

地表反照率的改变影响夏季北非 副热带高压的数值模拟*

李伟平 吴国雄 刘辉

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学
数值模拟国家重点实验室 (LASG), 北京, 100029)

摘 要

利用 LASG L9R15 AGCM 设计了两组不同地表反照率的数值试验。通过分析其夏季平均气候的差异来考察地表反照率改变对夏季北非副高的影响。结果表明, 当北非地表反照率增大时, 由于地面接收到的净辐射减少, 地面温度降低, 底层大气的感热加热减弱, 抑制了局地的对流和降水, 相应的对流层中层的凝结加热也减弱。这种中、低层的冷却强迫出高空的异常辐合与低空的异常辐散, 导致北非地区下沉运动增强, 从而加强了北非副高。另外, 这种北非地区的环流异常, 通过辐散风环流加强了南亚高空的辐散, 在一定程度上加强了南亚高压。

关键词: 地表反照率, 北非副高, 数值模拟, 南亚高压。

1 引 言

地表反照率对辐射收支以及气候系统的影响, 早已被人们所重视和研究。据计算, 地表反照率改变0.01相当于太阳常数改变1%。因为大气对太阳辐射的直接吸收较弱, 其能量收入的大部分(约70%)来自下垫面。如果地表反照率改变, 必然影响地表面的辐射收支, 进而通过改变地表面向大气的能量输送来影响局地乃至大尺度的环流。针对萨赫尔地区的干旱, Charney^[1,2](1975)提出了著名的生物-地球物理反馈机制, 认为撒哈拉沙漠处于哈得来环流圈下沉支的下方, 地表反照率高, 晴空辐射冷却使得撒哈拉沙漠上空大气相对于周围地区成为辐射汇, 即净辐射收支为负值。在弱平流的情况下, 只有靠绝热下沉增温来平衡非绝热冷却。如果过度放牧造成沙漠边缘地区植被退化, 使得地表反照率增加, 地面接收到的净辐射将减少, 增强的辐射冷却导致异常的下沉运动, 抑制局地的对流和降水, 降水的减少又使得地表植被进一步退化, 形成了一种恶性循环。Charney^[3](1977)的数值模拟证实了上述现象。随后的许多数值模拟研究, 如 Yeh 等^[4](1984), Sud 等^[5-7](1985, 1986), Laval 等^[8,9](1986), Cunnington 和 Rowntree^[10](1986), Lofgren^[11](1995)分别讨论了地表特性(含地表反照率、土壤湿度、粗糙度)对大气环流和降水的影响。

关于萨赫尔地区的干旱, 人们认为除了 Charney 提出的局地性的反馈机制以外, 大尺度的环流异常也起着重要作用, 甚至有人认为大尺度环流异常是北非干旱的触发因素, 局

* 初稿时间: 1998年3月10日; 修改稿时间: 1998年6月23日。

资助课题: 国家自然科学基金重点项目“副热带高压带的变异机理”(编号49635170)和项目49823002, 49475255以及49805003的联合资助。

地性的反馈机制只是加剧了北非的干旱。另一方面, Rodwell 和 Hoskins^[12] (1996) 的研究则认为, 在北半球夏季, 亚洲季风区的对流凝结加热通过 Rossby 波引起地中海东部以及撒哈拉东北部的下沉运动, 下沉气流来源于西风带南部边缘, 从而造成了那里的干旱, 而撒哈拉沙漠的辐射强迫对季风环流并无多大影响。不过, 在其简化模式中不存在北非和南亚季风区之间的纬向沃克环流圈, 而观测研究表明, 这两个地区之间的环流密切相关 (Yang 等^[13], 1992)。注意到在他们的对照试验中, 南亚季风降水所致的潜热加热是根据观测资料预先给定且保持不变, 这等于人为地抑制了季风区以外因素对亚洲季风的影响。即使如此, 从他们的敏感试验结果来看, 在去掉撒哈拉地区的辐射强迫以后, 无论是孟加拉湾地区的上升运动还是地中海东部和撒哈拉东北部的下沉运动, 都大大削弱了。由此看来, 撒哈拉地区的辐射强迫对北非副高以及北非干旱气候的形成还是不可忽视的。

为了检验上述关于北非干旱成因的不同结论, 本文应用一个更完整的气候模式, 通过改变地表反照率, 分析辐射效应对北非副高和北非干旱形成的影响。

2 试验设计

本文所用模式为 LASG L9R15 AGCM, 这是由吴国雄、刘辉等引进改善的大气环流谱模式, 水平方向采用菱形 15 波截断, 分辨率大约为 7.5° (经度) $\times 4.5^\circ$ (纬度), 垂直方向采用 σ 坐标, 分为 9 层。物理过程包括辐射强迫、干(湿)对流调整、边界层通量(利用总体动力学公式求取)、水平和垂直扩散。标准层结剔除以及可变垂直温度递减率的引入使得模式性能有很大改进 (Wu 等^[14], 1996; 吴国雄、张学洪等^[15], 1997)。本工作利用 AMIP 提供的 10a (1979~1988年) 逐月平均的海表温度线性插值成逐日资料作为下边界强迫, 分别对纬向平均的地表反照率(称为旧反照率)和利用卫星资料反演的地表反照率(称为新反照率)情况进行 10a 数值积分, 然后对两组试验中各 10a 7 月份平均的环流场进行对比分析, 以考察地表反照率的改变(主要在北非的撒哈拉地区)对夏季大气环流, 尤其是对北非副高的影响。下文所说的平均值差异的 t -检验^[16]就是针对这两组各 10 个样本而言, 所讨论的差异场均指 10a 7 月份平均的新反照率的结果减去旧反照率的结果。

两种地表反照率及其差异的分布如图 1 所示。图 1a 中的旧反照率是指早期版本模式中的地表反照率, 其中的冰、雪分布采用气候月平均值, 冰、雪表面以及没有冰、雪的陆地表面, 反照率是纬向对称的气候月平均值, 只随纬度变化。图 1b 中的新反照率是用根据卫星资料反演的地表反照率 (Li^[17], 1994) 代替图 1a 的陆面部分, 由于高纬度反演结果有较大误差, 本文只取其 $40^\circ\text{S} \sim 50^\circ\text{N}$ 之间的陆面部分。与旧反照率相比, 新反照率在北非、澳洲等干旱地区有较大增加, 尤其是北非的撒哈拉地区, 差值可达 0.20, 而在东南亚季风区, 陆面反照率略微有所减少 (图 1c)。总的来看, 采用新反照率的模拟结果较好, 尤其是关于北大西洋副高的模拟有较大改进 (Liu 和 Wu^[18], 1997), 本文讨论地表反照率改变所造成的气候效应, 重点考察对夏季北非副高的影响。

