

文章编号: 1000-0534(2005)03-0415-07

中国北方干旱区感热及潜热的异常特征

惠小英^{1, 2}, 王澄海², 左洪超¹, 董文杰³

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国气象局 国家气候中心, 北京 100081)

摘要:通过对 1949 - 1999 年逐月 NCEP/NCAR 感热通量和潜热通量再分析资料的分析, 发现在我国北方干旱区感、潜热通量的年际变化存在着 2~3 个敏感区, 分别位于西北和华北及内蒙一带。其中以东部的华北 - 内蒙区最为显著。代表上述两个地区通量的平均年际变化表明, 在 20 世纪 60 年代后期, 感、潜热通量存在一个突变; 进入 70 年代以后, 上述两个地区的感热通量保持在一个较高的水平上, 潜热通量的变化则呈现出相反的变化。

关键词: 北方干旱区; 感热通量; 潜热通量; 异常特征

中图分类号: P404 **文献标识码:** A

1 引言

在全球气候变暖的背景下, 不合理的土地利用和植被覆盖变化会引起地气系统的能量水分交换发生变化。研究表明^[1], 近百年来, 我国西北、华北西部有明显变干的趋势。进一步研究^[2, 3]也表明, 青藏高原等地形是我国干旱、半干旱区形成的主要原因之一, 因此, 关于青藏高原对季风和水汽的阻挡的研究, 如 Flohn^[4]指出高原感热、潜热加热对南亚高压和南亚季风环流的形成有重要意义。青藏高原的感热气泵引起的补偿性下沉气流是干旱形成的原因之一^[5]。NCEP 的感、潜热通量的资料分析表明, 夏季, 我国的干旱、半干旱区是欧亚大陆上感热通量最强的地区, 潜热通量则最弱。同时指出, 这些地区的年际变率较小, 而年代际变率则较大; 陆面通量的变化直接与大气环流的上升下沉运动相联系^[4]。

感热通量和潜热通量反映了大气和地表的水热交换, 通过非绝热效应对大气加热, 因此, 对大气环流和局域气候有着重要影响, 而其值的大小与下垫面的物理状态、植被状况和降水变化密切相关。我国的北方干旱区降水少、蒸发大, 生态系统脆弱, 属于雨养农业和退化草原区^[6~13]。土壤结构和植被结构存在着较大差异, 对太阳辐射的反照率和

吸收也有较大的差异, 因而与大气的水热交换也存在着较大差异。因此, 研究这一地区的感热和潜热的变化规律不但对北方干旱地区如何改善地表植被、增加土地利用的科学性有着现实意义, 同时对认识干旱区的干旱机理有着重要的理论意义。

2 资料和方法

本文利用 NCEP/NCAR 1949—1999 年的再分析资料^[14], 分析了我国北方干旱、半干旱区的感热和潜热的年际变化。我们注意到 NCEP/NCAR 属于同化资料, 地面通量资料属于 C 类资料, 但是鉴于目前还缺少准确估算地面通量的有效途径和方法, 因此, 该资料仍然不失为研究陆面通量变化, 尤其研究长时间尺度变化的参考变量。感热和潜热是地表热量平衡中变化最为敏感的因子, 因此我们重点对感热(SH)和潜热(LH)变化进行分析。

对我国北方地区的感热和潜热的平均情况进行分析(图 1)。从干旱区(90°~110°E, 38°~45°N)的年平均情况来看, 感热的最大值出现在 6 月份, 最小值出现在冬季的 1 月份; 而潜热的最大值出现在 4 月份, 10~11 月份潜热较小, 6 月感热和潜热的总和达到 110~120 W·m⁻²。因此, 我们只分析 4 月和 6 月的情况。在 1949—1999 年 NCEP 的再分析资料中, 对 70°~120°E, 35°~55°N 范围内的感

收稿日期: 2004-01-06; 改回日期: 2004-03-29

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043408); 国家自然科学基金重点项目(90202014); 亚洲季风区海-陆-气相互作用对我国气候变化的影响(ZKCX2-SW-210); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZ-SW-02)共同资助

作者简介: 惠小英(1965—), 女, 甘肃兰州人, 在职博士, 助理研究员, 主要从事气候模拟和诊断分析研究。E-mail: hxy@ns.lzb.ac.cn

