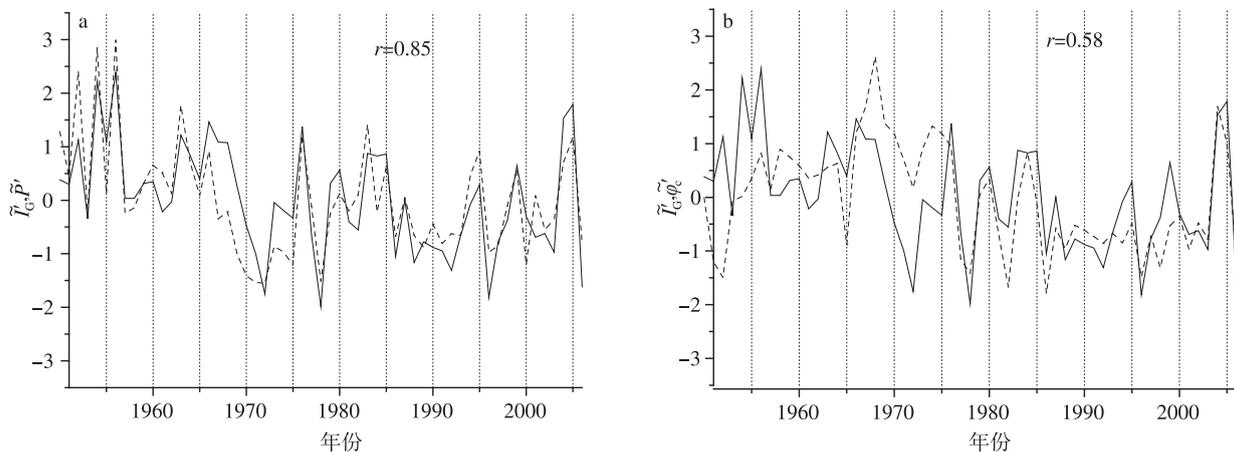


图 2 I_G 与蒙古高压强度 P (a)、中心所在纬度 φ_c (b) 的标准化年际变化曲线 (实线为 I_G , 虚线为 P 、 φ_c)

Fig. 2 Yearly variations of standardized I_G (solid line) and (a) the intensity P (dash line) and (b) central latitude (dash line) φ_c of Mongolian high, with their correlation coefficients indicated, respectively

