

# 新疆维吾尔自治区策勒县绿洲—沙漠过渡带小气候特征

庞营军<sup>1,2,3</sup>, 雷加强<sup>1,3</sup>, 曾凡江<sup>1,3</sup>, 李生宇<sup>1</sup>, 毛东雷<sup>1,2</sup>, 何志辉<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 新疆 策勒 848300)

**摘要:** 利用 HOBO 小气候观测仪, 在 2010 年 7 月 23 日至 8 月 24 日对新疆策勒绿洲—沙漠过渡带的柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 3 个典型天然植物群落的风速、气温、空气相对湿度、光合有效辐射进行了同步观测, 分析了它们的小气候特征的差异, 初步探讨了产生这些差异的原因。结果表明, 策勒绿洲—沙漠过渡带的植被具有独特的小气候作用, 植被覆盖度越大, 风速越小, 气温越低, 相对湿度越高。相比植被覆盖度仅 3% 的柽柳群落, 柽柳—骆驼刺—花花柴群落(覆盖度 27%)和骆驼刺群落(覆盖度 67%) 在观测期内 0.5, 1, 2, 4, 8 和 10 m 处风速平均减小了 32%, 47%, 近地表 0.5 m 风速减少的最多, 分别为 57%, 87%; 2 m 处气温的平均值分别减少了 0.32, 1.02 °C; 2 m 处空气相对湿度的平均值分别增加 2.33%, 7.67%; 策勒绿洲—沙漠过渡带柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落和骆驼刺群落的光合有效辐射差异不明显; 阴天和沙尘暴天气光合有效辐射比晴天分别减少 40%, 60%。

**关键词:** 风速; 空气温度; 空气相对湿度; 小气候; 绿洲—沙漠过渡带

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0240-06

中图分类号: P463.2

## Microclimatic Characteristics of Oasis—Desert Transitional Zone in Qira County of Xinjiang Wei Autonomous Region

PANG Ying-jun<sup>1,2,3</sup>, LEI Jia-qiang<sup>1,3</sup>, ZENG Fan-jiang<sup>1,3</sup>,

LI Sheng-yu<sup>1</sup>, MAO Dong-lei<sup>1,2</sup>, HE Zhi-hui<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Qira State Station for Field Observation and Research on Desert Steppe Ecosystem, Qira, Xinjiang 848300, China)

**Abstract:** Wind velocity, air temperature, air relative humidity, photosynthetically active radiation were synchronously monitored using HOBO Portable-Meteorological Stations in the three nature communities including *Tamarix* ssp community, *Tamarix* ssp—*Alhagi sparsifolia*—*Karelinia caspica* community, *Alhagi sparsifolia* community in the oasis—desert transitional zone of Qira County between July 23 and August 24, 2010. The difference of microclimate among the three plant communities was analyzed. The results show that the vegetation in the transitional zone has particular partial climate effect. With increase of vegetation coverage, wind speed and air temperature decreased, and relative humidity increased. The vegetation covers in communities of *Tamarix* ssp, *Tamarix* ssp—*Alhagi sparsifolia*—*Karelinia caspica*, and *Alhagi sparsifolia* were 3%, 27%, and 67%, respectively. During the observation period, the average wind speed at 0.5, 1, 2, 4, 8, and 10 m high in *Tamarix* ssp—*Alhagi sparsifolia*—*Karelinia caspica* community and *Alhagi sparsifolia* community were 32% and 47% lower than that in *Tamarix* ssp community; specifically, the average wind speed at 0.5 m high was 57% and 47% lower, respectively. In communities of *Tamarix* ssp—*Alhagi sparsifolia*—*Karelinia caspica* and *Alhagi sparsifolia*, the average air temperature(2 m high) were 0.32 °C and 1.02 °C lower, and the average air relative humidity (2 m high) were 2.33% and 7.67% higher than those of the *Tamarix* ssp community,

收稿日期: 2010-12-06

修回日期: 2011-06-15

资助项目: 新疆维吾尔自治区科技重大专项“荒漠—绿洲过渡带经济型生态屏障建设技术集成示范”(200733144-2); 国家科技支撑计划项目“塔里木盆地西南缘绿洲外围经济型生态屏障建设技术集成示范”(2009BAC54B01); 中国科学院知识创新工程青年方向项目“塔克拉玛干沙漠腹地简单横向沙丘发育机制研究”(KZCX2-YW-QN316)

