

# 土壤湿度和地表反射率变化对中国北方气候影响的数值研究\*

朱乾根 兰红平\*\* 沈桐立

(南京气象学院, 南京, 210044)

## 摘 要

本文利用 OSU 两层大气环流模式来考察土壤湿度和地表反射率变化对中国北方气候的影响。在(30—46°N, 90—120°E)的区域上进行了 3 个试验, 结果表明干土壤对我国东部季风区和西部非季风区有不同的影响特征。高反射率造成降水减少。并指出地表过程的作用可能是经常发生在华北的春夏连旱现象的重要原因之一。

**关键词:**土壤湿度, 地表反射率, 北方春夏连旱。

## 1 引 言

自 1970 年代非洲发生大干旱以来, 土壤湿度和地表反射率对气候变化的影响广泛受到气象学者的关注。Charney<sup>[1]</sup>开创性地提出了生物物理反馈机制, 部分地解释了大沙漠边缘地区的干旱重发现象。并用 Giss 模式证实了他的假设<sup>[2]</sup>; 高反射率可使 Sahel 等半干旱地区降水减少。Sud 和 Fenney<sup>[3]</sup>研究了反射率对大气环流和能量平衡的影响。结果与 Charney<sup>[1]</sup>的假设理论完全一样。罗哲贤<sup>[4]</sup>的试验表明: 低反射率比高反射率造成的上升运动和降水都有所增多, 高反射率使黄土高原造成严重的干旱, 并使干旱维持。Shukla 和 Mintz<sup>[5]</sup>做了全球“湿土壤”和“干土壤”试验。结果表明, 在赤道附近及东亚沿海离水源较近的地区, “湿土壤”和“干土壤”试验的降水没有明显差别, 而在远离水汽源的大陆内地, “干土壤”试验区降水要明显减少。

中国北方属于干旱半干旱地区, 对于该地区地表和大气相互作用的数值研究还相当少。开展这方面的研究对于开发和利用中国北部干旱半干旱地区将有重要意义。

## 2 模式及试验设计

本文采用美国 Oregon 州立大学的两层大气环流模式(简称 OSU 模式)。虽然模式的层次较少, 但模式对辐射、水汽及对流等物理量的考虑是详尽的, 并已成功模拟了观测到的很多气候特征<sup>[6]</sup>。本文还采纳了朱乾根和胡江林对模式中拖曳系数  $C_d$  的修正, 经过修正后模式的模拟能力有了一定的改善<sup>[7]</sup>。

本文做了 3 个试验, 试验一为控制试验(简称 CT), 初始场采用文献<sup>[7]</sup>中控制试验 7

\* 初稿时间: 1994 年 10 月 24 日; 修改稿时间: 1995 年 6 月 23 日。

资助课题: 国家基础性研究攻关项目——“气候动力学和气候预测理论研究”。

\*\* 现在深圳气象台工作。

月 15 日的场,积分 80d。试验二(简称 ND),是 A 区(范围 30—46°N,90—120°E,下同)“干旱”试验。假定 A 区土壤湿度的初始值为 0,但可以随着时间变化,积分 50d,其它条件同 CT 试验,以 5—35d 的平均状况代表 ND 试验的平均特征。试验三(简称 NHA),为高反射率试验。假设 A 区的反射率为 0.35,相当于沙漠地区的反射率,但不改变 CT 试验中土壤湿度的初始值,积分 80d,其它条件同 CT 试验。

### 3 干土壤试验结果分析

ND 试验的环流演变图表明(图略),A 区上空 800hPa 上为气旋性环流,400hPa 上为反气旋环流,但东西两部分地区有明显的不同。

由图 1 可见,相对于 CT 试验,ND 试验在 800hPa 上(a) A 区主要为气旋性环流加强,105°E 以东地区的气旋性环流加强要比 105°E 以西地区的气旋性环流加强显著。400hPa 上(b),A 区 105°E 以东地区的气旋性环流加强要比 800hPa 上的更显著,而 105°E 以西地区始终是浅薄的低压,105°E 以东地区则由浅薄低压发展成为比较深厚的低压系统。