热和潜热通量进行正交展开,对每个格点上的每个月的资料先做标准化处理,处理后每个格点上的资料方差为1,这样场的总方差实际上为分析场的格点数。在此基础上分析其年际异常的敏感区。

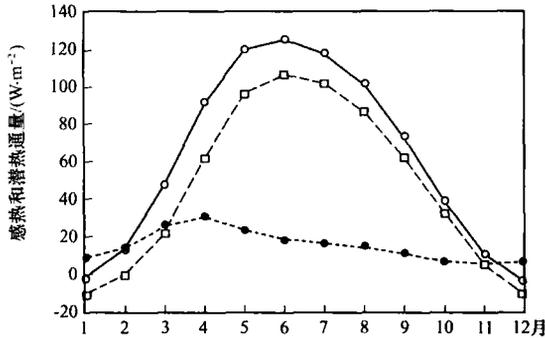


图1 中国北方干旱区的年变化(单位: $W \cdot m^{-2}$)
 - - - : 潜热通量, - - - : 感热通量, - - - : 二者之和
 Fig. 1 The annual change in arid region of Northern China. Unit: $W \cdot m^{-2}$. - - - : Latent heat flux, - - - : sensible heat flux, - - - : Latent and sensible heat fluxes

本文的计算方法与文献[8]相同,采用方差最大正交旋转,它使每个旋转主成分与每个原变量序列间的相关系数平方的方差达到最大,其意义与因子分析模型中荷载向量的性质有关。本文选用与文献[15]相同的 Guttman 准则,即选对场的方差贡献 >1 的主成分及荷载向量参加旋转。对本文资料用 EOF 分析结果,需前 10 个主成分和荷载向量参加旋转,旋转前后表示出的方差总量不变。

在气象要素场分析中应用该方法的主要优点在于能更好地反映较长时间变率的局地特征。众所周知,常规的 EOF 或主成分分析中,每个成分都力

求尽可能多的表示出每个格点上的原变量的方差,即反映了与整个区域相当尺度的变率结构,而实际气象要素场的变率都具有局地结构,上述方法在表示出总方差不变的条件下,使每个主成分对不同地区原变量的表示能力拉开了差距,也即反映了区域特征,在一定程度上克服了传统的 EOF 方法的局限。Horel 等^[15]用 EOF 分析作了最大正交旋转,得到的第一、第二旋转向量清楚地反映出 WP 和 PNA 型遥相关。

3 结果分析

3.1 空间分布型

3.1.1 感热

北方干旱区降水少,地表植被稀疏,地表反照率高,土壤干燥。因此对太阳辐射的吸收较小,反射较强,而水汽的作用较小。一般来说,如果在热平衡方程中仅考虑感热和潜热的变化,则以感热为主,潜热的作用较小^[16]。

我们分别对 4 月和 6 月的感热通量进行 REOF 分解,得到其空间分布型和年际变化的敏感区。

图 2 给出了 4 月份感热通量的前 2 个载荷向量模。从图中可以看出,第一载荷向量的大值区分布在天山以北的地区(图 2a),这里是北方干旱区感热通量年际变化最为敏感的地方。4 月份,北方的降水开始,天山以北地区是降水最先出现的地区^[17],4 月份降水量最大。第二载荷向量图上(图 2b),两个大值区分别位于我国内蒙古—东北地区 and 河西走廊地区。我们注意到,沿河套地区的南北向的狭长地区,其感热的变化较大,且与上述两个地区的变化相反。这主要是由于 NCEP 资料是模式的同化资料,而现行的 GCM 数值模式在高原东北部的这

