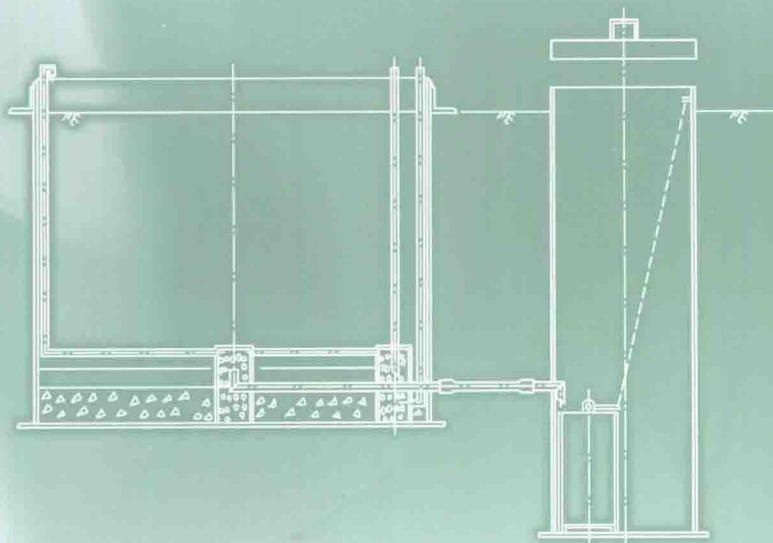


水土面 蒸发器的研究

王积强◎著



河海大学出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS

水土面蒸发器的研究

王积强 著



河海大学出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

王积强同志长期从事水面蒸发研究、土壤蒸发入渗研究及蒸发器研发工作。本书是他对蒸发入渗基础研究的经验总结,收录了他近年来主要的研究论文、发明或改进的水文仪器的设计图纸、水面蒸发观测规范的建议等。

图书在版编目(CIP)数据

水土面蒸发器的研究/王积强著. —南京:河海大学出版社,2013. 10

ISBN 978-7-5630-3479-6

I. ①水… II. ①王… III. ①水面蒸发—蒸发器—研究
②土壤蒸发—蒸发器—研究 IV. ①P426.2 ②S152.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 229836 号

书 名 水土面蒸发器的研究
书 号 ISBN 978-7-5630-3479-6/P·27
责任编辑 沈佳梅
责任校对 杨 柳
封面设计 黄 煜
出版发行 河海大学出版社
地 址 南京市西康路 1 号(邮编:210098)
网 址 <http://www.hhup.com>
电 话 (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
排 版 南京新翰博图文制作有限公司
印 刷 南京玉河印刷厂
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 17.5 印张 426 千字
版 次 2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷
定 价 60.00 元

前 言

1985年我参加施雅风院士主持的柴窝湖课题,负责测湖面蒸发研究工作,于1987年结束,为延续蒸发研究,在新疆地理研究所^①业务处支持下申请国家自然科学基金,基金委赵楚年来信说,二审已过关,下面是刘昌明审定。几次申请都未通过,所里人事处说再无课题,要停发部分工资到人事处待业。碰巧中国科学院南京地理与湖泊研究所的王洪道正在做乌伦古湖的研究工作,我应邀负责湖面蒸发测量工作。1988年3月出差前,我把历年的观测资料整理了一下,写成第一本专著——《中国北方地区若干蒸发实验研究》,交专家审稿,于1990年出版,获1992年中国科学院自然科学三等奖。1988年,应水利部南京水利水文自动化研究所邀请,在南京审查《E₆₀₁型系列水面蒸发器》(GB 11829—89)时,与会专家为支持E_{601K}型水面蒸发器,在“产品品种”中又增加了一条“4.4凡符合本技术标准的新仪器经部级鉴定后均纳入本系列”。1992年《水文》四期中公布《国家水文工作10年(1991—2000年)发展纲要》,其中有“于3年内全国统一改造水面蒸发器”的发展规划。我希望把《中国北方地区若干蒸发实验研究》中介绍的部分仪器推广出去,为此做了查新和检测,并给水文司写信,希望推广E_{601K}型水面蒸发器。为说明基础研究(如水深对蒸发的影响和闭塞空气对潜水位的影响等)的特殊方法,写了《论科学研究》,提交给新疆地理研究所领导。

1993年4月我从新疆专程去北京水利部推广E_{601K}型水面蒸发器,水文司技术处处长朱晓原最后说:“10年后推广你的仪器”。我回新疆后,业务处告知我:水文司来函,要保护水圈和土台。

1993年,我写的论文《玻璃钢蒸发器的三个改造方向》(新疆气象,1993年第3期)发表后,给申德裕校友写信,希望他做调研,根据测站实况,设计实验方案,改进E₆₀₁型水面蒸发器。后来看到1994年他与施正平申请的专利“自动补水式水面蒸发量传感装置”ZL94231758.0,去掉了测针、水圈、土台和溢流桶,与E_{601K}型水面蒸发器的设计理念不谋而合。

