

# 新疆于田县不同下垫面小气候特征比较研究<sup>\*</sup>

钟秀娟<sup>1</sup>, 熊黑钢<sup>2</sup>, 张建兵<sup>1</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 北京联合大学 应用文理学院, 北京 100083)

**摘要:**利用 HOBO 小气候观测仪对新疆于田县荒漠、交错带、绿洲 3 个下垫面的气温、相对湿度、风速、地温及蒸发等小气候因子进行了连续观测, 并对比分析了各小气候因子的时序变化及垂直变化特征。结果表明: 于田县不同下垫面的小气候特征参数呈现出梯度式递增或递减的趋势, 由荒漠到绿洲, 气温、风速、地温及蒸发力逐渐减小, 相对湿度逐渐增加, 其中, 荒漠与交错带两下垫面的小气候因子特征值及变化趋势相似, 并与绿洲小气候因子相差较大。例如荒漠与交错带气温相差 0.98, 而与绿洲却相差 3.78; 荒漠平均风速比交错带 (1.55 m/s) 仅高出 0.28 m/s, 却是绿洲的 4 倍。3 下垫面各小气候因子联系紧密, 相互影响, 并且由于受到外界大气候环境的影响, 各因子的时序变化及垂直变化特征相似。

**关键词:**小气候; 下垫面; 特征; 于田县

中图分类号: P463.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0134-06

## Research on Characteristics of Micro-climate in Different Underlying Surface in Yutian County, Xinjiang

ZHONG Xiu-juan<sup>1</sup>, XIONG Hei-gang<sup>2</sup>, ZHANG Jian-bing<sup>1</sup>

(1. Department of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Urban Department, College of Arts and Sciences of Beijing Union University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Air temperature, relative humidity, wind speed, ground temperature and evaporation in micro-climate factors in the underlying surface of desert, ecotone, oasis of Yutian county of xinjiang were investigated for analysis of rules of temporal variation and vertical variation of micro-climate factors by using Portable-Meteorological Station. The results showed that: the characteristic parameters of the micro-climate in different underlying surface show the trend of gradient increasing or decreasing. From desert to oasis, air temperature, wind speed, ground temperature and evaporation reduce gradually and the relative humidity increased gradually in which the characteristics of the micro-climate factors and changes of underlying surface between desertification and ecotone are similar, which different largely from the micro-climate factors of oasis. For example the margin of temperature between desertification and ecotone is 0.98, comparing with the oasis, that is 3.78. The average wind speed of desertification is only higher 0.28 m/s than ecotone (1.55 m/s), which is 4 times of oasis. The micro-climate factors of underlying surface in the desert, ecotone, oasis are closely connected and influenced each other, and with impact of external environment, the characteristics changes of temporal variation and vertical variation of micro-climate factors are similar.

**Key words:** micro-climate; underlying surface; characteristics; Yutian County.

小气候是指在近地面 1.5 ~ 2.0 m 以下的局部地区内, 因下垫面局部特性影响而形成的贴地层和

土壤上层的气候, 它与大气候不同, 其差异可用范围小、差别大、很稳定来概括<sup>[1-2]</sup>。研究小气候具有很

\* 收稿日期: 2009-08-31

基金项目: 国家自然科学基金(40771194); 北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR200906125)

作者简介: 钟秀娟(1983-), 女, 新疆福海人, 硕士, 主要从事于绿洲可持续发展研究。E-mail: amanda3655147@126.com

通信作者: 熊黑钢(1956-), 男, 湖南湘乡人, 教授, 博士, 现主要从事干旱区研究。E-mail: xhg1956@sohu.com

大的实践意义,因为植物(特别是农作物)和动物,都是在这个区域中生活和生长的;理论上,小气候的研究也是很重要的,因为地表是大气圈热能和水汽的主要直接能源,了解空气最低层的情况,对于了解空气上层的情况无疑是有帮助的<sup>[3]</sup>。