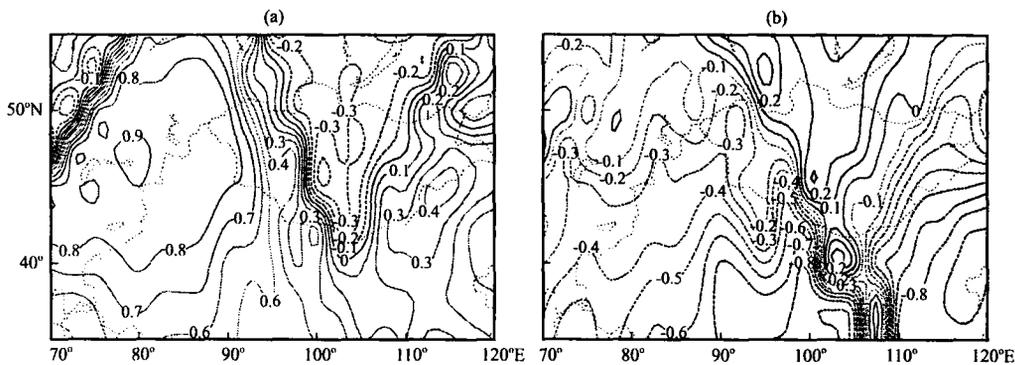


图2 中国北方干旱区4月份感热通量前2个载荷向量
 (a) RLV1, (b) RLV2

Fig. 2 The first (a) and the second (b) rotated loading vectors of sensible heat flux in arid region of Northern China in April

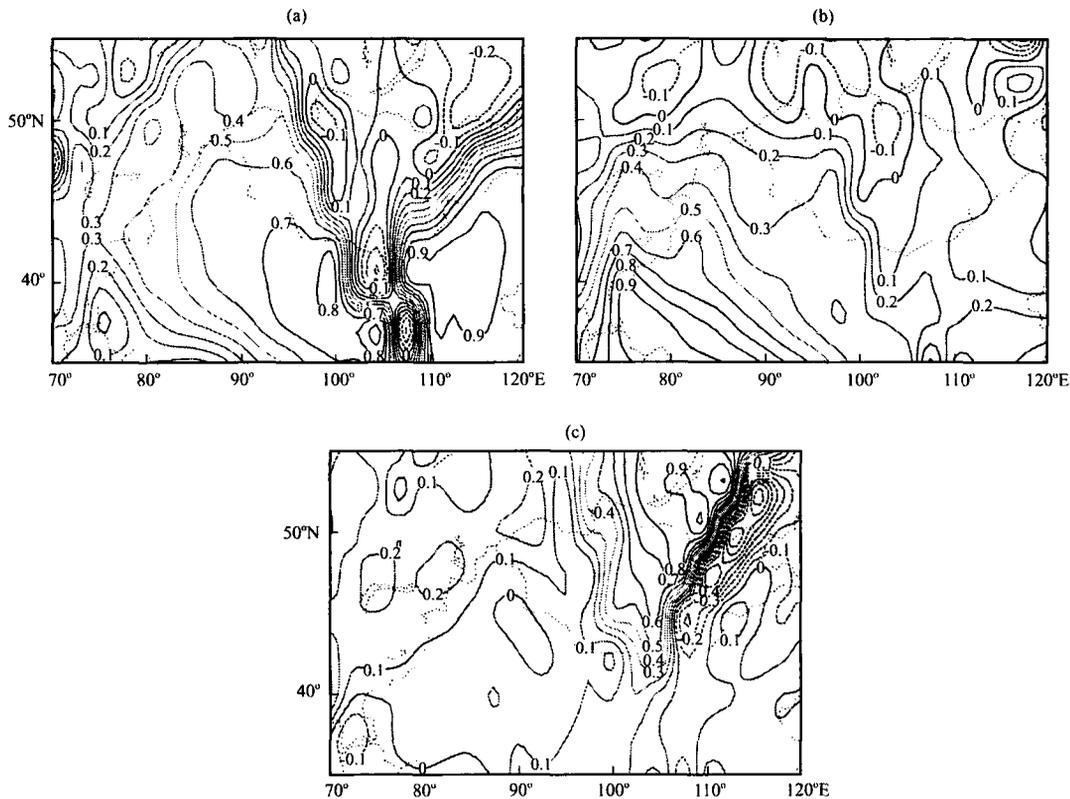


图 3 中国北方干旱区 6 月份感热通量前 3 个载荷向量特征向量

(a) 第一旋转载荷向量 RLV1, (b) 第二旋转载荷向量 RLV2, (c) 第三旋转载荷向量 RLV3

Fig. 3 The first (a), the second (b) and the third rotated loading vectors (c) of sensible heat flux in arid region of Northern China in June