3 结果分析

3.1 表面温度和降水

地表反照率对气候的直接影响莫过于表面温度和降水, 这也是大多数数值试验所讨

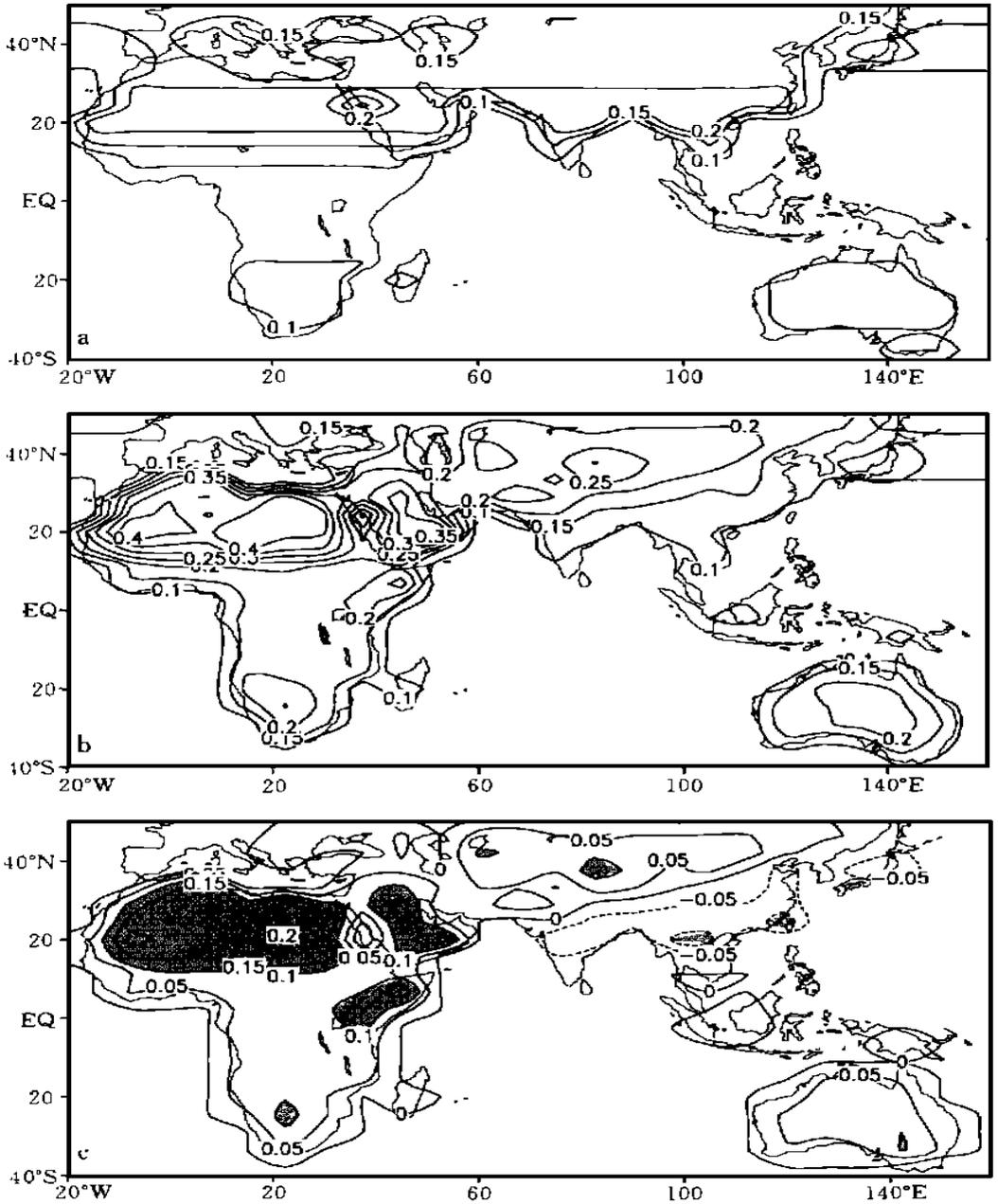


图1 数值试验中亚非季风区地表反照率的地理分布

(a. 纬向平均反照率(旧); b. 卫星资料反演的反照率(新); c. 两种反照率的差异(新-旧)。

实线表示正值, 虚线表示负值, 等值线间隔为0.05, 阴影区表示反照率增大或减小0.1以上的区域)

论的对象。图2表示两组试验结果中表面温度的差异。可以看出, 在非洲、澳洲等地表反照率增大的地区, 表面温度降低, 尤其是反照率增加最大的北非地区, 最大温度差异可达 -3 , 并且通过了95%信度水平的显著性检验。这是由于地面接收到的净辐射减少所造成

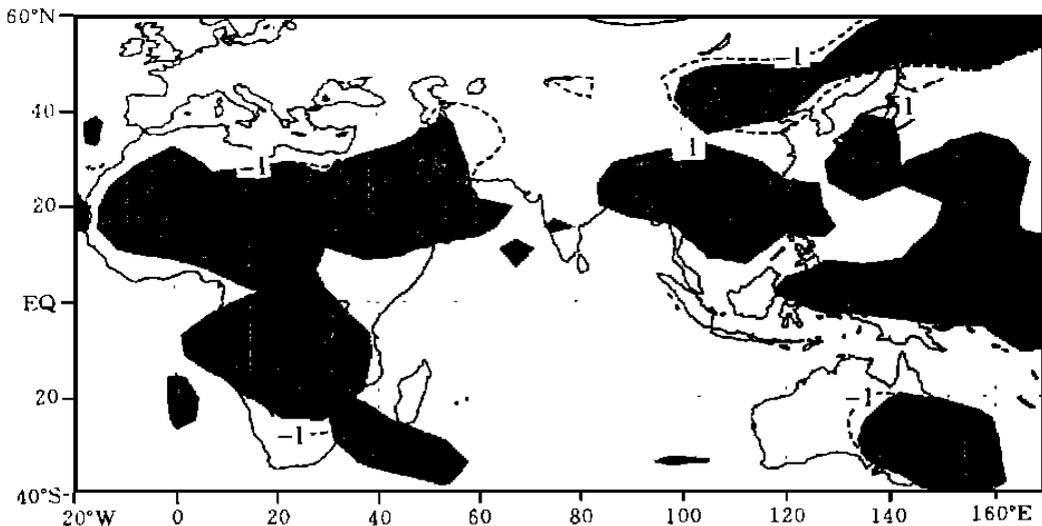


图2 数值试验中亚非季风区表面温度的差异(新-旧)

(实线表示正值,虚线表示负值,零等值线省略,等值线间隔为1。阴影区表示通过了t-检验的95%信度水平)

的,对北非区域平均而言,净辐射由 $140W/m^2$ 降至 $101W/m^2$ (李伟平^[19],1996),这必然使得该地区地面向大气的感热输送减少,导致底层大气的冷却。而在地表反照率减小的东南亚地区,地面温度略有升高。

上述北非地区低层的冷却效应抑制了局地的对流和降水,从而造成北非地区的降水负距平。从图3可以看出,北非地区的降水减少可达 $4mm/d$,而赤道非洲的降水是增加的,即北非反照率增大时,非洲大陆上的赤道辐合带向南推进。这与 Charney 等^[31](1977)以及 Cunningham 和 Rowntree^[10](1986)的数值试验结果相符合。印度半岛南部和中南半岛

