

秦璐,栾东红,姜超,等.北大西洋上层海温的季节变率分析[J].陕西气象,2021(1):21-27.

文章编号:1006-4354(2021)01-0021-07

北大西洋上层海温的季节变率分析

秦璐¹,栾东红²,姜超²,纪旭鹏²

(1.牟平区气象局,山东烟台 264100;2.烟台市气象局,山东烟台 264000)

摘要:利用1981年至2018年的月全球海温同化资料(GODAS)以及热通量、扰动速度和平均流场等数据,统计分析北大西洋上层海温的季节变化特征。以海温控制方程为理论基础,定量诊断了北大西洋不同海区中热通量、扰动速度对平均温度的平流贡献、平均流场对扰动温度的平流贡献,探讨比较了三个上层海温影响因子的季节分布及其对海温影响的相关贡献大小。研究发现:在北大西洋上层海温的季节变化中,热通量贡献在相关贡献中占绝对优势地位,空间分布也具有有一致性,扰动速度对平均温度的平流贡献有次要影响,平均流场对扰动温度的平流贡献影响较小。

关键词:北大西洋;上层海温;季节变率;热通量

中图分类号:P462.2

文献标识码:A

海温是反映海水冷热状况的一个物理量,不同的海温特征可直接影响不同海气耦合系统,是大气异常的重要驱动因子^[1],对于全球气候系统的季节、年际、年代际变化都有重要影响。梅笑冬^[2]在论述中提到,大气环流对上层海洋热状况有主导性的驱动作用。魏萌等^[3-5]通过对全球上层海温年周期和半年周期振荡显著性研究后认为,大西洋中纬度上层海温季节变化以年变化为主,受净热通量影响。霍利微^[6]较近期的研究也表明冬季大西洋的海温 EOF 分布的第一模态 30°N 以南海区海温有一致变化,第二模态表明北大西洋中 25°N~45°N 海温有相同的变化趋势,且与我国冬季气温呈现正相关。张霏燕,徐海明^[7]的研究发现,中北大西洋海区为影响中国东北地区春季极端低温的关键海区,我国东北地区春季极端低温的年份,中北大西洋较常年偏冷。而热带北大西洋海温与南海夏季风存在显著负相关,北大西洋海温正常时,南海季风增强^[8]。李忠贤^[9]最新研究表明,春季热带大西洋北部海温异常变化特征与中国盛夏华中地区降水异常呈

现正相关。北大西洋海温异常的显著性差异是导致夏季中国东部降水以及大尺度环流异常存在的明显差异的原因之一^[10-11]。以上研究表明北大西洋海区为影响中国气候的重要海区,大西洋上层海温可作为对中国区域气候分析与研究的重要影响要素。本文对影响大西洋上层海温的因子做更为深入的研究,可为中国区域气候研究提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 数据资料

所用资料来自美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction,简称 NCEP)提供的月平均全球海温同化资料(GODAS)。20世纪80年代以后卫星观测显著提高了观测精度,使得资料具备可靠性强、时间序列长的优点。研究选取了1981—2018年的月平均海温资料,其空间分辨率为 0.333° (纬度) $\times 1^\circ$ (经度),水平范围为 $0^\circ\text{N}\sim 64.5^\circ\text{N}$ 、 $80^\circ\text{W}\sim 20^\circ\text{E}$,用深度200 m的海表面上层海温来表示上层海洋的热力状况。同时选取了38年

收稿日期:2020-05-14

作者简介:秦璐(1995—),女,汉族,山东烟台人,学士,助理工程师,从事地面综合气象业务。

基金项目:山东省气象局预报员专项项目(SDYBY2018-09)

间 NCEP 北大西洋空间分辨率相同深度同为 200 m 的海表向下热通量 (GODAS)、扰动速度和平均流场数据。

1.2 方法

利用 38 年海温资料, 通过将海温的春、夏、秋、冬四季多年平均值与海温 38 年年平均值分别做差值, 得到海温年内距平分布, 分析 1981—2018 年四季北大西洋上层海温变化的空间分布。

对于影响北大西洋上层海温变化的主要贡献因子可根据海温控制方程^[12-13]分析得到。通过小扰动法处理, 略去非线性等高阶小量, 海温控制方程可简化为式(1):

