

DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2018.177

李一曼, 叶谦. ENSO背景下基于柯本分类法的我国气候分类 [J]. 气候变化研究进展, 2019, 15 (4): 352-362

Li Y M, Ye Q. Climate classification over China based on Köppen climate classification in the context of ENSO [J]. Climate Change Research, 2019, 15 (4): 352-362

## ENSO背景下基于柯本分类法的我国气候分类

李一曼, 叶谦

北京师范大学地理科学学部, 北京 100875



**摘要:** 采用传统柯本气候分类法, 对 1966—2016 年的 22 个厄尔尼诺和拉尼娜年中国气候进行合成分析, 并与 50 年平均的气候分类结果对比。结果表明: ENSO 年从整体上对气候带分布的影响不大, 我国仍主要由 4 个气候分区主导; 厄尔尼诺和拉尼娜发生年和次年对气候型和气候副型的影响都较为显著, 尤其是我国南方地区、西北干旱区及东北地区; 厄尔尼诺和拉尼娜发生年我国存在 5 个厄尔尼诺 / 拉尼娜敏感区, 即藏南地区、陕西中部、四川中部、辽东半岛和内蒙古东部, 这些敏感区的冬季出现明显偏干化趋势; 拉尼娜发生年, 我国还存在两个拉尼娜敏感区, 即长江中下游地区和华南地区, 这些地区冬季出现明显偏干化趋势; 除此外, 厄尔尼诺和拉尼娜发生次年, 我国存在 4 个厄尔尼诺 / 拉尼娜敏感区, 即四川中部、陕西中部、辽东半岛、内蒙古东部; 厄尔尼诺发生次年, 我国还存在 4 个厄尔尼诺敏感区, 即长江中下游地区、华南地区、云南东部及两广丘陵中部地区。

**关键词:** ENSO; 柯本气候分类; 气候型; 敏感区

### 引言

在全球气候变化背景下, 区域气候的时空格局变化备受科学界和决策者的关注<sup>[1]</sup>。研究表明, 作为全球最显著的气候年际变化现象, ENSO 事件通过影响全球大气环流, 对太平洋、印度洋及周围大陆等大范围地区的气温、降水有显著影响<sup>[2-3]</sup>, 它的发生、发展和消亡对全球大部分地区的社会经济也产生巨大影响<sup>[4]</sup>。在全球变暖背景下, ENSO 事件发生频率与强度出现明显增长趋势<sup>[5-8]</sup>。ENSO 事件也会导致东亚环流发生异常, 影响我

国旱涝灾害和台风的发生<sup>[9]</sup>以及中国气候干湿变率<sup>[10]</sup>。

1900 年, 德国科学家 Köppen 首次提出了定量的气候分类方法。该方法以气温、降水量为主要的分类指标, 参考植被分布, 将全球划分为 5 个基本气候带和 12 个气候型, 并根据不同的气候指标划分相应副型<sup>[11-14]</sup>。根据 1961—1990 年全球气候数据, Kalvova 等<sup>[15]</sup>采用柯本气候分类方法给出了相应的气候分类, 并与 20 世纪初期分类情形进行了异同对比, 结果发现: 1961—1990 年较 20 世纪初期, 热带、温带和寒带等气候带范围分

收稿日期: 2018-12-04; 修回日期: 2019-02-14

资助项目: 国家重点研发计划 (2016YFA0602503); 国家重点研发计划 (YS2017YFGH000562)

作者简介: 李一曼, 女, 硕士研究生, liymstr@163.com; 叶谦 (通信作者), 男, 教授, 11112011026@bnu.edu.cn

别扩大了 1.86%、0.45% 和 1.31%，干带和极地带范围则分别缩小了 1.89% 和 1.72%。Kottek 等<sup>[16]</sup>和 Peel 等<sup>[17]</sup>采用柯本—盖革气候分类方法，又将资料更新至 2000 年，重新绘制了世界气候类型分布图。

从 20 世纪 20 年代至今，我国学者对于中国气候分类也开展了大量的分析研究，并积累了许多成果。归纳而言，中国气候分类工作大致为两种类型：一是应用柯本等国际通用方法，在世界气候系统分类的基础上对我国本土气候进行分类；二是采用综合性要素，结合中国实际进行气候分类<sup>[18]</sup>。例如，20 世纪 30—50 年代，我国的气候分类主要借鉴欧美的气候分类方法，如竺可桢<sup>[19]</sup>、涂长望等<sup>[20-21]</sup>、卢鋈<sup>[22]</sup>及陶诗言<sup>[23]</sup>都利用柯本气候分类方法对我国进行气候分类。当时由于观测条件有限，气象资料不完整，气候分类结果存在较大误差。20 世纪中后期，张宝堃等<sup>[24]</sup>和陈咸吉<sup>[25]</sup>在借鉴欧美气候分类方法的同时，结合我国自然环境和气候特征，逐渐形成适合我国的气候分类方案。最近，朱耿睿等<sup>[26]</sup>利用柯本气候分类将我国气候类型分布更新至 2013 年，重新编制了我国气候类型分布图。

作为气候分类科学研究的应用，我国科学家和相关机构还开展了气候区划方面的研究。例如，中国气象局在张宝堃等<sup>[24]</sup>的研究基础上，制定了我国首个气候区划方案<sup>[27-28]</sup>，并据此确定我国气候区划的国家标准<sup>[29]</sup>。郑景云等<sup>[30-32]</sup>采用我国气候区划方案，将资料更新至 2010 年；刘静<sup>[33]</sup>在气候变暖的背景下，分析了我国气候区划的相关变化；王连喜等<sup>[34-35]</sup>则针对农业开展了气候区划研究。

历史上由于缺乏长期观测数据，在应用传统柯本分类时，研究者都尽可能使用已有资料对长期气候平均状况进行分类。过去二三十年的研究表明，一个地区的降水与气温在不同时间尺度，如年代际尺度、年际尺度以及季节内尺度上变化明显。因此，可以推论，在不同时间尺度下，气候分类也会发生相应变化。朱耿睿等<sup>[26]</sup>对年代际尺度下柯本气候分类的变化进行了分析，得出

我国南方地区、北方地区、西北地区以及青藏高原地区气候型出现不同程度的变化，1961—2010 年全球变暖趋势在我国表现得非常明显，2011—2013 年，全国大范围出现降温和降水增多。

ENSO 是气候波动中最显著的信号，它的发生以及在频率与强度等方面的变化对全球大部分地区的社会经济会产生巨大影响<sup>[3,36]</sup>。因此对 ENSO 背景下开展区域气候分类研究，有助于进一步了解 ENSO 影响，为制定相应对策提供必要的科学依据。

