

河西地区绿洲的小气候特征 和“冷岛效应”

苏从先 胡隐樵 张永丰 卫国安*

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

提 要

通过河西地区近地层气象梯度观测研究,分析了河西绿洲的小气候特征,发现存在一种“绿洲冷岛效应”,并分析了这种效应的物理机制和实际意义。

一、引 言

研究干旱地区的森林、草原和农田等下垫面的小气候效应对于干旱气候和西北干旱地区的农业开发都有重要意义。我们于1984年6月18日至7月22日在张掖市西面的农业科学研究所的农田和张掖城南的南大滩戈壁上进行了温度、湿度和风速梯度对比观测¹⁾。

农科所观测点设在小麦试验田中,周围300—400m范围内是比较开阔的农田,再远有间断林洲和居民点,数公里以远是大范围的石戈壁,观测点基本上代表了张掖地区树木夹杂作物区的绿洲环境。对比的荒滩观测点位于张掖城东南12km,与农科所相距约20km,该观测点北面数公里以远始有树木和村落。地面系沙性土壤,土壤中含石量较大,属于河西典型的戈壁之一,即土壤性戈壁。荒滩观测点基本上代表了戈壁的环境。

农田观测点设置16m高气象塔,分别在1,2,4,8和16m层设有平均风、温、湿观测,在农作物层内0.2,0.4,0.8m层设置温、湿观测。麦地的土壤层中0,5,10,20,30cm设置地温观测。荒滩点也设16m气象塔,共五层温、湿、风观测。此外还有总辐射、反辐射、长波辐射和辐射平衡以及地湿和地热流板观测。

本文对比分析了戈壁和绿洲的局地气候特征,发现河西干旱地区的绿洲形成一种“冷岛效应”。1985年夏在甘肃民勤县的红崖山水库和周围沙漠的对比观测发现,沙漠中的湖泊也有这种冷岛效应²⁾,不过它有一些特征,我们分别称之为“绿洲冷岛效应”和

1986年4月30日收到修改稿。

* 参加本工作的还有:王介民、刘俊义、江源、傅培健、曹东升、张懿。

1) 苏从先,胡隐樵等,河西地区水热平衡的观测研究(待发表)

2) 胡隐樵,苏从先等,河西地区水库小气候特征和冷岛效应(待发表)

“湖泊冷岛效应”。

二、绿洲的小气候特征和冷岛效应

(1) 戈壁中的绿洲相当于一个冷源

在图1中给出7月2日10时(本文全用北京时)至7月3日22时戈壁与绿洲同一高度的温差,并标出每层高度温差对全部时间的平均值。7月2日10时至19时,仅天边有少量云,基本上为碧空。到7月3日8时以后转为多云天气,14时以后逐渐发展成全天云量。所以7月2日可代表晴天情况,7月3日8时以后代表多云天气。

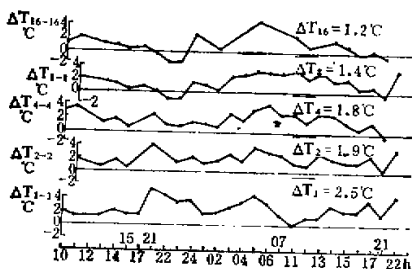


图1 1984年7月2日10时至7月3日22时戈壁与绿洲同一高度的温差。横坐标是北京时,纵坐标分别为1,2,4,8,16m高度上戈壁与农田的温差 ΔT ,单位是 $^{\circ}\text{C}$

图1表明4m以下农田气温几乎全部低于戈壁气温,8m至16m也只是个别时间农田气温高于戈壁气温,1m高处最大温差达 5.4°C ,我们甚至观测到农田低于戈壁 8°C 以上的情况。1m高平均温差达 2.5°C ,16m高处平均温差也达 1.2°C 。由此可见,戈壁上的气温日夜高于绿洲农田上气温,在碎石型戈壁滩上估计至少在白天这种温差效应会更大,自然这种温差效应还会扩展到更大的高度上。