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial Q'}{\partial z} - u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} - w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} - \bar{u} \frac{\partial T'}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial T'}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z} \quad (1)$$

(1)式等号左侧为海温变化的时间倾向项。将等号右边各项进行分类:

第一部分, $\frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial Q'}{\partial z}$ 表示海表热通量的贡献;

第二部分, $-u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} - w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$ 表示扰动速度对平均温度的平流贡献;

第三部分, $-\bar{u} \frac{\partial T'}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial T'}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z}$ 表示平均流场对扰动温度的平流贡献。

由于海洋温跃层的深度一般为 200 m, 常用海洋表层到其下 200 m 的整体海温表征为上层海温。将(1)式从 $H=200$ m 深度到表层积分, 得到式(2):

$$\int_{-H}^0 \frac{\partial T'}{\partial x} dz = \int_{-H}^0 \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial Q'}{\partial z} dz + \int_{-H}^0 \left(-u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} - w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right) dz + \int_{-H}^0 \left(-\bar{u} \frac{\partial T'}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial T'}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z} \right) dz \quad (2)$$

假设 200 m 处热通量为 0, 则 $\int_{-H}^0 \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial Q'}{\partial z} dz$

$= Q'_0$, 其中 Q'_0 为海表处的热通量异常。将式(2)两边同除以上层厚度 H , 得到式(3):

$$\frac{\partial T'_H}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_p} \frac{Q'_0}{H} + \frac{1}{H} \int_{-H}^0 \left(-u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} - v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} - w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right) dz + \int_{-H}^0 \left(-\bar{u} \frac{\partial T'}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial T'}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial T'}{\partial z} \right) dz \quad (3)$$

其中, $T'_H = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 T' dz$, 为上层 200 m 的海温距平值。

式(3)给出了海表热通量的贡献、扰动速度对平均温度的平流贡献和平均流场对扰动温度的平流贡献与海温变化之间的关系。

在对海表向下热通量 (GODAS)、扰动速度和平均流场数据, 采用和海温类似的季平均及其距平处理后, 即可表征式(3)右侧各项, 将其与海温距平的时间变化进行相关分析及 T 检验, 分析各因子对北大西洋上层海温变化的影响。

2 北大西洋上层海温的季节变化

利用 38 年上层海温春季 (3—4 月)、夏季 (6—8 月)、秋季 (9—11 月)、冬季 (12 月—次年 2 月) 和年 (12 月—次年 11 月) 上层海温资料多年 (38 年) 平均值, 将四季上层海温资料多年平均值与年海温多年平均值做差值, 得到北大西洋上层海温季节变化的距平值。

结果表明北大西洋上层海温最冷的季节是春季, 春季比冬季的海温更冷、位置更偏南; 最暖的是秋季, 秋季比夏季海温更高, 秋季和夏季海温分布位置基本相同, 但低纬副热带海区海温极值位置分布与春季相同, 海温距平值正负相反 (图 1)。

夏半年夏、秋二季在北大西洋的西北侧海区出现海温暖中心, 极值高达 1.5°C 以上。在秋季暖海温正中心范围很大, 纬向横跨半个大西洋, 海区分布在 $30^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$, 在热带地区有高值, 副热带存在低值中心。夏季高值中心位置虽与前者相同但强度明显减弱、范围缩小, 高值中心也不存在。两季的海温冷 (负距平) 中心皆在靠近赤道的海区出现, 负距平值超过 -1°C , 但秋季负距平中心强度强、范围大, 位置靠北。

冬半年冬、春季的海温距平中心与夏半年的高值区和负高值区位置重合且出现反向趋势,负中心出现在北大西洋的西北沿岸,正中心在赤道附近海域出现。春季负值中心相比冬季明显强度更强且范围更大,而高值中心强于冬季。

由分析可见,北大西洋四季的海温距平在中

纬大洋西侧海区海温最暖(最冷),出现正(负)值中心,低纬热带与副热带海区分布出现相对的暖海温(冷海温)值与冷海温(暖海温)值中心。由于海洋特性,上层最暖季节出现在秋季,最冷季节出现在春季,而非气候夏季、冬季,四季中海温的季节变化出现滞后,相比大气滞后一个季节。

