

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

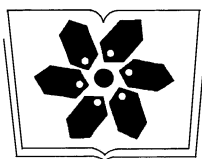
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期

2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)

极干旱区深埋潜水蒸发量的测定

李红寿^{1,2}, 汪万福^{1,2,3}, 张国彬^{1,2}, 赵林毅^{1,2}

(1. 敦煌研究院保护研究所, 敦煌 736200; 2. 古代壁画保护国家文物局重点科研基地, 敦煌 736200;

3. 兰州大学 生命科学学院, 兰州 730000)

摘要:在远离降雨的典型极干旱气候条件下,在敦煌莫高窟窟顶戈壁搭建封闭塑料拱棚,在棚内放置空调抑制“拱棚效应”。通过空调的制冷抑制拱棚的增温效应,通过空调的冷凝降低棚内的湿度,使棚内的温湿度与外界靠近,并通过空调冷凝排水量评估潜水蒸发强度。45d的监测表明:在潜水埋深超过200m的敦煌极干旱地区存在不少于0.0219mm/d的潜水蒸发。太阳辐射强度、温度、湿度对潜水蒸发有重要影响。潜水蒸发量的测定为利用潜水进行荒漠化的生态重建提供了基本的评估依据,对揭示极干旱区埋深较深的GSPAC水文循环和潜水开发有重要意义,对莫高窟的文物保护也非常关键。

关键词:潜水蒸发;拱棚法;GSPAC系统;极干旱地区

Measurement of deep buried phreatic water evaporation in extremely arid area

LI Hongshou^{1,2}, WANG Wanfu^{1,2,3}, ZHANG Guobin^{1,2}, ZHAO Linyi^{1,2}

1 The Conservation Institute of Dunhuang Academy, Dunhuang 736200, China

2 Key Scientific Research Base of Conservation for Ancient Mural (Dunhuang Academy) State Administration for Cultural Heritage, Dunhuang 736200, China

3 School of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: In the extremely arid area with little rainfall, a closed plastic canopy was constructed in the gobi land on the top of Mogao Grottoes in Dunhuang, northwestern China. An air-conditioner was put into the canopy to restrain the “greenhouse effect”. The refrigeration function was used to restrain the raising temperature effect and reduce the humidity. In this way, by making the temperature and humidity inside the canopy the same as those outside, we could evaluate the evaporation intensity of phreatic water in the field by measuring the weight of air-conditioning refrigeration water. The temperature, relative humidity, and absolute humidity at five different heights (+50, -10, -20, -30, -40cm) inside the canopy are higher than those outside. At the corresponding heights, differences of temperature are 3.85, 1.90, 1.18, 0.70 and 0.51℃, for relative humidity they are 11.3%, 1.00%, 1.03%, 2.07% and 6.45% and for absolute humidity they are 3.84, 1.05, 1.15, 1.22, 1.92g/m³. Even values of the key parameter inside the canopy are higher than those outside, soil temperature and humidity profiles showed little difference, and soil conditions were suitable to the upward migration of water both inside and outside the canopy, so we can eliminate the possibility that the evaporation inside was caused by the “greenhouse effect”. During the 45-day-long observation period, 29572g refrigeration water was collected in total, and the average daily evaporation quantity in the later 20 days was 703.6g and higher than that of 612.7g in the former 25 days. The result is 8 times larger than the data gained in 2008 under a similar condition but without air-conditioner, still it is expected smaller than real values since the inside temperature and humidity were higher than outside due to the low-capacity of the air-conditioner. This demonstrates that the soil water content inside the canopy did not decline but increase slightly even evaporated constantly, and the evaporated and discharged water from soil was not resident rainfall water; phreatic water evaporation is an universal phenomenon in arid areas, and the evaporative capacity is no less than 0.0219 mm/d in