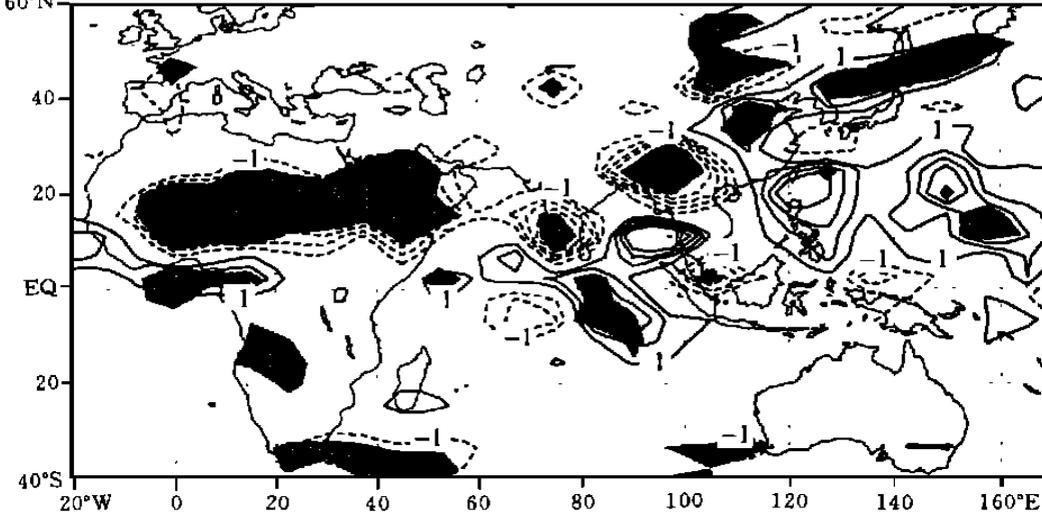


图3 数值试验中亚非季风区降水的差异(新-旧)

(实线表示正值,虚线表示负值,零等值线省略,等值线间隔为 $1mm/d$ 。阴影区表示通过了t-检验的95%信度水平)

北部7月份的降水减少与印度季风爆发推迟有关(李伟平^[19], 1996), 而孟加拉湾以南的印度洋以及西太平洋地区降水增加则与北非地表反照率的增大有一定关系(具体分析见3.4节)。

3.2 垂直运动

根据热力学方程, 在月平均时间尺度上略去局地变化项, 并忽略在副热带地区较小的平流项, 得到如下垂直运动与非绝热加热率之间的近似关系(丁一汇^[20], 1991):

$$(\gamma_d - \gamma)w = Q/c_p \quad (1)$$

其中 γ_d , γ 分别为干绝热温度垂直递减率和环境温度垂直递减率, w 为垂直速度, Q 表示非绝热加热率, c_p 为干空气定压比热。非绝热加热率 Q 包括辐射效应、对流凝结加热和地表感热加热。在副热带干旱区, 如撒哈拉沙漠, 对流凝结加热很小, 地表感热加热仅作用于近地面很薄的气层, 对流层中层以上, 晴空辐射冷却占主导地位。根据NCEP/NCAR再分析资料所得到的北非区域平均非绝热加热率的垂直分布示于图4。从图4a中的年循环来看, 几乎整个对流层均为冷却, 只是在底层为加热, 这主要是由于地表感热加热造成的, 证明了下垫面热力性质对大气环流的重要性。加热层最厚的7月份也只不过达到 $\sigma = 0.8$ 层(图4b), 该层以上至对流层顶部均满足 $Q < 0$, 对稳定的大气层结而言, $\gamma_d - \gamma > 0$, 由式(1)不难得出 $w < 0$, 即由绝热下沉增温来平衡辐射冷却。这种理论分析的结果与丁一汇^[20](1991)所给出的观测结果一致。由此可见, 晴空辐射冷却所强迫的下沉运动是北非副高维持的一种重要机制。

以上是理论分析的结果, 数值试验中亚非季风区500hPa等压面上7月份平均的垂直运动 w 的地理分布如图5所示。两种反照率的积分结果都表明, 北非大陆上20°N以北的副热带地区平均为下沉运动, 其南侧的热带地区则为上升运动, 分别对应北非副高和非洲大陆的热带辐合带。对照图1c和图5c发现, 在北非地区, 反照率的差异和垂直运动的差异存在一致的对应关系; 而在亚洲季风区, 两者的对应关系并不明显。在北非, 当地表反照率增大时, 副热带下沉运动增强, 控制范围向南扩展。在10°~30°N之间反照率增大的地区对应异常下沉运动, 其中心在16°N附近。这与图2所示的冷却区对应关系也很好, 实际上, 北非地区整个对流层都是降温的(图略), 只是近地层降温幅度更大。根据上述分析, 增强的冷却效应造成异常下沉运动。无疑地, 这种异常下沉运动将导致北非副高的加强。从图5c还可以看出, 10°N以南为异常上升运动, 这是由于撒哈拉地区异常下沉运动在近地层强迫出异常辐散, 从而引起其南侧热带地区低层的异常辐合所致。

3.3 北非副高

从观测的夏季位势高度场来看, 北非地区从850 hPa到400 hPa均存在高压中心, 而在对流层上层, 高压中心偏于南亚地区, 这便是夏季强大的南亚高压(乌元康^[21], 1987)。北非高空的辐合下沉气流一部分来自其南侧热带辐合带高空的辐散气流, 另一部分来自南亚高压的高空辐散气流与西风带的辐合。也就是说, 经向环流和纬向环流对北非副高的形成都很重要。

数值试验中的850 hPa位势高度场如图6所示。在旧反照率情形下, 北非地区的高压并不明显, 它只是大西洋东部副高的延伸(图6a)。但是在反照率增大后, 北非副高明显加强, 几乎整个北非大陆都受高压控制(图6b), 这种形势更接近观测结果(乌元康^[21],

