

我国北方不同类型下垫面地表反照率特征*

姚彤^{1)2)†} 张强¹⁾³⁾

1) (中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020)

2) (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

3) (甘肃省气象局, 兰州 730020)

(2013年8月26日收到; 2013年11月20日收到修改稿)

地表反照率反映了地面对太阳辐射的反射能力, 在地表能量平衡中起着非常重要的作用. 本文利用“中国北方协同观测”的资料, 分析了不同下垫面10个站点7—9月的反照率变化特征和对降水的响应, 并讨论了榆中、通榆草地、通榆农田、密云、玛曲和锦州站地表反照率与太阳高度角和土壤湿度的关系. 结果表明: 反照率的相对关系是东北干旱草甸 > 西北高寒草甸 > 西北绿洲农田 > 黄土高原自然植被 > 东北半干旱草甸 > 东北农田 > 东北果林, 并且反照率基本上和降水对应, 降水量大的站点反照率小, 降水量小的站点反照率大. 反照率的日变化曲线分为早晚对称型, 早上比较大、中午下午比较小和晚上最大、早上最小的不对称型三种. 选取的6个观测站反照率的谷值一般出现在降水日, 峰值一般出现在没有降水、太阳辐射比较强的日子. 地表反照率随着太阳高度角的增大而减小, 当太阳高度角大于 40° 时, 地表反照率基本不变. 榆中和通榆农田地表反照率随着土壤湿度增大减小较明显, 其次是通榆草地, 玛曲、密云和锦州地表反照率随着土壤湿度变化不明显.

关键词: 中国北方, 地表反照率, 太阳高度角, 土壤湿度**PACS:** 92.60.Kc, 92.60.Vb**DOI:** 10.7498/aps.63.089201

1 引言

地表辐射和能量平衡是陆面过程与陆-气相互作用研究的核心内容^[1-3], 它描述了地表和大气间能量的交换过程^[4,5]. 大气运动的动力主要来源于太阳辐射能, 但大气直接接收短波辐射的能力有限, 太阳辐射照射地面使地面升温, 地面再通过发射长波辐射及释放感热和潜热把能量传递给大气. 所以大气获得太阳能的多少取决于地面接受太阳光的能力, 地表反照率很好地反映了这种能力. 地表反照率定义为地面反射的太阳辐射与到达地面的太阳辐射之比, 它反映了地面对太阳辐射的反射能力, 在地表能量平衡中起着非常重要的作用. 地表反照率的确定对研究下垫面的热力性质具有重

要意义.

影响地表反照率 α 的因素主要有下垫面的状况 (颜色、湿度、粗糙度、植被覆盖、土壤干湿等)、太阳高度角和天气状况等^[6]. 地表反照率决定了地表和大气间的辐射能量分配, 进而影响生态系统的物理、生理、生物化学过程 (地表温度、蒸腾、能量平衡、光合和呼吸等), 从而直接或间接地影响全球及区域气候^[7].

据胡隐樵和张强^[8], 干旱和半干旱地区主要分布于我国的北方, 几乎占据北方全部的陆面面积, 达到我国陆地面积的40%. 干旱、半干旱地区对气候变化的响应更为敏感. 我国干旱半干旱区面积广阔, 下垫面类型复杂多样, 研究干旱、半干旱区的地气相互作用特征, 对于改进干旱区陆面过程参数化方案, 研究全球陆地能量和水汽循环及全球变化具

* 国家自然科学基金重点项目 (批准号: 40830597) 和国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2013CB430200, 2013CB430206) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: tongy_2010@163.com

有十分重要的现实意义. 在对干旱半干旱地区地-气相互作用的研究中, 地表反照率是最基础也是最重要的地表参数之一^[9]. 刘辉志等^[10]给出了半干旱区不同下垫面地表反照率的变化特征; Zhang等^[11]给出了敦煌干旱区戈壁下垫面地表反照率在夏季的日变化特征; 孙俊等^[12]对黑河中上游不同下垫面反照率特征及其影响因子进行了分析. 但是很少有人对我国北方干旱半干旱区的反照率变化特征进行整体的分析. 岳平等^[13]指出, 云和降水扰动影响黄土高原半干旱草地辐射收支及能量分配; 李宏宇等^[14]分析了黄土高原自然植被下垫面反照率与太阳高度角以及土壤湿度的参数化关系. 本文利用“中国北方协同观测试验”中不同下垫面11个站2008年7—9月的梯度资料, 分析了我国北方干旱半干旱区不同下垫面地表反照率的特征及其与降水和土壤湿度的关系, 并且将不同下垫面地表反照率的日变化曲线与反照率与太阳高度角的关系结合起来分析, 对于改进我国北方地区陆面过程的描述有重要意义.