我们对全部观测作了分类分析,发现晴天和少云情况下基本上都是戈壁气温高于绿洲气温。随着云量的增多,则负的温差情况(农田气温高于戈壁气温)会增加。在多云情况下负温差平均达31%,有个别层次可达62%。在阴天情况下则负温差平均达51%,个别层次可达84%,而平均温差等于零。

以上事实表明,河西或西北地区处于广阔的戈壁滩或沙漠中的小片绿洲,在夏季生长季节晴天或少云天气条件下白天和夜间均是一个冷源,自然它同时又是一个热源,我们把处于戈壁滩中的这种冷源称之为绿洲“冷岛”,这种冷岛将产生一系列小气候效应统称为“绿洲冷岛效应”。

(2) 温度场时空分布特征和“映象热中心”

图2(a)和图2(b)分别给出7月2日10时至7月3日22时戈壁和绿洲温度的高度时间剖面。图2(a)表明下午地面有一个日射加热中心,如图中7月2日19时的 29.5°C

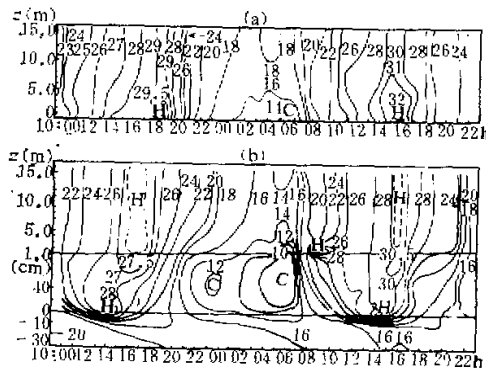


图 2(a) 7 月 2 日 10 时至 7 月 3 日 22 时戈壁的温度时间剖面,
横坐标是北京时,纵坐标是高度,单位为 m,温度等值线单位是 $^{\circ}\text{C}$
图 2(b) 7 月 2 日 10 时至 7 月 3 日 22 时农田的温度时间剖面,
横坐标是北京时,纵坐标是高度,1m 以上为大气高度以 m 为单
位,地面至 1m 代表农作物,高度用 cm 为单位,地面以下为地温、
深度用 cm 为单位,温度等值线也是 $^{\circ}\text{C}$

和 7 月 3 日 16 时的 32°C 热中心。而清晨有一个地面长波辐射冷却中心,如 7 月 3 日晨 6 时辐射冷却中心为 14°C ,其它时间为过渡时间。

为了方便起见,我们将农田上空大气温度、作物层植冠内温度和地温分开进行分析。1m 以上为大气,零 m 高度为地面,1 m 高至地面为作物层。

植冠内的温度场在夜间及清晨出现长波辐射冷却中心,7 月 3 日 0 时及 6 时左右有两个冷中心,且以 6 时冷中心最强,冷中心高度在 60cm 左右,这看来是由于作物层的叶面长波辐射造成的。此外,在 7 月 3 日日出后 9 时左右,1 m 高的作物层顶附近有一个 28°C 的热中心,该热中心随着时间的推移向下移动,直至 15 时停留于作物层底的地面附近,成为 30°C 的热中心,这看来是由于日射对作物叶面加热而造成的。日出后日射首先对作物层顶的叶面加热增温,随着太阳高度角增加,加热高度越来越往下。与此同时,随着作物叶面的增温,其蒸腾逐渐增加,蒸腾消耗热量,致使叶面增温减慢,越上层叶面由于空气流动好而蒸腾大,从而上层叶面增温比下层增温慢。所以日射对作物加热增温的热中心刚日出时在作物层顶,并逐渐下移到作物层底的地面附近。7 月 2 日 15 时这个热中心为 28°C 。

至于地温在 15 时左右地表有一太阳辐射形成的热中心,7 时左右由于长波辐射冷却地表有一个冷中心,负 30cm 深处温度日变化已不明显,维持在 16°C 左右。

1m 以上的气温显然受作物层顶温度的控制。在 1m 高度上,下午有一个太阳辐射加热造成的热中心,例如 7 月 2 日 17 时的 27.5°C 和 7 月 3 日 16 时 30°C 的热中心。日出后 9 时左右也有一个日射热中心,早晨 6 时有一个长波辐射冷却形成的 10°C 冷中心,其它时间为过渡时间。但是我们特别注意到 7 月 2 日 17 时左右 1m 以上的上空也存在一个热中心,致使温度层结成逆温状态。7 月 3 日 16 时左右又重复 7 月 2 日的这一现象,我们发现绿洲上空的这个热中心同戈壁地面日射加热中心基本上是对应的,而且所有晴天