从 ND 试验与 CT 试验的平均地表气温差值图(图 2)可见,在 ND 试验中 A 区西北部地表气温上升很显著,A 区东南部气温下降明显,地表气温差值零线沿东北-西南走向,这与中国季风区与非季风区分界线的走向大体是一致的。所以,A 区西部低压属于热低压,因而比较浅薄,A 区东部的低压属于深厚冷性低压。

图 3 是第 5—35d ND 试验和 CT 试验降水和平均蒸散差值场。由图可见,与 CT 试验相比,在 ND 试验中,A 区西北部蒸散减少,东南部蒸散增加,降水也显著增加。这与上面所分析的西部为浅薄热低压,东部为深厚冷性低压是一致的。

由图 4 可看出 A 区东西部的地表净辐射、感热和潜热通量,与 CT 试验相比,在 ND 试验的整个过程中,A 区西部地表净辐射主要是减少的,地表潜热通量也是减少的。但感热通量在大部分时间内是增加的。这与前述 A 区西北部地面气温增加是一致的。A 区东

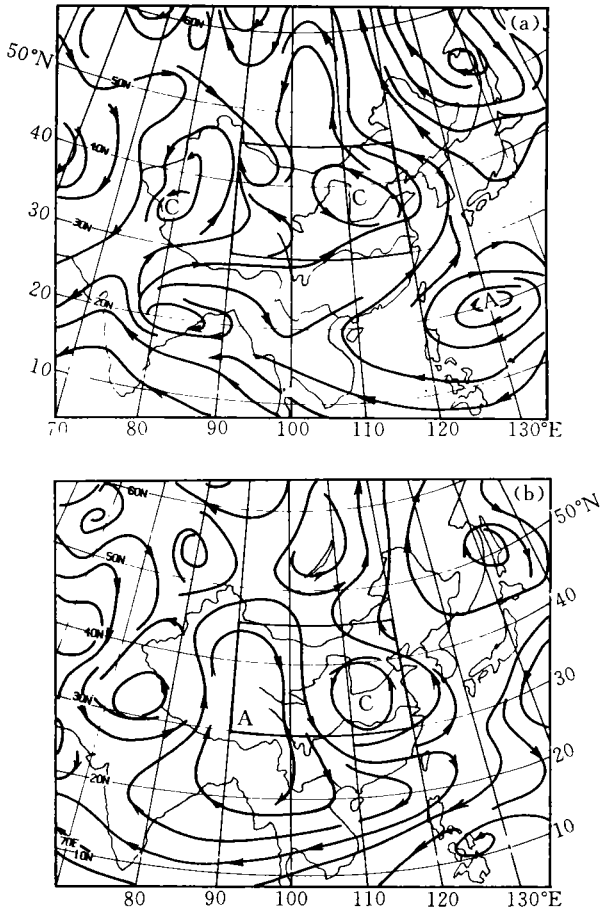


图 1 第 5—35d ND 试验和 CT 试验平均流场差值图 (a, 800hPa; b, 400hPa)

部的地表热量平衡则显得不同。与 CT 试验相比,在 ND 试验中,地表土壤接收的净辐射时增时减,平均来说大致不变。地表向大气输送的潜热也是如此,平均来说变化很小。除前 10d 外,感热通量则一直是减少的,从而形成 A 区东部冷性低压。

综上所述,对于中国北方西部非季风区,土壤湿度减少时,蒸散减少,感热通量增加,地表气温显著上升,形成低层浅薄的热低压和高层强大的反气旋,引起降水减少,从而使土壤湿度持续减少,形成正反馈机制,如此反复循环,使西部地区持续干旱,这与 Shukla 和 Mintz<sup>[5]</sup>,Cunnington<sup>[7]</sup>等人