2 观测场地及资料

本文资料来自“中国北方协同观测试验”^[15], 是中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室和季风亚洲全球变化区域集成研究计划(MAIRS)提供的数据集, 曾剑等^[16]对该数据集进行了详细的介绍. 目前共有18个干旱-半干旱区的观测站加入到协同观测实验, 主要分布在西北干

旱区、黄土高原地区和东北冷区. 参加该试验的观测站均在统一观测标准、统一观测规范、统一仪器标定方式和统一时间下开展观测试验, 并且进行统一数据质量控制及充分资料共享^[17,18]. 各个站点的观测项目基本一致, 主要包括近地面层基本气象要素、辐射、土壤温度、土壤湿度、土壤热通量以及近地面湍流通量, 文献^[17, 18]已给出了这些观测仪器的性能和主要技术指标.

根据各个站的资料情况选取了10个站点2008年7—9月的资料进行分析, 包括干旱荒漠沙地(张掖站)、黄土高原自然植被(榆中站)、东北半干旱草甸(通榆草地站)、东北干旱草甸(东苏站)、绿洲农田(临泽站和盈科站)以及东北农田(锦州站和通榆农田站)、西北高寒草甸(玛曲站)和东北果林园地(密云站), 各代表站的基本信息列于表1中.

3 结果分析与讨论

3.1 地表反照率的变化特征

在清晨和傍晚, 太阳已在地平线以下, 但天空还是有散射光, 所以仪器还是能测到辐射(并可以“算出”反照率). 只是此时辐射已较弱, 测量误差相对很高, 反照率计算结果的离散会很大, 参考意义不大. 至于夜间, 即便散射辐射有一点, 测得结果也没有意义. 因此, 我们首先对资料进行了如下处理: 选取向下太阳辐射 $> 100 \text{ W/m}^2$, 反射辐射 $> 20 \text{ W/m}^2$ 的资料, 以减小辐射较弱时的测量误差; 时间选取06:00—19:00共14 h的资料^[19].

表1 各站点的基本情况

代表站点	经纬度/(°N/(°E)	海拔/m	下垫面状况	站点备注	年均降水量/mm
张掖	39.09/100.28	1483	荒漠/裸地	典型戈壁与绿洲过渡带, 地面为沙土, 有少量沙生植物	130
盈科	38.86/100.58	1519	绿洲农田	玉米农田绿洲区, 开阔, 防风林间距为500 m (东西向) $\times$ 200 m (南北向)	125
临泽	39.35/100.13	1384	绿洲农田	位于农田-荒漠过渡带, 地表为农作物(玉米、小麦、棉花)和荒漠植被	120
玛曲	33.89/102.14	3423	高寒草甸	高寒湿地草原, 平坦开阔	600
榆中	35.95/104.13	1966	自然植被	典型黄土高原地貌, 主要为低矮草地植被	400
密云	40.63/117.32	350	果林	位于西南-东北走向的山谷中, 下垫面主要为园地(李子树, 苹果树)	650
锦州	41.15/121.20	22	农田	平坦开阔, 主要种植玉米, 土壤为典型棕壤	600
东苏	44.09/113.57	970	退化草地	荒漠草原, 优势植物种为戈壁针茅和多根葱, 地势平坦开阔	452
通榆	44.88/122.88	184	草地	平坦, 土壤主要为风沙土和淡黑钙土等, 为半干旱气候草原植被	400
通榆	44.88/122.88	184	农田	平坦, 土壤为风沙土和淡黑钙土, 生长季为玉米(高度 $<1.8 \text{ m}$)和大豆	400

由于受地面状况(植被、土壤湿度和土壤颜色等)和降水的影响,不同测站的反照率及其日变化是不同的.图1给出了所有观测站7—9月的平均反照率,图2给出了降水量.从图中可以看出,草地和农田下垫面的反照率都随着覆盖率和所处的海拔不同而不同.东北干旱草甸反照率最高,达0.25;高寒草甸由于海拔高由于海拔高反照率也较大,达0.22,和荒漠沙地对等;黄土高原自然植被的反照率为0.19;东北半干旱草甸的反照率由于植被覆盖率比较低而最低,为0.18;农田下垫面里面,西北绿洲农田反照率最大,达到0.2和0.19;东北农田反照率比较低,分别为0.16和0.15;东北果林的反照率最低,只有0.145.总的来说反照率的相对关系是东北干旱草甸>西北高寒草甸>西北绿洲农田>黄土高原自然植被>东北半干旱草甸>东北农田>东北果林.随着反照率的降低,降水量总体上是呈大致上升的趋势.由于植被覆盖率很大程度上受到降水影响,因此各站反照率基本上和降水相对应,降水量多的站点反照率低,降水量少的站点反照率高.比较特殊的是玛曲,虽然降水量比较大,但是反照率也比较大,因为玛曲属于高寒草甸,海拔高.盈科为灌溉农田,临泽为荒漠-农田过渡带,降水本身很少,也较为特殊.