个地区都存在着一个虚假的降水中心，因此，我们对此不予分析。图 3 给出的是 6 月份感热通量的前 3 个载荷向量。第一载荷向量模(图 3a)解释了总方差的 21%。从第一载荷向量模的分布来看，天山以北到河西走廊是一个年际变化的敏感区，它解释了场的总方差的 90%；和 4 月份相比较，敏感区的位置向东南有所移动，同时这个地区包括了天山北部、河西走廊、蒙古西部的广大地区。天山以南的塔什拉玛干盆地地区是北方干旱区的另一个感热变化敏感区。由于受天山的影响，北方南下气流不易到达盆地，这里下垫面为戈壁沙漠，植被稀疏，地面反照率高，早晚温差大，是感热年际变化较大的另一个地区。

第三特征向量模的大值中心位于蒙古国和我国东北的交界区，呈东北西南走向，与年降水量的分布基本一致。该区属于草原和草原退化区，下垫面性质具有较大的可改变性，也说明该区生态系统脆弱，人类活动极易引起该地区下垫面属性的改变，而下垫面属性的这种改变有极易引起气候长期变动

上的扰动，因此，该地区在土地利用方面要加强科学调控^[18]。

3.1.2 潜热

北方干旱区降水少，地表植被稀疏，蒸发能力强，因此，地表蒸发潜热小但变率大。由图 1 可以看出，潜热通量平均的变化在 $5 \sim 30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间，最大值出现在气温回升快、风速大、地表植被开始逐渐恢复的 4 月份。此时，感热通量的增加比潜热通量快。同时，风速和升温使得地表的蒸发能力增强，因此在北方地区的降水随着冬季风的消退而降水先后增加的同时，潜热通量达到全年的最大值。此后随着降水的继续增多，空气中水汽含量的增加，对地表的蒸发能力减小，因此潜热通量也随之开始减小，在北方干旱区降水较多的 7~8 月份，感热和潜热通量都呈现出减少的趋势。潜热通量在 10~11 月份达到全年的最小值。

图 4 给出了北方干旱区 4 月份潜热通量的前 3 个特征向量。潜热通量年际变化的第一特征向量模的最大值仍然在新疆。也就是说，这个地区是地表

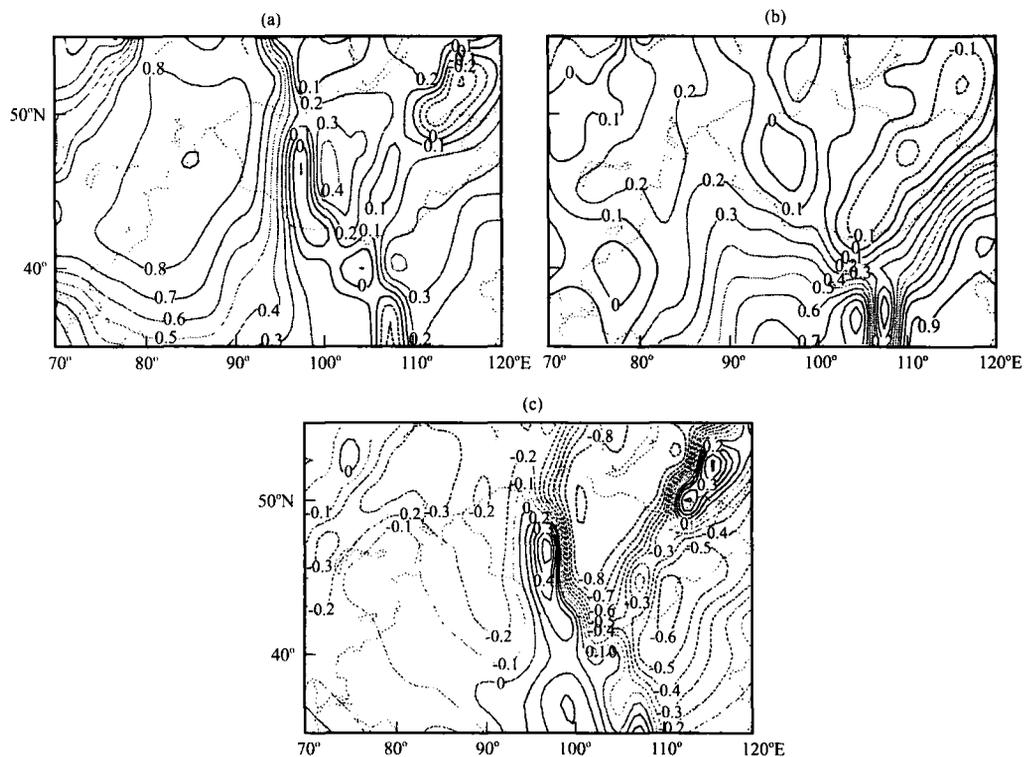


图 4 北方干旱区 4 月份潜热通量前 3 个旋转特征向量

(a) 第一旋转载荷向量 RLV1, (b) 第二旋转载荷向量 RLV2, (c) 第三旋转载荷向量 RLV3

Fig. 4 The first (a), the second (b) and the third rotated loading vectors (c) of latent heat flux in arid region of Northern China in April