作者简介: 庞营军(1984—), 男(汉族), 河北省邯郸市人, 在读硕士, 主要从事干旱区小气候方面的研究。E-mail: pangyingjun0866@163.com。

通信作者: 雷加强(1961—), 男(汉族), 陕西省高陵县人, 研究员, 博士生导师, 现在主要从事干旱区自然地理、荒漠环境及荒漠化防治等方面研究。E-mail: desert@ms.xjb.ac.cn。

respectively. However, the photosynthetically active radiation had no significant difference between the three communities, although it was 40% and 60% lower on cloudy days and dust storms than that on clear days, respectively.

**Keywords:** wind speed; air temperature; air relative humidity; microclimate; oasis—desert transitional zone

小气候是指因局地下垫面条件影响而形成的与大气不同的贴地层和土壤上层气候<sup>[1]</sup>。小气候是影响生物生长发育最重要的环境因子,不同植物群落形成不同的小气候环境<sup>[2]</sup>。国内外学者对森林<sup>[3-4]</sup>、农田<sup>[5-6]</sup>、湖泊<sup>[7]</sup>、湿地<sup>[8]</sup>以及干旱区的沙漠<sup>[9]</sup>、戈壁<sup>[10]</sup>、绿洲<sup>[11]</sup>等的小气候进行了大量研究,在地—气动力、热量、水汽交换方面取得了许多研究成果,为研究大气环流和气候数值模拟奠定了基础。

绿洲荒漠过渡带(简称过渡带)广泛存在于干旱区绿洲外围,是绿洲的重要生态屏障。针对绿洲荒漠过渡带的景观格局<sup>[12]</sup>、土壤特征<sup>[13]</sup>、地下水特征<sup>[14]</sup>、植物生理<sup>[15]</sup>等已开展过较多研究。以往研究者对绿洲荒漠过渡带小气候研究的思路多是同绿洲、沙漠、戈壁等下垫面进行对比,但过渡带内部植被分布较复杂、异质性强,目前对过渡带内不同植物群落的小气候对比研究较少。

本文分析了策勒绿洲—沙漠过渡带柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 3 种典型植物群落的小气候特征,初步研究了植物和大气相互作用,量化了过渡带植被的小气候效应,对于过渡带植被保护和恢复重建具有一定科学意义。

## 1 研究区概况

研究区域位于塔克拉玛干沙漠南缘、中昆仑山北麓的策勒县,地理坐标为 35°18′—39°30′N, 80°03′—82°10′E,东西分别与于田、洛浦 2 县相邻,西南与和田县接壤,南与西藏自治区接壤,北部延伸至塔克拉玛干沙漠中部,地势由南向北倾斜。策勒县为典型的

内陆暖温带荒漠气候,夏季炎热,干旱少雨,光热充足,日照时间长,昼夜温差大。平原区多年平均降水量为 35.1 mm,年潜在蒸发量接近 2 600 mm;极端最高气温为 41.9 °C,极端最低气温为 -23.9 °C;境内年径流量为  $5.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,但流量季节分配不均,主要集中在夏季,占全年的 76.8%;风向以西风为主,年平均风速为 2 m/s,风沙灾害频繁,每年 8 级以上大风 3~9 次。策勒绿洲西、北和东部为大面积的绿洲—沙漠过渡带,绿洲—沙漠过渡带是保护绿洲免受风沙危害的重要生态屏障。策勒绿洲—沙漠过渡带植被主要为骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、花花柴(*Karelinia caspia*)、拐轴鸦葱(*Scorzonera divaricata*)、柽柳(*Tamarix* ssp)、胡杨(*Populus euphratica*)、芦苇(*Phragmites australis*)等植物形成的群落。近 50 a 来,随着人工绿洲的面积增大,策勒绿洲—沙漠过渡带面积明显减少,生境破碎化程度增加,对绿洲防护作用下降<sup>[16]</sup>,迫切需要对绿洲—沙漠过渡带进行保护和恢复重建,而阐明各种植物群落适应性和生态作用是科学开展这一工作的前提,本文拟开展各植物群落的小气候特征研究。