本文选择国际通用的柯本气候分类法，利用合成分析方法，分析 ENSO 背景下中国的气候类型，通过与多年平均态分类结果对比，探寻我国气候空间格局在 ENSO 影响下的差异，并寻找厄尔尼诺年和拉尼娜年的气候型变化敏感区，期望为下一步研究 ENSO 背景下全球气候类型的变化提供有益借鉴。

## 1 数据和方法

### 1.1 数据

本文所用中国大陆区域内的格点数据来源于英国东英格利亚大学 (University of East Anglia) 气候研究中心 (Climate Research Unit, CRU) 的公开数据集 TS 3.24 系列<sup>[37]</sup>，它包含 9 种气候观测变量，分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。该资料不包含卫星观测，不使用模式同化，仅使用并不复杂的数学方法对数据进行整合和插值，其在中国地区使用国家气候中心对外发布的 160 个气候基准站的观测资料，并使用与青藏高原毗邻的中亚和南亚各国测站数据，弥补了西部尤其是西藏地区台站数较少的缺陷。该数据集在中国陆地区域与中国站点观测数据较为吻合<sup>[38]</sup>。

### 1.2 ENSO 相关年份的选取

ENSO 是赤道太平洋地区大范围海—气相互作用失去平衡而产生的一种气候现象，也是热带太平洋地区海气系统年际气候变率的最强信号<sup>[39-40]</sup>。为了研究预报 ENSO 现象，全球海洋学家和气象

学家从自身学科出发,已经提出许多不同类型的指数。许多国家的气象、海洋部门也根据 ENSO 事件对本国的影响,制定了预报指标。受篇幅所限,本文不对 ENSO 事件各类指数和指标所可能产生的影响进行分析研究,而只根据日本气象机构的 ENSO 事件定义,选出 1966—2016 年间的厄尔尼诺事件发生年及次年,拉尼娜事件亦同理,并将两者合称为 ENSO 年,以便于表达,结果见表 1。

### 1.3 柯本气候分类

使用上述全球温度和降水  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  格点月值数据集,处理得到 1966—2015 年 50 年间各月平均降水量、各月平均气温、年平均降水量、年平均气温、最干月降水量、夏半年最干(湿)月降水量、冬半年最干(湿)月降水量、年最干(湿)月平均气温、夏季(6、7、8月)平均降水量、冬季(12、1、2月)平均降水量。根据柯本气候分类法给出的分类条件(表 2),采用统计平均得

表 1 1966—2016 年间厄尔尼诺年与拉尼娜年  
Table 1 El Niño years and La Niña years in 1966—2016

事件	对应年份	年数
厄尔尼诺发生年	1969、1972、1976、1982、1987、1991、1997、2002、2009、2014、2015	11
厄尔尼诺发生次年	1970、1973、1977、1983、1988、1992、1998、2003、2010、2015、2016	11
拉尼娜发生年	1967、1970、1971、1973、1975、1988、1998、1999、2005、2007、2010	11
拉尼娜发生次年	1968、1971、1972、1974、1976、1989、1999、2000、2006、2008、2011	11
正常年	1966、1968、1974、1977、1978、1979、1980、1981、1983、1984、1985、1986、1989、1990、1992、1993、1994、1995、1996、2000、2001、2003、2004、2006、2008、2011、2012、2013	28

表 2 柯本气候符号及划分条件  
Table 2 Description of Köppen climate symbols and defining criteria

气候带及气候型	气候副型	条件	气候带及气候型	气候副型	条件
<b>A</b> 热带		$T_{\min} \geq 18^\circ\text{C}$	<b>D</b> 冷温带		$T_{\max} > 10^\circ\text{C}$ 且 $T_{\min} \leq 0^\circ\text{C}$
Af 热带雨林气候		$P_{\min} \geq 60\text{ mm}$	Ds 夏干冷温带气候		$P_{\text{smin}} < 40\text{ mm}$ 且 $P_{\text{smin}} < P_{\text{wmax}}/3$
Aw 热带疏林草原气候		$P_{\min} \leq 60\text{ mm}$ 且 $P_{\min} \geq 100\text{ mm} - P_{\text{ann}}/25$	Dw 冬干冷温带气候		$P_{\text{wmin}} < P_{\text{smax}}/10$
Am 热带季风气候		$P_{\min} \leq 60\text{ mm}$ 且 $P_{\min} < 100\text{ mm} - P_{\text{ann}}/25$	Df 常湿冷温带气候		既非 Ds 也非 Dw
<b>B</b> 干带		$P_{\text{ann}} < 10P_{\text{th}}$		a	$T_{\max} \geq 22^\circ\text{C}$
Bs 草原气候		$P_{\text{ann}} \geq 5P_{\text{th}}$		b	$T_{\max} < 22^\circ\text{C}$ 且 $\text{count}(T_{\text{mon}} > 10^\circ\text{C}) \geq 4$
Bw 沙漠气候		$P_{\text{ann}} < 5P_{\text{th}}$		c	$T_{\min} \geq -38^\circ\text{C}$ 且 $\text{count}(T_{\text{mon}} > 10^\circ\text{C}) < 4$
	h	$T_{\text{ave}} \geq 18^\circ\text{C}$		d	$T_{\min} < -38^\circ\text{C}$
	k	$T_{\text{ave}} < 18^\circ\text{C}$	<b>E</b> 极地带		$T_{\max} \leq 10^\circ\text{C}$
<b>C</b> 温暖带		$T_{\max} > 10^\circ\text{C}$ 且 $0^\circ\text{C} < T_{\min} < 18^\circ\text{C}$	ET 苔原气候		$T_{\max} \geq 0^\circ\text{C}$
Cs 夏干温暖气候		$P_{\text{smin}} < 40\text{ mm}$ 且 $P_{\text{smin}} < P_{\text{wmax}}/3$	EF 冰原气候		$T_{\max} < 0^\circ\text{C}$
Cw 冬干温暖气候		$P_{\text{wmin}} < P_{\text{smax}}/10$			
Cf 常湿温暖气候		既非 Cs 也非 Cw			
	a	$T_{\max} \geq 22^\circ\text{C}$			
	b	$T_{\max} < 22^\circ\text{C}$ 且 $\text{count}(T_{\text{mon}} > 10^\circ\text{C}) \geq 4$			
	c	$T_{\min} \geq -38^\circ\text{C}$ 且 $\text{count}(T_{\text{mon}} > 10^\circ\text{C}) < 4$			