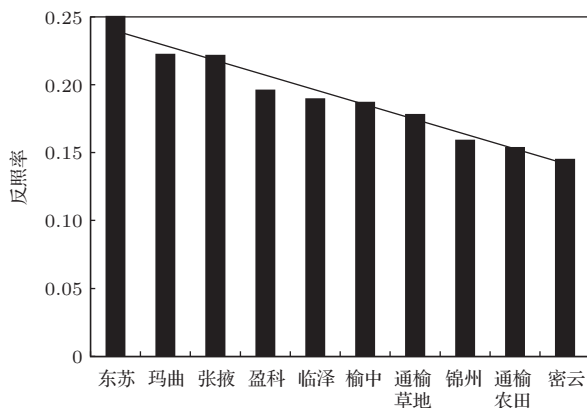


图1 各站点地表反照率平均值

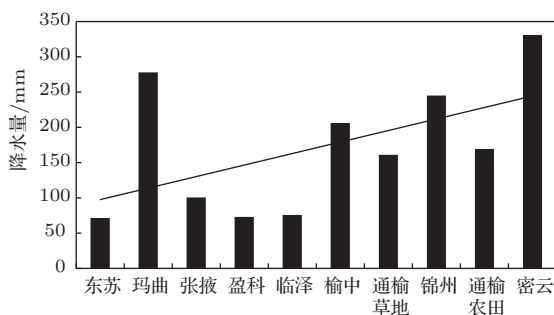


图2 各站点降水量统计

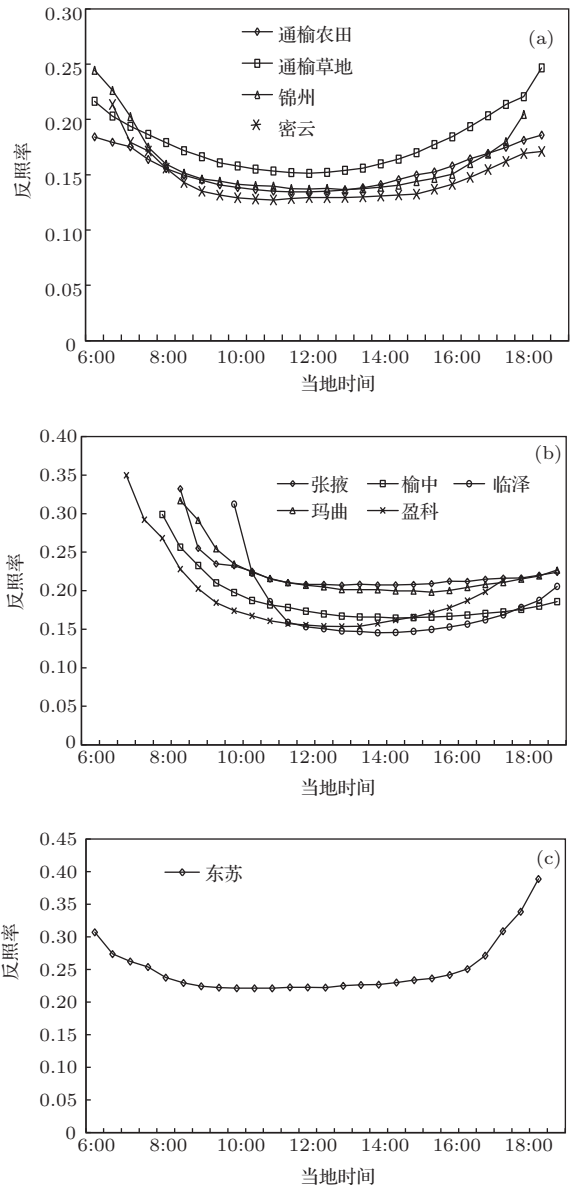


图3 各站平均反照率日变化曲线类型 (a) 早晚对称型; (b) 早上大的不对称型; (c) 下午大的不对称型

地表反照率的日变化与太阳高度角在一天中的变化有着直接关系,一般来说是随着太阳高度角的增加而降低,因此典型的地表反照率日变化是光滑的抛物线^[20].一般认为晴天地表反照率大致呈早晨和晚上高、中午低的准“U”型^[21],且地表反照率平均状况下的日变化形态近似于晴天状况下的日变化^[10,22].但由于受下垫面状况以及天气状况等因素的影响,致使地表反照率在空间和时间尺度上有很大差异.图3给出了各个站点7—9月平均地表反照率的日变化,按照变化特点的不同,可以分为3类.东北果林密云、东北农田锦州、通榆农田站和东北半干旱草甸通榆草地站反照率日变化呈现比较对称的“U”型,早晚大,中午小.西北荒漠沙地张掖站、西北干旱区绿洲农田

盈科和临泽站、西北高寒草甸玛曲站和黄土高原自然植被榆中站反照率日变换呈现早上大, 下午和中午比较接近, 都比早上小的不对称结构. 这是因为这些地方晚上风速极小, 昼夜温差大, 经过一晚上的冷却容易在清晨的时候在植物叶面上凝结露珠, 日出后太阳高度角本来就小, 阳光照

射在叶面又出现比漫射反射更强的“镜面”反射, 反照率因此变大. 日出后露珠迅速蒸发, 反照率变小, 而傍晚不会出现露水, 因此反照率不会很大. 这个现象在文献[22—24]中也出现过. 东北干旱草甸东苏站呈现下午最大、早上最小的不对称结构.