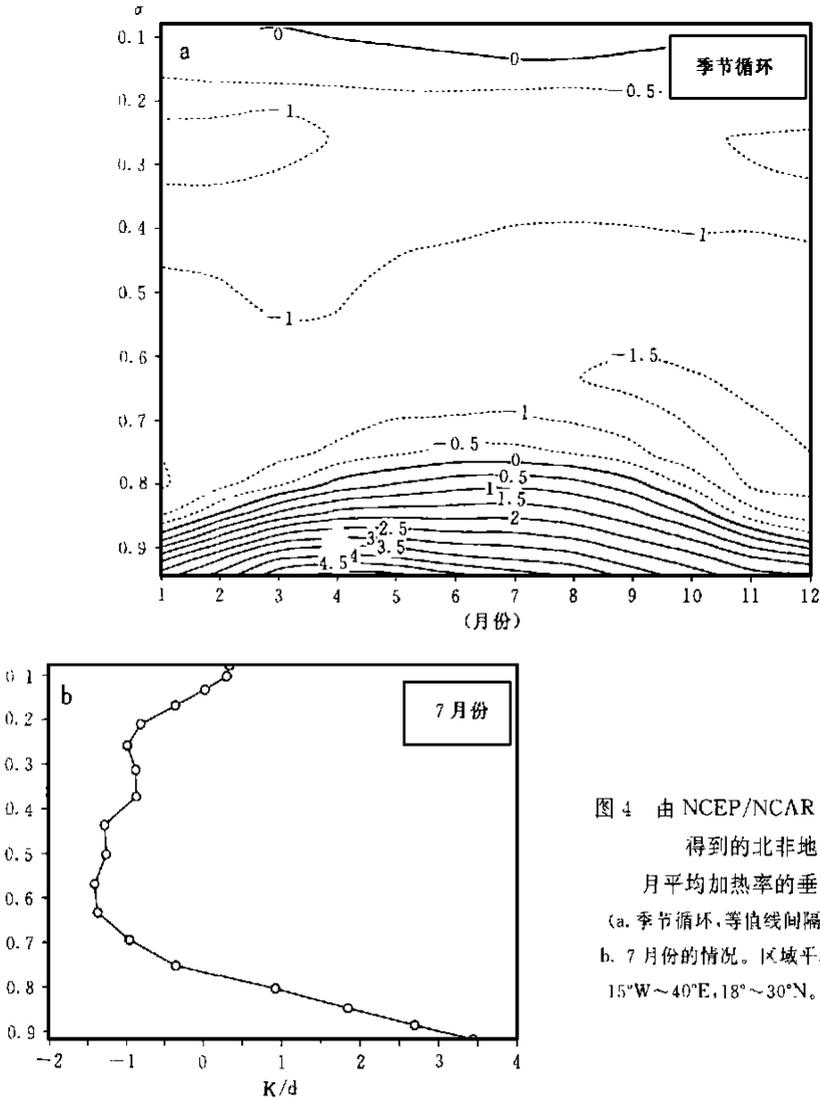


图4 由 NCEP/NCAR 再分析资料得到的北非地区月平均加热率的垂直分布
 (a. 季节循环, 等值线间隔为 0.5K/d;
 b. 7 月份的情况。区域平均的范围为: 15°W~40°E, 18°~30°N。单位: K/d)

1987)。从图6c 所示的差异场来看, 以撒哈拉为中心的北非地区为正变高, 这与反照率增大的区域相对应; 而在东南亚地区和西太平洋地区为负变高。

在200 hPa 高度上, 在旧反照率情形下, 南亚高压控制着西起阿拉伯半岛, 经伊朗高原、印度半岛, 到青藏高原东南侧的广大范围, 高压轴线位于30°N 附近(图7a), 当北非反照率增大后, 南亚高压主体加强, 位置向东移动, 北非高空出现一个弱槽(图7b), 与旧反照率的结果相比, 新反照率的模拟结果有较大改进。反映在差异场上(图7c), 北非大陆反照率增大的地区, 高空为负变高, 而东南亚反照率减小的地区以及西太平洋地区, 高空为正变高, 即南亚高压和高层的西太平洋副高有所加强。由于东南亚地区地表反照率的改变很小, 只有0.05; 西太平洋地区的海表反照率并没有改变, 这些地区表面温度的变化也相当小(见图2)。因而可以推知, 高层的南亚高压和西太平洋副高的加强, 一方面与东南亚地表反照率的减小有关, 更主要地, 可能与北非地区地表反照率增大所引起的北非异常下沉运

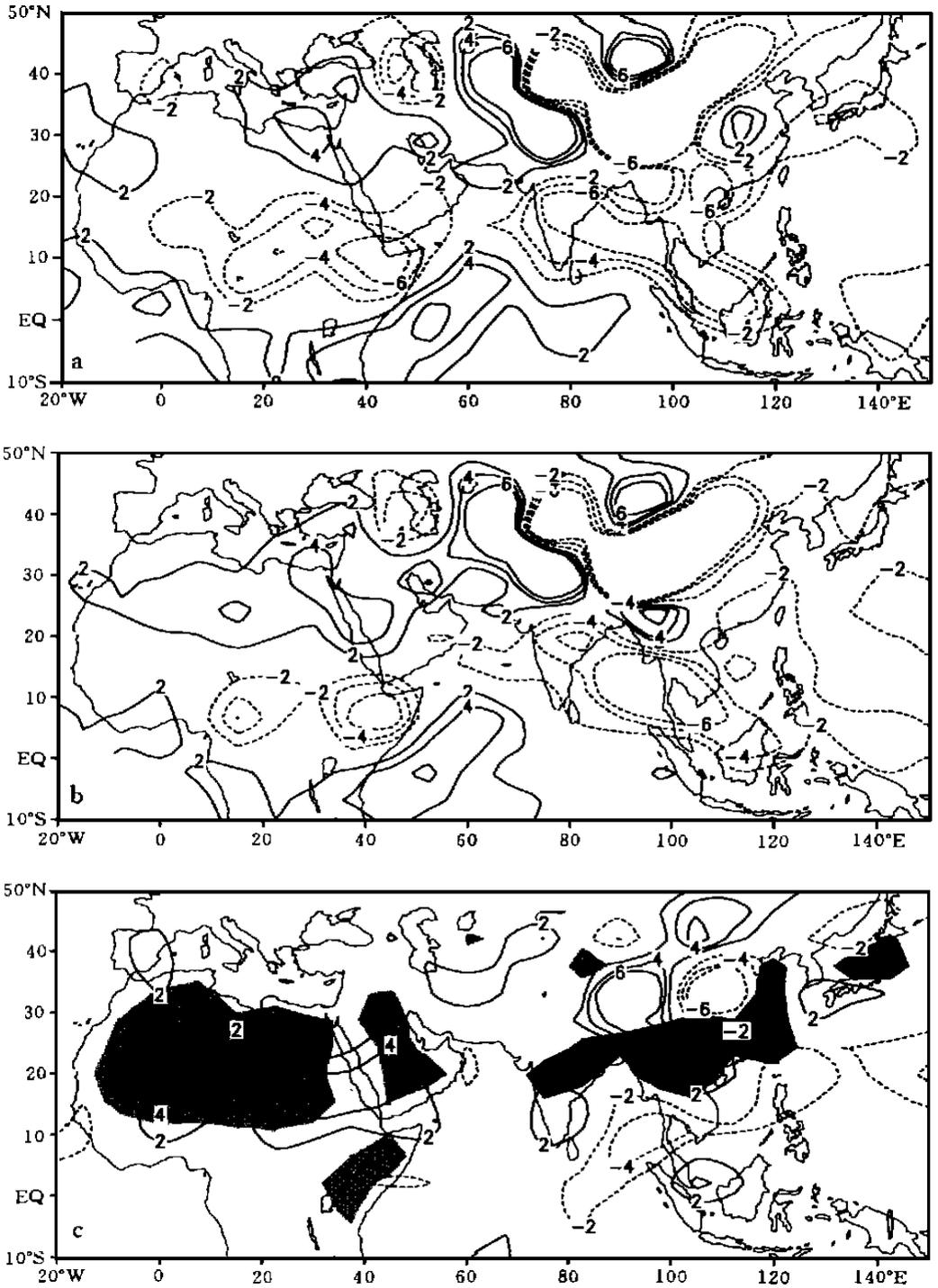


图5 数值试验中亚非季风区500hPa等压面上7月份平均垂直运动 ω 的地理分布

(a. 旧反照率; b. 新反照率; c. 差异场(新-旧)。实线表示正值, 虚线表示负值, 等值线间隔为 10^{-4} hPa/s。

淡阴影区表示反照率增大0.1以上的区域, 浓阴影区表示反照率减小0.05以上的区域)