近年来,随着气候研究的深入,小气候越来越受到气象学家的重视<sup>[4]</sup>。国内外对小气候的研究也越来越多,对干旱区的小气候研究多为植物冠层的微气候研究以及绿洲单一界面小气候<sup>[5-6]</sup>。不同下垫面之间的差别和相互作用的研究对大气环境和气候数值模拟极为重要。国内外对下垫面进行了大量的观测研究,但这些观测大多数是在湿润和半干旱地区进行的,而对干旱地区下垫面的研究则较少<sup>[7]</sup>。伴随着非均匀下垫面陆面过程及大气边界层研究的展开,对绿洲-交错带-荒漠这种典型的非均匀下垫面系统,仅孤立地分析绿洲、交错带或是荒漠的特征是远远不够的。

于田县内不仅有典型的干旱区绿洲,还有生态环境极其脆弱的绿洲-荒漠交错带以及大面积的荒漠<sup>[8-9]</sup>,这 3 个下垫面上的小气候分析是研究干旱区不同下垫面相互作用的基础<sup>[10]</sup>。

本文利用 HOBO 小气候观测仪对新疆于田县绿洲、绿洲-荒漠交错带以及荒漠的小气候因子进行了定点、连续观测,以探讨 3 个不同性质下垫面的小气候变化特征,以期防治沙漠化、维持绿洲的稳定性、保护日趋恶化的绿洲-交错带-荒漠生态系统提供理论依据。

## 1 研究区概况

于田县位于塔里木盆地南缘,东经 81°09' - 82°51',北纬 35°14' - 39°29',南靠雄伟的昆仑山与西藏自治区相接,北靠浩瀚的塔克拉玛干大沙漠与沙雅县接壤,东连民丰,西邻策勒,具有典型的绿洲、绿洲-荒漠交错带、荒漠 3 个下垫面,南北长约 466 km,东西宽 30~120 km,土地面积为 3.95 万 km<sup>2</sup>,其中绿洲面积仅为 1 773 km<sup>2</sup>。该县属于典型的极端干旱区,其气候的主要特征是:四季分明、昼夜温差大;光照充足,热量资源丰富,日照率为 62%,年日照总数超过 2 769.5 h,积温高达 4 208.1 °C;降水稀少,蒸发剧烈,多年平均降水量仅为 47.7 mm,而蒸发力却高达 2 420.3 mm;多年平均气温为 11.68 °C,大部分灌区多年平均无霜期为 213 d;平原绿洲年平均风速 1.8 m/s,风速以春季最大,平均 2.2 m/s,秋冬季最小,平均为 1.4 m/s,且春夏多风沙和浮尘天气。

## 2 研究方法

本观测试验于 2000 年 9 月 5 - 12 日在于田县的绿洲(棉花地)、绿洲-荒漠交错带及荒漠(戈壁)的典型样地上进行,利用 HOBO 观测仪对 3 个样地的气温、相对湿度、风速、蒸发、地温等小气候特征进行观测。其中,气温、相对湿度、风速探头分为 0 cm、50 cm、100 cm、150 cm 及 200 cm 高度 5 层布设;地温分 0 cm(地表)、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 及 40 cm 五个布设。每天的观测时间为 6:00 - 22:00,每隔 2 h 进行一次数据采集。蒸发观测选用小型蒸发皿,昼夜各观测一次。最后,利用 Excel 2003 以及 DPS 数据处理系统对野外所采集的数据进行整理和分析。HOBO 小气候观测仪是目前使用比较广泛的小气候观测仪器,它能快速、准确并连续地观测气温、地温、风速、相对湿度、蒸发等小气候因子。