## 2 研究方法

柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落是策勒绿洲—沙漠过渡带的主要天然植物群落。2010 年选择了植物生长旺盛的时间段 7 月 23 日至 8 月 24 日,对策勒绿洲—沙漠过渡带的这 3 种典型植物群落进行了短期的小气候梯度观测,3 个群落的具体情况如表 1 所示。

表 1 策勒绿洲—沙漠过渡带小气候观测点概况

群落类型	地理坐标	植被状况	地貌特征
柽柳群落	37°02′37″N, 80°40′53″E	柽柳, 盐生草, 覆盖度 3%	风蚀地, 地势平坦, 分布有柽柳沙包
柽柳—骆驼刺—花花柴群落	37°01′47″N, 80°42′32″E	柽柳, 骆驼刺, 花花柴, 覆盖度 27%	丘间, 地势平坦, 有柽柳沙包分布
骆驼刺群落	37°01′20″N, 80°43′25″E	骆驼刺, 盐生草, 猪毛菜, 覆盖度 67%	固定沙地, 地势平坦

本研究使用 HOBO 小气候观测仪(美国 ONSET 公司),3 个群落分别建立了 10 m 高的气象观测架,主要观测项目有风速风向、空气温湿度、光合有效辐射。风速探头布设在 0.5, 1, 2, 4, 8, 10 m 处,在 10 m 处加风向标。空气温湿度探头分两层布设,0.5 和 2 m 处各布设 1 层。光合有效辐射探头在 1.5 m 处。所有观测项目均为全天候观测,自动采集器(HOBO-

U30)对以上数据每 1 min 记录 1 次。

## 3 结果与分析

### 3.1 风速的变化特征

3.1.1 风速的时序变化 如图 1 所示,观测期间,柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落风速随时间的变化趋势都一致,但风速值不同,风速和