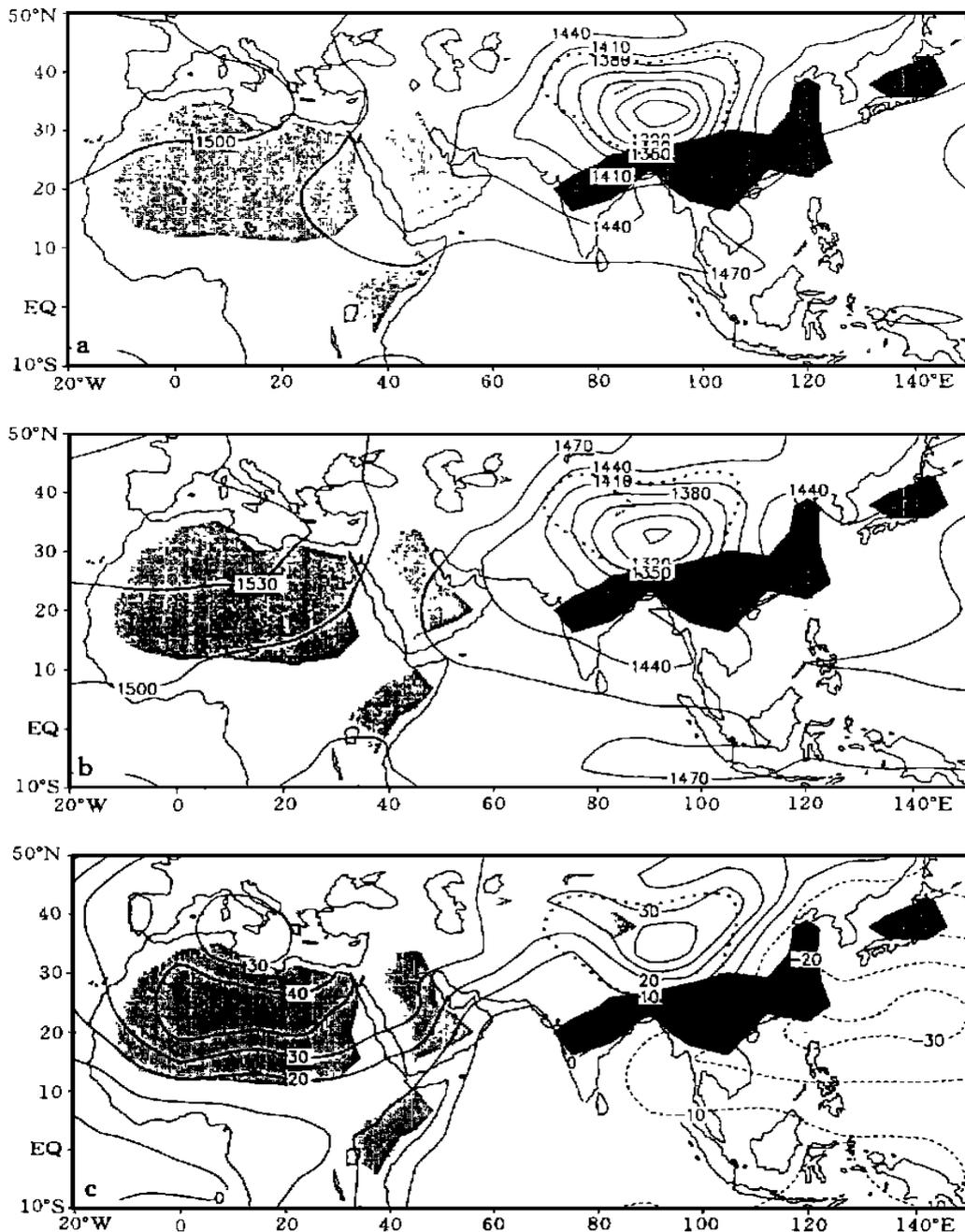


图6 数值试验中7月份亚非季风区850hPa 等压面上位势高度场的地理分布
 (a. 旧反照率, 等值线间隔为30gpm; b. 新反照率, 等值线间隔为30gpm;
 c. 差异场(新-旧), 等值线间隔为10gpm。实线表示正值, 虚线表示负值,
 淡阴影区表示反照率增大0.1以上的区域, 浓阴影区表示反照率减小0.05以上的区域)