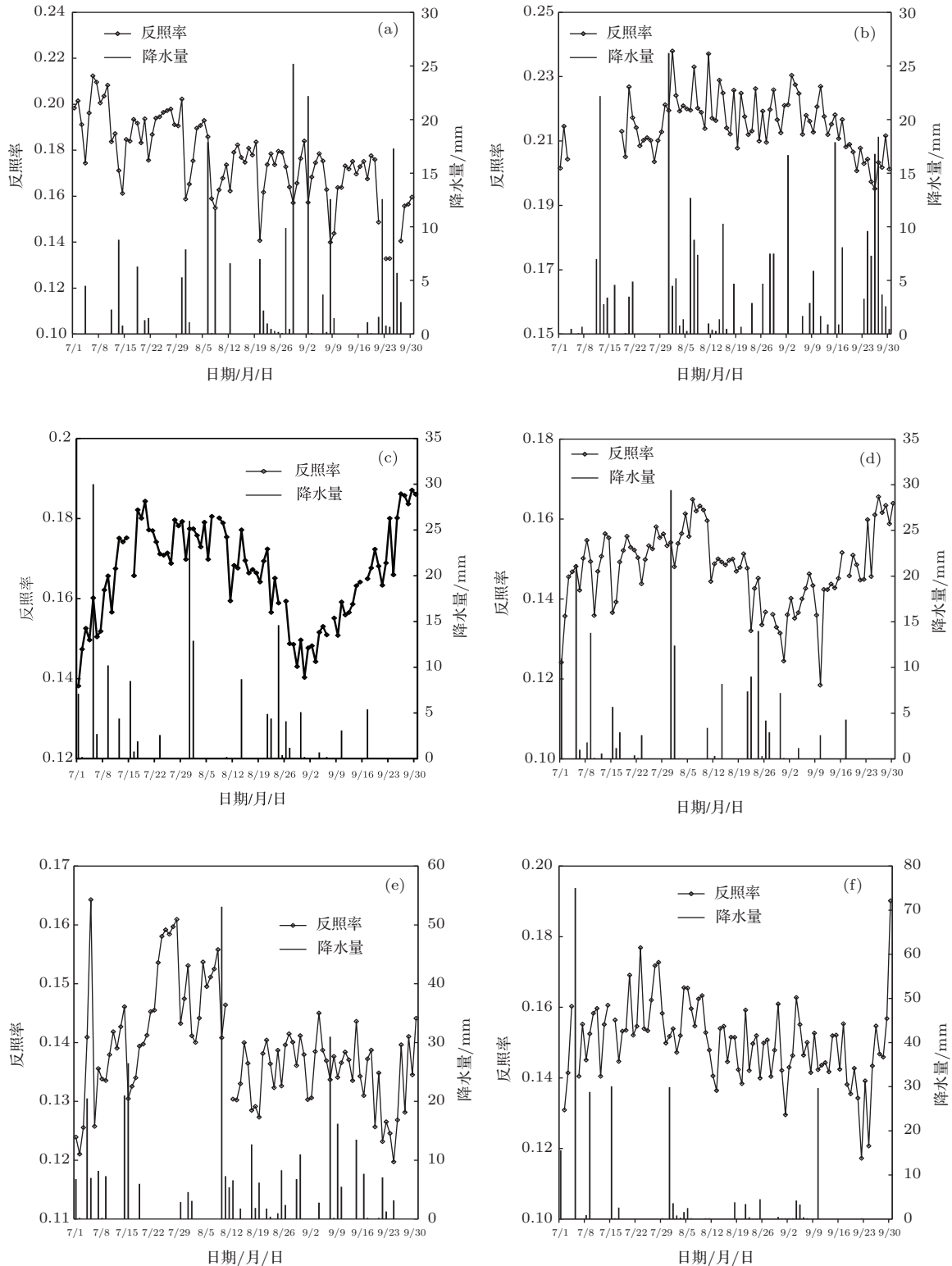


图4 地表反照率日均值和日总降水量的变化 (a) 榆中; (b) 玛曲; (c) 通榆草地; (d) 通榆农田; (e) 密云; (f) 锦州

在所有观测站中, 只有榆中、通榆草地、通榆农田、密云、玛曲和锦州站可以观测到 5 cm 土壤湿度, 因此本文研究这几个站的反照率日均值的变化以及降水等的关系. 图 4 给出了 2008 年 7—9 月这 6

个站地表反照率日均值的变化以及降水的情况. 可以看出各站 7—9 月均有多次降水过程, 属于多雨期, 锦州站的降水比较集中. 反照率的整体变化趋势是榆中站持续减小, 通榆农田、草地和锦州站先