热量变化最为敏感的地区,但是与感热通量不同的是,尽管天山南北的地表类型不同,但是在初春的 4 月份,地表植被状况较差,下垫面基本以裸露地表为主。同时,降水开始增加,冻结土壤开始从地表融化。因此,上述地区的地表蒸发变化基本相同,也是北方干旱区潜热变化最为敏感的区域。

如果以 >0.4 线为界,第二载荷特征向量模反映了除新疆和河西走廊外,整个区域均为变化一致的敏感区。同时我们也注意到,与感热通量相同,在河套地区仍然存在一个南北狭长的变化区域。东部地区 4 月份的感热通量变化呈现出自 20 世纪 50 年代开始持续增加,但潜热通量的变化则表现为略有减小,二者的年际变率相对于 70 年代前减小;土壤热通量的变化不大,但是,其年际变率较 60~70 年代增大;净辐射通量的变化呈现出持续的增大,且年际变率减小。上述四个量可能反映了地表状态的两个方面;北方干旱区东部植被的退化及减少使得地表反照率增大,感热通量增加和地表吸收的短波辐射减小;另一种可能的原因是来自于降水量的变化。

第三载荷特征向量的大值区位于河套以东沿我

国内蒙古与蒙古国的地区,呈东北—西南走向。这一地区是呼伦贝尔和锡林郭勒草原,是农牧交错带,下垫面的植被变化比较敏感,季节性变化大,也可以说明该地区的地表通量的变化主要决定于生态系统的稳定性和季节性。

3.2 地表通量的年际变化

图 5 给出的是西部 ($85^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$, $40^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$) 和东部 ($115^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $40^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$) 两个干旱区感热和潜热通量年际变化敏感区的地表通量在感热和潜热通量年平均最大月的年际变化图。

西部地区 4 月份的感热年际变化呈现出抛物线类似的变化,感热通量在 20 世纪 50 年代后期到 70 年代较大,在 70 年代后期至 80 年代初较小,进入 80 年代后,感热通量的年际变率变小,同时也呈现出减小趋势;而潜热通量则呈现出持续减小的趋势。土壤热通量的变化表现为进入 70 年代后,土壤热通量的年际变率减小,总体变化趋势稍有增加但不明显。净辐射量的变化呈现出较为明显的抛物线型,和上述三个量相同的变化特点是,在进入 70 年代后,年际变率减小。如果考虑到太阳短波辐射不变,则上述四个量的变化,反映了在 70 年代以

后,降水量减少后,地表平衡中各量的重新调整和建立。长波辐射有所增加,考虑到4月份的西部地区,正是气温逐渐回升,降水逐渐增多,蒸发能力增大,地表植被逐渐恢复的阶段,上述四个量的变化在某种程度上反映了该地区在降水量的持续减少

背景下稀疏植被的进一步减少。

上述两个地区的共同特点是潜热通量都呈现出减小的趋势,净辐射和感热通量的年际变率的减小,但在变化趋势和土壤热通量的年际变率上有所不同。这种不同也许更多的来自于二者下垫面性质