植被覆盖度呈负相关,植被覆盖度最大的骆驼刺群落风速最小,覆盖度最小的柽柳群落风速最大,柽柳—

骆驼刺—花花柴群落风速居中。这表明地表植被状况是导致风速差异的主要原因。

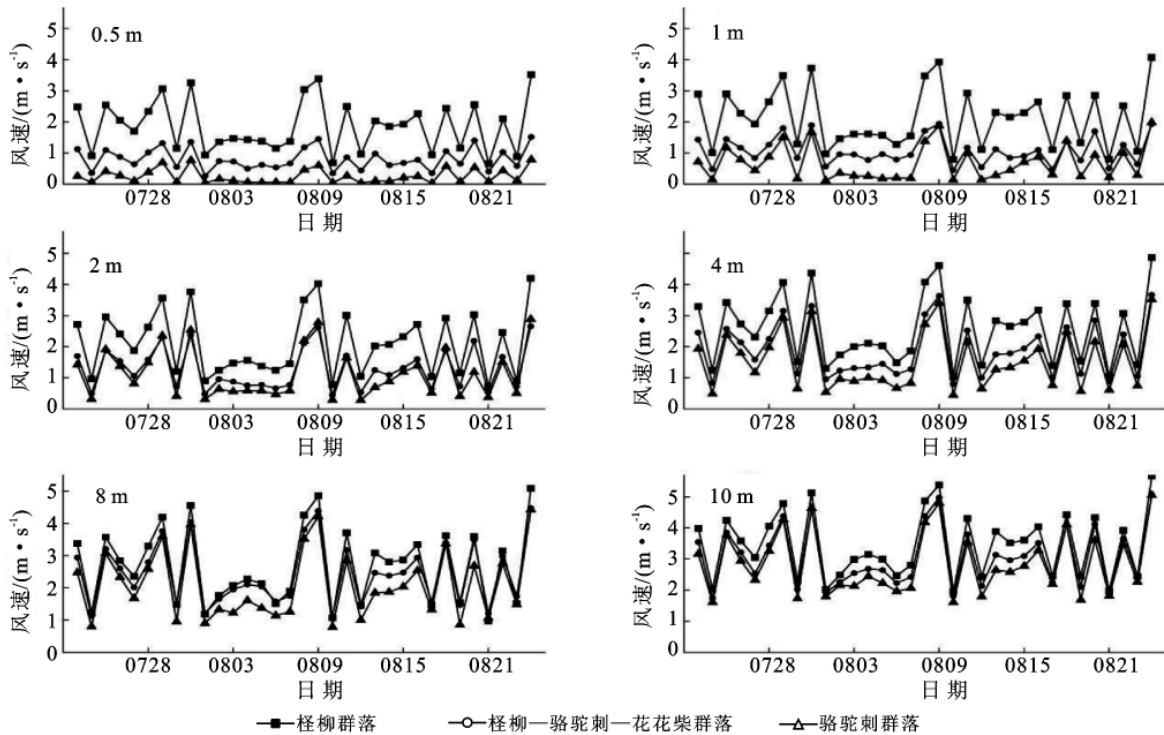


图 1 策勒绿洲—沙漠过渡带不同高度处日平均风速逐日变化

3.1.2 风速的垂直变化 从表 2 可以发现,3 个植物群落的风速明显随高度增加而增大,随着高度的增加,3 个植物群落风速差异程度减小。

这主要是因为越接近地表,植被对风的阻挡作用越强,风速降低程度越大,植被覆盖度引起的风速差

异在近地表表现更为明显。

在同一观测高度,3 个植物群落的风速比较发现,植被覆盖度增加,风速减小,但植被覆盖度和风速并不是线性关系,风速随植被覆盖度的递减率随覆盖度增加而减小(图 2)。

表 2 策勒绿洲—沙漠过渡带观测期内平均风速随高度变化情况

m/s

观测高度	0.5 m	1 m	2 m	4 m	8 m	10 m
柽柳群落(覆盖度 3%)	1.86 (100%)	2.13 (100%)	2.1 (100%)	2.57 (100%)	2.67 (100%)	3.45 (100%)
柽柳—骆驼刺—花花柴群落(覆盖度 27%)	0.81(43.4%)	1.08(50.5%)	1.29(61.6%)	1.89(73.7%)	2.45(91.6%)	3.08(89.2%)
骆驼刺群落(覆盖度 67%)	0.25(13.4%)	0.67(31.6%)	1.12(53.6%)	1.53(59.7%)	2.09(78.2%)	2.85(82.6%)

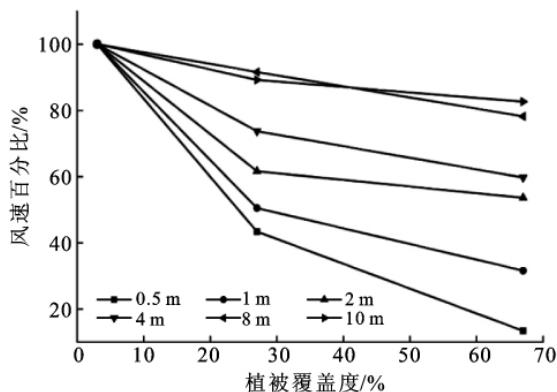


图 2 策勒绿洲—沙漠过渡带风速百分比和植被覆盖度关系

3.1.3 风速和气温关系 图 3 为观测期内 2 m 高气温和 2 m 高风速平均值的日变化图,可以看出柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 3 个群落风速和气温日变化趋势相似,都是单峰曲线,白天气温高,风速大,夜晚气温低,风速小;但风速日最大值出现在 14:30 左右,气温日最大值出现在 17:00 左右,气温和风速变化并未完全同步,气温峰值出现比风速峰值滞后约 2.5 h。这是因为在摩擦层中,通常上层风速大于下一层,白天地面受热,空气逐渐变得不稳定,湍流得以发展,上下层空气动量交换增强,使上层风速大的空气进入下一层,午后湍流旺盛,下层

风速增大至最大值<sup>[17]</sup>。根据俎瑞平等<sup>[18]</sup>对塔克拉玛干沙漠风况的研究,发现无论是风速的月际变化还是日变化,沙漠内部都呈现出“风热同步”,而沙漠边缘月平均温度变化则滞后于月平均风速,本文一定程度上验证了这一结果。