注:表中  $T_{\min}$  表示最冷月平均气温,  $T_{\max}$  表示最热月平均气温,  $T_{\text{mon}}$  表示月平均气温,  $P_{\min}$  表示最干月降水量,  $P_{\text{smin}}$  表示北半球夏半年(4—9月)最干月降水量,  $P_{\text{smax}}$  表示夏半年最多雨月降水量,  $P_{\text{wmin}}$  表示北半球冬半年(10—3月)最干月降水量,  $P_{\text{wmax}}$  表示冬半年最多雨月降水量,  $P_{\text{ann}}$  表示年降水量,  $T_{\text{ave}}$  表示年平均气温。临界值计算量  $P_{\text{th}}$ : 若夏季降水量  $\geq$  年降水量的 70%, 则  $P_{\text{th}} = 2(T_{\text{ave}} + 14)$ ; 若冬季降水量  $>$  年降水量的 70%, 则  $P_{\text{th}} = 2T_{\text{ave}}$ ; 不足上述比例, 则  $P_{\text{th}} = 2(T_{\text{ave}} + 7)$ 。count 表示计数函数。此表参考文献 [16-17, 26]。

出 50 年气候平均态, 对厄尔尼诺和拉尼娜发生年及次年则利用合成分析, 给出相应的气候带、气候型和副型。

## 2 结果分析

### 2.1 1966—2015 年我国平均气候的柯本分类

与之前的计算结果<sup>[26]</sup>对比, 本研究虽然所用数据及时间范围有所不同, 但与预期相符, 两者对我国气候分类分布基本相互印证。我国气候主要由 4 个区域构成: (1) 青藏高原地区, 以极地苔原气候 ET 为主, 在青藏高原东西两侧分布部分冷温带气候 Dw、Df 及副型, 在青藏高原北侧柴达木盆地分布干带冷温型草原气候 Bsk 和沙漠气候 Bwk; (2) 青藏高原以北, 内蒙古高原地区 (包含) 西部地区, 以草原气候和沙漠气候为主, 大致以 105° E 为界, 以西地区多为沙漠气候, 以东地区多为草原气候, 而天山山脉南北两侧则以草原气候为主, 分布部分冷温带气候和极地带气候; (3) 秦岭淮河以北地区, 以冷温带气候为主, 包括 Dw、Df 及对应副型, 主要有 Dwb、Dfa 两种气候副型; (4) 秦岭淮河以南地区, 以温暖带气候型 Cw、Cf 及对应 a、b 副型为主, 东南沿海地区多为气候副型 Cfa, 西南地区多为气候副型 Cwa、Cwb, 长江流域地区多为气候副型 Cwa; 除此以外, 我国海南岛分布有少量热带气候型 Aw、Am (图 1)。

需要指出的是, 从面积比重来看 (图 2),

本文计算结果显示我国冷温带气候、温暖带气候、干带气候以及极地带气候的面积依次占总体气候带面积比重的 33.06%、25.39%、24.33% 以及 16.98%, 冷温带气候面积占比最大, 其次是温暖带气候和干带气候; 而以往的计算结果<sup>[26]</sup>显示冷温带气候、温暖带气候、干带气候以及极地带气候依次占总体气候型面积比重的 26.61%、25.91%、31.29% 以及 16.13%, 干带气候面积占比最大, 其次是冷温带气候和温暖带气候。

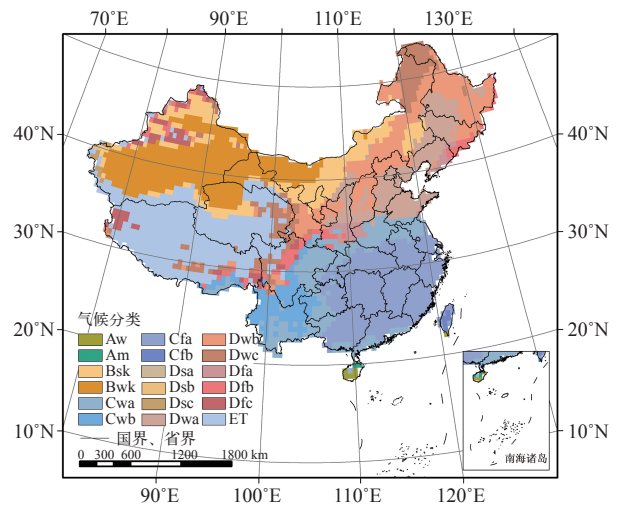


图 1 基于柯本气候分类的 1966—2015 年中国气候型分布  
Fig. 1 Climate types distribution over China from 1966 to 2015 based on Köppen climate classification

### 2.2 厄尔尼诺与拉尼娜发生年的气候分类分析

对 22 个厄尔尼诺和拉尼娜发生年的合成分析表明, 厄尔尼诺发生年与 50 年平均态下气候带

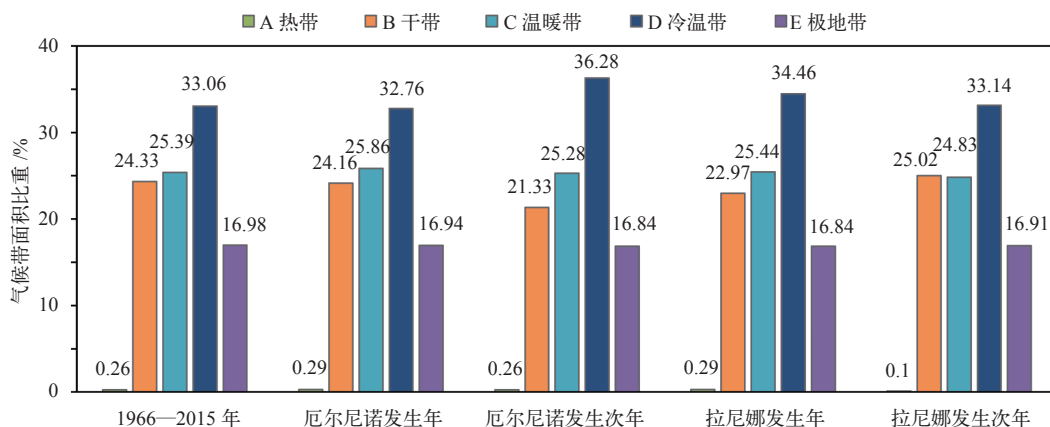


图 2 基于柯本气候分类的不同情景下气候带面积分布  
Fig. 2 The area distribution of climate zones under different scenarios based on Köppen climate classification