2003年2月2日我给胡锦涛总书记写信,要求朱晓原落实承诺。文件后来转到新疆水利厅,我接到电话,水利厅说要看E_{601K}型水面蒸发器等的材料,并问申请专利否?我写了《关于蒸发入渗仪器的推广》(见本书附录7.4),新疆生地所在打印稿上批示:申请发明专利,批示人是张小雷(注:当时任新疆生地所所长)。于是2004年我申请了六项专利。

2006年4月,我去看申德裕校友,他说:“2005年底在甘肃敦煌开会修改国标,把‘E₆₀₁型系列’去掉;把‘凡符合本技术标准的新仪器经部级鉴定后均纳入本系列’去掉;增加了自

^① 新疆地理研究所于1998年后更名为中国科学院新疆生态与地理研究所,简称新疆生地所。

动遥测的仪器。”我马上找施雅风院士等专家,他们分别为我写了推荐信。这些信我及时送给申德裕看,他说:“我也给你好好写写。”当天晚上申打电话给我说:“我不能自己否定自己。对不起,不能写了。”

施雅风院士又建议我给刘昌明写信,商榷“零通量面”的理论,于2006年5月1日给刘昌明发挂号信,把发表的文章也寄给了他,但无回音。

2006年7月,我回新疆起草水面蒸发器的相关标准(后来增加到13项标准)。阿克苏站的赵成义站长约我设计蒸发器,并聘我做了一年观测。这一年我写出《阿克苏地区夏季土壤水分垂直向运动》《阿克苏等站的实践经验总结》,阿克苏站新添蒸发器及观测。

2008年,在水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心,找到了陆旭副主任,说明情况,他很支持我,并拿出2003年我给他写的信,说这信(《关于蒸发入渗仪器的推广》)很重要。

2009年4月,经陆云扬主任推荐,水利部南京水利水电自动化研究所聘我一年,期间写了很多文章,绘了很多设计图。

2010年4月,水利部南京水利水电自动化研究所水文事业部邵军总经理(现任副所长)找到我,说:“你年纪大了,在家里帮助写写文章。”又说:“英国方面提出搞一个水面蒸发器的国际标准,2009年5月已开过会,美国方面表示支持。2010年10月16日又要在美国开会。”他把所有中英文材料都给了我,要我好好看一下,然后再作讨论。我起草的方案包括水面蒸发器的国际标准和测量土壤水分蒸发及植物腾发损失量的国际标准。我把写的标准、专利和图纸等都给了他,他信心很足,说要为国争光,并表示在十一长假期间要好好修改一下稿子。但我写的标准最终没有得到认可。2010年11月邵军回国后,在修改国际标准时,得知《GB 21327—2007,水面蒸发器》为英国开会文件之一,我们(还有陆旭、刘巽民等)为此写一稿《中国水面蒸发器的的发展简史与相关技术问题探讨》^[9](见本书附录4.1),但邵军决定弃权。事隔一年多,2012年1月22日,我收到短信:感谢您多年的支持与信任,感恩的心永远铭记,南京所邵军恭祝您及家人龙年吉祥,幸福安康!2013年2月9日又收到同样短信,蛇年大吉。

感谢水利部南京水利水电自动化研究所的蒋兆宏所长、陆云扬副所长、邵军副所长、徐国龙副所长对我在南京工作期间研究工作的支持。感谢水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心的袁普生主任、陆旭副主任对我研究工作的支持。另外还要感谢姚永熙副所长、刘巽民主任和申德裕校友为我提供了那么多资料。感谢施雅风院士对我的支持。感谢小斑、谈燕陵为我打字、制图。最后要特别感谢中国科学院新疆生态与地理研究所对本书出版给予的支持。书中有词语不当或与事实稍有出入的地方请当事人或读者批评指正。

中国科学院新疆生态与地理研究所研究员

王积强

2012年9月

目 录

前 言

1 总论	1
1.1 论科学研究	1
1.2 阿克苏等站的实践经验总结	10
2 水面蒸发器的研究	16
2.1 对几种“理论”的讨论	16
2.2 对水面蒸发器改进的意见	22
2.3 部分改进后的水面蒸发器简介	30
2.4 水面蒸发器的应用	35
3 土壤蒸发和入渗的仪器研究	41
3.1 潜水蒸发器的研发	41
3.2 土壤中“闭塞空气”的胀缩作用	43
3.3 稻田蒸发器	44
3.4 稻田渗漏测定器	45
3.5 测土壤含水量的负压计	48
3.6 自动供水双环入渗仪	49
4 2007 年阿克苏站部分研究成果	53
4.1 2007 年阿克苏站新添的蒸发仪器及其观测	53
4.2 阿克苏地区春季土壤水分垂直向运动	59
附录 1 13 项新标准(推荐稿)摘要	62
1.1 标准蒸发器	62
1.2 美国 A 级蒸发器改进型	64
1.3 20 m ² 蒸发池改进型	65
1.4 自动供排水蒸发皿	66
1.5 雪面蒸发器	68
1.6 稻田蒸发器	69
1.7 稻田渗漏测定器	71