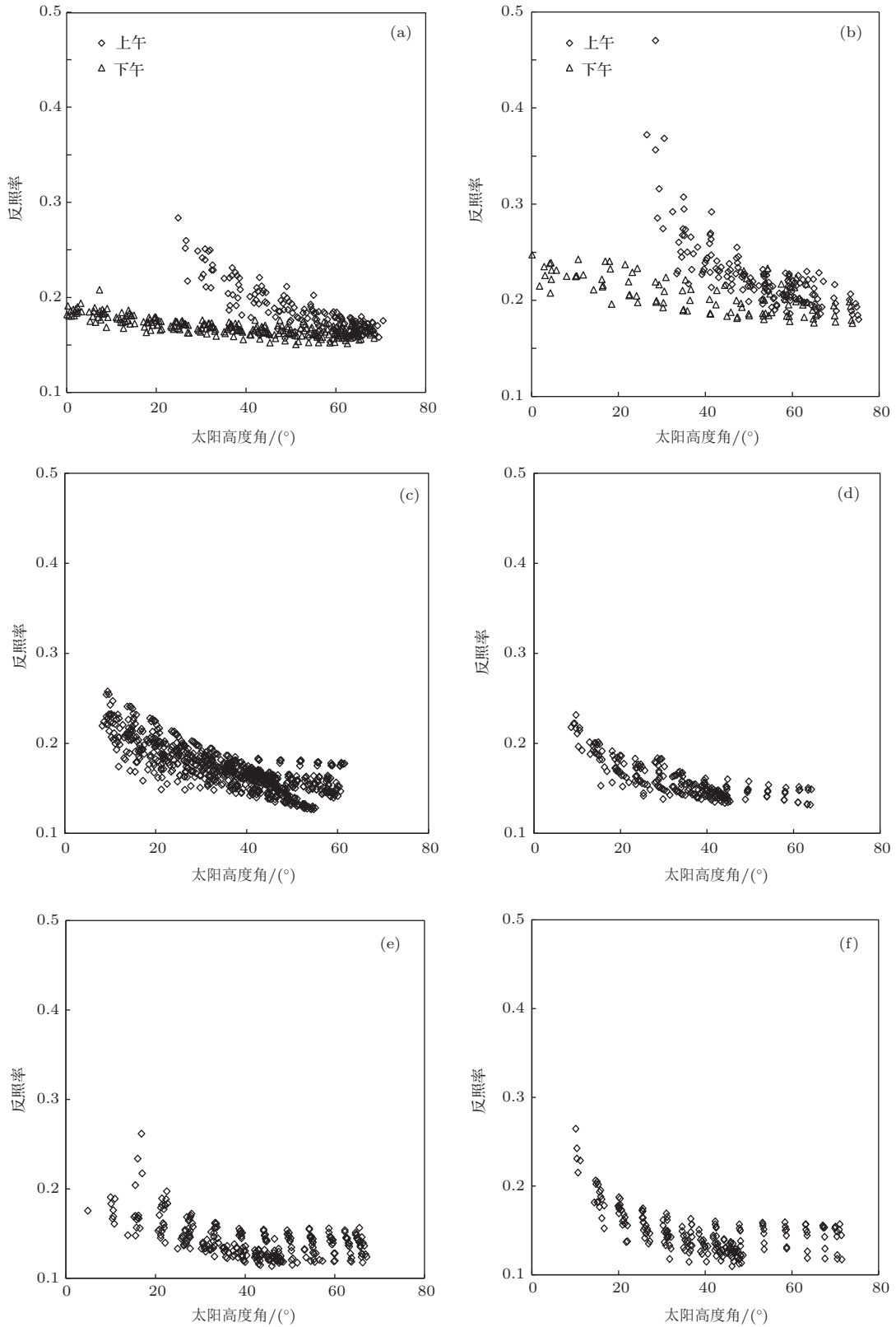


图 5 反照率和太阳高度角的关系 (a) 榆中; (b) 玛曲; (c) 通榆草地; (d) 通榆农田; (e) 密云; (f) 锦州

增大、后减小、再增大, 密云和玛曲站先增大、后减小, 后者变化比较小, 反照率比较稳定. 结合降水来看, 降水对于旱半干旱区反照率的影响很显著. 各站反照率的谷值一般出现在降水日, 峰值一般出

现在没有降水、太阳辐射比较强的日子, 这是因为降水增大了土壤湿度, 水的反照率非常小, 并且包裹在土壤粒子外围的水分增加了对太阳光的吸收路径, 所以土壤湿度越大反照率越小 [25].