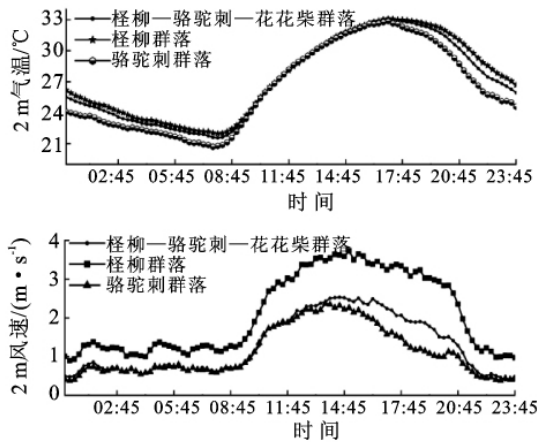


图 3 策勒绿洲—沙漠过渡带平均风速和平均气温的日变化

### 3.2 气温变化特征

图 4 可见,3 个群落气温逐日变化趋势相似,但在气温的量值上存在差异。在整个观测期内,柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 2 m 处气温平均值分别为 27.48,27.16,26.46 °C,柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落的气温分别比柽柳群落降低 0.32,1.02 °C。随着植被覆盖度的增加,气温降低。

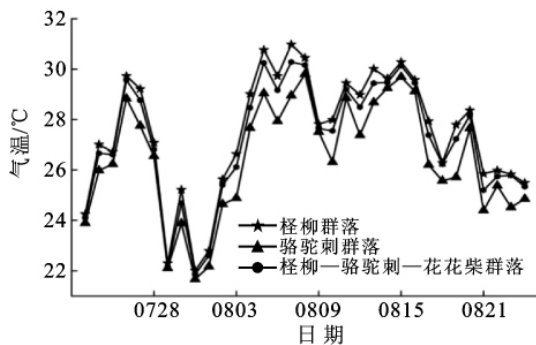


图 4 策勒绿洲—沙漠过渡带 2 m 处日平均气温逐日变化

图 5 可见,在典型晴天 8 月 6—7 日,3 个群落的气温日变化趋势一致,清晨日出前后,气温降至一天中最低值,午后达到日最高值,然后开始降温。以 8 月 6 日为例,柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 2 m 气温分别在 7:30,6:45,6:45 降到最低值 19.91,19.27,17.68 °C;分别在午后 18:15,18:15,17:45 达到日最高值 38.46,38.00,36.86 °C,日较差分别为 18.55,18.73,19.17 °C,随着植被覆盖度增加,气温日最高值和日最低值降低,但日较差变大。日出前后到午后最大值时段内,3 个

群落气温都在快速上升,差异较小,但是午后日最高值后,三者之间差异增大,至次日清晨,基本呈现出柽柳群落>柽柳—骆驼刺—花花柴群落>骆驼刺群落。

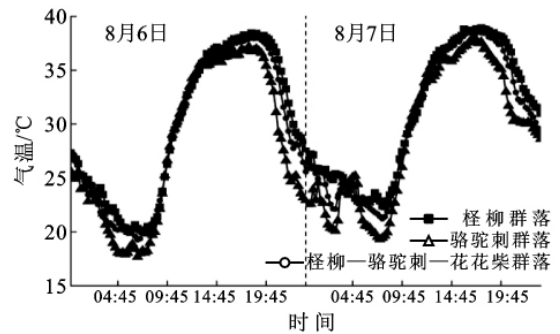


图 5 策勒绿洲—沙漠过渡带 2 m 处气温日变化

图 6 为典型晴天(8 月 6 日)0.5 m 气温与 2 m 气温之差。白天,0.5 m 气温与 2 m 气温之差在当地正午最大,此时柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落的温差约为 2.5,2.7,3.8 °C,骆驼刺群落的温差最大。3 个群落的气温在晚上 21:00 左右开始出现逆温,一直持续到次日的 9:00 左右。逆温现象的发生是因为夜间受下垫面辐射冷却影响,近地表各层越接近地表降温幅度越大,最终导致逆温的出现。逆温阻碍空气垂直运动,对地气之间的水汽、热量交换有重要影响。