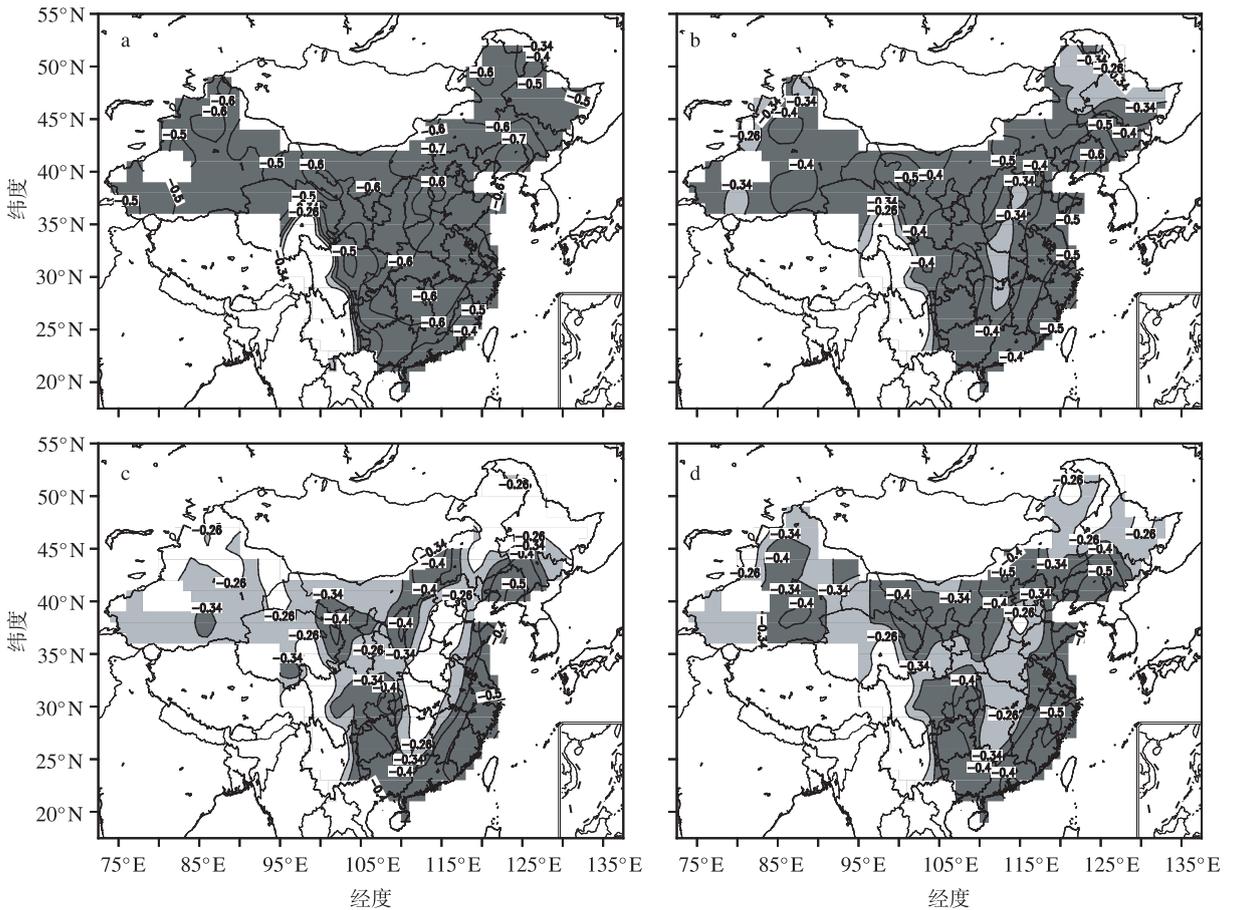


图 3 1951—2007 年冬季风指数与中国 160 站冬季气温的相关系数分布 (阴影区 $|r| \geq r_{0.05}$, 临界值 $r_{0.05} = 0.26$, $r_{0.01} = 0.34$) a. I_G ; b. I_{we} ; c. I_s ; d. I_w

Fig. 3 Correlation between a group of East Asian winter monsoon indices and winter temperatures observed by 160 stations in China from 1951—2007 (The shaded region represents where $|r| \geq r_{0.05}$; threshold values $r_{0.05} = 0.26$, and $r_{0.01} = 0.34$) a. I_G ; b. I_{we} ; c. I_s ; d. I_w

表 1 东亚冬季风指数 I_G 、 I_{we} 、 I_s 、 I_w 与中国冬季 160 站气温显著相关站点数统计

Table 1 Number of stations at which winter temperature is significantly correlated with East Asian winter monsoon circulation indices I_G , I_{we} , I_s , and I_w

α	I_G	I_{we}	I_s	I_w
0.01	145	115	60	92
0.05	147	144	98	129

从图 1 中 $\Omega(60 \sim 130^\circ\text{E}, 20 \sim 70^\circ\text{N})$ 区域内的 48 个格点 (分辨率为 $\Delta\lambda \times \Delta\varphi = 10^\circ \times 10^\circ$) 中任取三点,按(1)式构造指数 I ,由此获得类似于 I_G 的 I 序列数共 $C_{48}^3 = 17\ 296$ 种,求其中每个序列 I 与中国 160 站冬季平均气温序列 T 的相关系数,统计其通过 $\alpha = 0.01, 0.05$ 显著性水平检验的站数 N 。表 2 给出了两种信度下 I - T 显著格点数超过表 1 中 I_G - T

显著站点数 145、147 的 I 序列个数统计。可见,与 T 相关关系优于 I_G 的指数 I 大量存在,与 $\alpha = 0.01, 0.05$ 对应的分别有 48、1 051 个。从中挑出 $|r| \geq r_{0.01} (r_{0.05})$ 站数达 147 (151) 的 5 (1) 个 I ,记为 I_M ,定义为优化的东亚冬季风指数。图 4,由实(虚)线三角形连接的三点给出了定义这些 I_M 优化指数用到的点集,这些点集的信息列于表 3。 $I_{Mi}, i = \overline{0,5}$ 的值见文献[21]。

表 2 显著相关站点个数高于 I_G 的 I 个数

Table 2 Number of index I whose significantly correlated station number greater than index I_G

α	I 与 T 显著相关站点数						合计
	146	147	148	149	150	151	
0.01	43	5					48
0.05			639	340	71	1	1 051

表 3 优化的东亚冬季风环流指数 I_M 使用的点集Table 3 Gridpoint-sets used in the definition of optimized East Asian winter monsoon circulation index I_M