动以及联结这两个地区的差异辐散风环流有关, 具体分析见3.4节。

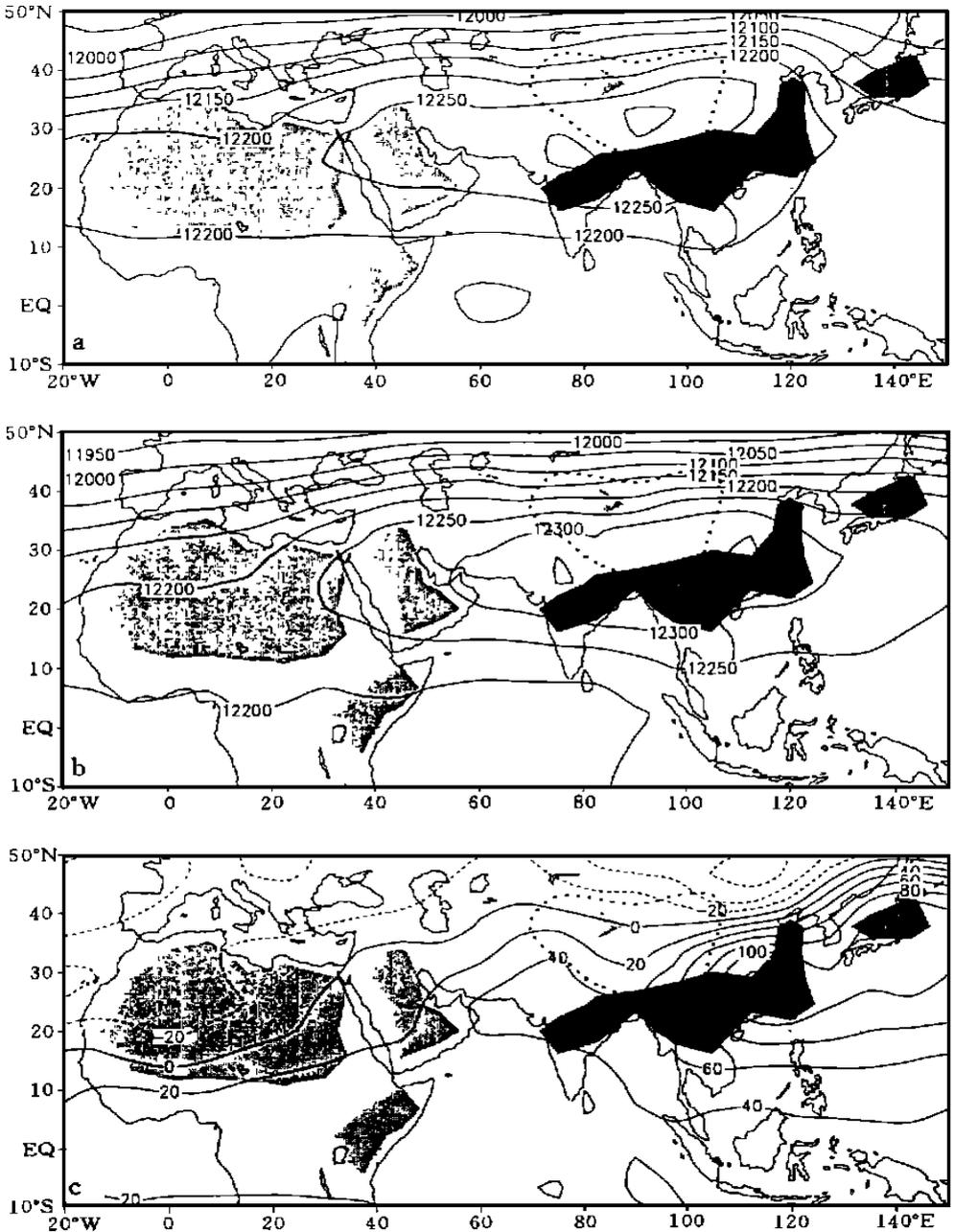


图7 数值试验中7月份亚非季风区200hPa等压面上位势高度场的地理分布
 (a. 旧反照率, 等值线间隔为50gpm; b. 新反照率, 等值线间隔为50gpm;
 c. 差异场(新-旧), 等值线间隔为20gpm。实线表示正值, 虚线表示负值,
 淡阴影区表示反照率增大0.1以上的区域, 浓阴影区表示反照率减小0.05以上的区域)

3.4 差异辐散风环流

为考察北非副高和南亚高压的变化之间的关系, 我们把两组试验结果的差异风场分

解为辐散风分量和旋转风分量, 其中的辐散风分量及其散度如图8所示。从中可见, 在地表反照率增大的北非地区, 高空为异常辐合, 低空为异常辐散, 这与图5c中北非地区的异常下沉运动相对应。另外, 在南亚地区, 尤其是孟加拉湾和西太平洋地区, 高空为异常辐散, 低层为异常辐合; 青藏高原西南部高空为异常辐散, 低层为弱的异常辐合。这一方面与东南亚地表反照率减小有关, 更主要的是与北非地区的异常环流有关。因为这两个地区的异常环流是密切相联的, 尤其是在高空(见图8a)。回顾前述的降水差异(图3), 7月份孟加拉湾及其以南的印度洋、西太平洋的降水增加与南亚高压和高层的西太平洋副高增强有关, 与近地层($\sigma = 0.991$)孟加拉湾向东到西太平洋地区的异常辐合(图8b)和异常上升运动(图5c)相对应。

为了更清楚地反映北非与东南亚之间纬向环流的变化, 图9给出了两组试验中垂直运动 ω 沿 15°N 的垂直剖面。在旧反照率情形下, 非洲西海岸为下沉运动, 自非洲中部向东至南海地区为上升运动(图9a)。在新反照率情形下, 非洲中部以西为下沉运动, 以东为上升运动(图9b)。从其差异场(图9c)来看, 在反照率增大的北非地区, 有较强的异常下沉运动, 在东非沿岸, 有较弱的补偿性的异常上升运动, 印度半岛中南部出现异常下沉运动, 自孟加拉湾向东至西太平洋出现异常上升运动。结合图8的辐散风环流异常, 可以推知, 东南亚和西太平洋的异常上升运动通过纬向环流与北非的异常下沉有密切关系, 这种关系在观测分析中同样表现得很清楚(Yang^[13], 1992)。可见, 北非反照率的改变, 不仅影响到夏季的北非副高, 还可以通过辐散风环流的异常, 在一定程度上影响南亚高压和高层的西太平

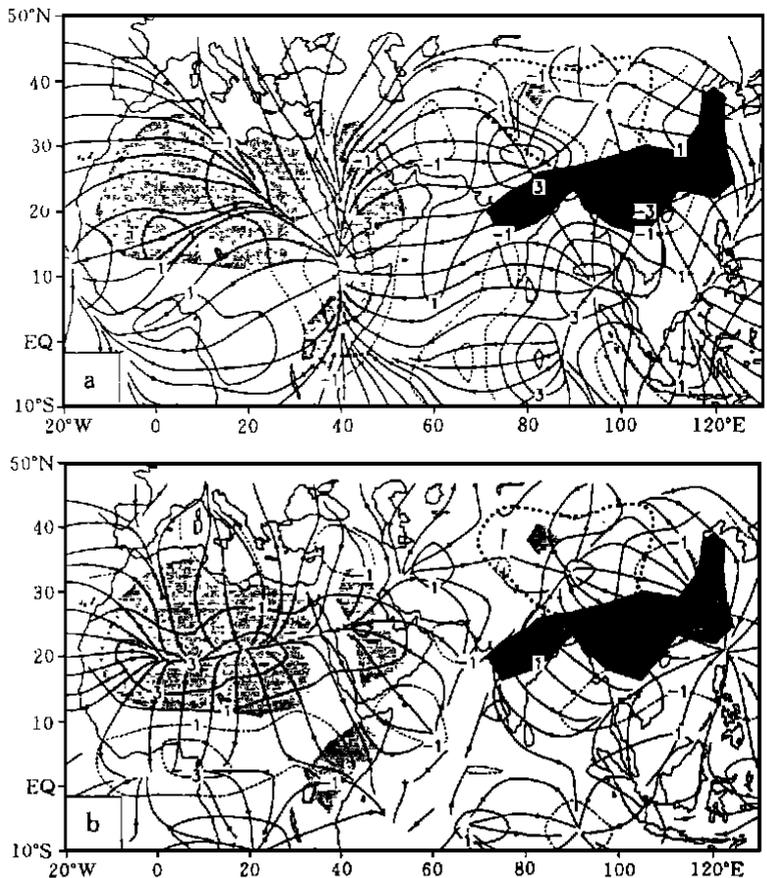


图8 数值试验中7月份亚非季风区差异风场的辐散风分量及其散度场的地理分布(新-旧)