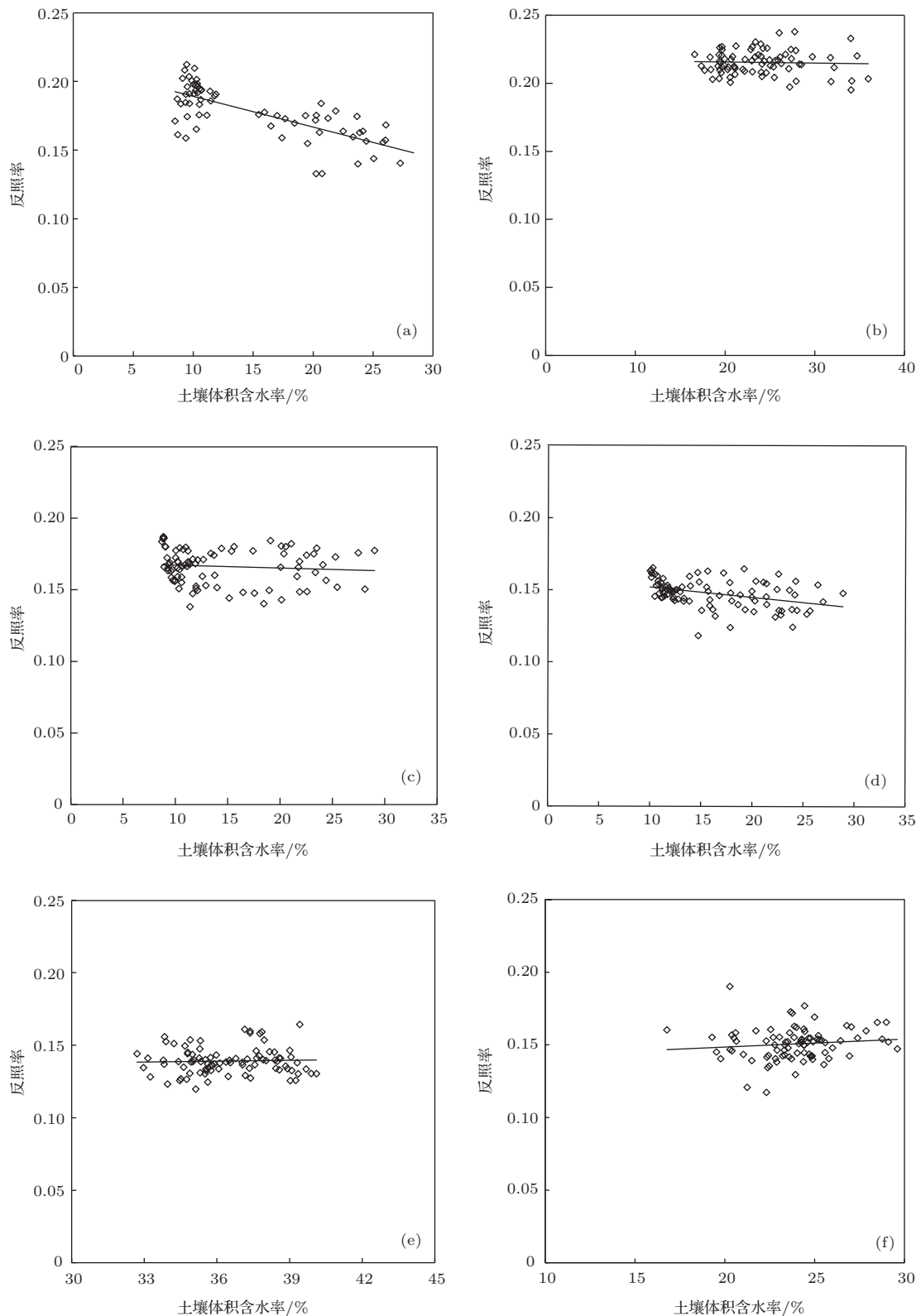


图6 反照率日均值和土壤湿度日均值关系 (a) 榆中; (b) 玛曲; (c) 通榆草地; (d) 通榆农田; (e) 密云; (f) 锦州

3.2 地表反照率与太阳高度角的关系

对于特定地表, 由于植被变化比较缓慢, 生长期植被覆盖对反照率的作用可看作定常值, 短期的地表反照率主要受到太阳高度角和土壤湿度的影响, 图 5 给出了地表反照率与太阳高度角的关系. 为了尽量减小土壤湿度对反照率的影响, 各站均根据土壤湿度的范围选择土壤湿度比较小的数据分析太阳高度角对反照率的影响.

从图 5 可以看出, 与前面相对应, 由于榆中站和玛曲站的反照率日变化呈现早上比较大、中午和下午小的不对称结构, 因此这两个站分为上午和下午两个部分, 分别分析反照率与太阳高度角的关系. 可以看出, 榆中和玛曲站的反照率在相同太阳高度角时, 早上比下午要大, 并且在上午反太阳高度角对反照率的影响比较大, 早上随着太阳高度角增大, 反照率迅速减小, 这也是因为露水效应. 通榆农田和草地站、密云站和锦州站的反照率日变化比较对称, 因此不分上下午来分析. 可以看出, 在东北农田通榆和锦州站, 太阳高度角对反照率的影响最大, 其次是东北半干旱草甸通榆站, 在东北果园密云站太阳高度角对反照率的影响较小. 在太阳高度角大于 40° 时, 各站反照率都基本上不变.

3.3 地表反照率与土壤湿度的关系

图 6 给出了 6 个站的日平均反照率与土壤湿度的关系, 反照率日平均后可以减小太阳高度角对反照率的影响. 榆中站和通榆农田站反照率随着土壤湿度减小比较明显; 其次是通榆草地; 玛曲、密云和锦州反照率随着土壤湿度变化很小, 玛曲可能因为是高寒草甸, 植被覆盖率高; 密云站因为降水一直比较多, 土壤湿度都维持在一个比较稳定的范围, 接近饱和, 因此反照率随着土壤湿度的变化不大.