分布差异不大,但干带、温暖带及冷温带的某些气候型及副型分布差异显著。从各类气候型面积比重及分布(图3a~3b和图4a)来看,干带草原气候呈现减少趋势,沙漠气候呈现增加趋势。温暖带气候和冷温带气候分布区冬季呈现干化趋势,冬干温暖气候和冬干冷温气候增加(+1.76%和+3.65%),常湿温暖气候和常湿冷温气候减少(-1.28%和-4.06%),尤其冬干冷温气候Dwa在我国松花江流域消失,Dwb在内蒙古高原东侧面积明显减小,并且出现Dwc;在长白山北部常湿冷温气候Dfb消失,转变为冬干冷温气候Dwb;在我国青藏高原东部边缘地区,这一地区也由原本的常湿冷温气候转变为冬干冷温气候。

拉尼娜发生年与50年平均态下气候带分布差异也不大,我国干带、温暖带及冷温带的气候型及副型分布差异较为显著,尤其是我国南方地区、青藏高原东南部地区以及西北干旱区。从各类气候型面积比重及分布来看(图3a~3b和图4b),干带草原气候及沙漠气候都呈减少趋势,表征拉尼娜发生年我国干带气候分布区呈现偏湿趋势。温暖带气候和冷温带气候分布区冬季呈现干化趋

势,冬干温暖气候和冬干冷温气候增加(+4.42%和+5.73%),常湿温暖气候和常湿冷温气候减少(-4.36%和-4.40%)。尤其是冬干冷温气候Dwa在我国松花江流域面积扩大,Dwb在内蒙古高原东侧面积也明显扩大,在长白山北部山区常湿冷温气候Dfb转变为冬干冷温气候Dwb。

进一步分析表明,我国冷温气候在厄尔尼诺与拉尼娜发生年与50年平均态差异显著(图4a和图4b),常湿冷温气候面积大幅度减少,转变为冬干冷温气候,即以冷温气候为主的北方地区在ENSO发生年可能出现冬季偏干趋势。而温暖型气候在厄尔尼诺与拉尼娜发生年与50年平均态差异也较为显著,常湿温暖气候面积大幅度减少,冬干温暖气候面积大幅度增加,这也表明以温暖型气候为主的南方地区在ENSO发生年也可能出现冬季偏干趋势。另外,由于寒冷型沙漠气候的面积在厄尔尼诺发生年增加,在拉尼娜发生年减少,并主要被划分为冷温气候,说明以沙漠气候为主的我国部分西北干旱地区在厄尔尼诺发生年可能出现偏干趋势,而在拉尼娜发生年出现偏湿趋势。

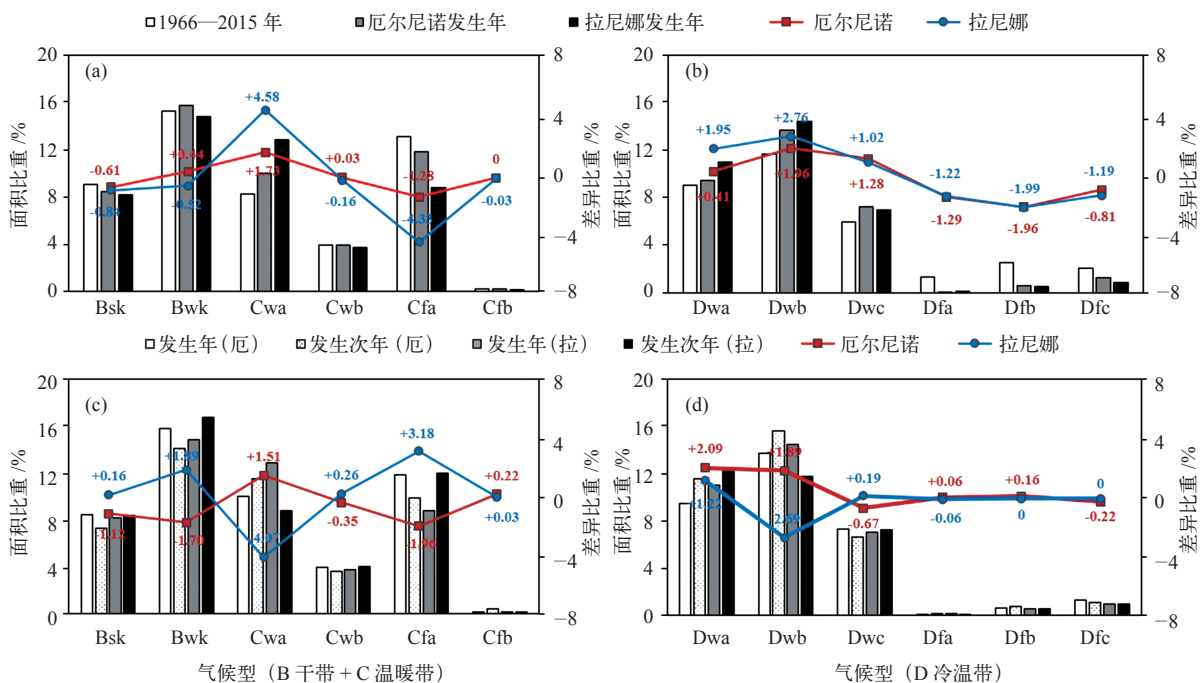


图3 基于柯本气候分类的不同情景下典型气候型面积分布

Fig. 3 The area distribution of typical climate types under different scenarios based on Köppen climate classification