(a. 200hPa; b. $\sigma = 0.991$). 实线表示正值, 虚线表示负值, 等值线间隔为 $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 淡阴影区表示反照率增大0.1以上的区域, 浓阴影区表示反照率减小0.05以上的区域)

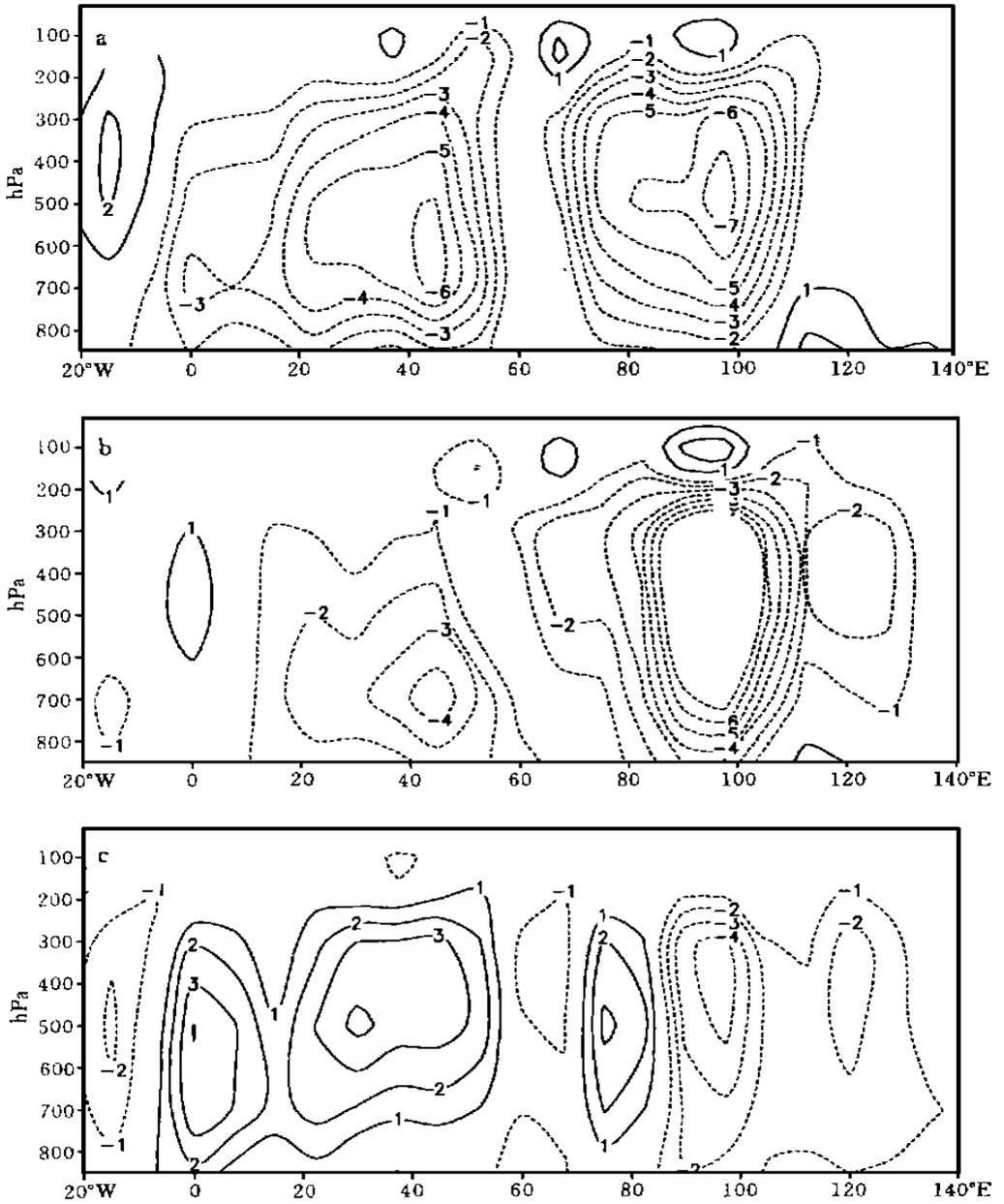


图9 数值试验中沿15°N垂直运动 ω 的高度经度剖面

(a. 旧反照率; b. 新反照率; c. 差异场(新-旧)。

实线表示正值, 虚线表示负值, 零等值线省略, 等值线间隔为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ hPa/s}$)

洋副高以及这些地区的降水。这与 Rodwell 和 Hoskins^[12] (1996) 的观点不完全一致。他们认为: 南亚季风区强大的对流凝结加热通过 Rossby 波可以造成地中海东部以及撒哈拉东部的干旱, 而撒哈拉地区的辐射效应对南亚季风并无什么影响。这可能与他们在试验中根

据观测资料预先给定了季风区的对流凝结加热的方法有关。

根据吴国雄和刘还珠^[21] (1999)发展的全型垂直涡度倾向方程, 其中垂直涡度倾向与加热率的垂直分布有如下关系:

$$\partial \zeta / \partial t = \partial Q / \partial z \quad (2)$$

我们可以从上面的关系来解释北非地区高空的异常辐合、负变高以及低空的异常辐散、正变高。图10反映了两组试验中北非地区非绝热加热率的垂直分布。在旧反照率情形下, 对流层中层为弱的加热, 这是由于降水伴随的对流凝结加热造成的, 而在北非地表反照率增大后, 对流受到抑制, 降水减少(见图3), 导致对流层中层变冷。相对于旧反照率情形而言, 加热率的垂直梯度项 $\partial Q / \partial z$ 在该高度以上为正变化, 即 $\delta(\partial Q / \partial z) > 0$, 在该高度以下为负变化, 即 $\delta(\partial Q / \partial z) < 0$ 。根据式(2), 北非地区上层有 $\delta(\partial \zeta / \partial t) > 0$, 下层有 $\delta(\partial \zeta / \partial t) < 0$, 即北非地区的对流层

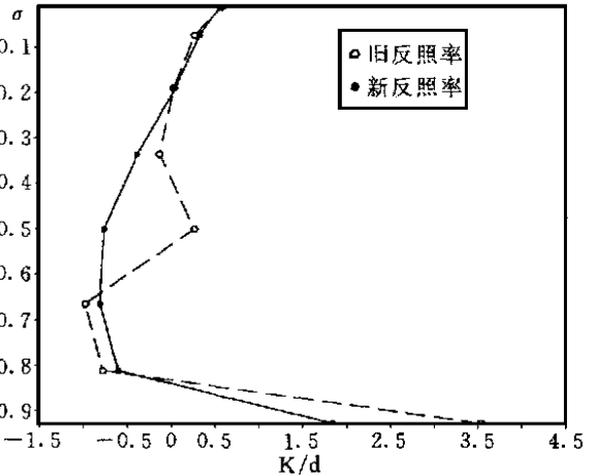


图10 数值试验中北非地区7月平均加热率的垂直分布
(区域平均的范围为: 15 W ~ 40 E, 18 ~ 30 N,
单位: K/d。空心圆: 旧反照率; 实心圆: 新反照率)