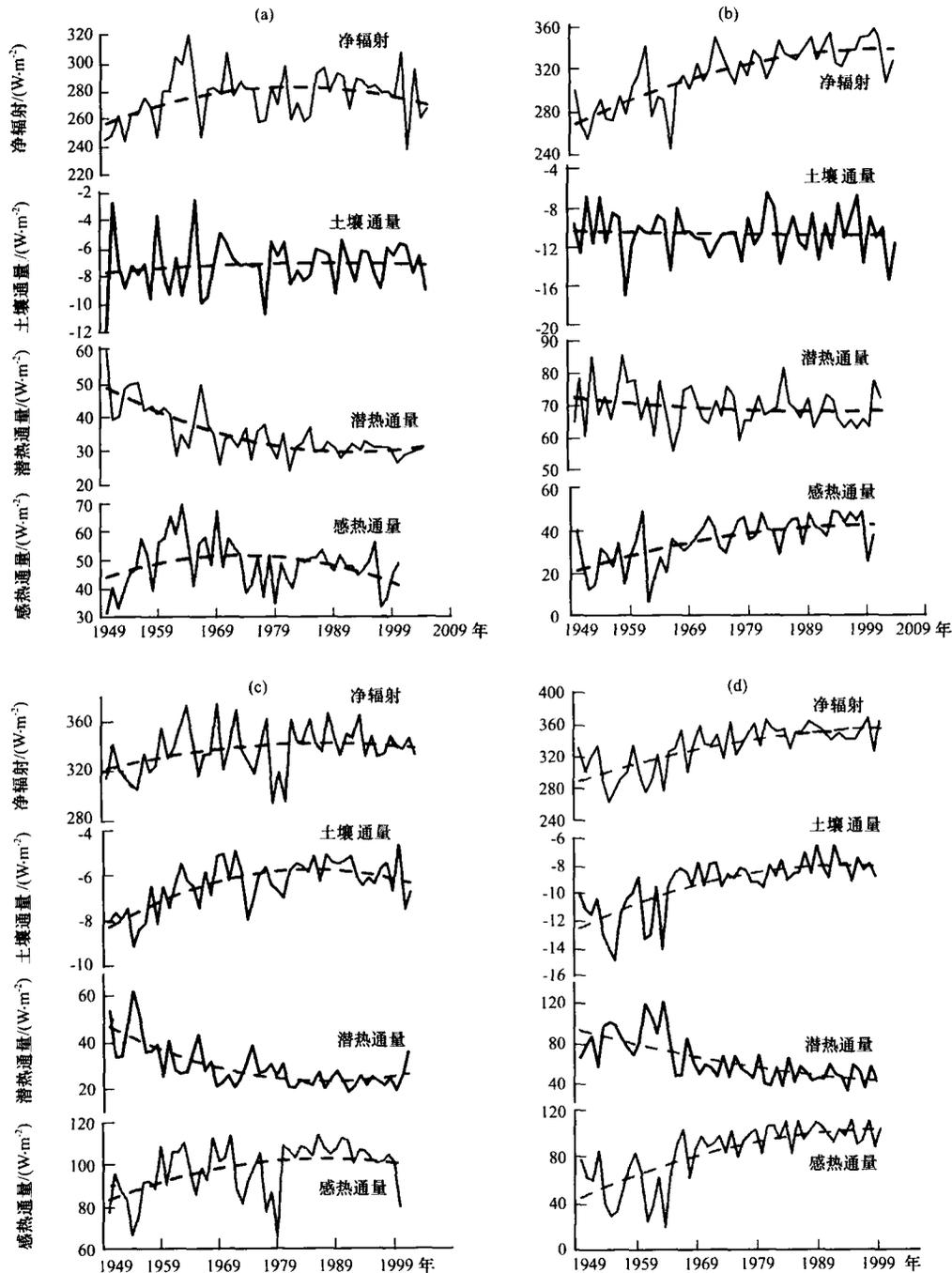


图5 干旱区感热、潜热、土壤热通量及净辐射的年际变化

(a) 4月份西部, (b) 4月份东部, (c) 6月份西部, (d) 6月份东部

Fig. 5 The interannual changes of sensible heat flux, latent heat flux, soil heat flux and net radiation in arid region. (a) western arid region in April, (b) eastern arid region in April, (c) western arid region in June, (d) eastern arid region in June

的不同, 降水的变化可能居于其次。

6 月份, 西部地区的感热、净辐射和土壤热通量都呈现出相同的变化趋势, 进入 20 世纪 80 年代年际变率减小; 和 4 月份的情况相同, 潜热通量呈现出减小趋势, 并维持在一个较低的水平; 感热通量在 80 年代后维持在一个较高的水平, 但是, 土壤热通量的变化与 4 月份的变化不同。这种变化反映了西部地区地面在稀疏植被的基础上, 初夏降水的持续减少, 使得土壤墒情较差, 反映为感热增大, 潜热减小。