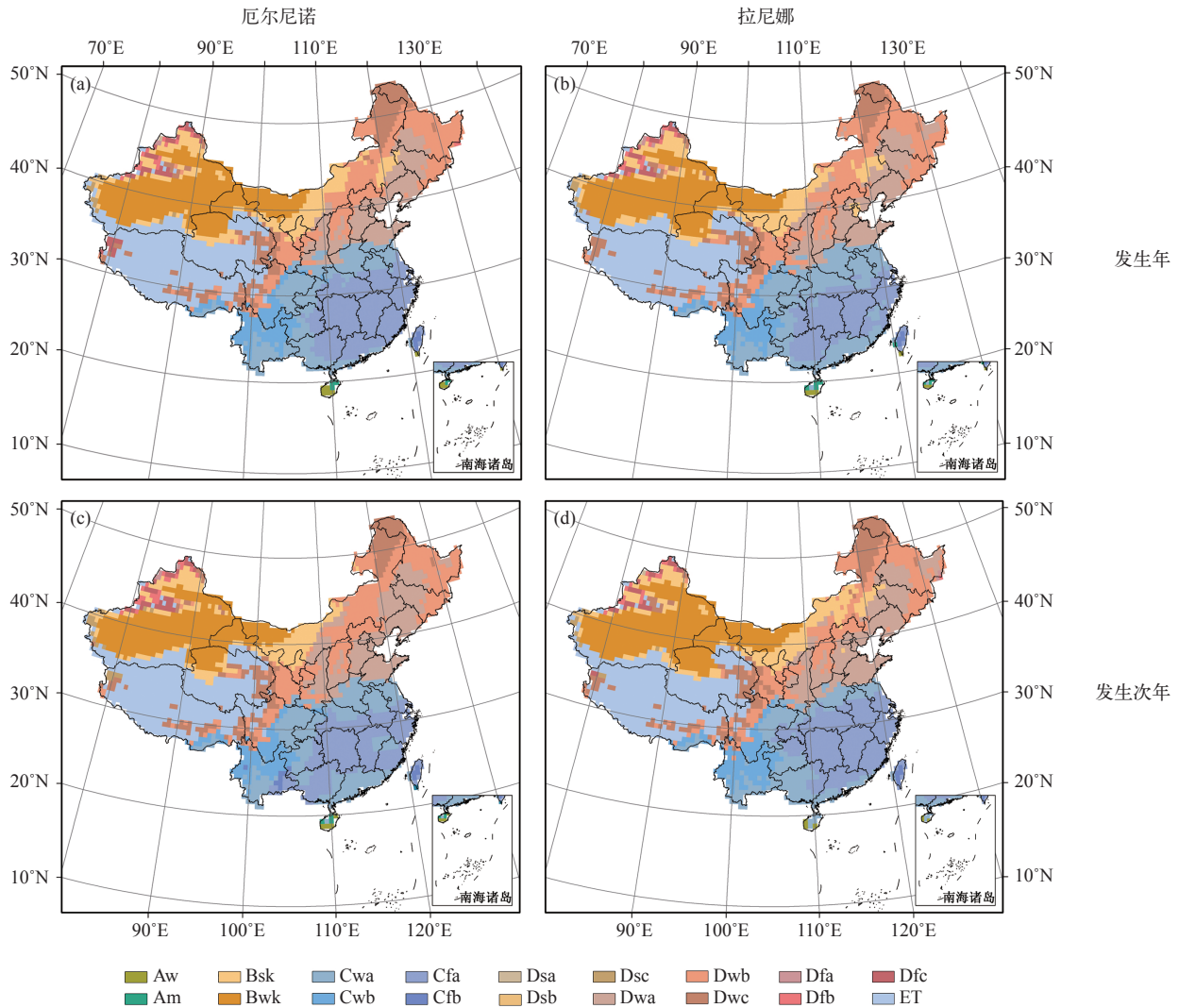


图 4 厄尔尼诺和拉尼娜发生年 (a, b) 和发生次年 (c, d) 的中国气候型分布  
 Fig. 4 Climate types distribution over China under the occurrence (a, b) and next years (c, d) of El Niño and La Niña

### 2.3 厄尔尼诺与拉尼娜发生次年气候分类分析

ENSO 事件不仅通过遥相关影响当年的气候型分布, 也滞后影响次年的气候型分布。对比 22 个厄尔尼诺发生年和次年的合成分析表明, 厄尔尼诺发生年与次年气候带分布差异不大, 但相较于发生年, 我国干带、温暖带气候型及副型分布差异较显著, 尤其是我国东北地区中部以及广大南方地区。从各类气候型面积比重及分布 (图 3c ~ 3d 和图 4a、图 4c) 来看, 干带草原气候及沙漠气候都减少, 表征厄尔尼诺发生次年我国干带气候分布区呈现偏湿趋势。温暖带气候分布区冬季也呈现干化趋势, 冬干温暖气候增加

(+1.16%), 常湿温暖气候减少 (-1.74%)。

拉尼娜发生年与次年气候带分布差异也不大, 但相较于发生年, 我国干带、温暖带及冷温带的气候型及副型分布差异较显著, 尤其是我国南方地区以及内蒙古东部地区。从各类气候型面积比重及分布 (图 3c ~ 3d 和图 4b、图 4d) 来看, 干带草原气候及沙漠气候都增加, 表征拉尼娜发生次年我国干带气候分布区呈现偏干趋势。温暖带气候分布区冬季呈现偏湿趋势, 冬干温暖气候减少 (-3.81%), 常湿温暖气候增加 (+3.21%), 相较于拉尼娜发生年呈现相反趋势。冷温带气候分布区冬季则呈现干化趋势, 冬干冷温气候增加

(-1.28%)。

进一步分析表明，我国温暖气候在厄尔尼诺与拉尼娜发生次年和发生年差异较显著（图4），常湿温暖气候及冬干温暖气候面积差异变化，表明以温暖型气候为主的南方地区在厄尔尼诺发生次年可能出现冬季偏干趋势，而在拉尼娜发生次年可能出现冬季偏湿趋势。冬干冷温气候面积在拉尼娜发生次年大幅度增加，表征以冷温气候为主的北方地区在拉尼娜发生次年可能出现冬季偏干趋势。另外，由于寒冷型沙漠气候的面积在厄尔尼诺发生次年减少，在拉尼娜发生次年增加，说明以沙漠气候为主的我国部分西北干旱地区在厄尔尼诺发生次年可能出现偏湿趋势，而在拉尼娜发生年可能出现偏干趋势。

### 2.4 敏感区分析

通过计算厄尔尼诺和拉尼娜发生年气候型分布，并与50年平均态对比（图5a~5b），发现我国有5个区域（藏南地区、陕西中部、四川中部、辽东半岛、内蒙古东部）在厄尔尼诺和拉尼娜发生年的气候型分布都与平均态不一致，即对这两种气候异常现象都较为敏感，称为厄尔尼诺/拉尼娜敏感区。长江中下游地区和华南地区仅在拉尼娜发生年气候型分布与50年平均态不一致，称为拉尼娜敏感区。

就厄尔尼诺/拉尼娜敏感区而言，我国藏南地区、陕西中部、四川中部以及辽东半岛东部在50年平均态下，当地主导气候型是常湿冷温气候，受到 ENSO 事件影响，在厄尔尼诺和拉尼娜发生