和少云天气条件下都是如此。这一现象说明, 农田上层大气的温度除了受作物层的温度控制以外, 还受环境戈壁的温度场影响。下午日射加热戈壁空气, 由于平流或局地环流作用将这些被加热的空气输送到农田上空, 从而在下午形成农田上空的热中心, 这是冷岛效应特有的一种现象, “湖泊冷岛效应”这一现象更为明显。太阳辐射越强, 这一现象也越明显, 这反映了周围环境同冷岛热交换的特征。我们将冷岛上空出现的这个热中心称为“映象热中心”, 它总是伴随着周围环境太阳辐射形成的地面热中心而存在。

为了进一步说明问题, 在此再给出 6 月 18 日 8 时至 6 月 19 日 23 时农田的气温时空剖面图。6 月 18 日开始天气晴朗, 只有少量高云, 但到 15 时以后转为多云天气, 到 6 月 19 日 7 时发展为全天的云, 云量达 10 或 10, 并且从高云逐渐演变成低云, 这个例子可代表多云及阴天的情况。

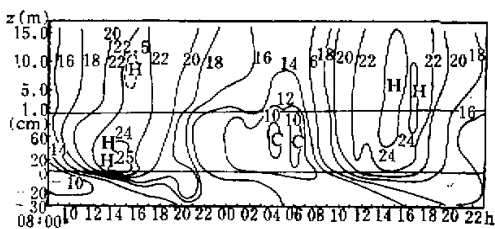


图 3 6 月 18 日 8 时至 6 月 19 日 23 时农田温度时间剖面

图 3 表明, 其温度场结构基本上同图 2(b) 相似, 所不同的是 6 月 19 日 9 时左右植冠顶的热中心消失了, 15 时植冠底也没有热中心, 这显然是 6 月 19 日 7 时开始满天是云所造成的。这时太阳辐射弱, 作物层辐射加温小, 从而未能形成早晨和下午植冠的加热中心。但是 6 月 18 日 16 时和 6 月 19 日 15 时大气上空的映象热中心却仍然存在。

(3) 温度廓线的特征和“冷岛逆温”

图 4 给出了 7 月 2 日 10 时至 7 月 3 日 8 时一天的戈壁和农田气温垂直廓线, 以便进行比较。

首先看植冠内温度廓线, 日出后早晨 8 时太阳辐射对作物层顶叶面加热增温, 农田的温度廓线在 1m 处出现极大值, 至 10 时一方面太阳升高, 下层作物也开始被日照加热增温。另一方面上层被加热增温的作物叶面蒸腾加强, 消耗热量, 致使增温减慢。所以温度廓线峰值下移到 80cm 高度上, 并且随着时间推移, 峰值逐渐下移, 直至 14 时, 峰值下移到植冠底的地面附近, 并维持在那里。17 时温度廓线峰值又上升到 80cm 高度上, 这显然是由于太阳高度降低和上层作物层叶面蒸腾减小造成的。以后作物层内温度逐渐下降, 夜间由于叶面长波辐射冷却, 使作物层内温度低于地表及大气的气温。24 时植冠内温度廓线极小值在 50cm 高度上。晨 6 时植冠内 40cm 处温度最低, 只有约 8.5℃。此外还看到, 15 和 17 时植冠中部温度出现极小值, 这是由于下午炎热条件下作物气孔关闭, 使蒸腾减小, 特别是上部叶片更为明显, 从而形成植冠中部这个极小值^[2]。