基金项目:国家自然科学基金项目(40940005);敦煌研究院院级课题资助

收稿日期:2009-11-14; **修订日期:**2010-09-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dhlhs69@163.com

this field experiment in which the ground water table is deeper than 200m. Solar radiation intensity, temperature, and relative humidity have close relations with phreatic water evaporation, among which relative humidity shows the highest correlation with the values of evaporation. The corresponding correlation coefficient are 0.474 ($P=0.01$), 0.376 ($P=0.05$) and -0.610 ($P=0.01$), respectively. Apart from climate factors, soil characteristics of the unsaturated zone including water content, void ratio and salinity also contribute a lot. Preliminary measurement result shows the evaporation of phreatic water, which is the primary water for plants in extremely arid area, is considerable and has great ecological and utility value. This work could be a basis for the assessment of ecological reconstruction with phreatic water in desert area, and is significant to the research of deep buried Groundwater-Soil-Plant-Atmosphere Continuum (GSPAC) hydrology system as well as the exploitation of deep ground water. Since evaporation intensity of phreatic water can be used to ascertain the vapor flux in the adjacent rock around Caverns, this work is also important to the protection of Mogao Grottoes.

Key Words: phreatic water evaporation; Greenhouse method; GSPAC system; the extremely dry area

潜水蒸发是指潜水向包气带输送水分,并通过土壤蒸发和植物蒸腾进入大气的过程。在潜水埋深较浅的地区,潜水通过毛管对土壤水分和植被有十分重要的补充作用^[1]。土壤的毛细作用一般可提高土壤水分2—3m^[2],在潜水埋深超过百米的极干旱地区,毛细作用对潜水的运转已不起作用,因此,土壤水分含量极低。干旱缺水是造成极干旱区生态链相对断裂的根源。在埋深较深的地区是否存潜水-土壤-植被-大气(GSPAC)水分的垂直循环,对极干旱区的生态系统十分关键。周爱国等分析认为,在蒸发力极大的西北干旱区内陆盆地,如果不存在 GSPAC 系统垂直循环的反馈,极小的降水量根本无法维持地表植被的生存^[3]。顾慰祖等对巴丹吉林沙漠经 7a 的连续观测后认为,当地的降雨量和凝结量不足以维持 2 m 表层沙地的水分,疑另有地下水分系统的补充^[4]。胡顺军、张永明等从理论上也得出:潜水极限蒸发强度随潜水埋深的增大而呈幂函数关系递减,潜水蒸发没有极限埋深^[5]。

对潜水埋深超过 200m 的敦煌莫高窟极干旱戈壁的环境条件分析后认为^[6],该区仍存在水分运转机制,可形成潜水蒸发。2008 年在窟顶戈壁搭建密闭塑料拱棚,利用棚内膜面的夜间凝结收集蒸发水分^[7]。通过 1a 的连续抽取与观测,发现潜水是极干旱区土壤水分的重要来源。但由于拱棚效应,棚内温湿度的升高对潜水蒸发产生了重要影响。一方面,棚内温度的升高有利于结合水分的分解与蒸发;另一方面,密闭作用又使棚内的相对湿度大幅度上升,对水分蒸发产生了很强的抑制作用。显然,棚面的夜间自然凝结的 $2.8\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ 的水分并非自然土壤的潜水蒸发量。为此在拱棚法的基础上在棚内加入空调系统,一方面通过空调的致冷作用抑制拱棚的升温效应,另一方面通过冷凝系统的凝结“过滤”水分,降低空气湿度,使棚内的温湿度与外界接近,并通过测定空调冷凝水分的数量测定潜水蒸发强度,评估潜水埋深较深极干旱区的 GSPAC 水文循环的强度,为利用潜水资源进行生态恢复的可能提供科学的参考依据。

同时,在莫高窟窟顶进行潜水蒸发的测定对莫高窟珍贵的泥质文物的保护十分重要。莫高窟现存 $4.5 \times 10^4\text{ m}^2$ 的精美壁画和 2000 余尊的彩塑,是珍贵的世界文化遗产,极具科研和文化价值。它能够历经千年能够保存至今,主要得益于这里干燥的气候。但这些泥质文物仍存在与潜水相关的霉变、碱酥、起甲等病害,严重影响文物的保存寿命^[8]。因此,确定潜蒸发强度在一定程度上明确了洞窟围岩的水汽通量,这对莫高窟文物病害的预防与保护具有十分重要的意义。