α	点集的(λ, φ)			与 T 显著相关站点数	编号
0.01	A(90°E, 60°N)	B(110°E, 60°N)	F(110°E, 20°N)	147	I_{M1}
	A(90°E, 60°N)	B(110°E, 60°N)	G(120°E, 30°N)	147	I_{M2}
	A(90°E, 60°N)	C(130°E, 60°N)	G(120°E, 30°N)	147	I_{M3}
	B(110°E, 60°N)	D(70°E, 50°N)	G(120°E, 30°N)	147	I_{M4}
	B(110°E, 60°N)	E(80°E, 50°N)	G(120°E, 30°N)	147	I_{M5}
0.05	H(70°E, 60°N)	J(90°E, 50°N)	K(110°E, 30°N)	151	I_{M0}

由图 4 可见,从气候图中三角形与蒙古高压中心及特征等高线关系看,用以定义 I_M 的点集(用实、虚三角形连接)均与蒙古高压关系密切,故 I_M 也是优化的蒙古高压环流指数;并由于蒙古高压是一个尺度很大的系统,定义 I_M 时使用了较 I_G 更广阔区域的资料,能更好反映该系统的异常,故 I_M 较 I_G 更为合理。

将图 4 中 H, J, K 三点上的 P' 均值作为优化东亚冬季风指数的例子,图 5a、b 给出了 I_{M0} 与蒙古高

压强度 P 、中心所在纬度 φ_c 的比较;图 5c 给出了 I_{M0} 与中国 160 站冬季气温的相关。由图 2、图 5 上的相关系数 r 可见, I_{M0} 与 P, φ_c 显著相关,而由表 1、表 2 中 $\alpha = 0.05$ 可知 I_{M0} 与中国冬季气温之负相关较 I_G 更好。显然, I_M 确实优化了 I_G 。

4 小结

郭其蕴 1994 年构造了一个结构简单的东亚冬季风环流指数 I_G , 它与我国冬季平均气温的负相关

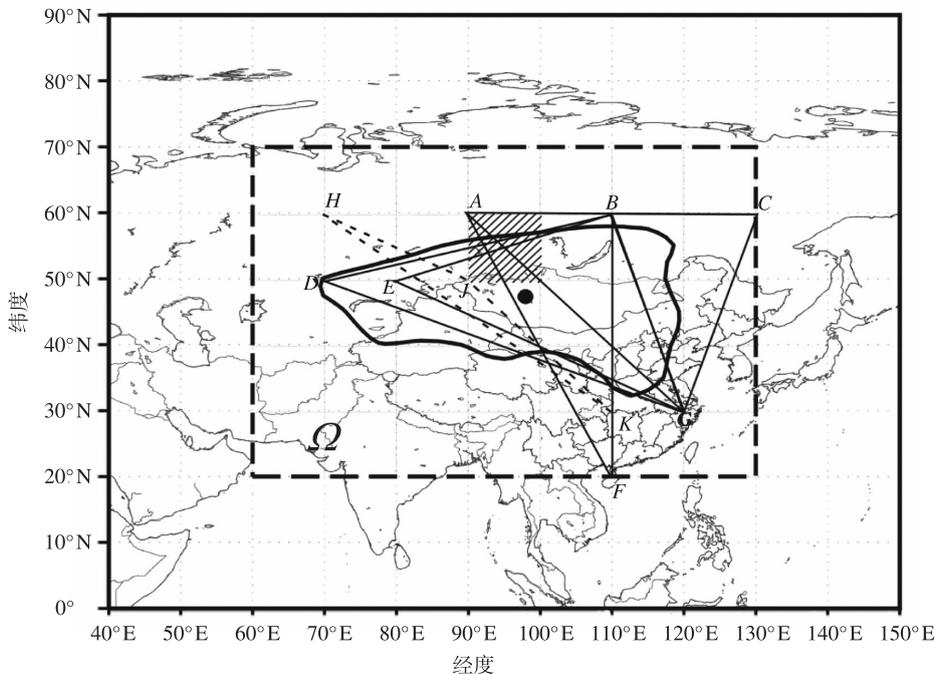


图 4 优化的东亚冬季风环流指数 I_M 使用的点集示意(斜线三角形的三点标出了定义 I_G 的格点位置;实、虚线三角形的三点标出了定义 $\alpha = 0.01, 0.05$ 的 I_M 的格点位置;·为蒙古高压的气候中心,粗闭合实线为 220 gpm 等高线)