土壤内温度廓线较单调, 负 30cm 深处温度日变化不大。下午日射加热强时地面至地

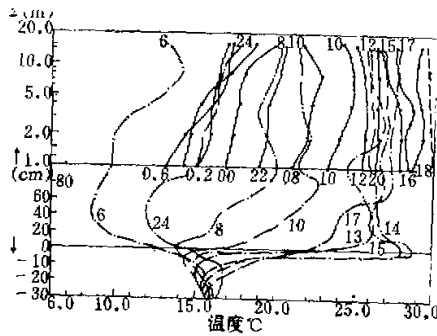


图4 7月2日10时至7月3日8时戈壁和农田温度垂直廓线的比较.横坐标是温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$,纵坐标是高度,1m以上为大气,高度坐标取对数尺度,单位为m,地面零m至1m高为作物层,用cm作单位,地面以下至负30cm是地温,用cm作单位.每条廓线标出北京时间,——·——·为农田;—×—×为戈壁;---为干绝热线

下深处温度逐渐降低,相反夜间地表辐射降温大,使得温度从地表往下温度逐渐升高.负20cm以下土壤温度最高时间是24时,比地表最高温度出现时间落后9小时,温度最低的时间是上午10时,也比地表最低温度出现时间落后4小时.

最后来对比分析戈壁和绿洲上空大气的温度廓线.

戈壁上空的气温廓线总的来说同日常熟知的情况一样,夜间长波辐射造成逆温稳定层结.至下午过渡为超绝热不稳定层结.图4表明,晨6时逆温最强,温度递减率达 $+28.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.14时整层大气为超绝热不稳定层结,温度递减率达 $-8.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

农田上空气温早晨8时日出后由于日射对作物层顶加热增温,导致作物层顶至4m高开始出现不稳定层结,但4m以上仍为逆温.至10时在2m以上整层大气出现超绝热不稳定层结,温度递减率达 $-5.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,但2m以下却又再次出现逆温,看来这是由于作物层顶叶面蒸腾消耗热量从而升温慢造成的.随着时间的推移,低层的逆温层逐渐加厚,至17时整层大气达逆温状态,我们称这种冷岛效应所特有的逆温为“冷岛逆温”.自然日落之后作物叶面长波辐射冷却控制着农田上空的逆温状态,在早晨6时逆温最强,3m以下递减率达 $+30.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之大.

以上分析表明,白天长期间处于逆温状态是绿洲冷岛效应最基本的小气候特征之一. Ckbopuzob^[3]和 Rosenberg^[4]也都观测到这种逆温现象.我们的计算表明^[1],由于冷岛逆温,使得冷岛内日蒸散量比预计的要小.

从图4还可以看到,温度廓线明显的偏离通常的对数直线,风速廓线也有这种特点,这是由于绿洲冷岛的下垫面热力非均匀性造成的.冷岛内气象要素在近地层偏离典型的水平均匀下垫面条件下的对数直线分布律,成为冷岛效应的又一特征.

三、“绿洲冷岛效应”的物理机制

上面我们通过绿洲小气候特征的分析,发现在西北广阔的戈壁或沙漠中的小片绿洲

存在一种“绿洲冷岛效应”。这种绿洲冷岛效应是由于绿洲下垫面热力性质与戈壁或沙漠不同而造成的。

事实上,戈壁或沙漠其比热小,太阳辐射增温快。相反绿洲由于植物相对于戈壁或沙漠比热大,太阳辐射增温慢。尤其是在太阳辐射增温条件下,植物叶面蒸腾加强,消耗热量,其增温就更慢了。所以在白天绿洲相对于周围环境是一个“冷源”。夜间戈壁或沙漠虽然其长波辐射降温相当快,但是当绿洲植物枝叶繁茂时,其叶面所造成的长波辐射降温的总有效面积却远大于戈壁或沙漠平面的辐射有效面积,这是绿洲在夜间也是一个冷源的原因。

另外我们观测表明,绿洲中农田的反射率在白天约为 13%,而土壤性戈壁滩上大约为 27%,净收入的能量即辐射平衡值在白天前者比后者约大 30% 以上,所以绿洲在白天要接受更多的能量。然而,热通量计算表明^[1],绿洲在白天约有 60—70% 的能量要消耗于蒸散,所以最终的后果使绿洲增温比戈壁或沙漠增温小得多。这就从能量平衡的观点也说明绿洲成为冷源的原因,从而形成绿洲冷岛效应。