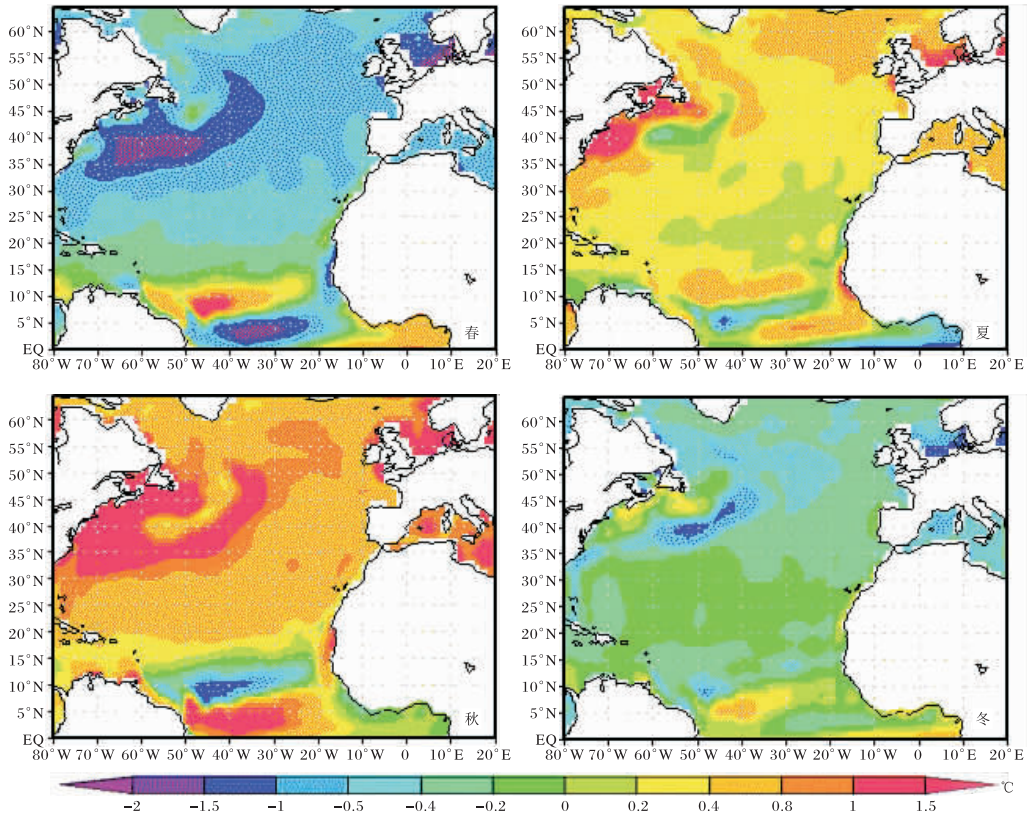


图1 1981—2018年北大西洋上层海温的四季分布图

3 各项因子对北大西洋上层海温季节变化的影响

3.1 各项因子对北大西洋上层海温变化的贡献

海气界面的能量交换(即海表向下热通量)是影响上层海温的重要因子,海水热通量净收入时海温呈现上升趋势,热通量净支出时海温表现下降趋势^[14]。以简化的海温控制方程为基础,进行线性化处理,对式(3)右侧三项因子在北大西洋上层海温变化所起作用进行分析。

将海温变化的时间倾向(图2)与热通量的贡献(图3)对比,可以看出二者季节分布对应较好,具有很高的相似度,中高纬地区尤其明显。春、夏季和冬季的海温在热通量贡献的影响下,在北大西洋西北海区出现了极大值中心,夏、冬季的温度变化略弱且位置偏南;春季两个变量范围分布相

同,海温距平的时间变化贡献强度略强于热通量贡献。秋季强度较弱,总体分布呈现一致性。

对比分析海温变化的时间倾向(图2)与扰动速度对平均温度的平流贡献(图4),可以看出在低纬地区此项因子对海温有影响,这种作用夏季、冬季表现强烈,春、秋影响较弱,冬季表现的最为明显,同时大西洋西北沿岸也出现了次高值中心。