东部 6 月份的变化趋势与西部地区基本相同, 潜热通量自 20 世纪 70 年代初都维持在较小的水平; 但是, 地表净辐射、感热通量、土壤热通量呈现出持续增加的趋势, 而且年际变率较小。这种变化应该更多的反映了地表状况的变化, 以及植被状况变化引起的反照率变化, 其次才是降水量的变化。

4 月份和 6 月份比较, 西部和东部地区的差别最为明显的是土壤热通量的变化。4 月份显著升高和减少的趋势不明显, 而在 6 月份, 这种增加的趋势变化明显; 相同的变化是, 两个地区的两个时段, 潜热通量强度的变化趋势都是持续减少且维持在一个较低的水平; 春季土壤热通量的变化, 由于土壤表面属性变化和降水变化不大, 6 月份地表植被基本全部恢复, 因此, 土壤热通量的变化主要反映的应该是地表植被的变化情况。

上述结果表明, 西部和东部地区 4 月份和 6 月份的地表平衡变化反映了地表物理状态的变化, 但是西部地区可能更多的反映了降水变化, 而东部地区则更多的反映了地表植被的变化。

4 小结

通过上述分析, 我们可以得出在中国北方地区, 感热通量和潜热通量的年际变化存在着 2~3 个变化的敏感区。

(1) 总的来看, 不管是感热通量还是潜热通量, 年际变化的敏感区主要在西北的河西走廊以西的地区和华北到内蒙一带的农牧交错带。

(2) 西北和华北及内蒙一带的潜热通量不管在哪个季节, 都表现出持续减小的趋势, 而在 6 月份, 土壤热通量的变化显著增加。这些变化特点, 在很大程度上应该主要来自地表植被的变化。

(3) 感热通量和潜热通量在最大月的年际变化在 20 世纪 60 年代后期出现一个明显的变化, 即进入 70 年代后期, 感热通量增加且维持在一个较高的水平, 潜热通量减小且维持在一个较低的水平。

参考文献

- [1] 叶笃正, 黄荣辉. 长江河流域的旱涝规律成因研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996
- [2] 钱正安, 吴统文, 宋敏红等. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 28-38
- [3] 徐国昌, 张志银. 青藏高原对西北干旱气候的形成作用[J]. 高原气象, 1983, 2(2): 8-15
- [4] Flohn H. Contributions to a meteorology of Tibetan Highland [M]. Atm Sci Paper, No. 130, Colorado STATE Univ., Ft. Collins, 1957
- [5] 吴国雄, 李伟平. 青藏高原感热气泵和亚洲夏季风[C]. 见: 叶笃正等著. 赵九章纪念文集. 北京: 科学出版社, 1997. 116-126
- [6] 布和朝鲁, 纪立人, 崔常茂. 夏季我国干旱半干旱区陆面过程能量平衡及其局地大气环流[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 61-73
- [7] 宋敏红, 吴统文, 钱正安. 高原地区 NCEP 热通量再分析资料的检验及在夏季降水预测中的应用[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 467-475
- [8] 蔡英, 钱正安, 宋敏红. 华北和西北区干湿年间水汽场及东亚夏季风的对比分析[J]. 高原气象, 2003, 22(1): 14-23
- [9] 张存杰, 王宝灵, 刘德祥等. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象, 1988, 17(4): 381-389
- [10] 王澄海, 王式功, 杨德保等. 西北春季降水的若干特征[J]. 兰州大学学报, 2001, 37: 104-111
- [11] 吴统文, 钱正安. 夏季西北干旱区干、湿年环流及高原动力影响差异的对比分析[J]. 高原气象, 1996, 15(4): 387-396
- [12] 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴等. 西北地区近 40 年年降水异常的时空特征分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 245-252
- [13] 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海等. 东亚夏季同期间水汽输送与西北干旱的关系[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 912-929
- [14] Kalnay E, Coauthors. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteorol Soc, 1996, 77(3): 437-471
- [15] Horel D. A rotated principal component analysis of interannual variability of Northern Hemisphere 500 hPa height field[J]. Mon Wea Rev, 1981, 109: 2080-2091
- [16] 王澄海, 董文杰, 韦志刚等. 典型干旱地区陆面特征的模拟及分析[J]. 高原气象, 2002, 21(5): 466-472
- [17] 徐国昌, 白肇焯等著. 西北天气[M]. 北京: 气象出版社, 1992
- [18] 叶笃正, 陈泮勤. 中国气候变化的预研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999