## 3 结果与分析

### 3.1 气温的变化特征

3.1.1 气温的时序变化 对比分析观测期内荒漠、交错带、绿洲各层日平均气温可知(图 1 - 2),不同下垫面之间的气温具有差异性,荒漠的平均气温最高(22.12 °C),交错带次之(21.14 °C),绿洲最低(18.3 °C)。这是由 3 个下垫面的性质差异引起的,荒漠下垫面的砂砾地表对太阳的短波辐射具有很强的吸收能力,致使地表迅速升温并对外释放大量长波辐射,这导致荒漠区近地表的气温高;而绿洲与此相反,其较高的植被覆盖能吸收大量的太阳辐射能量进行光合作用以维系自身的生长发育,另一方面,绿洲下垫面较高的植被覆盖不利于太阳光线到达地表,也不利于地表的长波辐射,从而导致绿洲区近地表的气温较低;空间上介于荒漠与绿洲之间的交错带具有过渡性,其下垫面性质也介于两者之间,从而导致气温低于荒漠下垫面而高于绿洲下垫面。

虽然 3 个下垫面气温在数值上存在较大的差异,但是其平均气温的时序变化特征(逐日变化特征及日内变化特征)却表现出了明显的相似性(图 1,图 2),即变化趋势一致。3 个下垫面气温的逐日变化在观测期内出现相似的波动变化,均在 6 日达到各自的最高值,而在 10 日达到最低值;在日内变化方面,相似性更高。在观察时段内,6:00 3 者气温最低,而在 16:00 最高,说明不同下垫面的气温虽然受到其性质的影响,在数值上会表现出一定的差异性,但是其变化趋势却是一致的,这是由于 3 者处于

同一的外界大气候环境,这也说明小气候特征虽然在各自下垫面性质的影响下会发生一些变化,但是

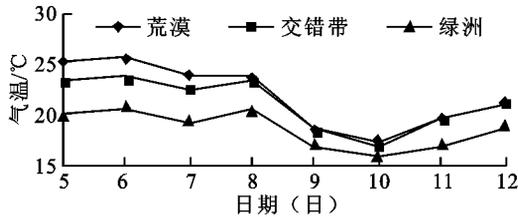


图 1 不同下垫面平均气温的逐日变化特征

注:本文逐日变化图中的各小气候要素平均值为一天中各层各时段的小气候要素值的均值;日内变化图中的各小气候要素平均值为观测期同时段各层小气候要素值的均值,下同。

3.1.2 气温的垂直变化 总体上,荒漠、交错带及绿洲 3 下垫面气温的垂直变化特征是:变化趋势相似,变化幅度各异(图 3)。在变化趋势上,荒漠、交错带及绿洲气温都随着高度的上升而降低,并且均在 0 - 50 cm 变化强烈,往上缓慢降低。其原因在于近地表的热量主要来源于地面的长波辐射,离地面越远,收到的长波辐射能量越低,气温也就越低。

在变化幅度方面,由地表到 200 cm 高度,3 者气温的降低值分别为 3.41 ,2.78 ,0.85 。荒漠由于地表光秃,其气温的降低只受到离地面高度的影响;而在绿洲区,植被众多,而且 9 月初各类庄稼尚未收割,不仅茂密的植被阻挡了太阳辐射,而且地表由于受到灌溉的影响,温度最低。50 cm 高度大致为棉花的生长高度。由于农田四周有较宽的防护林带,此时的绿洲区 50 cm 以上高度内可以近似看做一整体,所以气温在这一相对均质的空间内变化小。交错带植被稀疏低矮,气温在 200 cm 高度内的变化大多还是受离地面距离的影响,所以其变化趋势接近于荒漠,变幅较大。

### 3.2 大气相对湿度的变化

3.2.1 相对湿度的时序变化 绿洲、交错带、荒漠的各层日平均相对湿度差异显著,绿洲高达64.7%,而后两者仅为 49.8%、36.9%(图 4 - 5)。绿洲下垫

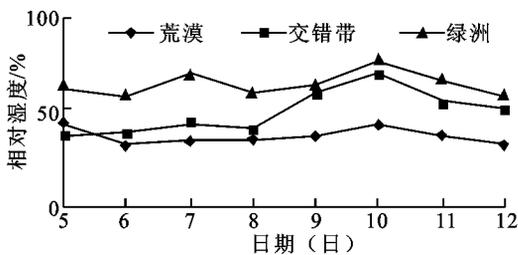


图 4 不同下垫面各层平均相对湿度的逐日变化

另外,3 下垫面相对湿度的变化与气温的变化呈反向相关的关系,这是因为温度增高时,虽然蒸发加强,使实有水汽压增大,但因饱和水汽压增大得更多,结果相对湿度反而减小,而当温度降低时该过程