上述的绿洲冷岛效应必然影响行星边界层的结构,使之产生一系列的调整 and 变化。

事实上,周围环境戈壁或沙漠太阳辐射增温大,造成超绝热不稳定温度层结。它一方面使戈壁中湍流得到发展,从而将大量下垫面附近被加热的空气向上输送。另一方面,这种不稳定层结甚至发展成对流,与绿洲冷源之间形成类似于湖陆风的局地环流,我们称之为“绿洲风”。风场的日变化特征分析也证实了这一点。通过这种环流或者背景风场的平流都可以将戈壁上空的热空气输送到绿洲上空,从而形成绿洲上空的所谓映象热中心和逆温稳定层结,它们是冷岛效应造成的行星边界层结构的重要特征。冷岛上空的逆温状态抑制了冷岛内部的湍流发展,从而抑制了冷岛内的蒸散,使得蒸散量比我们预计的要小。

四、讨 论

通过分析说明河西地区夏季晴天或少云天气条件下,广阔干旱地区的戈壁或沙漠中的小片绿洲相对于周围环境成为一个冷源,形成相对独立的绿洲冷岛,这种绿洲冷岛效应是行星边界层内一种特有的气象现象。

绿洲冷岛通过湍流交换和平流过程或局地环流与周围环境进行能量和物质交换,冷岛与周围环境的这种相互作用,一方面向周围环境扩散凉湿空气,从而改善周围环境小气候。另一方面形成冷岛内特有的一系列行星边界层结构特征。例如温度时空剖面分布的映象热中心,一天 24 小时长时间处于逆温稳定层结,近地层的气象要素偏离对数直线分布律等。城市热岛效应是人们所熟知的行星边界层现象之一^[2],但是行星边界层内这种特有的冷岛现象过去尚未引起人们的关注,因此这一现象的发现对于人们加深对行星边界层的认识和理解以及干旱气候的研究却有重要的理论意义。

西北干旱地区的戈壁或沙漠在夏季长时间处于晴天或少云天气条件下,造成酷热和极干旱的环境。白天层结极不稳定,湍流强烈发展,而这时绿洲冷岛内却处于逆温稳定层结,抑制湍流的发展,这是非常有利于植物生长的,因为绿洲这种气温较低,湍流发展较弱

的凉湿环境必然抑制植物的蒸腾过程和地面的蒸发过程。在干旱酷热的戈壁或沙漠之中蒸腾和蒸发的抑制,对于节约水源和植物或作物本身的生长无疑都是极为有利的。就是说,只要在干旱的戈壁或沙漠中的绿洲范围足够大,能形成绿洲冷岛,那么就形成了一种有利于植物生长的小气候。这一结论解释了戈壁或沙漠中种草种树小片不易成活,大片易于成活的道理。自然这一理论有助于指导我们在西北戈壁或沙漠等干旱地区的种草种树活动和农业开发。

以上仅是对冷岛现象的一些初步研究结果。由于过去人们对这一现象未充分注意,研究很少,无论是实验或理论都有待于进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] Mitchell, J. et al., 1961, The thermal Climate of Cities US. Public Health Service Report No AG 2-5, Cincinnati, Ohio Nov. 1961, 131-145.
- [2] Berg, J. E. et., 1964, Diurnal energy and water exchanges in bulrush millet in an area of high solar radiation Agr. Meteorol. 1: 2 94-312.
- [3] Landsberg, H. E., 1981, The Urban Climate, Academic Press, New York.
- [4] Rosenberg, N. J., 1969, Seasonal patterns in evapotranspiration by irrigated alfalfa in the Central Great Plains. Agron. J. 61: 879-886.

THE MICROCLIMATE CHARACTER AND "COLD ISLAND EFFECT" OVER THE OASIS IN HEXI REGION

Su Congxian Hu Yinqiao Zhang Yongfeng Wei Guoan

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The microclimate character over the oasis has been developed from the analysis of the meteorological element gradient observation. An oasis cold island effect has been discovered and its physical mechanism and its practical and theoretical significance have been analysed.