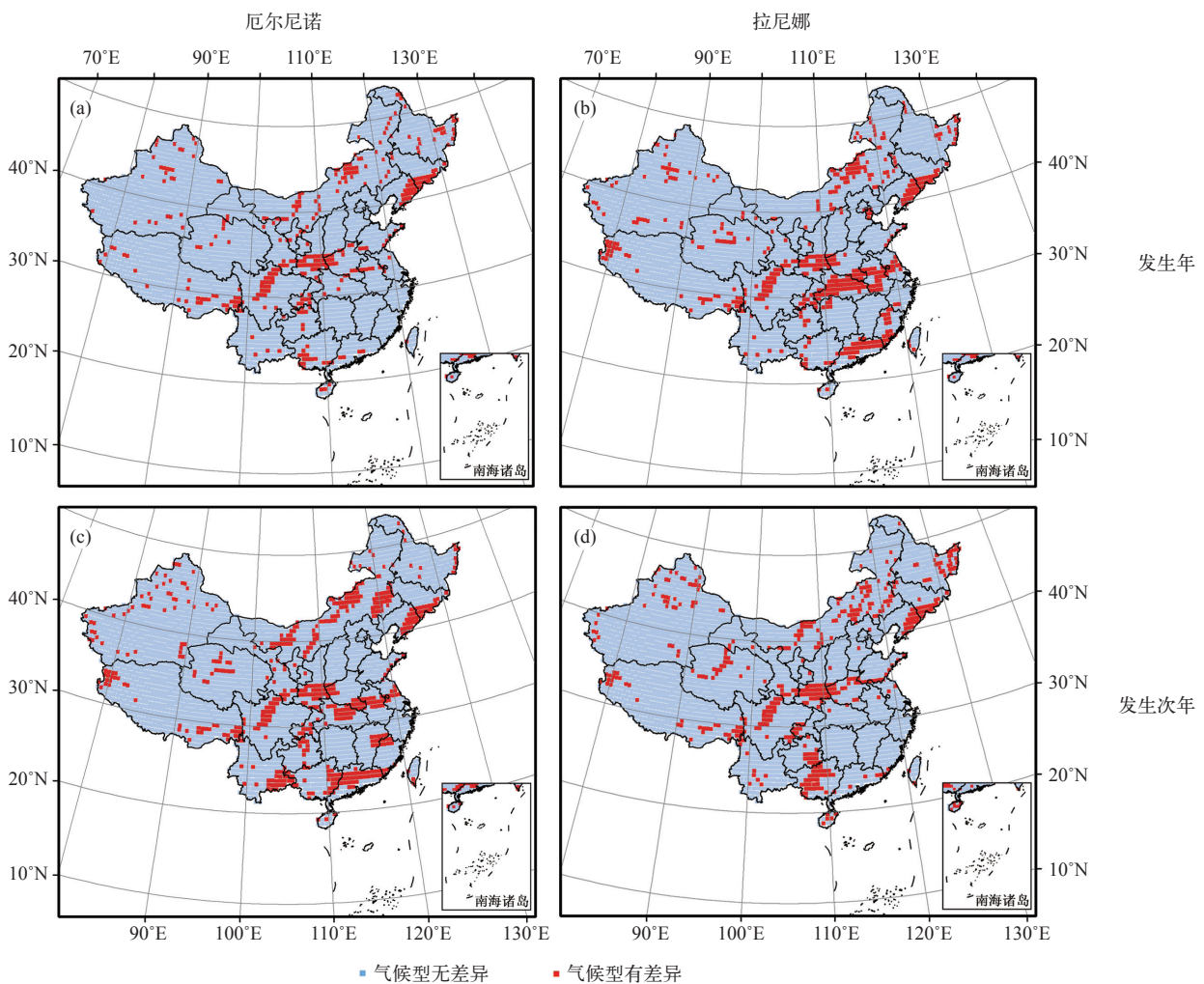


图5 厄尔尼诺和拉尼娜发生年(a, b)和发生次年(c, d)中国气候型差异分布

Fig. 5 Difference of climate types region of the occurrence (a, b) and next years (c, d) of El Niño and La Niña

年主导气候型均为冬干冷温气候, 出现冬季干化趋势。而我国内蒙古东部地区在 50 年平均态下, 主导气候型是寒冷型草原气候, 受 ENSO 事件影响, 在厄尔尼诺和拉尼娜发生年主导气候型均为冬干冷温气候, 由于冬干冷温气候是冬长、低温, 夏季最多雨月降水量至少 10 倍于冬季最干月降水量<sup>[26]</sup>, 说明在厄尔尼诺和拉尼娜发生年期间, 我国内蒙古东部地区可能冬夏降水差变大, 降水变率加大, 冬季呈现偏干趋势, 而夏季呈现偏湿趋势。就拉尼娜敏感区而言, 我国长江中下游地区和华南地区在 50 年平均态下, 主导气候型为常温温暖气候 Cfb, 而在拉尼娜年主导型气候均为冬干温暖气候 Cwa, 出现冬季干化趋势, 表征长江中下游地区和华南地区在拉尼娜年冬季降水偏少, 出现冬季干化趋势。

用同样的方法通过计算厄尔尼诺和拉尼娜发生次年气候型分布 (图 5c ~ 5d), 得到 4 个厄尔尼诺 / 拉尼娜敏感区域, 即四川中部、陕西中部、辽东半岛、内蒙古东部。而长江中下游地区、华南地区、云南东部及两广丘陵中部地区仅在厄尔尼诺发生次年气候型分布与 50 年平均态不一致, 称为厄尔尼诺敏感区。

### 3 结论与讨论

在日趋显著的全球气候变化影响下, ENSO 出现的频率和强度都呈上升趋势。本文采用国际通用的柯本气候分类, 对 ENSO 背景下中国气候分类的变化进行初步分析, 结论如下。

(1) 从整体上来看, ENSO 年从整体上对气候带分布的影响不大, 我国仍然以 4 个气候分区为主导: a) 青藏高原区, 以极地苔原气候 ET 为主, 也有少量草原气候 Bsk 分布; b) 西北干旱区, 以草原气候 Bsk 和沙漠气候 Bwk 为主; c) 秦岭淮河以北地区, 以冷温带气候为主, 包括 Ds、Dw、Df 及对应气候副型; d) 秦岭淮河以南地区, 以温暖带气候型 Cw、Cf 及对应的 a、b 两种气候副型