其基本特征始终离不开大气候的影响,并与大气候保持着一致性。

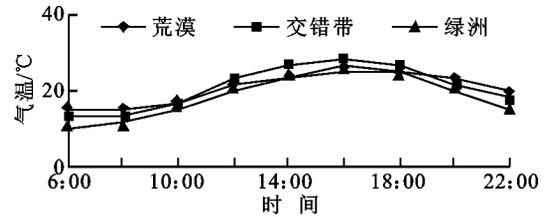


图 2 不同下垫面平均气温的日变化特征

面与其他 2 者最大的差别在于绿洲受到了人类活动的影响,因此,绿洲地表以及浅层土壤具有较多的水分,另一方面,绿洲具有较高的植被覆盖度,植被蒸腾作用旺盛,使得其相对湿度最高;交错带虽然植被稀疏,但是由于靠近绿洲,相对湿度也较高。而在荒漠区,其光秃的砂砾质地表涵水能力差,地表及浅层土壤水分匮乏,虽然有强烈的蒸发力,但是其相对湿度仍较低。

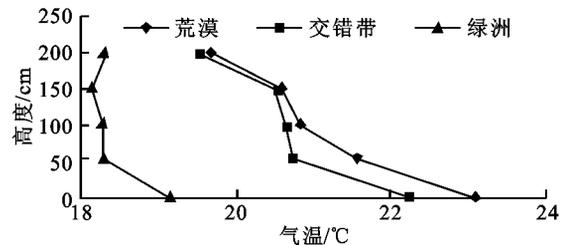


图 3 不同下垫面各层平均气温垂直变化图

3 下垫面相对湿度的逐日变化以及日内变化趋势基本一致,在 5 - 12 日内呈相同波动变化。而在日内变化方面,均在 6:00 - 16:00 逐渐降低,在 16:00 达最低值,而后逐渐升高,并在 22:00 左右达到 6:00 的水平(图 4)。在变化幅度方面,绿洲与交错带的变幅较大而且较接近,而荒漠却与前 2 者截然不同,一直都保持一个较低的水平,这与荒漠简单的下垫面性质、稀少的水分紧密相关。

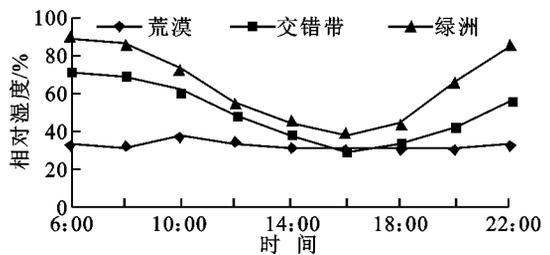


图 5 不同下垫面各层平均相对湿度的日变化

则相反,导致相对湿度增大。

3.2.2 相对湿度的垂直变化 绿洲、交错带及荒漠下垫面各高度的平均相对湿度中均以前者最高,中者次之,后者最低,而且随着高度的增加,绿洲、交错

带的相对湿度相差逐渐减小,两者与荒漠相差逐渐增大(图 6)。

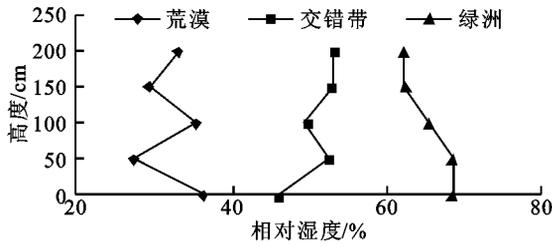


图 6 不同下垫面各层日平均相对湿度垂直变化

在变化规律上,绿洲在 0 - 50 cm 的相对湿度变化基本呈直线,这是因为所选观测地为棉花地,植株高度为 50 cm 左右,在稠密的棉花地里温度变化小,风速低,相对湿度变化小,向上由于受到风等因素的影响,相对湿度有所降低;交错带的相对湿度随高度出现较小幅度的增加,而荒漠的相对湿度随高度变化在 25 % ~ 35 % 出现震荡式变化,200 cm 高度与 0cm 高度的相对湿度值相差不大。