### 3.3 空气相对湿度变化特征

柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 3 个群落的 2 m 日平均空气相对湿度的逐日变化基本一致。由于降雨的缘故,7 月 29 日—8 月 1 日的相对湿度较高,在 70%左右(图 7);观测期内平均相对湿度分别为 37.95%,40.28%,45.62%,随着植被覆盖度的增加,相对湿度值增大。

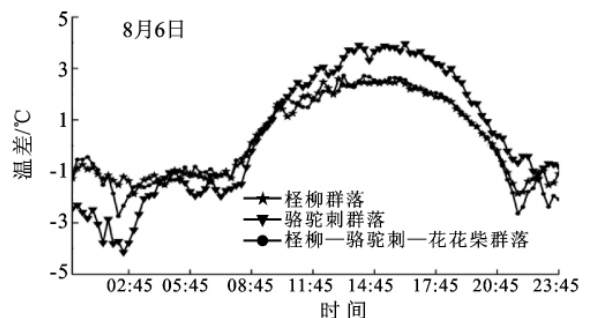


图 6 策勒绿洲—沙漠过渡带 0.5 m 和 2 m 处气温差日变化

图 8 中可以看出,在典型晴天,以 8 月 6 日为例,清晨日出前后,柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落、骆驼刺群落 3 个群落 2 m 相对湿度先后达到一日中最高值 67.41%,68.84%,78.87%,午后达到日最

低值 10.01%, 12.29%, 21.09%, 相对湿度日较差分别为 57.4%, 56.55%, 57.78%。相对湿度的日变化趋势和气温相反。3 个群落的相对湿度在上午差异不

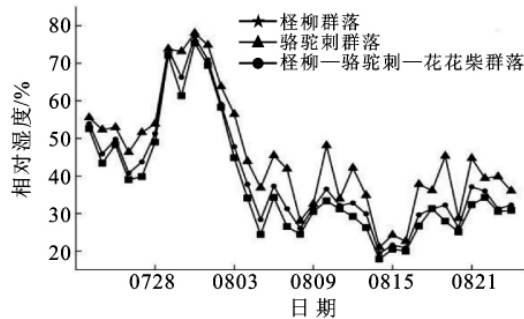


图 7 策勒绿洲—沙漠过渡带 2 m 处日平均空气相对湿度变化

### 3.4 光合有效辐射变化特征

光合有效辐射是太阳辐射能中可以被绿色植物用来进行光合作用的能量, 波长在 400~700 nm 之间, 是植物进行光合作用的重要环境因子之一, 也是植物生长所需的基本能源。柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落和骆驼刺群落的光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR) 差异不明显 (图 9), 且光合有效辐射的日平均值在观测期内波动很大, 与天气条件的变化有密切关系。图 10 为晴天、

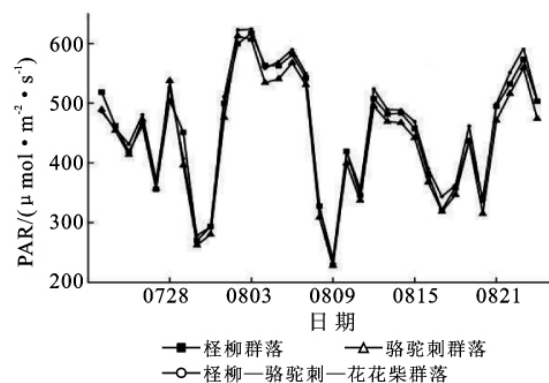


图 9 策勒绿洲—沙漠过渡带日平均光合有效辐射变化

## 4 结论

(1) 策勒绿洲—沙漠过渡带的植被防风效益显著, 在观测期内, 相比植被盖度 3% 的柽柳群落, 柽柳—骆驼刺—花花柴群落 (覆盖度 27%) 和骆驼刺群落 (覆盖度 67%) 6 个高度 0.5, 1, 2, 4, 8, 10 m 风速平均减小了 32%, 47%; 近地表 0.5 m 风速减少最多, 分别为 57%, 87%。植被的密度、高度、覆盖度等特征, 都能影响植被与气流相互作用程度。本研究中 3 个植物群落风速差异产生的主导因素, 显然是植被覆盖度。一般来说, 随着植被覆盖度的增加, 空气动力