对比分析海温变化的时间倾向(图2)与平均流场对扰动温度的平流贡献(图5)表明,此项因子总体上对大西洋海温的影响表现较弱,夏季与秋季对大西洋西岸有产生小范围影响。

综上,热通量贡献项在上层海温变化中起主要作用,高纬地区大西洋西岸与海温变化的时间

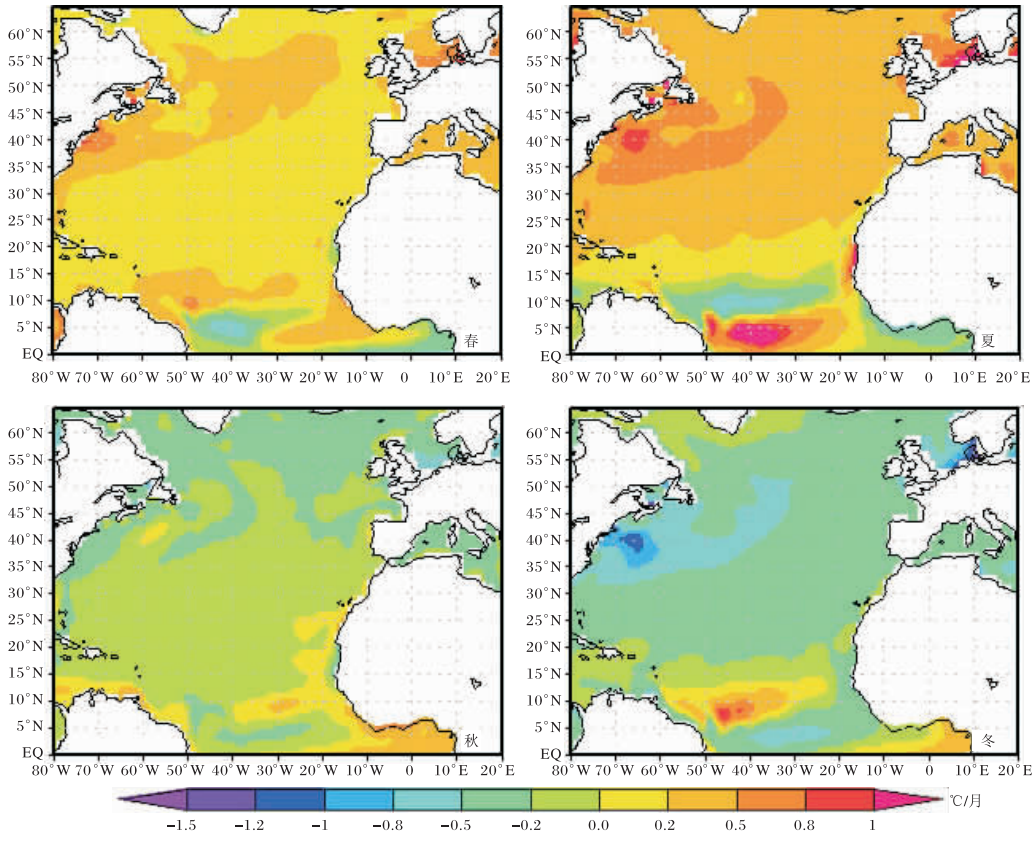


图2 1981—2018年北大西洋各季节上层海温变化的时间倾向分布图

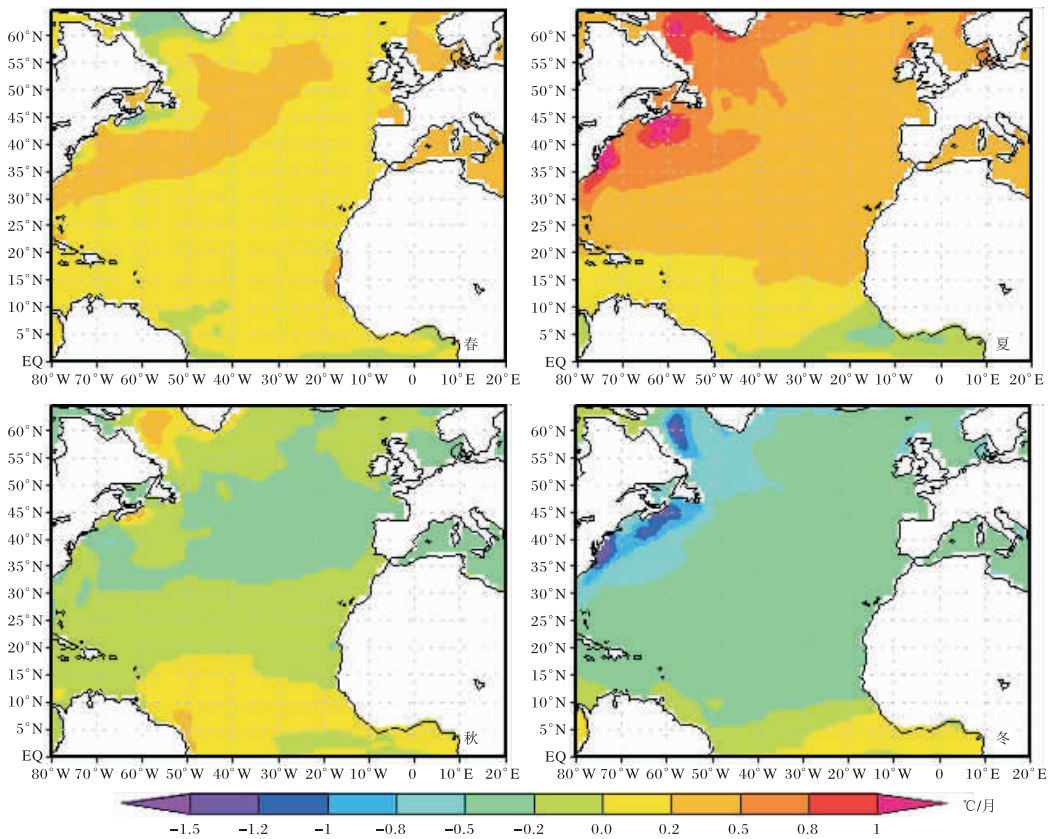