### 3.3 风速的变化特征

#### 3.3.1 风速的时序变化 荒漠、交错带风速相差小

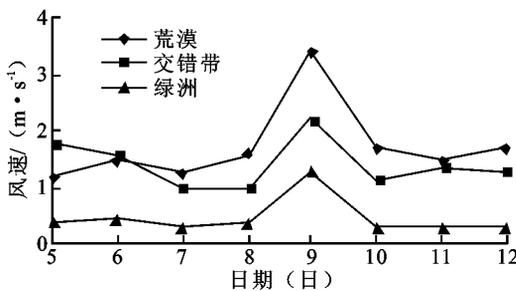


图 7 不同下垫面各层平均风速逐日变化

3.3.2 风速的垂直变化 荒漠、交错带及绿洲下垫面各高度上的日平均风速均是荒漠 > 交错带 > 绿洲,并且均随着高度的上升而逐渐增加(图 9),但增加程度不同。其中,交错带变化最大,荒漠次之,绿洲变化最小,这同样是由其下垫面性质的差异所引起的。

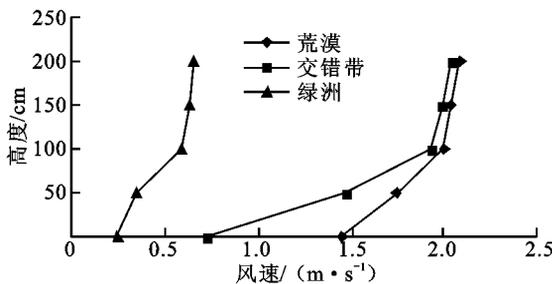


图 9 不同下垫面日平均风速的垂直变化

在 3 下垫面风速的垂直变化中有一显著特点,即在 0 - 100 cm 高度,风速增加强烈,尤其以交错带最为明显,其风速增加值为 1.20 m/s,荒漠增加值次之,为 0.55 m/s,绿洲增加值最小,为 0.33 m/s。其原因是交错带和荒漠植被低矮稀疏,地表空旷,空

且远大于绿洲下垫面风速,3 者的平均风速值分别为 1.83 m/s,1.55 m/s,0.46 m/s(图 7)。这与下垫面性质差异密切相关,荒漠地表光秃,对空气流动无阻碍作用;而交错带虽然有植被,但是其数量小,分布稀疏并且植株矮小,对风的阻挡作用微弱,所以荒漠与交错带下垫面的风速较大,两者差距小。绿洲由于其错综复杂的表面,较高的植被覆盖度,加上植株比较高大,十分不利于近地面空气的运动,所以该下垫面的风速远小于荒漠与交错带下垫面。

在风速的时序变化上,3 者变化趋势相似,但变化幅度相差大(图 7,8)。逐日变化中,风速在 9 日剧烈增加,是由于该日天气突变引起的;日变化与气温的日变化呈正向相关,随着气温的升高,风速增大,反之亦然。由于气温升高将导致大气气压梯度力的增加,从而导致风速的增大。另外,荒漠与交错带风速的逐日变化与日内变化具有变幅大,相似性高的特点,而绿洲由于其内部景观空间分布的复杂性导致风速小,且变幅小。