1 研究区域状况

实验于 2009-05-22—2009-07-05 日在莫高窟窟顶戈壁距洞窟群 1km 处进行。窟顶戈壁上层 4m 为疏松砾砂,下层为胶结砾砂岩,属第四纪酒泉组^[8]。表层 5cm 受降雨和风蚀的影响,粉粒和粘粒含量较低。0—50cm 是一富盐层:0—10cm 含盐量 9.2%,其中 NaCl 占 58.4%;10—30cm 和 30—50cm 的含盐量分别为 4.5%、2.2%,但其中芒硝(Na_2SO_4)含量较高,分别占 51.5%、26.5%^[8]。土壤空隙度在 20%—30% 之间。该区气候极其干燥,干燥指数 32;太阳辐射强度可高达 1.1 kW/m^2 ,年日照率 71%;年平均相对湿度 31%,温

度 11.23°C , 风速为 4.1m/s (2005 年); 年降水量 42.2mm 。在该实验中降水是最敏感因子, 据莫高窟窟顶气象站的监测, 2008 年 5 次共降水 8.2mm , 2009 年截至实验结束 5 次降水 6.4mm 。降水的显著偏少有利于潜水蒸发量的可靠取得。

2 实验思路与方法

用无滴 PVC 塑料膜在戈壁上搭建一个密闭的拱棚, 拱棚呈半球形, 高 1.8m , 半径 3.1m , 面积 30m^2 , 体积 30m^3 , 棚膜边缘埋入土壤 30cm ; 内置一台分体式 KFRd-70W 春兰空调, 调控棚内的温湿度, 拱棚-空调系统如图 1; 同时在棚内和棚外的地上 50cm 及土壤内 10 、 20 、 30 、 40cm 分别埋设 HOBO 温湿度监测仪, 每 10min 记录 1 次土壤内外的空气温湿度, 并通过烘干法检测不同深度 (10 、 20 、 30 、 40 、 50 、 60cm) 的土壤湿度 ($9:30$)。通过空调冷凝排水管将凝结水分导出棚外, 用密闭塑料袋收集水分, 用称重法监测日 ($8:30$) 潜水蒸发量。应用 SPSS 软件对影响潜水蒸发的相关因子进行分析; 通过棚内外空气温湿度和土壤湿度变化对所测潜水蒸发量作进一步的分析。



图 1 拱棚-空调系统

Fig. 1 Greenhouse-air condition system

3 结果与分析

3.1 凝结量与棚内气象因子的相关分析

棚内水分凝结 45d 共收集到空调凝结水分 29572g (图 2)。根据降雨蒸发试验^[7]和土壤内空气湿度的监测, 在当地气候条件下, 扣棚之前 (2009-05-12) 的 1.8mm 降雨经 10d 已完全蒸发, 更早的降雨影响也已完全消除。因此, 棚内收集的凝结水量就是潜水蒸发量, 平均日蒸发 657.2g , 折合单位土地面积为 $21.9\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ 。与 2008 年末放置空调的棚内同期夜间自然凝结量相比, 增大了 8 倍左右。显然, 空调系统在很大程度上降低了封闭系统的影响, 使棚内土壤形成了较大的向外输出。

HOBO 监测的温湿度日平均如图 2。根据 SPSS 软件的性关系分析, 棚内凝结量 (从当日 $8:30$ —翌日 $8:30$) 与太阳辐射强度、温度、相对湿度、绝对湿度的相关系数分别为: $0.474 (P=0.01)$ 、 $0.376 (P=0.05)$ 、 $-0.610 (P=0.01)$ 、 0.011 , 凝结量与棚内相对湿度的相关性最高。

3.2 棚内外土壤空气温湿度的日变化与潜水蒸发量的相关分析

在代表性晴朗天气下, 棚内外不同深度土壤及地上 ($+$) 50cm 空气的温湿度变化对比如图 3, 棚内 $+50\text{cm}$ 及土壤 -10 、 -20 、 -30 、 -40cm 的温度、相对湿度、绝对湿度与棚外对照相比, 高出 3.85 、 1.90 、 1.18 、 0.70 、 0.51°C ; 11.3% 、 1.00% 、 1.03% 、 2.07% 、 6.45% ; 3.84 、 1.05 、 1.15 、 1.22 、 $1.92\text{g}/\text{m}^3$ 。受空调的影响, 仅棚内 $+50\text{cm}$ 夜间温度降低于外界。推绎到整个实验过程, 棚内仍保持较高的温湿度, 经全过程的监测表明结果确定)。