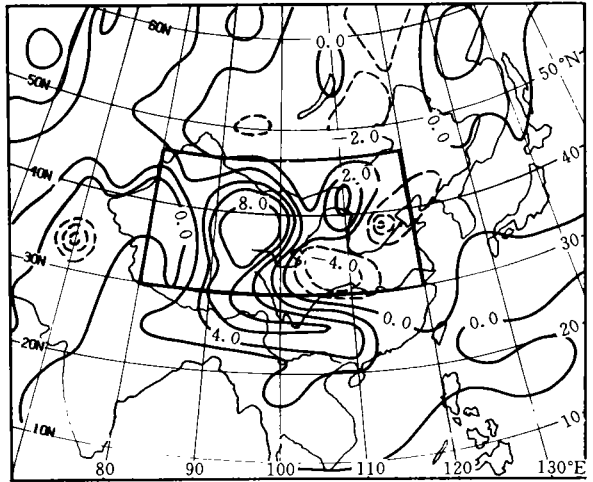


图 2 第 5—35dND 试验和 CT 试验平均地表气温场差值图

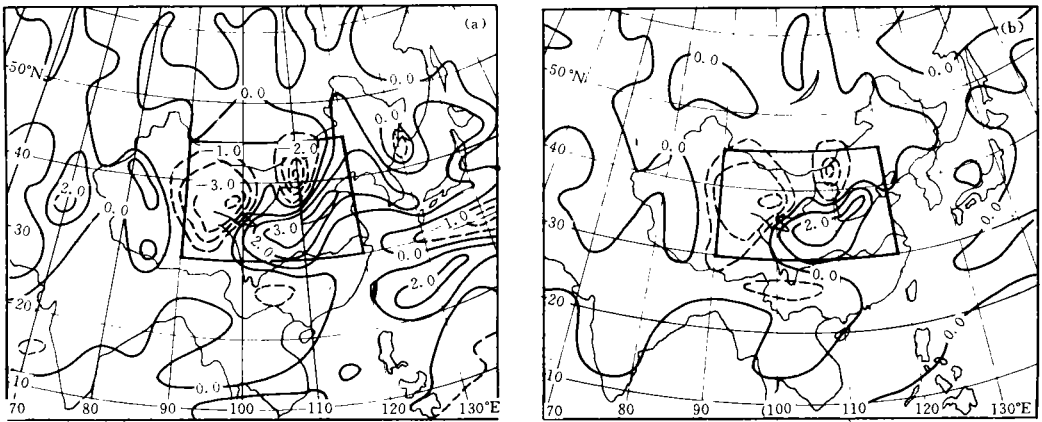


图 3 第 5—35dND 试验和 CT 试验平均降水(a)和平均蒸散(b)差值场 (单位:mm/d)

的结论一致。

中国北方东部季风区则不同,当土壤湿度减少时,开始时蒸散情况和西部非季风区一样都减少了,感热通量和地表气温都升高了,造成了热低压的形成,但当热低压形成后,海上的湿空气便随着西南气流和东南气流向低压区输送,辐合上升,水汽凝结释放潜热使气旋性环流进一步加强,降水增加,土壤湿度和蒸散增加,地表气温和感热输送下降。这与 Sud 和 Fennessy<sup>[9]</sup>的结论一致。

由上可见,土壤湿度减少,对季风区与非季风区将会产生完全相反的结果。

#### 4 地表高反射率试验分析

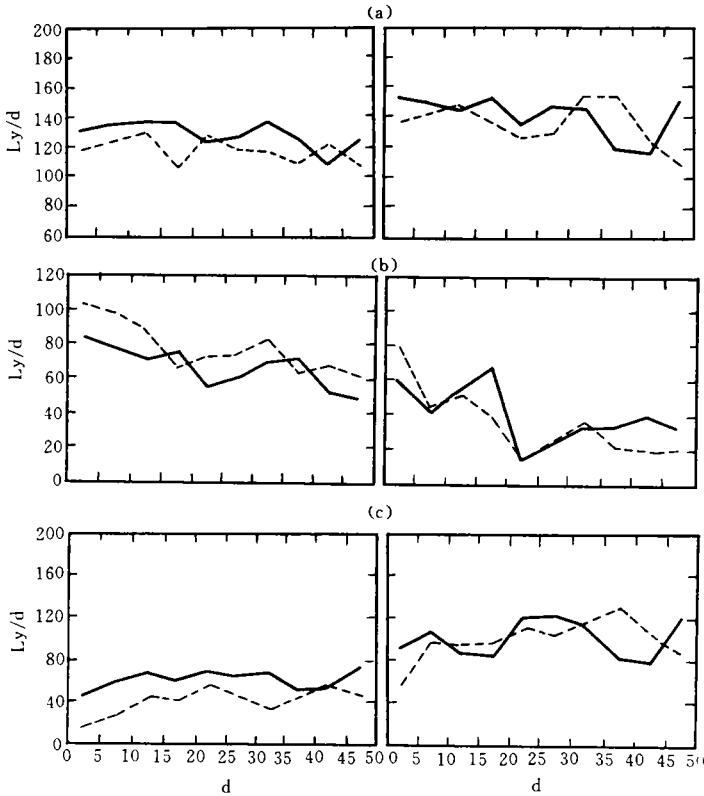


图 4 45d 地表净辐射(a), 感热通量(b)和潜热通量(c)的变化曲线  
(单位: Ly/d,左图为 A 区西部, 右图为 A 区东部, 实线为 CT 试验, 虚线为 ND 试验)