明显, 但午后日最低值后至次日清晨差异较明显, 基本表现为骆驼刺群落 > 柽柳—骆驼刺—花花柴群落 > 柽柳群落。

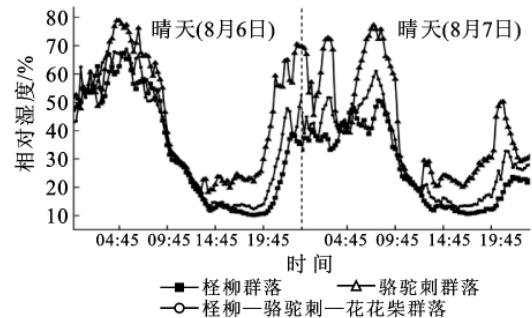


图 8 策勒绿洲—沙漠过渡带 2 m 处空气相对湿度日变化

阴天和沙尘暴天气的光合有效辐射的日变化情况。晴天, 光合有效辐射呈标准的单峰曲线, 当地正午达到最大值, 约为  $1800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 晚上为 0。阴天和沙尘暴天气的光合有效辐射比晴天分别减少 40%, 60%, 且日变化不稳定。姚济敏等<sup>[19]</sup>在额济纳旗查干毛道饲料基地的光合有效辐射研究中发现, 沙尘暴、阴天、晴天光合有效辐射的日总量分别为 4.09, 12.4, 21.4  $\text{MJ}/\text{m}^2$ , 晴天最大, 阴天次之, 沙尘暴天气下最小。该研究结果与上述结果基本一致。

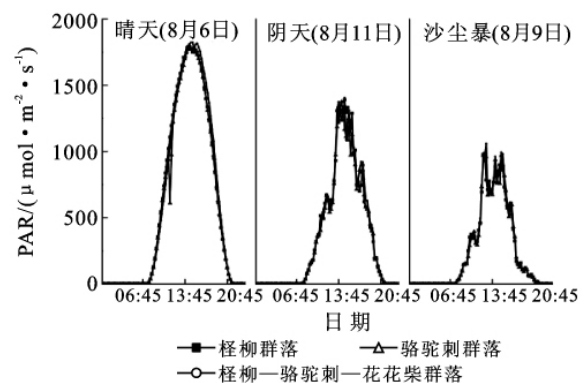


图 10 策勒绿洲—沙漠过渡带光合有效辐射日变化

学粗糙度增大, 风速降低程度越大。针对植被防风作用的研究很多, 但多侧重于近地表几米以内, 为了更好地阐明植被的防风机理, 更好地评价植被的防风效应, 以后的研究可以结合植被高度, 确定合适的风速观测层数和高度; 增加空气湍流特征的观测等。鉴于绿洲—沙漠过渡带植被重要的防风防沙作用, 以及干旱区严峻的生态用水形势, 研究植被覆盖度和风速降低率、土壤风蚀率的关系, 确定合适的过渡带植被恢复和重建的覆盖度指标十分重要。

(2) 策勒绿洲—沙漠过渡带植被具有降温增湿作用, 相比植被盖度 3% 的柽柳群落, 柽柳—骆驼

刺—花花柴群落和骆驼刺群落 2 m 平均气温分别减少了 0.32, 1.02 °C; 2 m 平均相对湿度分别增加 2.33%, 7.67%。大气的热量主要来源于地表, 地表通过辐射、湍流及对流运动和潜热输送等方式将热量传给边界层大气<sup>[17]</sup>。地表的植被遮挡了太阳辐射, 使地表的温度降低, 导致地表补充给大气的热量减少, 气温相应降低; 同时植被覆盖度增加导致的蒸腾作用加强, 消耗大量热量, 也会使气温降低。植被降低气温, 降低了空气中的饱和水汽压; 同时植物的蒸腾作用增加了空气中的水汽, 因此空气相对湿度会随着植被覆盖度的增加而增大。