与 2008 年无空调棚内相比, 棚内的温湿度有了一定的下降, 说明空调系统在一定程度上降低了棚内的温湿度, 但与外部相比仍然较高, 说明棚内一台空调的功率不足以抑制白天棚内温湿度的升高 (空调温度虽然设定在最低 18°C , 但空调的满负荷运转仍无力达到设定温度或外界温度), 距接近外界温湿度尚有一定的距离。棚内较高的温度和湿度确保了凝结水分不可能是来自于外部土壤水分的水平运移或大气水分的侧入, 保证了潜水来源的可靠性。棚外温湿度分布格局与棚内的一致性, 说明外部自然土壤存在潜水蒸发的条件。

如前分析, 棚内温度升高, 有利于蒸发; 但是空气湿度的增加又对蒸发产生较强的抑制作用。它们的同时升高仍无法判断所测定的蒸发量较自然土壤是偏高还是偏低。但从棚内的温湿度还存在较大下调“空间”看, 如果增加棚内空调的制冷强度, 水分凝结量势必进一步增大, 因此, 初步判断棚内测定的 $21.4\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ 潜水蒸发量与外界自然土壤的实际蒸发量相比可能偏小。

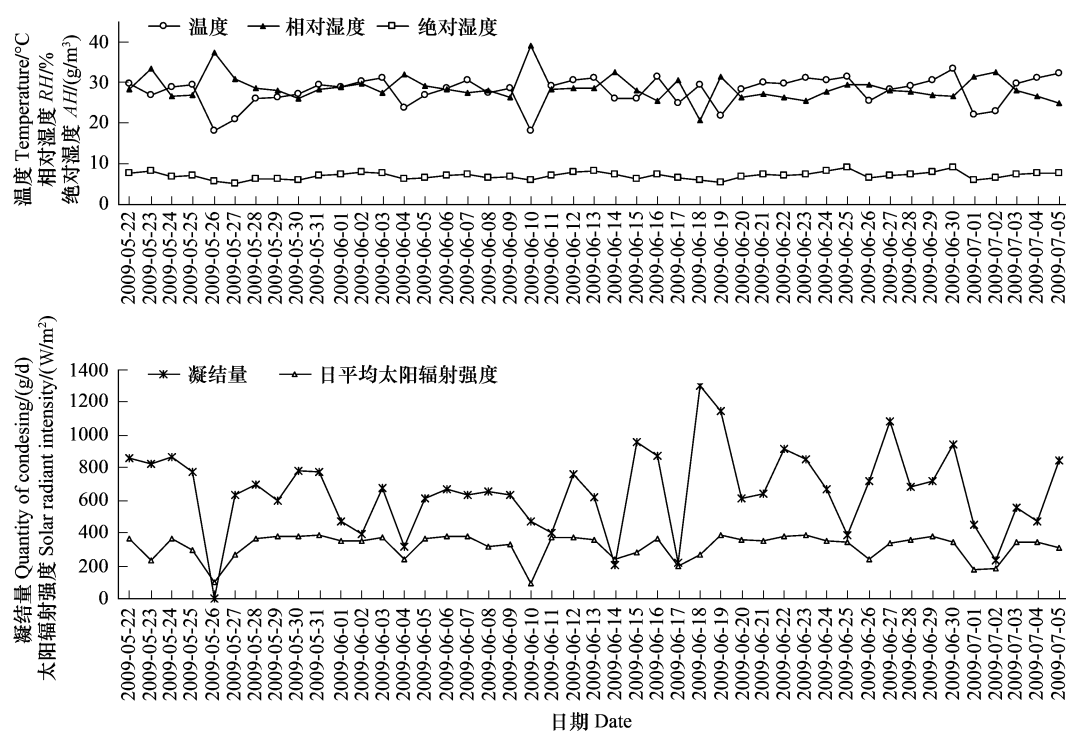


图2 棚内温湿度,太阳辐射强度与凝结量的关系

Fig. 2 Relationship between temperature & humidity in greenhouse, solar radiant intensity and condensing quantity