中上层有正涡度制造, 低层有负涡度制造。这与北非地区高空的异常辐合(图8a)与负变高(图7c)以及低空的异常辐散(图8b)与正变高(图6c)是一致的。高空的辐合增加与低空的辐散增强导致下沉运动增强(图5c), 因而北非副高得到加强。

4 结论与讨论

本文通过数值试验, 证明了当北非地表反照率增大时, 由于地面接收到的净辐射减少, 地面温度降低, 对底层大气的感热加热减弱, 抑制了局地的对流和降水, 从而使得对流层中层的凝结加热也减弱。这种对流层中下层的异常冷却导致北非地区高空的异常辐合与低空的异常辐散, 增强这里的下沉运动, 从而增强夏季的北非副高。相应地, 北非地区的环流异常通过辐散风环流与南亚和西太平洋地区高空的异常辐散和低空的异常辐合相联系, 这在一定程度上增强了南亚高压和高层的西太平洋副高。

结合 Rodwell 和 Hoskins^[12] (1996)的工作, 可以认为季风区的对流凝结加热与北非副高之间存在相互作用。一方面, 孟加拉湾上空的潜热加热通过 Rossby 波能够造成北非及地中海东部的下沉运动, 另一方面, 北非副高的加强也可以通过异常的纬向环流导致南亚高压和高层西太平洋副高的增强。据此推测, 北非的干旱荒漠化在导致北非副高加强的同时, 也在一定程度上增强南亚高压和高层的西太平洋副高, 导致东南亚季风降水加强。

需要指出的是, 地表反照率的变化不是孤立的, 必然与地表植被和地表水文特征的变化相联系。由于模式的局限性, 我们这里讨论的只是理想化的地表反照率改变所引起的辐

射效应。利用包含比较完整的陆面过程的气候模式来研究地表特征的变化对北非副高以及南亚高压的影响,值得做进一步的工作。

参考文献

- 1 Charney J G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1975, 101: 193– 202
- 2 Charney J G, Stone P H, Quirk W J. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 1975, 187: 434– 435
- 3 Charney J G, Quirk W J, Chow S H, et al. A Comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *J Atmos Sci*, 1977, 34: 1366– 1385
- 4 Yeh T C, Wetherald R T, Manabe S. The effect of soil moisture on the short term climate and hydrology change: A numerical experiment. *Mon Wea Rev*, 1984, 112: 474– 490
- 5 Sud Y C, Fennessy M. A study of the influence of surface albedo on July circulation in semi-arid regions using the GLAS GCM. *J Climatol*, 1982, 2: 105– 125
- 6 Sud Y C, Smith W E. Influence of local land-surface processes on the Indian Monsoon: A numerical study. *J Climate Appl Meteor*, 1985, 24: 1015– 1036
- 7 Sud Y C, Molod A. The roles of dry convection, cloud-radiation feedback processes and the influence of recent improvements in the parameterization of convection in the GLA GCM. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 2388– 2400
- 8 Laval K. General circulation model experiments with surface albedo changes. *Climatic Change*, 1986, 9: 91– 102
- 9 Laval K, Picon L. Effect of a change of the surface albedo of the Sahel on climate. *J Atmos Sci*, 1986, 43: 2418– 2429
- 10 Cunnington W M, Rowntree P R. Simulations of the Sahara atmosphere-dependence on moisture and albedo. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1986, 112: 971– 999
- 11 Lofgren B M. Sensitivity of land-ocean circulations, precipitation, and soil moisture to perturbed land surface albedo. *J Climate*, 1995, 8: 2521– 2542
- 12 Rodwell M R, Hoskins B J. Monsoons and the dynamics of deserts. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1996, 122: 1385– 1404
- 13 Yang S, Webster P J, Dong M. Longitudinal heating gradient: Another possible factor influencing the intensity of the Asian summer monsoon circulation. *Adv Atmos Sci*, 1992, 9: 397– 410
- 14 Wu G X, Liu H, Zhao Y C, et al. A nine-layer atmospheric general circulation model and its performance. *Adv Atmos Sci*, 1996, 13(1): 1– 18
- 15 吴国雄, 张学洪, 刘辉等. LASC 全球海洋-大气-陆面系统模式(GOALS/LASC)及其模拟研究. *应用气象学报*, 1997, 8(增刊): 15– 28
- 16 黄嘉佑编著. *气象统计分析与预报方法*. 北京: 气象出版社, 1990. 20– 23
- 17 Li Zhanqing, Garad L. Estimation of surface albedo from space: A parameterization for global application. *J Geophys Res*, 1994, 99: 8335– 8350
- 18 Liu H, Wu G X. Impacts of land surface on climate of July and summer monsoon: A study with an AGCM plus SSiB. *Adv Atmos Sci*, 1997, 14(3): 287– 282
- 19 李伟平. 亚非季风区季节变化的数值模拟研究[学位论文]. 北京: 中科院大气物理研究所, 1996, 144pp
- 20 丁一汇编著. *高等天气学*. 北京: 气象出版社, 1991. 792 pp
- 21 乌元康编著. *热带季风图集*. 北京: 气象出版社, 1987. 496– 504
- 22 吴国雄, 刘还珠. 全型垂直涡度倾向方程和倾斜涡度发展. *气象学报*, 1999, 57(1): 1– 15

A NUMERICAL SIMULATION STUDY OF THE IMPACTS OF SURFACE ALBEDO ON THE SUMMER TIME NORTH AFRICA SUBTROPICAL HIGH

Li Weiping Wu Guoxiong Liu Hui

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029)

Abstract

Two sets of numerical experiments different in surface albedo were carried out by using of LASG L9R15 AGCM in this work. The impacts of surface albedo on the summer time North Africa subtropical high are investigated through comparative study of the July mean climate of these two sets of experiments. The results indicate that with the increase of surface albedo, especially at North Africa, the net radiation reaches the ground surface decreases (from $140\text{W}/\text{m}^2$ to $101\text{W}/\text{m}^2$), so do the surface temperature and the sensible heat flux transferred to the above atmosphere, therefore the convection and precipitation in North Africa reduce. The cooling of middle and lower troposphere in the aforementioned region results in more convergence at high level and more divergence at low level, hence stronger downward motion and the reinforcement of the North Africa subtropical high during summer time. Besides the aforementioned impacts of the changes of surface albedo on local climate in north Africa, the differential circulation in north Africa enhances the low level convergence and high level divergence in south Asia through divergent wind circulation which connects these two regions, therefore strengthens the South Asia high to some extent, and increases monsoon precipitation in southeast Asia.

Key words: Surface albedo, North Africa subtropical high, Numerical simulation, South Asia high.