Fig. 4 Gridpoint-set used in the definition of the optimized East Asian winter monsoon circulation index I_M (The vertices of the hatched triangle mark the three gridpoints used to define I_G ; the vertices of solid and dash line triangles mark gridpoints used to define I_M of $\alpha = 0.01$ and 0.05 ; · indicates the climatic center of winter Mongolian high; and the thick solid closed line is the contour of 220 gpm)

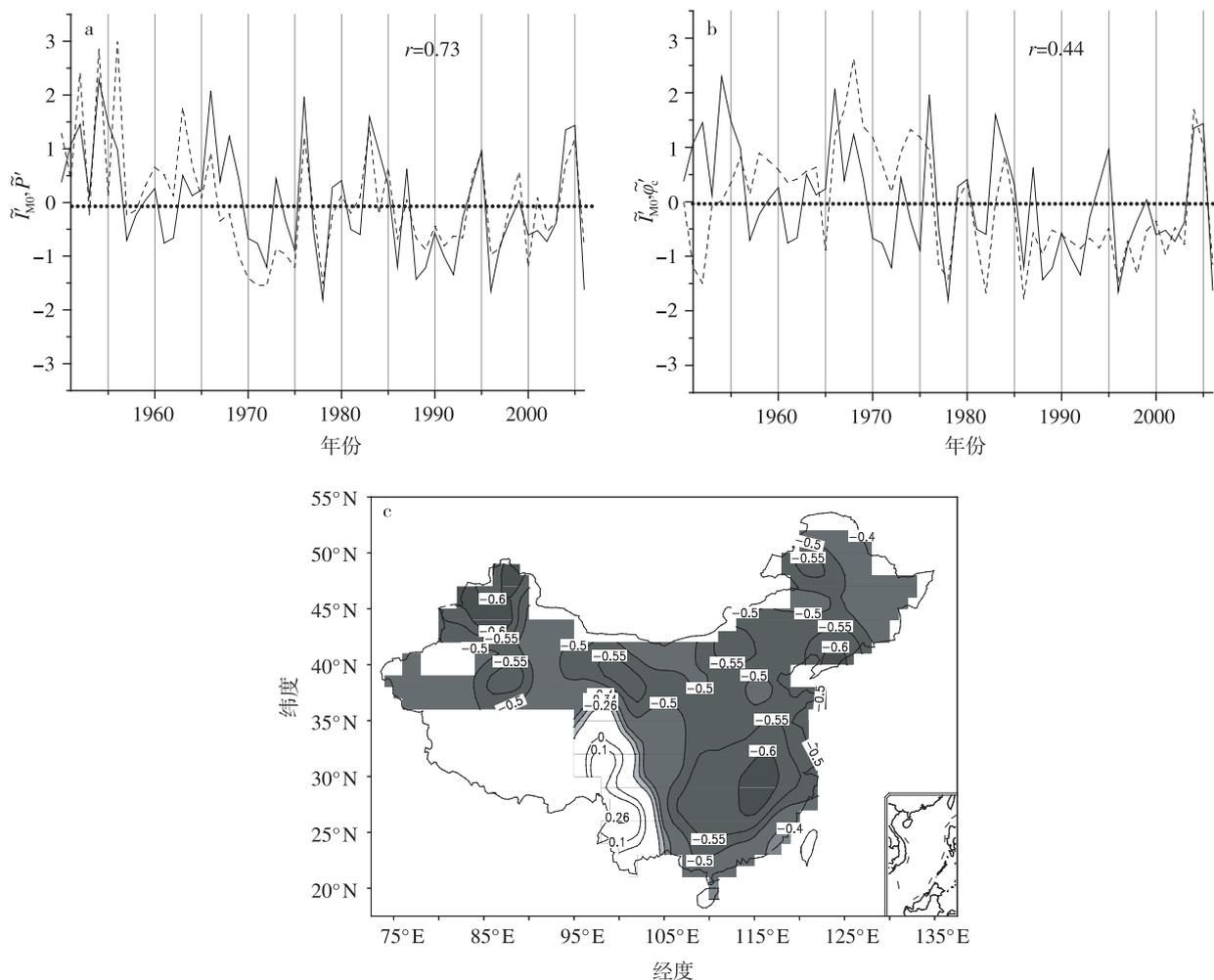


图 5 I_{M0} 与蒙古高压强度 P (a)、中心所在纬度 φ_c (b)的标准化年际变化曲线及其与中国 160 站冬季气温的相关系数(c)(a、b中实线为 I_{M0} ,虚线为 P (a)、 φ_c (b);c中阴影区 $|r| \geq r_{0.05}$,临界值 $r_{0.05} = 0.26, r_{0.01} = 0.34$)