为主, 海南岛有少量热带气候型 Aw、Am 分布。

(2) 厄尔尼诺及拉尼娜发生年对气候型和副型的影响较为显著, 尤其是我国南方地区、西北干旱地区以及青藏高原东南部地区。与 50 年平均态相比, 我国冷温带、温暖带和干带的气候型分布差异明显, 即厄尔尼诺及拉尼娜发生年以冷温气候为主的北方地区出现冬季偏干趋势; 拉尼娜发生年以温暖带气候为主的南方地区出现冬季偏干趋势; 另外, 以沙漠气候为主的部分西北干旱区在厄尔尼诺发生年可能出现偏干趋势, 而在拉尼娜发生年可能出现偏湿趋势。厄尔尼诺及拉尼娜发生次年对气候型和副型的影响也较为显著, 尤其是我国东北地区中部、南方地区以及内蒙古东部地区。与厄尔尼诺和拉尼娜发生年相比, 我国温暖气候、干带、冷温带的气候型分布差异明显, 即以温暖型气候为主的南方地区在厄尔尼诺发生次年可能出现冬季偏干趋势, 在拉尼娜发生次年可能出现冬季偏湿趋势; 以冷温气候为主的北方地区在拉尼娜发生次年可能出现冬季偏干趋势。另外, 以沙漠气候为主的我国部分西北干旱地区在厄尔尼诺发生次年可能出现气候偏湿趋势, 而在拉尼娜发生年可能出现偏干趋势。

(3) 厄尔尼诺和拉尼娜发生年我国存在 5 个厄尔尼诺 / 拉尼娜敏感区 (藏南地区、陕西中部、四川中部、辽东半岛、内蒙古东部) 和 2 个拉尼娜敏感区 (长江中下游地区和华南地区)。另一方面, 厄尔尼诺和拉尼娜发生次年我国存在 4 个厄尔尼诺 / 拉尼娜敏感区 (四川中部、陕西中部、辽东半岛、内蒙古东部) 和 4 个厄尔尼诺敏感区 (长江中下游地区、华南地区、云南东部及两广丘陵中部地区)。

以上仅仅是对以日本气象厅给出的 ENSO 指标下 ENSO 年平均状况的分析结果, 不同指标对结果的影响不在本文讨论的范围。另外, 不同 ENSO 年在发生时间、地区和强度, 以及演变过程也存在着较大的差异, 这些差异对我国气候分类是否产生影响有待进一步研究。■



## 参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013
- [2] 王文, 马劲松, 许武城. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述 [J]. 气象科学, 2005, 25 (2): 212-220. Wang W, Ma J S, Xu W C. A review of study on the influence of ENSO events on the climate in China [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2005, 25 (2): 212-220 (in Chinese)
- [3] Brönnimann S. Impact of El Niño Southern Oscillation on European climate [J]. Reviews of Geophysics, 2007, 45 (3). DOI: 10.1029/2006RG000199
- [4] Glantz M H. Shades of chaos: lessons learned about forecasting El Niño and its impacts [J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2015, 6 (1): 94-103
- [5] Cravatte S, Delcroix T, Zhang D, *et al.* Observed freshening and warming of the Western Pacific warm pool [J]. Climate Dynamics, 2009, 33 (4): 565-589
- [6] Lee T, McPhaden M J. Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific [J]. Geophysical Research Letters, 2010, 37: L14603. DOI: 10.1029/2010GL044007
- [7] Power S, Delage F, Chung C, *et al.* Robust twenty-first-century projections of El Niño and related precipitation variability [J]. Nature, 2013, 502 (7472): 541-545
- [8] 夏杨, 孙旭光, 闫燕, 等. 全球变暖背景下 ENSO 特征的变化 [J]. 科学通报, 2017, 62 (16): 1738-1751. Xia Y, Sun X G, Yan Y, *et al.* Change of ENSO characteristics in response to global warming [J]. Chinese Science Bulletin, 2017, 62 (16): 1738-1751 (in Chinese)
- [9] 刘永强, 丁一汇. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响 [J]. 大气科学, 1995, 19 (2): 200-208. Liu Y Q, Ding Y H. Reappraisal of the influence of ENSO events on seasonal precipitation and temperature in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1995, 19 (2): 200-208 (in Chinese)
- [10] 苏明峰, 王会军. 中国气候干湿变率与 ENSO 的关系及其稳定性 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36 (10): 951-958. Su M F, Wang H J. Relationship and stability between climate variability and ENSO in China [J]. Science in China Ser D: Earth Sciences, 2006, 36 (10): 951-958 (in Chinese)
- [11] 周淑贞, 张如一, 张超. 气象学与气候学: 第三版 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 200-208. Zhou S Z, Zhang R Y, Zhang C. Meteorology and climatology [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 1997: 200-208 (in Chinese)
- [12] 周淑贞. 世界气候分类刍议 [J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 1980 (3): 1-14. Zhou S Z. On the classification of world climate [J]. Journal of Shanghai Normal University: Natural Science Edition, 1980 (3): 1-14 (in Chinese)
- [13] 林正云, 张明锋. 世界气候分类 [J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2000, 16 (2): 102-106. Lin Z Y, Zhang M F. Classification of world climate [J]. Journal of Fujian Teachers University: Natural Science, 2000, 16 (2): 102-106 (in Chinese)
- [14] Köppen W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt [J]. Geographische Zeitschrift, 1900, 6 (11): 593-611
- [15] Kalvova J, Halenka T, Bezpalcova K, *et al.* Köppen climate types in observed and simulated climates [J]. Studia Geophysica Et Geodaetica, 2003, 47 (1): 185-202
- [16] Kottke M, Grieser J, Beck C, *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2006, 15 (3): 259-263
- [17] Peel M C, Finlayson B L, McMahon T A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2007, 11 (3): 259-263
- [18] 朱炳海. 中国气候 [M]. 北京: 科学出版社, 1962. Zhu B H. Chinese climate [M]. Beijing: Science Press, 1962 (in Chinese)
- [19] 竺可桢. 中国气候区域论 [J]. 地理学报, 1930, 2 (3): 438. Zhu K Z. Climate regionalism in China [J]. Acta Geologica Sinica, 1930, 2 (3): 438 (in Chinese)
- [20] 涂长望, 卢鋈. 中国气候区域 [J]. 地理学报, 1936, 3 (3): 495-524. Tu C W, Lu W. Chinese provinces of China [J]. Acta Geologica Sinica, 1936, 3 (3): 495-524 (in Chinese)
- [21] 涂长望, 郭晓岚. Koeppen 范式的中国气候区域 [J]. 气象学报, 1938, 14 (2): 51-67. Tu C W, Guo X L. Climatic regions of China according to the Koeppen's classification [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1938, 14 (2): 51-67 (in Chinese)
- [22] 卢鋈. 中国气候区域新论 [J]. 地理学报, 1946, 12-13 (1): 1-10. Lu W. A new discussion about climatic provinces of China [J]. Acta Geologica Sinica, 1946, 12-13 (1): 1-10 (in Chinese)
- [23] 陶诗言. 中国各地水分需要量之分析与中国气候区域之新分类 [J]. 气象学报, 1949, 20: 43-50. Tao S Y. Analysis of the water requirements of China & a new classification for Chinese climate area [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1949, 20: 43-50 (in Chinese)
- [24] 张宝堃, 朱岗昆. 中国气候区划: 初稿 [M]. 北京: 科学出版社, 1959: 1-297. Zhang B K, Zhu G K. Climatic of China: draft [M]. Beijing: Science Press, 1959: 1-297 (in Chinese)
- [25] 陈咸吉. 中国气候区划新探 [J]. 气象学报, 1982, 40 (1): 35-48. Chen X J. A new approach to the climate division of China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1982, 40 (1): 35-48 (in Chinese)
- [26] 朱耿睿, 李育. 基于柯本气候分类的 1961—2013 年我国气候区类型及变化 [J]. 干旱区地理, 2015, 38 (6): 1121-1132. Zhu G R, Li Y. Types and changes of Chinese climate zones from 1961 to 2013 based on Köppen climate classification [J]. Arid Land Geography, 2015, 38 (6): 1121-1132 (in Chinese)
- [27] 中国气象局. 中国气候资源地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1979: 222-223. China meteorological administration. The climate resources atlas of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Map Press, 1979: 222-223 (in Chinese)
- [28] 中国气象局. 中华人民共和国气候图集 [M]. 北京: 中国地图出版社, 2002: 6-7. China Meteorological Administration. The climate atlas of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Map Press, 2002: 6-7 (in