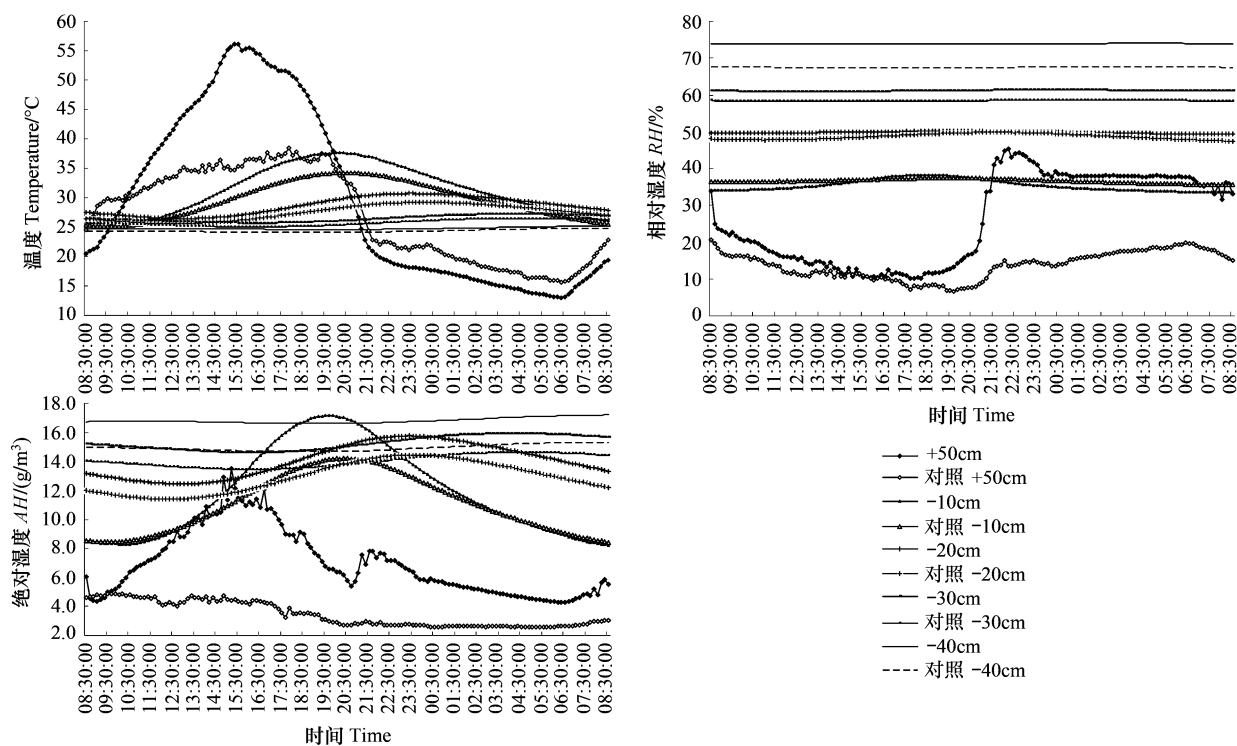


图3 棚内与对照空气温湿度日变化的对比

Fig. 3 Compare daily change of air temperature and humidity in greenhouse with control

3.3 土壤湿度的分析

由于研究区土壤盐分对水分凝聚的作用^[6],尤其是芒硝的作用,土壤在 20cm 左右的水分含量明显较高,且随日温度的变化存在较明显的波动。因气候影响和土壤温度的迟滞,即使在每天的同一时刻,土壤水分存在一定的差异,但从较大时间尺度上看,这层因凝聚机理形成的土壤水带较为稳定^[6]。在远离降雨的扣棚前 3 次土壤监测如图 5a,土壤的平均湿度与图 5b、c、d 中的对照平均基本一致。棚内土壤水分在实验中期(图 5b、c)明显升高,高于对照。用另一简单的方法也检测到了棚内土壤湿度的增高:用两个塑料桶同时分别挖取浅层土壤(0—15cm)的棚内土壤和对照土壤各 5000g,放置于棚内,于每日同一时间(9:00)测定土壤重量。实验重复监测表明,棚内土壤重量因无下层土壤水汽的支持降低了 6g 左右(每日随棚内天气变化存在一定差异),外界土壤反而增加 3g 左右,说明外部土壤更干燥。棚内虽然有空调系统,但棚内的蒸发受到一定的抑制,这也印证了 3.2 节关于蒸发量偏低的判断。