与 CT 试验相比, NHA 试验表明 A 区的反射率升高使地表土壤接收的太阳短波净辐射明显下降(图 5a)。地表向外长波净辐射大致不变(图 5b)。这样地表土壤接收的净辐射明显下降(图 5c)。潜热和感热通量降低(图 5d, 5e), 土壤表层温度下降(图 5f)。

从蒸散变化情况看(图 6a), NHA 试验中 A 区地表蒸散一直小于控制试验的地表蒸散, 因此高反射率的总体效应是蒸散下降, 地表冷却, 大气低层将形成辐射热汇, 为了维持能量平衡, 下沉运动将加强, 使降水减少, 从图 6b 上看, 显然可见降水减少呈持续趋势。

由图 7 可见, A 区反射率升高使得整个 A 区降水都减少了, 其中以黄土高原和华北降水减少比较明显, 处于下风方的东北以东、朝鲜半岛和日本降水增加, 华南地区的降水也有增加。这可能是由于 A 区辐射冷却作用导致下沉运动加强, 使下风方向和周围一些地区的水汽辐合, 降水增多。

以上分析表明, 中国北方地区反射率升高将导致该地区降水减少, 其中黄土高原和华北减少较为明显。这表明无论季风区还是非季风区, 反射率升高均易造成持续干旱, 这与罗哲贤<sup>[4]</sup>的结论是一致的。

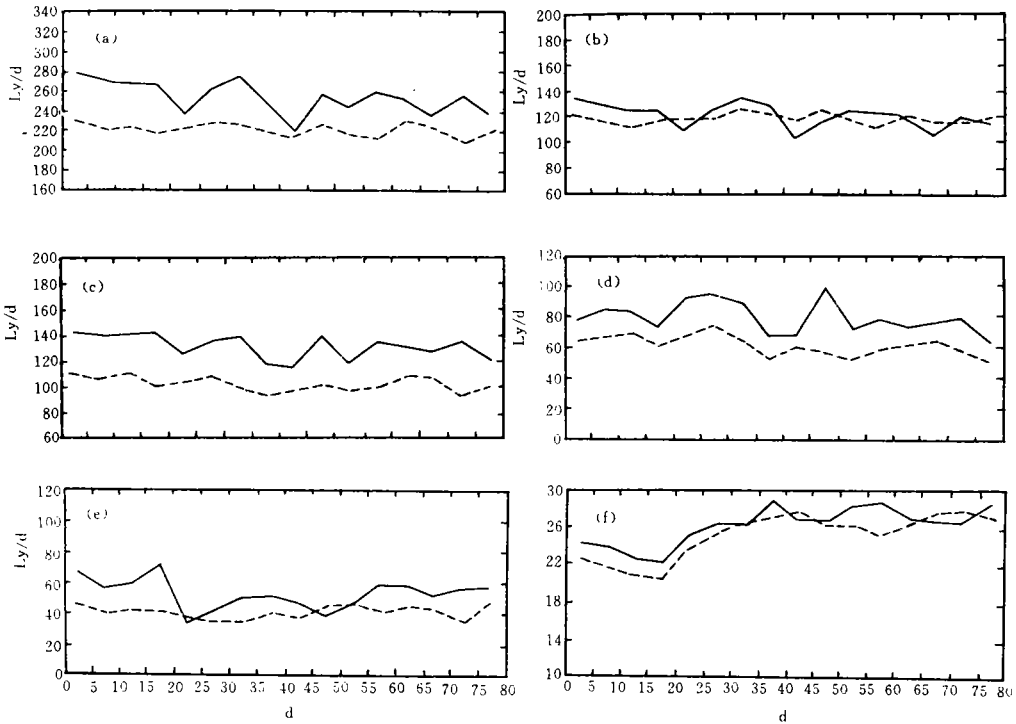


图 5 5d 平均变化曲线

(实线为 CT,虚线为 NHA,a 为地表接收的太阳短波净辐射, b 为地表向外长波净辐射, c 为地表接收的净辐射, d 为潜热通量, e 为感热通量, f 为土壤温度)