(3) 由于策勒绿洲—沙漠过渡带柽柳群落、柽柳—骆驼刺—花花柴群落和骆驼刺群落距离近, 植被高度较小, 光合有效辐射基本没有受到植被的遮挡, 所以 3 个群落的光合有效辐射差异不明显。阴天 8 月 11 日和沙尘暴 8 月 9 日天气光合有效辐射比晴天 8 月 6 日分别减少 40%, 60%, 这主要是因为阴天日的云量和大气中的水汽含量较晴天多, 吸收和反射的太阳辐射多; 沙尘暴天气下, 空气中颗粒物大量增加, 使其对太阳辐射的吸收和散射作用明显增强, 严重削弱了光合有效辐射的量值; 比较来看沙尘暴对太阳辐射的削弱作用远远大于阴天日云和水汽的作用<sup>[20]</sup>。以策勒、和田为中心的塔南地区是塔里木盆地沙尘暴的高发区之一, 沙尘暴天气对光合有效辐射的大幅削弱必然对当地植物的光合作用等生理活动产生重要影响, 对此需要进一步研究, 以更加全面地评价沙尘暴天气的影响。

致谢: 本项研究的野外工作得到策勒站工作人员热杰夫, 米亚子等的协助。论文初稿曾经靳正忠和桂东伟两位老师审阅, 并提出了宝贵修改意见。特此致谢。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 翁笃明, 陈万隆, 沈觉成, 等. 小气候和农田小气候[M]. 北京: 农业出版社, 1981: 1-5.
- [2] 张一平, 刘玉洪, 马友鑫, 等. 热带森林不同生长时期的小气候特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(1): 83-87.
- [3] Rambo T R, North M P. Canopy microclimate response to pattern and density of thinning in a Sierra Nevada forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(2): 435-442.
- [4] 张远彬, 王开运, 鲜骏仁, 等. 川西亚高山白桦林小气候的时空动态特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(3): 297-303.
- [5] Lin B B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 144(1/2): 85-94.
- [6] 陆佩玲, 于强, 罗毅. 华北地区冬小麦田辐射过程与热量过程的基本特征[J]. *生态农业研究*, 2000, 8(1): 10-13.
- [7] 于强, 陆佩玲. 巢湖对冬季陆面辐射和热量过程的影响[J]. *湖泊科学*, 1996, 8(1): 8-15.
- [8] 宝日娜, 杨泽龙, 刘启, 等. 达里诺尔湿地的小气候特征[J]. *中国农业气象*, 2006, 27(3): 171-174.
- [9] 魏文寿, 王敏仲, 何清, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地近地边界层温湿廓线与热量平衡分析[J]. *科学通报*, 2008, 53(SII): 18-24.
- [10] 刘宏谊, 杨兴国, 张强, 等. 敦煌戈壁冬夏季地表辐射与能量平衡特征对比研究[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(3): 558-565.
- [11] 苏从先, 胡隐樵, 张永丰, 等. 河西地区绿洲的小气候特征和“冷岛效应”[J]. *大气科学*, 1987, 11(4): 390-396.
- [12] 张峰. 策勒绿洲及其荒漠过渡带景观格局与水资源变化关系之研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2003.
- [13] 陈小红, 段争虎, 何洪泽. 荒漠—绿洲边缘区生态过渡带的土壤颗粒分形特征[J]. *土壤*, 2009, 41(1): 97-101.
- [14] 代述勇, 雷加强, 赵景峰, 等. 策勒西部荒漠—绿洲过渡带地下水特征及生态影响分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(8): 99-103.
- [15] 赵长明, 魏小平, 尉秋实, 等. 民勤绿洲荒漠过渡带植物白刺和梭梭光合特性[J]. *生态学报*, 2005, 25(8): 1908-1913.
- [16] 王兮之, 葛剑平. 40 多年来塔南策勒绿洲动态变化研究[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 369-375.
- [17] 周淑贞, 张如一, 张超. 气象学与气候学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 103-104.
- [18] 俎瑞平, 张克存, 屈建军. 塔克拉玛干沙漠风沙活动强度特征[J]. *地理研究*, 2005, 24(5): 699-707.
- [19] 姚济敏, 高晓清, 冯起, 等. 额济纳绿洲沙尘暴天气下光合有效辐射的基本特征[J]. *太阳能学报*, 2006, 27(5): 484-488.
- [20] 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.