- Chinese)
- [29] 中国标准化研究院, 国家气象中心. 中华人民共和国国家标准: 中国气候区划名称与代码—气候带和气候大区 (GB/T17297—1998) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 1-8. China National Institute of Standardization, National Meteorological Center. National standard of the People's Republic of China: name and code of climate regionalization in China—climate zones & climate regions (GB/T17297—1998) [S]. Beijing: Standard Press of China, 2004: 1-8 (in Chinese)
- [30] 郑景云, 尹云鹤, 李炳元. 中国气候区划新方案 [J]. 地理学报, 2010, 65 (1): 3-12. Zheng J Y, Yin Y H, Li B Y. A new scheme for climate regionalization in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 65 (1): 3-12 (in Chinese)
- [31] 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 等. 1981—2010 年中国气候区划 [J]. 科学通报, 2013, 58 (30): 3088-3099. Zheng J Y, Bian J J, Ge Q S, *et al.* The climate regionalization in China for 1981—2010 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58 (30): 3088-3099 (in Chinese)
- [32] 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 等. 中国 1951—1980 年及 1980—2010 年的气候区划 [J]. 地理研究, 2013, 32 (6): 987-997. Zheng J Y, Bian J J, Ge Q S, *et al.* The climate regionalization in China for 1951—1980 and 1980—2010 [J]. *Geographical Research*, 2013, 32 (6): 987-997 (in Chinese)
- [33] 刘静. 气候变暖背景下中国气候区划的变化 [D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2014. Liu J. Change in climate regionalization in China under the background of global warming [D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2014 (in Chinese)
- [34] 王连喜, 陈怀亮, 李琪, 等. 农业气候区划方法研究进展 [J]. 中国农业气象, 2010, 31 (2): 277-281. Wang L X, Chen H L, Li Q, *et al.* Research progress on agricultural climatic division methods in China [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31 (2): 277-281 (in Chinese)
- [35] 王连喜, 李欣, 陈怀亮, 等. GIS 技术在中国农业气候区划中的应用进展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (14): 361-364. Wang L X, Li X, Chen H L, *et al.* Application progress of GIS for agro-climatic division in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (14): 361-364 (in Chinese)
- [36] 任福民, 袁媛, 孙丞虎, 等. 近 30 年 ENSO 研究进展回顾 [J]. 气象科技进展, 2012, 2 (3): 17-24. Ren F M, Yuan Y, Sun C H, *et al.* Review of progress of ENSO studies in the past three decades [J]. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2012, 2 (3): 17-24 (in Chinese)
- [37] Harris I, Jones P D, Osborn T J, *et al.* Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 dataset [J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34 (3): 623-642
- [38] 闻新宇, 王绍武, 朱锦红, 等. 英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的二十世纪中国气候变化 [J]. 大气科学, 2006, 30 (5): 894-904. Wen X Y, Wang S W, Zhu J H, *et al.* An overview of China climate change over the 20th century using UK UEA/CRU high resolution grid data [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2006, 30 (5): 894-904 (in Chinese)
- [39] Glantz M H. Currents of change: El Niño's impact on climate and society [M]. London: Cambridge University Press, 1996
- [40] 袁媛, 杨辉, 李崇银. 不同分布型厄尔尼诺事件及对中国次年夏季降水的可能影响 [J]. 气象学报, 2012, 70 (3): 467-478. Yuan Y, Yang H, Li C Y. Study of El Niño events of different types and their potential impact on the following summer precipitation in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 70 (3): 467-478 (in Chinese)

## Climate classification over China based on Köppen climate classification in the context of ENSO

LI Yi-Man, YE Qian

*Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*

**Abstract:** In this study, the traditional Köppen climate classification was used to composite analyze the climate of 22 El Niño and La Niña years in China during the period 1966–2015, and the results were compared with those in the 50 years from 1966 to 2015. The results are as follows. During ENSO years, there are no significant changes on the distribution of the climate zones as a whole. China is mainly dominant by four climate zones. The climate types and subtypes, however, are changed significantly during El Niño and La Niña years and next years, especially in southern, northeastern and northwestern China. There are five sub-regions in China, namely southeastern Tibet, the central of Shaanxi province, the central of Sichuan province, Liaodong Peninsula and eastern Inner Mongolia, which are sensitive to both El Niño and La Niña years, and these sensitive regions tend to be drier in winter. There are still two sub-regions in China, namely the middle and lower reaches of the Yangtze River and South China, which are sensitive to La Niña years and also tend to be drier in winter. In addition, there are four sub-regions in China, namely the central of Shaanxi province, the central of Sichuan province, Liaodong Peninsula and eastern Inner Mongolia, which are sensitive to the next years of both El Niño and La Niña. There are also four sub-regions in China, namely the middle and lower reaches of the Yangtze River, South China, the east of Yunnan province and the central of Guangdong and Guangxi Hills, which are sensitive to the next years of El Niño.

**Keywords:** ENSO; Köppen climate classification; Climate type; Sensitive regions