图3 1981—2018年北大西洋各季节上层海洋热通量对上层海温变化的贡献分布图

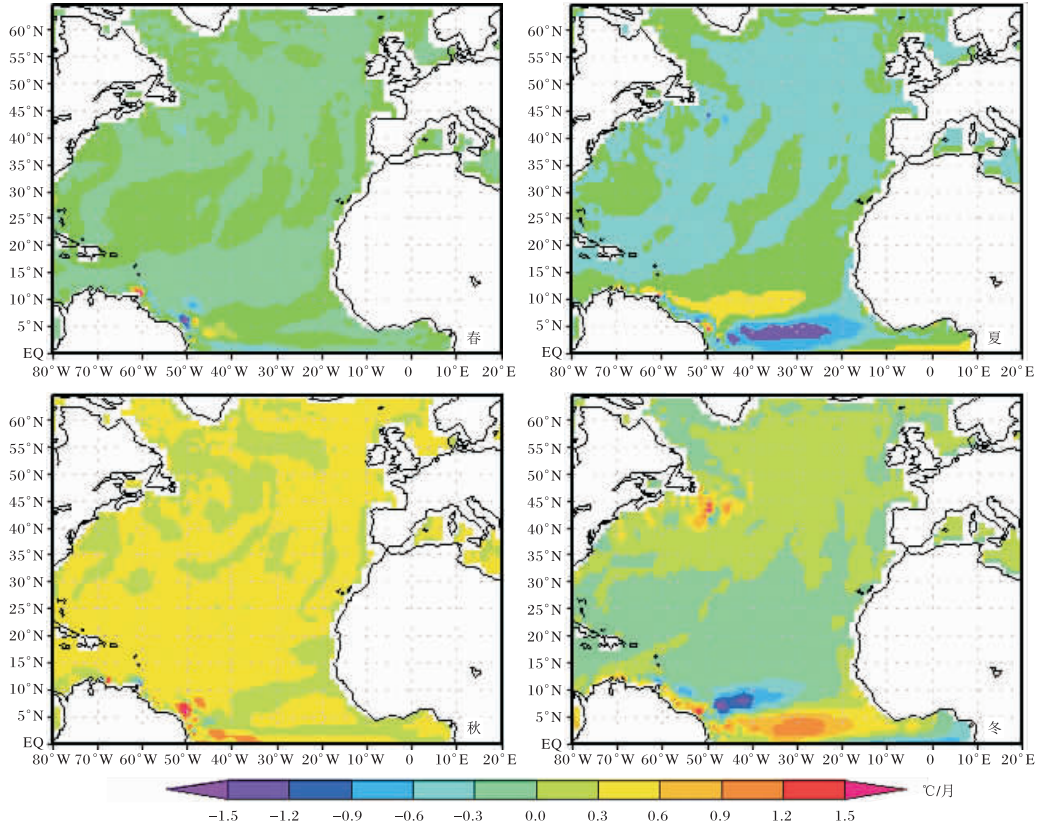


图4 1981—2018年北大西洋各季节上层海洋扰动速度对上层海温变化的贡献分布图

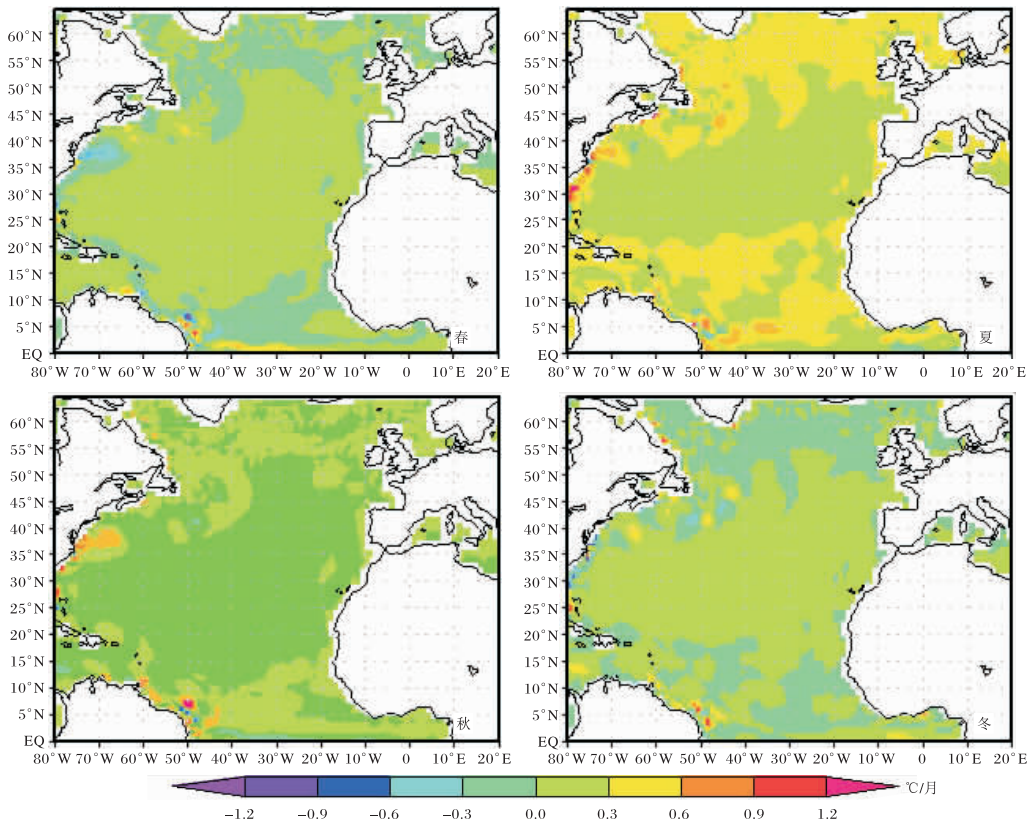


图5 1981—2018年北大西洋各季节上层海洋平均流场对上层海温变化的贡献分布图

倾向在空间分布上四季均有一致性;扰动速度对平均温度的平流贡献起次要作用,主要表现在热带低纬海区;与前两者相比,平均流场对扰动温度的平流贡献的影响较弱。

3.2 各项因子与北大西洋上层海温变化的相关性分析

图 6a 给出了 38 年海温变化的时间倾向与热通量贡献的相关系数(r)的分布图,其中白色标示未通过检验的区域,暖色为通过检验的正相关区域,冷色区域为通过检验的负相关区域。可以看出,两者的相关程度稳定,通过了 0.01 的显著性检验。正相关区域中心位于北大西洋海区中高纬大部分地区以及副热带大洋沿岸, r 最高值超过 0.8;赤道附近海区存在负相关,负相关中心也具有很好的稳定性,通过 0.01 的显著性检验,负相关系数最高可达 -0.6。在通过正负显著性检验的海