### 5 土壤湿度和反射率影响的比较及其相互作用对华北干旱的影响

土壤湿度和反射率对大气影响的差异,可能与它们对蒸散影响方式不同有关。蒸散大小不但影响大气中的水汽含量,而且影响地气系统中的能量交换。在陆地区域,除了很干地区以外,夏半年地气系统中能量和水分交换的潜热通量要比感热通量大。土壤湿度改变不但直接影响蒸散大小,而且直接影响感热和潜热之比,这个比值代表地表对大气的加热方式。反射率改变是通过影响地表土壤接收的太阳短波净辐射来间接影响蒸散大小,因而间接影响感热潜热之比。表 1 是本文 3 个试验和同时做的 1 个 A 区的湿土壤试验共 4 个试验中 A 区 50d 平均感热潜热之比。由表 1 可见,土壤湿度变化对感热潜热之

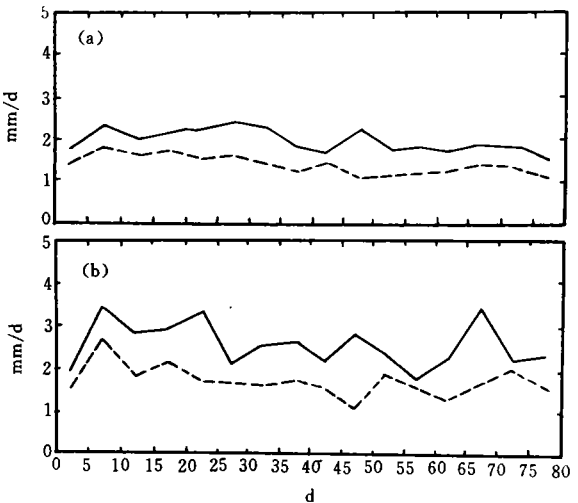


图 6 蒸散(a)和降水(b)平均变化曲线 (实线为 CT,虚线为 NHA,单位为: mm/d)

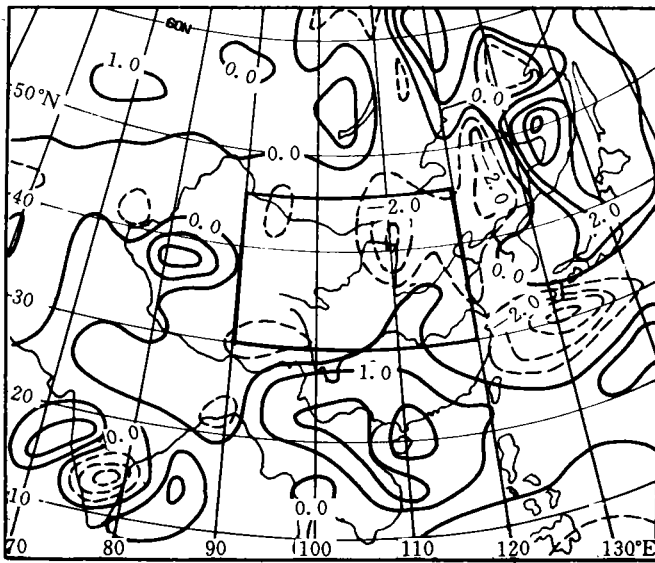


图7 第30—60dNHA试验和CT试验平均降水差值图(单位: mm/d)

比产生很大的影响,比反射率升高的影响要大得多。这就决定了大气对土壤湿度改变的反应比对反射率改变的反应更敏感。

但反射率变化对地表接收净辐射的影响比土壤湿度的变化对地表接收净辐射的影响更显著(图4a和图5c),时间持续更长。这和反射率可以显著地改变太阳短波辐射有关(图6a),因此反射率的改变容易造成持续的气候异常。