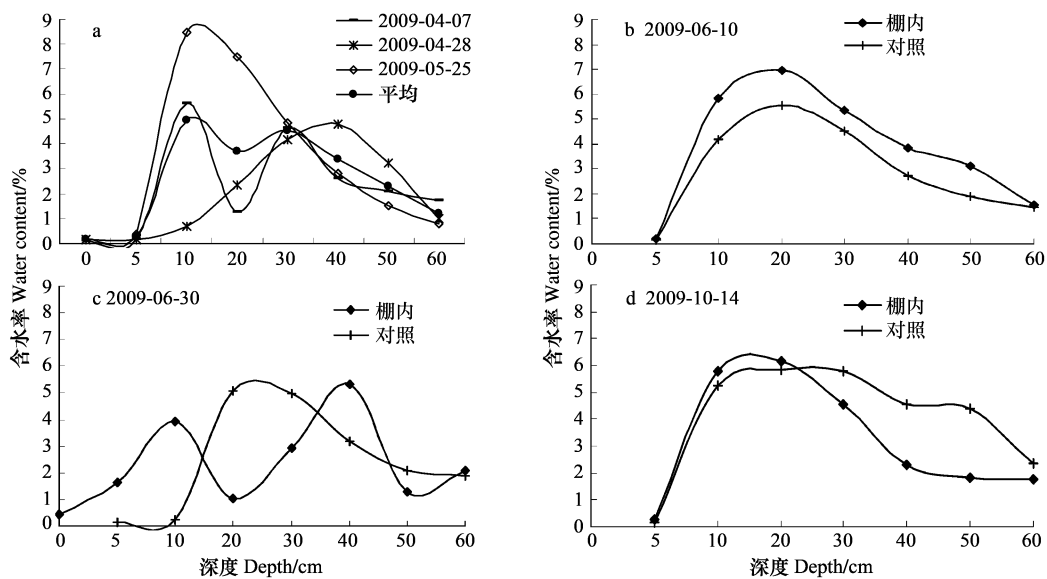


图 5 棚内土壤水分的变化与对比

Fig. 5 Change and compare of soil water content in greenhouse

图 5c 土壤湿度在 20cm 左右下降较大,这主要是由于 20cm 层土壤中的芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)的原因,并非土壤水分的蒸发引起了含水率的下降。这种情况在 2008 年的无空调系统的拱棚凝结实验中也曾经发生过^[7]。这主要是在 7 月份前后气温较高,温室效应更使棚内土壤温度有较大幅度的提高,当温度高于 32.5℃ 时(这与 20cm 层位的温度监测相符),20cm 富含芒硝的土壤失去结晶水分,形成了无水硫酸钠,导致了土壤水分的下降。随着秋季棚内温度的下降,土壤水分含量回升,在 2009-10-14 日的检测中得到了验证,图 4a。这种因盐分理化特性引起的土壤水分变化与 2008 年拱棚土壤水分变化基本一致。

经过较长时间的土壤水分蒸发和输出,蒸发量并没有减小的迹象,且后期(2009-06-14—2009-07-05)20d 平均日凝结量(703.6g)高于前期(612.7g)。这与棚内土壤水分的变化结合,进一步说明凝结水分不是来自降水的滞留,也不是拱棚效应下土壤蓄存水分的蒸发,而确实存在源自深层潜水的蒸发。后期蒸发量的增加可能与气候温度的升高有关。虽然这里的潜水埋深超过了 200m,但并不能完全阻隔潜水的向上运转与蒸发。本实验对潜水蒸发量初步的测定尚不准确,初步判断可能偏小。一部空调不足以控制棚内的温湿度,若增加棚内空调的数量或减小拱棚的面积,完全有可能使棚内的温湿度与棚外接近,潜水蒸发量的测定精度必将进一步提高。

从初步测定量看,潜水的蒸发量较为可观,潜水是极干旱区最基本的植被生命维系之水,具有重要的生态学意义和较大的开发利用价值。潜水蒸发除了受气象因子的影响外,还与包气带土壤自身的特性密切相关,