区,存在少量未通过检验的海区。表明虽然整个海区的海温与热通量值存在连续的相关关系,但不同区域也存在一定差异。可见热通量的贡献对在中高纬上层海温的变化起到了很好的相关影响。

海温变化的时间倾向与扰动速度对平均温度的平流贡献的相关系数(r)如图 6b 所示,以通过了 0.01 的显著性检验的负相关区域为主,主要分布在高纬和低纬地区。通过 0.01 显著性检验的正相关海区分布于中纬。两者的相关稳定性程度明显弱于热通量贡献的温度变率。

从海温变化的时间倾向与平均流场对扰动温度平流贡献的相关系数(r)分布图(6c)可以看出,检验效果次于热通量贡献、扰动速度对平均温度的平流贡献。在高纬与副热带表现为正相关,中纬与赤道地区表现出负相关,正负相关分别通过了 0.01 的显著性检验,相关区域分布零散。

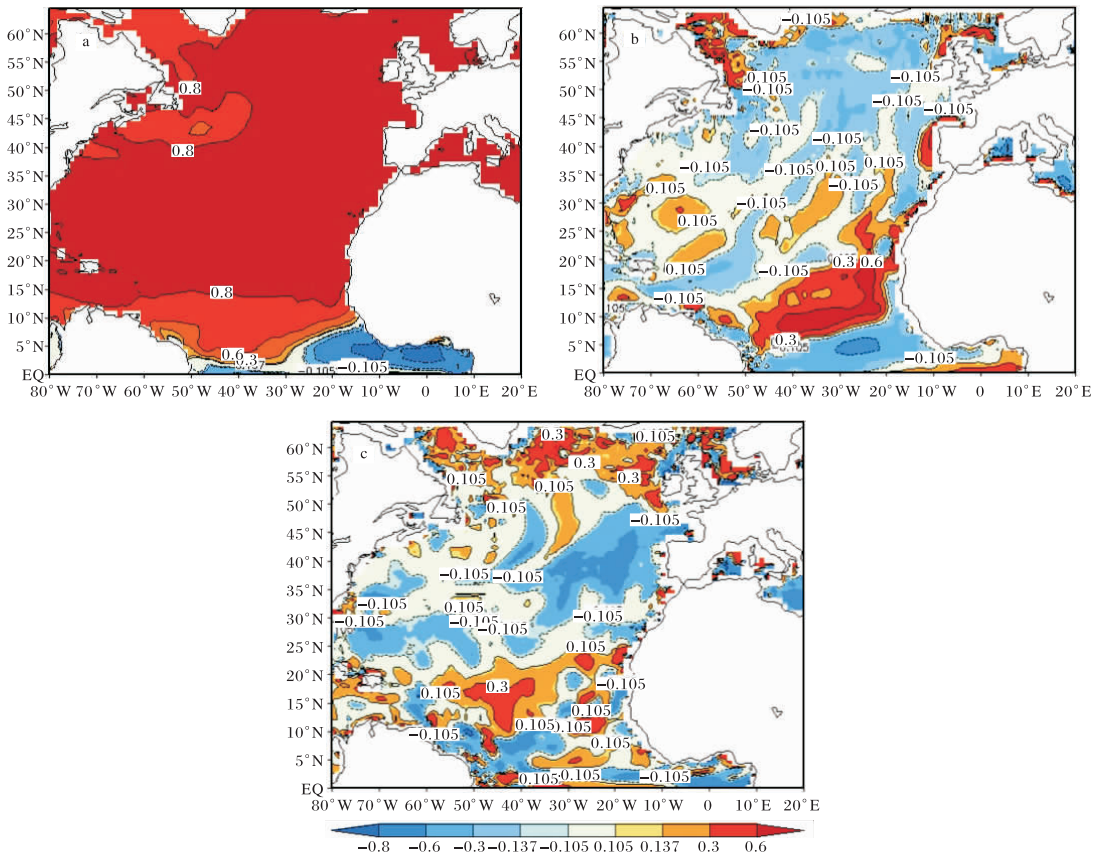


图 6 1981—2018 年北大西洋上层海温变化的时间倾向与热通量贡献(a)、扰动速度对平均温度的平流贡献(b)和平均流场对扰动温度的平流贡献(c)的相关系数分布