在ND和NHA试验中,华北地区西部降水明显偏少。一般来说,土壤干燥,反射率要上升,这说明土壤湿度和反射率共同作用可能对华北西部有一定影响。

若前一年华北西部地区降水少,冬雪也不多,则入春之后,土壤水分少,反射率上升,蒸散小,感热通量和气温上升,降水减少,土壤湿度进一步减小,反射率继续上升,蒸散进一步减小,因此降水更少。这种反馈作用使华北降水持续减少干旱易维持。

表1 4个试验的50d感热和潜热之比

试验	感热潜热之比
控制试验(CT)	0.72
干土壤试验(ND)	0.12
湿土壤试验(NW)	0.19
高反射率试验(NHA)	0.67

在实际观测中,华北春季干旱,则夏季也易干旱,华北常发生春夏连旱的情况。40多年来华北的多次大旱都属这种春夏连旱型。如1962年,1965年,1968年等。因此,地表过程的作用可能是华北春夏连旱维持和发展的主要原因之一。华北西北部与美国西北部大平原所处纬度和气候条件相似,Namias<sup>[10]</sup>在分析1988年晚春至夏季大旱之后指出,1988年4

月,5月大平原上大气与干土壤的相互作用可能对1988年的美国大干旱产生了重要的影响。

## 6 结 论

(1) 中国北方东部季风区和西部非季风区对土壤湿度减少有不同的响应,土壤干旱时,中国西部非季风区蒸散小,低层干燥增温,有热低压发生,又远离水汽源,降水显著减少;中国东部季风区受热低压影响,潮湿的西南气流和东南气流辐合加强,低压发展,降水显著增加。中国北方东部季风区和西部非季风区对地表反射率升高的响应是相同的。

(2) 地表反射率升高造成地表土壤接收的净辐射下降,感热和潜热减少,地面冷却,下沉运动增加,降水减少,黄土高原和华北降水减少较为显著。

(3) 在短期变化中,土壤湿度变化对大气的的影响更敏感。但反射率变化对大气的的影响比土壤湿度变化对大气影响的时间尺度更长,两者对大气的共同作用可能是华北春夏连旱现象的主要原因之一。

本文只是对中国北方地表与大气相互作用的一个初步探讨,是在简单的两层模式基础上得到的初步结果。但所得结论符合一般规律,与实际观测结果也比较一致。

## 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, Quirck 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.
- [3] Sud Y C, Fennessy M J. A study of the influence of surface albedo on July circulation in semi-arid regions using the GLAS GCM. *J Climatology*,1982, 2:105—125.
- [4] 罗哲贤. 植被覆盖对干旱气候影响的数值研究. *地理研究*,1985,4(2):1—8.
- [5] Shukla J, Mintz Y. Influence of land-surface evapotranspiration on the earth climate. *Science*, 1985, 215: 1498—1501.
- [6] Michael E S and Gates W L. The January and July performance of the osu two-level atmospheric general circulation model. *J Atmos Sci*,37:1914—1943.
- [7] 朱乾根,胡江林. 青藏高原大地形对夏季大气环流和亚洲夏季风影响的数值试验. *南京气象学院学报*,1993,16(1): 120—129.
- [8] Cunnington M and Rowntree P R. Simulations of the Saharan atmosphere-dependence on moisture and albedo. *Quar J Roy Meteor Soc.* 1986, 112:971—999.
- [9] Sud Y C and Fennessy M J. Influence of evaporation semi-arid regions on July circulation: a numerical study. *J Climatology*, 1984, 4: 383—398.
- [10] Namias J. Spring and summer 1988 drought over the contiguous United States—causes and prediction. *J Climatology*,1991, 4(1):54—65.

**NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF SOIL MOISTURE  
AND SURFACE ALBEDO ON CLIMATE OF  
NORTH PART OF CHINA**

Zhu Qianggen Lan Hongping Shen Tongli

*(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044)*

**Abstract**

Three numerical simulations which integrated more than 50 days by the OSU AGCM are carried out to show the effects of changes in soil moisture and surface albedo on the climate of north part of China (30—46°N, 90—120°E). Results of the simulation indicate that dry moisture have different effects on non-monsoonal area in the west of china and the monsoonal are in the east of China. High albedo produces a decrease in rainfall. It is pointed out that effect of surface process is one of possible major reason of spring-to-summer continuous drought which happen in North China frequently.

**Key words:** Soil moisture, Surface albedo, North China Spring-to-summer continuous drought.