4 结 论

本文利用中国北方协同观测的资料, 分析了不同下垫面 10 个站点 7—9 月的反照率变化特征和对降水的响应, 并讨论了榆中、通榆草地、通榆农田、密云、玛曲和锦州站地表反照率与太阳高度角和土壤湿度的关系. 结果表明: 反照率的相对关系是东北干旱草甸 > 西北高寒草甸 > 西北绿洲农田 > 黄土高原自然植被 > 东北半干旱草甸 > 东北农田 > 东北果林; 由于植被覆盖率很大程度上受到降水影响, 因此各站反照率基本上和降水相对应, 降水量

多的站点反照率低, 降水量少的站点反照率高; 玛曲虽然降水量比较大, 但是反照率也比较大, 因为玛曲属于高寒草甸, 海拔高, 太阳辐射比较强.

各个站点 7—9 月平均地表反照率的日变化, 按照变化特点的不同, 可以分为三类: 东北果林密云, 东北农田锦州、通榆农田站和东北半干旱草甸通榆草地站, 反照率日变化呈现比较对称的“U”型, 早晚大, 中午小; 西北荒漠沙地张掖站、西北干旱区绿洲农田盈科和临泽站、西北高寒草甸玛曲站和黄土高原自然植被榆中站, 反照率日变化呈现早上大、下午和中午比较接近、都比早上小的不对称结构; 东北干旱草甸东苏站呈现下午最大、早上最小的不对称结构. 各站反照率的谷值一般出现在降水日, 峰值一般出现在没有降水、太阳辐射比较强的日子.

榆中和玛曲站的反照率在同太阳高度角时, 早上比下午要大, 并且在上午反太阳高度角对反照率的影响比较大, 早上随着太阳高度角增大, 反照率迅速减小; 在东北农田通榆和锦州站, 太阳高度角对反照率的影响最大; 其次是东北半干旱草甸通榆站; 在东北果园密云站太阳高度角对反照率的影响较小. 在太阳高度角大于 40° 时, 各站反照率都基本上不变.

榆中站和通榆农田站反照率随着土壤湿度减小比较明显; 其次是通榆草地; 玛曲、密云和锦州反照率随着土壤湿度变化很小.

中国科学院大气物理研究所东亚区域气候环境重点实验室和季风亚洲全球变化区域集成研究计划为本文研究提供了资料, 曾剑在本文工作中提供了很大帮助, 在此表示感谢.

参考文献

- [1] Li H Q, Guo W D, Sun G D, Zhang Y C 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 019201 (in Chinese)[李红祺, 郭维栋, 孙国栋, 张耀存 2011 物理学报 **60** 019201]
- [2] Ma J Y, Liang H, Luo Y, Li S K 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 069601 (in Chinese)[马金玉, 梁宏, 罗勇, 李世奎 2011 物理学报 **60** 069601]
- [3] Wang S, Zhang Q 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 059203 (in Chinese)[王胜, 张强 2011 物理学报 **60** 059203]
- [4] Yue P, Zhang Q, Niu S J, Wang R Y, Sun X Y, Wang S 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 219201 (in Chinese)[岳平, 张强, 牛生杰, 王润元, 孙旭映, 王胜 2012 物理学报 **61** 219201]
- [5] Yue P, Zhang Q, Li Y H, Wang R Y, Wang S, Sun X Y 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 099202 (in Chinese)[岳平, 张强, 李耀辉, 王润元, 王胜, 孙旭映 2013 物理学报 **62** 099202]