4 结论

(1)北大西洋在中纬大洋西侧海区冬半年(春、冬)出现海温距平负值中心,夏半年(夏、秋)出现海温距平正值中心,副热带与热带赤道附近也随季节变化出现反相位的海温距平正负中心。其中海温距平的正、负极值分别出现在秋季和春季,北大西洋上层海温季节变化出现滞后现象,受海洋特性影响上层海温变化相比气温变化滞后一个季节。

(2)简化后的海温控制方程进行积分处理($H=200\text{ m}$),得到了影响北大西洋上层海温变化的三项影响因子:热通量贡献、扰动速度对平均温度的平流贡献与平均流场对扰动温度的平流贡献。

(3)第一项因子热通量贡献在上层海温变化中起主要作用,其中高纬度海区与北大西洋海温变化的时间倾向在四个季节都高度重合;第二项因子扰动速度对平均温度的平流贡献表现出次要作用,在低纬地区对海温有影响,其作用夏季、冬季表现强烈,春秋影响较弱;第三项因子平均流场对扰动温度的平流贡献表现较弱,在夏季与秋季对北大西洋西岸有产生小范围影响。

(4)北大西洋上层海温变化与各因子的相关性分析中,第一项影响因子热通量贡献在整个海区基本通过显著性为0.01的正相关检验,相关性良好。第二项影响因子在高纬和低纬地区,以负相关为主,相关稳定性程度弱于第一项影响因子。第三项影响因子在高纬与副热带表现为正相关,中纬与赤道地区表现出负相关,相关区域分布零散。

参考文献:

- [1] 蒋全荣,郑定英. 北太平洋海水表层铅直热通量收支的季节变化及与海温的联系[J]. 气象科学, 1997, 17(2):143-150.
- [2] 梅笑冬. 北大西洋海温对NAO型大气环流异常的影响研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2015.
- [3] 魏萌,胡瑞金. 全球上层海温季节变化特征[C]//2011年第28届中国气象学会年会论文集:S17第三届研究生年会. 北京:中国气象学会, 2012:1-12.
- [4] 魏萌,胡瑞金. Argo资料的全球上层海温年和半年周期振荡的空间分布特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(6):24-33.
- [5] 魏萌. 基于Argo资料的全球海温多时间尺度变化研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2012.
- [6] 霍利微. 热带大西洋海温异常对西北太平洋热带气旋活动的影响及机理研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2015.
- [7] 张霏燕,徐海明. 东北春季极端低温的变化特征及其与大西洋海温的关系[J]. 大气科学学报, 2011, 34(5):574-582.
- [8] 徐集云,霍利微,宋超辉,等. 热带北大西洋海温异常对南海夏季风的影响及其机理[J]. 大气科学学报, 2019, 42(2):293-302.
- [9] 李忠贤,陈晨,曾刚,等. 春季热带大西洋北部海温异常与我国盛夏降水异常的联系[J]. 热带气象学报, 2019, 35(6):756-766.
- [10] 任宏昌,左金清,李维京. 1998年和2016年北大西洋海温异常对中国夏季降水影响的数值模拟研究[J]. 气象学报, 2017, 75(6):877-893.
- [11] 余滔. 大西洋Nino的气候特征及其与我国夏季降水异常的联系[D]. 南京:南京信息工程大学, 2018.
- [12] 刘珊,王辉,姜华,等. 北太平洋海表温度及各贡献因子的变化[J]. 海洋学报, 2013, 35(1):63-75.
- [13] 刘珊. 北太平洋上层海洋热收支研究[D]. 北京:中国科学院, 2011.
- [14] 余斌,BOER G J, ZWIERS F W. 海表热通量反馈及海温变率[J]. 大气科学学报, 2011, 34(1):1-7.