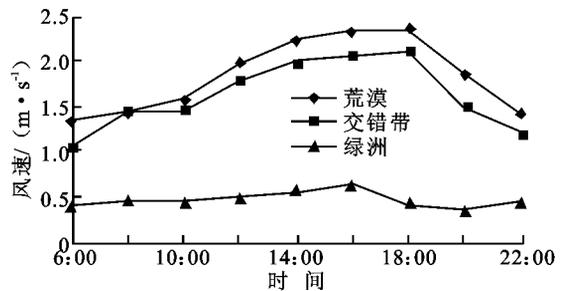


图 8 不同下垫面各层日平均风速的日内变化

气所受摩擦力小,风速变幅大;而在绿洲,其浓密的植被覆盖很大程度上增加了空气的摩擦力,使风速的变化幅度减小。在 100 - 200 cm 高度内,大气湍流及摩擦的作用明显小于 0 - 100 cm,3 者增值减小,荒漠、交错带及绿洲下垫面的风速分别增加了 0.09 m/s,0.11 m/s,0.08 m/s,远小于 0 - 100 cm 高度内的增加值。

### 3.4 各层地温的变化特征

3.4.1 地温的时序变化 观测期内,荒漠、交错带的各层日平均地温较接近且远高于绿洲的平均地温(图 10,11),其值分别为 23.63,23.83,19.80,这由 3 个下垫面的性质决定。荒漠、交错带由于地面裸露,地表直接接收太阳辐射,地面快速升温,并将一部分能量向下传递,导致地温较高;而绿洲地表则相反,导致平均地温低,向下传递的能量少,平均地温低于荒漠及交错带下垫面。

3 个下垫面地温在 5 - 12 日内发生与气温变化基本一致的小波动变化。一天中 3 个下垫面地温从

6:00 - 16:00 逐渐增加,并在 16:00 达到最高值,而后逐渐降低。此变化趋势与气温的时序变化趋势基本保持一致,说明地温与气温关系十分密切。

3.4.2 地温的垂直变化 从 3 下垫面地温的垂直分布来看,地表的温度最高,而后随着土壤深度的增

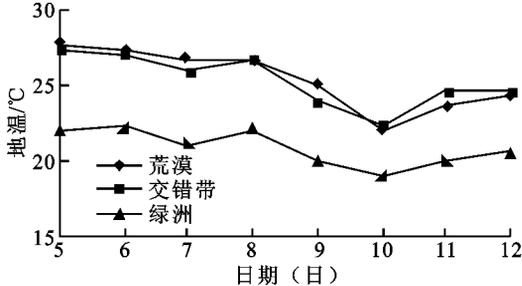


图 10 不同下垫面各层日平均地温的逐日变化

在各深度层,荒漠与交错带地温相差小(0.16),变化趋势一致,而且都远大于绿洲同深度层的温度(4.12),这与绿洲地表温度低,向下传递的热量少有直接关系。

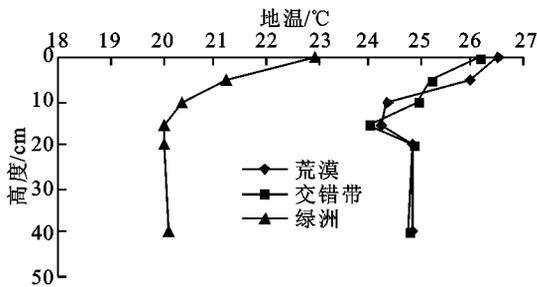


图 12 不同下垫面各层平均地温的垂直变化

### 3.5 蒸发的时序变化特征

对比 3 下垫面昼夜蒸发可知(图 13,14),白天

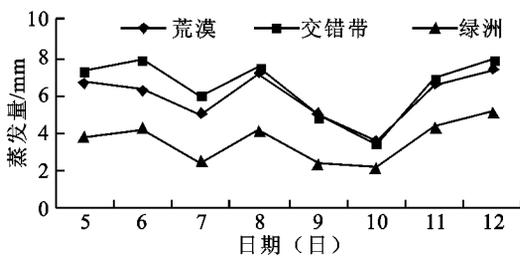


图 13 不同下垫面白天蒸发逐日变化

加而降低(图 12)。由于地温的热量主要来源于地表,深度越深,所接受到得能量越低,所以温度也越低,但荒漠与交错带在 15 - 20 cm 土层之间出现反向变化。当到达一定深度(20 cm)后,因受地表温度影响微弱,地温差距小而且具有一定的稳定性。