- [6] Zuo D K, Zhou Y H 1991 *A Study on the Earth Surface Radiation* (Beijing: Science Press) p37 (in Chinese) [左大康, 周允华 1991 地球表层辐射研究 (北京: 科学出版社) 第 37 页]
- [7] Sun S F 2005 *Physical, Biochemical Mechanism and Parametric Models in Land Surface Process* (Beijing: Meteorological Press) p1 (in Chinese) [孙淑芬 2005 陆面过程的物理、生化机理和参数化模型 (北京: 气象出版社) 第 1 页]
- [8] Hu Y Q, Zhang Q 2002 *Advance in Earth Sciences* **16** 18 (in Chinese) [胡隐樵, 张强 2002 地球科学进展 **16** 18]
- [9] Fan L J, Dong W J 2002 *Plateau Meteorology* **21** 309 (in Chinese) [范丽军, 董文杰 2002 高原气象 **21** 309]
- [10] Liu H Z, Tu G, Dong W J 2008 *Chin. Sci. Bull.* **53** 1220 (in Chinese) [刘辉志, 涂钢, 董文杰 2008 科学通报 **53** 1220]
- [11] Zhang Q, Huang R H 2004 *Bound Layer Met* **110** 471
- [12] Sun J, Hu Z Y, Xun X Y, Peng W, Lü B, Xu L J 2011 *Plateau Meteorology* **30** 607 (in Chinese) [孙俊, 胡泽勇, 荀学义, 彭雯, 吕斌, 徐丽娇 2011 高原气象 **30** 607]
- [13] Yue P, Zhang Q, Zhao W, Wang J S, Wang R Y, Yao Y B, Wang S, Hao X C, Yang F L, Wang R A 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 209201 (in Chinese) [岳平, 张强, 赵文, 王劲松, 王润元, 姚玉璧, 王胜, 郝小翠, 阳伏林, 王若安 2013 物理学报 **62** 209201]
- [14] Li H Y, Zhang Q, Shi J S, Zhao J H, Wang S 2010 *Acta Meteorol. Sin.* **70** 1137 (in Chinese) [李宏宇, 张强, 史晋森, 赵建华, 王胜 2010 气象学报 **70** 1137]
- [15] Zhang Q, Zeng J, Zhang L Y 2012 *Sci. China* **42** 1385 (in Chinese) [张强, 曾剑, 张立阳 2012 中国科学 **42** 1385]
- [16] Zeng J, Zhang Q, Wang S 2010 *Proceeding of the 27th Annual Meeting of Chinese Meteorological Society: Symposium on Atmosphere-land Interaction in Arid and Semi-Arid Regions* Beijing, October 21–23 2010 (in Chinese) [曾剑, 张强, 王胜 2010 第 27 届中国气象学会年会干旱半干旱区地气相互作用分会场论文集 北京, 10 月 21—23 日, 2010]
- [17] Zeng J, Shen J, Zhang Q 2010 *Sciences in Cold and Arid Regions* **2** 288
- [18] Zeng J, Zhang Q, Wang S 2011 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **35** 483 (in Chinese) [曾剑, 张强, 王胜 2011 大气科学 **35** 483]
- [19] Li Y, Hu Z Y 2006 *Plateau Meteorology* **25** 1034 (in Chinese) [李英, 胡泽勇 2006 高原气象 **25** 1034]
- [20] Dvoracek M J, Hannabas B 1990 *Visions of the Future, Proceedings of the Third National Irrigation Symposium Held in Conjunction with the 11th Annual International Irrigation Exposition* Phoenix, USA, Oct. 28–Nov. 1, 1990
- [21] Zhang Q, Huang R H 2004 *Boundary-layer Meteorology* **110** 471
- [22] Li H Y, Zhang Q, Wang S 2010 *Advances in Earth Science* **25** 1070 (in Chinese) [李宏宇, 张强, 王胜 2010 地球科学进展 **25** 1070]
- [23] Wang S, Zhang Q, Zhang H 2008 *J. Desert Res.* **28** 119 (in Chinese) [王胜, 张强, 张鸿 2008 中国沙漠 **28** 119]
- [24] Wen L J, Lü S H, Chen S Q, Meng X H, Li S S, Ao Y H 2009 *Acta Energiæ Solaris Sinica* **30** 953 (in Chinese) [文莉娟, 吕世华, 陈世强, 孟宪红, 李锁锁, 奥银焕 2009 太阳能学报 **30** 953]
- [25] Zhang Q, Wang S, Wei G A 2003 *Chin. J. Geophys.* **46** 616 (in Chinese) [张强, 王胜, 卫国安 2003 地球物理学报 **46** 616]

Study on land-surface albedo over different types of underlying surfaces in North China^{*}

Yao Tong^{1)2)†} Zhang Qiang¹⁾³⁾

1) (*Gansu Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China*)

2) (*College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*)

3) (*Meteorological Bureau of Gansu, Lanzhou 730020, China*)

(Received 26 August 2013; revised manuscript received 20 November 2013)

Abstract

Land-surface albedo reflects the ability that land surface reflects solar radiation and plays a very important role in surface energy balance. By picking 10 different underlying surfaces including bare soil, cropland and grassland, the differences in the diurnal variation of land surface radiation and energy processes over North China are investigated using the data measured during July and September, 2008, provided by the Experimental Co-observation and Integral Research in Semi-arid and Arid Regions over North China, the characteristic of land-surface albedo and the response to precipitation are analyzed, and the relationships between land-surface albedo and solar altitude angle and soil humidity are studied. According to the average albedo, the sequence of albedo over all the underlying surfaces are arid meadow in the northeast of China>alpine meadow in the northwest of China>oasis farmland in the northwest>natural vegetation on the Loess Plateau>semi-arid meadow in the northeast of China>farmland in the northeast of China>fruit bearing forest in the northeast of China. And the albedo is smaller when the precipitation is much while it is bigger when the precipitation is less on the whole. The diurnal variation curves of albedo have three types: symmetric type, bigger in the morning and smaller in the noon and afternoon, biggest in the afternoon and smallest in the morning. In the selected 6 stations, the valley of albedo basically occurs on rainy days and the peak occurs on days which are not rainy but have strong solar radiation. The land-surface albedo decreases with the solar altitude angle increasing and tends to remain when the solar altitude angle is bigger than 40°. The land-surface albedo decreases obviously with soil moisture increasing in Yuzhong and farmland of Tongyu, then the grassland of Tongyu. And the land-surface albedos of Maqu, Miyun, Jinzhou have no significant change with the soil moisture.

Keywords: North China, albedo, solar altitude angle, soil moisture

PACS: 92.60.Kc, 92.60.Vb

DOI: 10.7498/aps.63.089201

^{*} Project supposed by the Key Program of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 40830597) and the National Basic Research Program of China (Grant Nos. 2013CB430200, 2013CB430206).

[†] Corresponding author. E-mail: tongy_2010@163.com