Fig. 5 (a), (b) Same as Fig. 2 but for I_{M0} , and (c) same as Fig. 3 but for I_{M0}

明显强于一些常用的同类环流指数。本文论证了 I_G 与冬季蒙古高压强度和南北位置存在显著的同时相关,故 I_G 本质上也是蒙古高压指数。在此基础上,构造了与 I_G 结构相同的环流指数,从中筛选出一批优化的东亚冬季风指数 I_M 。 I_M 保持了 I_G 结构简单、环流意义清晰的优点,且其格点选择更为合理,与中国同期气温负相关联系更强。因为定义 I_M 的格点与蒙古高压关系密切,故 I_M 也可称为蒙古高压指数。

致谢: 本文使用的 NCEP/NCAR 再分析资料由国家自然科学基金委地球科学部南京大气资料服务中心提供,谨致谢。

参考文献:

[1] 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系[J]. 应用

气象学报,1994,5(2):219-225.
 [2] 施能,朱乾根. 东亚冬季风强度异常与夏季 500 hPa 环流及我国气候异常的关系[J]. 热带气象学报,1996,12(1):26-33.
 [3] 陈辉,施能,王永波. 长江中下游气候的长期变化及基本态特征[J]. 气象科学,2001,21(1):44-53.
 [4] 高辉. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表征[J]. 气象学报,2007,65(2):272-279.
 [5] Hanawa K, Watanabe T, Iwasaka N, et al. Surface thermal condition in the western North Pacific during the ENSO events[J]. J Meteor Soc Japan, 1988, 66(3):445-456.
 [6] Shi Neng, Zhu Qiagen. An abrupt change in the intensity of East Asia summer monsoon index and its relationship with temperature and precipitation over East China[J]. Int J Climatol, 1996, 17(7):757-764.
 [7] Wu Bingyi, Wang Jia. Winter Arctic Oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon[J]. Geophys Res Lett, 2002, doi:10.1029/2002GL015373.
 [8] Ji Liren, Sun Shuqing. Model Study on the interannual variability of Asian winter monsoon and its influence[J]. Adv Atmos Sci,

- 1997, 14 (1): 1-22.
- [9] Chen Wen, Graf H F, Huang Ronghui. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon[J]. *Adv Atmos Sci*, 2001, 17 (1): 48-60.
- [10] Jhun J G, Lee E J. A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon[J]. *J Climate*, 2004, 17 (4): 711-726.
- [11] 王会军, 姜大膀. 一个新的东亚冬季风强度指数及其强弱变化之大气环流场差异[J]. *第四纪研究*, 2004, 24 (1): 19-27.
- [12] 孙淑清, 孙柏民. 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系[J]. *气象学报*, 1995, 57 (4): 513-522.
- [13] 崔晓鹏, 孙照渤. 东亚冬季风强度指数及其变化的分析[J]. *南京气象学院学报*, 1999, 22 (3): 321-325.
- [14] 陈海山, 孙照渤. 一个反映中国冬季气温异常的指标—东亚区域西风指数[J]. *南京气象学院学报*, 2001, 24 (4): 458-466.
- [15] 李勇, 何金海, 姜爱军, 等. 冬季西太平洋遥相关型的环流结构特征及其与我国冬季气温和降水的关系[J]. *气象科学*, 2007, 27(2): 119-125.
- [16] 严厉, 王盘兴, 管兆勇, 等. 大洋间海表温度遥联与中国冬季气温的关系[J]. *气象科学*, 2008, 28(2): 133-138.
- [17] 王盘兴, 刘晴晴, 徐祥德, 等. 蒙古高压异常及其与我国冬季气候异常关系分析[J]. 待发表.
- [18] 王盘兴, 卢楚翰, 管兆勇, 等. 闭合气压系统环流指数的定义及计算[J]. *南京气象学院学报*, 2007, 30(6): 731-735.
- [19] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. *Bull Amer Meteorol Soc*, 1996, 77 (3): 437-471.
- [20] 国家气候中心. 中国冬季 160 站月平均气温[EB/OL]. 北京: 国家气候中心, [2009-01-01]. <http://ncc.cma.gov.cn/Website/index.php? ChannelID=43&WCHID=5>.
- [21] 孙晓娟. 东亚季风指数基本情况[EB/OL]. 南京: 南京大气资料服务中心, 2008 [2009-01-01]. <http://nadsc.nuist.edu.cn/zshxz.php>.

(责任编辑: 刘菲)