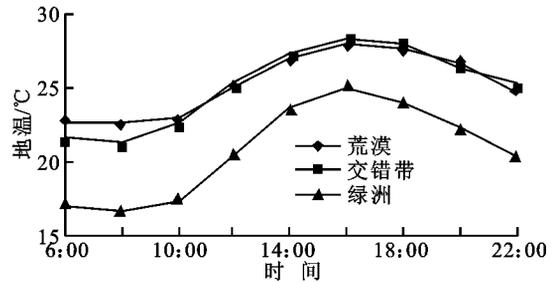


图 11 不同下垫面各层日平均地温日内变化

的蒸发远大于夜间,而且两时段中,荒漠、交错带的蒸发相差甚小(平均相差仅 0.51 mm),均远大于绿洲下垫面的蒸发。

温度、风以及接触面性质是影响蒸发的主要因素,荒漠地表光秃、开阔,白天气温高,风力大,利于蒸发;而交错带植被稀疏,植株矮小,其下垫面性质与荒漠相似,所以蒸发也强烈;而绿洲植被覆盖高,外表错综复杂,与前两者相比,其温度低,风力小,所以其蒸发远小于荒漠与交错带。

在夜间,由于气温下降,3 个下垫面的蒸发迅速都减弱,绿洲下垫面的蒸发几乎减为 0,而荒漠、交错带由于其地表开阔,风力较大,仍有着较大的蒸发力,3 个下垫面蒸发的平均下降率分别为 0.86, 0.37, 0.12。

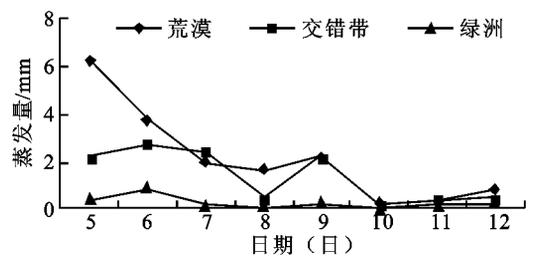


图 14 不同下垫面夜间蒸发逐日变化

而发生相应的改变。

表 1 不同下垫面小气候特征平均值

小气候因子	荒漠	交错带	绿洲	
气温/	22.12	21.14	18.3	
相对湿度/ %	36.90	49.80	64.70	
风速/ (m · s <sup>-1</sup> )	1.83	1.55	0.46	
地温/	23.63	23.83	19.80	
蒸发/ mm	白天	5.98	6.49	3.58
	夜间	2.18	1.41	0.29

在 3 下垫面各气候因子的特征值及变化趋势

## 4 结论与讨论

荒漠、交错带、绿洲由于其下垫面性质的差异,各小气候特征值存在着显著差异(表 1)。

总体讲,3 下垫面各小气候因子无论是其时序变化特征还是其垂直变化特征都保持着一致性,其原因是小气候要受外界大气候环境的影响。荒漠、交错带、绿洲的各小气候因子虽然由于其下垫面性质差异会引起数值上的差异,但是其本质特征还是由外界大气候环境决定,并随着大气候因子的改变

中,荒漠与交错带都比较相似,两者平均气温仅相差 0.98,地温前者仅高出后者 0.2 (表 1)。这与两者下垫面性质相似有着直接的关系,荒漠地表光秃,而交错带的植被稀疏且矮小,性质接近于荒漠,因此,两者的小气候因子特征相似。

绿洲平均气温比荒漠低 3.78,相对湿度分别是荒漠和交错带的 1.75 倍和 1.30 倍。风速仅为荒漠的 1/4。可见绿洲内茂密的植被、湿润的土壤及四周宽阔的防护林在极端干旱区内具有很好的降温、保湿、屏风等效应。

荒漠、交错带及绿洲下垫面各小气候因子之间存在着相互联系,如气温与风速、地温、蒸发力呈正相关,而与相对湿度呈反相关,风速与蒸发力呈正相关等,这些小气候因子之间的具体关系有待于继续讨论。