尤其与水分含量、空隙度、盐分有重要关联。盐分的含量、种类与分布,空隙度的大小和土壤水分含量的高低对水汽通量有重要影响^[6]。若在潜水自然蒸发的基础上,应用覆膜、覆沙、洒水、使用高吸水性树脂(SAP)等人工技术,增大地表的密闭性能、增加土壤的水分含量、改善土壤空隙度等,完全有可能使潜水水分的运转量增大,在适当层位凝聚形成高于萎蔫系数土壤层,满足耐旱植物的基本需要,生态修复极干旱区的荒漠化土地。

4 结论

敦煌莫高窟的拱棚-空调冷凝实验表明:在潜水埋深较深的极干旱地区,存在较为可观的潜水蒸发,初步测定的日蒸发量为0.022mm。根据棚内外空气温湿度监测初步判定,这一测定结果可能低于实际的潜水蒸发量。潜水蒸发与相对湿度、太阳辐射强度、温度等气象因子密切相关。棚内空气湿度对比和土壤水分含量的变化进一步表明,凝结水分源自潜水,极干旱区存在潜水蒸发。潜水蒸发量的初步测定为潜水深埋极干旱区的生态恢复的评估提供基本的参考依据,也为莫高窟文物水分病害防治提供了重要的参考。

致谢:本实验得到治沙站蔺双虎、邱飞、詹鸿涛、李睿的大力帮助,气象资料得到环境室同事的大力支持,特此致谢。

References:

- [1] Zhou A G, Sun Z Y, Ma R. Geo-ecology in Arid Regions: An Introduction. Beijing: China Environmental Sciences Press, 2007:22-52.
- [2] Liu B P, Cai Y L. An Introduction to Earth Science. Beijing: Higher Education Press, 2000:4,79.
- [3] Zhou A G, Ma R, Zhang C. Vertical water cycle and its ecological effect in inland basins, Northwest China. *Advances in Water Science*, 2005, 16(1):127-133.
- [4] Gu W Z, Cheng J S, Wang J Y, Zhao X, Xie M, Lu L J, Klaus-Peter Seiler. Challenge from the appearance of vadose water within the surface layer of megadunes, Badain-jaran dune desert, Inner Mongolia. *Advances in Water Science*, 2004, 15(6):695-700.
- [5] Zhang Y M, Hu S J, Zhai L X, Shen B. Models for calculating phreatic evaporation from bare soil in Tarim Basin. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(1):27-32.
- [6] Li H S, Wang W F, Guo Q L, Fan Y Q, Li Y F. Mechanism analysis on water cohesion in arid area of Dunhuang Mogao Grottoes. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6):3198-3205.
- [7] Li H S, Wang W F, Zhan H T, Qiu Fei, An L Z. New Judgement on the Source of Soil Water in Extremely Dry Zone. *Acta Ecologica Sinica (International Journal)*, 2010, 30(1):1-7.
- [8] Li Z X. Conservation of the Wall Paintings and Colored Statues of the Grottoes on the Silk Road. Beijing: Science Press, 2005:360-371.

参考文献:

- [1] 周爱国,孙自永,马瑞. 干旱区地质生态导论. 北京:中国环境科学出版社,2007:22-52.
- [2] 刘本培,蔡运龙主编. 地球科学导论. 北京:高等教育出版社,2000:4,79.
- [3] 周爱国,马瑞,张晨. 中国西北内陆盆地水分垂直循环及其生态学意义. *水科学进展*, 2005, 16(1):127-133
- [4] 顾慰祖,陈建生,汪集旻,赵霞,谢民,陆家驹 Klaus-Peter Seiler. 巴丹吉林高大沙山表层孔隙水现象的疑义. *水科学进展*. 2004, 15(6):695-700.
- [5] 张永明,胡顺军,翟禄新,沈冰. 塔里木盆地裸地潜水蒸发计算模型. *农业工程学报*, 2009, 25(1):27-32.
- [6] 李红寿,汪万福,郭青林,范于权,李燕飞. 敦煌莫高窟干旱地区水分凝聚机理分析. *生态学报*, 2009, 29(6):3198-3205.
- [8] 李最雄编著. 丝绸之路石窟壁画彩塑保护. 北京:科学出版社,2005:360-371.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元