#### 参考文献:

- [1] 王健,桑长青,何清. 塔克拉玛干沙漠公路中段两侧不同下垫面的小气候分析[J]. 中国沙漠,2003,23(5): 577-580.
- [2] 刘燕华,李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京:商务印书馆,2001:256-261.
- [3] 卜永芳,韩明娟. 气象学与气候学基础[M]. 北京:高等教育出版社,1987:168-176.
- [4] 金志凤,沈朝栋,黄寿波. 我国农业小气候学研究特点及发展趋势[J]. 浙江大学学报,2003,29(3):471-478.
- [5] 冯起,司建华,张艳武,等. 极端干旱地区绿洲小气候特征及其生态意义[J]. 地理学报,2006,61(1):99-108.
- [6] 张强,周毅. 敦煌绿洲夏季典型晴天地表辐射和能量平衡及小气候特征[J]. 植物生态学报,2002,26(6):717-723.
- [7] 谭灵芝,刘玲,张玉进. 新疆于田绿洲荒漠交错带土地利用及覆盖遥感研究[J]. 资源调查与评价,2004,17(5):17-24.
- [8] 丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,努尔巴衣·阿布都沙勒克. 荒漠交错带开发利用研究:以新疆于田绿洲为例[J]. 中国人口·资源与环境,2002,12(6):78-85.
- [9] 张强,王胜. 绿洲与荒漠背景夏季近地层大气特征的对比分析[J]. 冰川冻土,2005,27(2):282-289.
- [10] 左洪超,胡隐樵. 黑河地区绿洲和戈壁小气候特征的季节变化及其对比分析[J]. 高原气象,1994,13(3):246-254.
- [11] 张凯,王润元,张强,等. 绿洲荒漠过渡带夏季晴天地表辐射和能量平衡及小气候特征[J]. 中国沙漠,2007,27(6):1055-1061.
- [12] 张艳武,冯起,吕世华,等. 额济纳绿洲夏末典型晴天小气候特征分析[J]. 高原气象,2005,24(4):516-521.
- [13] 司建华,冯起,张小由,等. 荒漠河岸林胡杨和柽柳群落小气候特征研究[J]. 中国沙漠,2005,25(5):668-674.
- [14] 王根绪. 干旱荒漠绿洲景观空间格局及其受水资源条件的影响分析[J]. 生态学报,2000,20(3):363-368.
- [15] 王君厚,周士威,陆兆明,等. 乌兰布和荒漠人工绿洲小气候效应研究[J]. 干旱区研究,1998,15(1):27-34.
- [16] 肖彩虹,郝玉光,郭承德. 乌兰布和沙区人工绿洲小气候的变化[J]. 中国农业气象,2003,24(2):31-34.

(上接第 116 页)

- [17] Toba T, Ohta T. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests[J]. J. Hydro1.,2005,313:208-220.
- [18] Llorens P, Poch R, Latron J, et al. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale [J]. J. Hydro1.,1997,199:331-345.
- [19] Lin T C, Hamhurg S P, King H B, et al. Throughfall patterns in a subtropical rain forest of northeastern Taiwan [J]. J. Environ. Qual.,2000,29:1186-1193.
- [20] 巩合德,王开运,杨万勤,等. 川西亚高山白桦林穿透雨和茎流特征观测研究[J]. 生态学杂志,2004,23(4):17-20.
- [21] 常志勇,包维楷,何丙辉,等. 岷江上游油松与华山松人工混交林对降雨的截留分配效应[J]. 水土保持学报,2006,20(6):37-40.
- [22] 鲍文,包维楷,何丙辉,等. 岷江上游油松人工林对降雨的截留分配效应[J]. 北京林业大学学报,2004,26(5):10-16.
- [23] 巩合德,王开运,杨万勤,等. 川西亚高山原始云杉林内降雨分配研究[J]. 林业科学,2005,41(1):198-201.