1.8	自动供水土壤蒸发器	72
1.9	土壤蒸发渗透仪	74
1.10	自控水分土壤蒸发器	75
1.11	农作物棵间土面蒸发器	77
1.12	测土壤含水量的负压计	78
1.13	自动供水双环入渗仪	79
附录 2 水面蒸发观测规范(建议稿)		82
附录 3 蒸发器的设计图纸(参考)		112
3.1	E _{601K} 型水面蒸发器	112
3.2	美国 A 级蒸发器改进型	115
3.3	20 m ² 蒸发池改进型	116
3.4	自动供排水蒸发皿	118
3.5	雪面蒸发器	120
3.6	稻田蒸发器	121
3.7	稻田渗漏测定器	122
3.8	稻田蒸渗仪	124
3.9	自动供水土壤蒸发器	125
3.10	土壤蒸发渗透仪	128
3.11	土壤蒸发渗透仪改进型	130
3.12	自控水分土壤蒸发器	131
3.13	农作物棵间土面蒸发器	134
3.14	ГГИ-500-50 型蒸发器改进型	135
3.15	负压计	137
3.16	自动供水双环入渗仪	139
附录 4 近期发表的文章		141
4.1	中国水面蒸发器的发展简史与相关技术问题探讨	141
4.2	水面蒸发器的研发过程与创新	144
4.3	推荐 E ₆₀₁ 型水面蒸发器的检测方法	146
4.4	议连通管自动遥测水面蒸发器的的问题	148
附录 5 王积强所获十七项专利简介		151
5.1	雪面蒸发器(ZL200420008653.6)	151
5.2	自动供水双环入渗仪(ZL200420008646.6)	151
5.3	浅水湖泊、平原水库渗漏测定器(ZL200420042387.9)	151
5.4	稻田蒸发渗漏仪(ZL200420036575.0)	152
5.5	一种水、冰面蒸发器(ZL200420008353.8)	152

5.6	土壤蒸发渗透仪(ZL200420008354.2)	152
5.7	自动供水土壤蒸发器(ZL200520017436.8)	152
5.8	一种测土壤含水量的负压计(ZL200520017530.3)	153
5.9	农作物棵间土面蒸发测定器(ZL200520017535.6)	153
5.10	一种自控水份土壤蒸发器(ZL200520017536.0)	153
5.11	天然湖泊蒸发量的测量方法(200610115865.8)	153
5.12	一种水面蒸发器(ZL200720129453.X)	154
5.13	蒸发池的水面指示器(ZL200820103432.5)	154
5.14	温水滴灌播种棉花的方法(ZL200810072923.2)	154
5.15	一种测量地表温度的方法(200810072961.8)	155
5.16	一种农田中盐碱斑地的改良方法(ZL200710180033.9)	155
5.17	自动供排水蒸发皿(ZL200820103798.2)	155
附录 6	王积强所获十七项专利说明书(影印资料)	156
6.1	雪面蒸发器(ZL200420008653.6)	156
6.2	自动供水双环入渗仪(ZL200420008646.6)	161
6.3	浅水湖泊平原水库渗漏测定器(ZL200420042387.9)	167
6.4	稻田蒸发渗漏仪(ZL200420036575.0)	172
6.5	一种水、冰面蒸发器(ZL200420008353.8)	177
6.6	土壤蒸发渗透仪(ZL200420008354.2)	183
6.7	自动供水土壤蒸发器(ZL200520017436.8)	189
6.8	一种测土壤含水量的负压计(ZL200520017530.3)	195
6.9	农作物棵间土面蒸发测定器(ZL200520017535.6)	200
6.10	一种自控水份土壤蒸发器(ZL200520017536.0)	205
6.11	天然湖泊蒸发量的测量方法(200610115865.8)	211
6.12	一种水面蒸发器(ZL200720129453.X)	218
6.13	蒸发池的水面指示器(ZL200820103432.5)	224
6.14	温水滴灌播种棉花的方法(ZL200810072923.2)	231
6.15	一种测量地表温度的方法(200810072961.8)	234
6.16	一种农田中盐碱斑地的改良方法(ZL200710180033.9)	241
6.17	自动供排水蒸发皿(ZL200820103798.2)	247
附录 7	其他	253
7.1	简历	253
7.2	主要业务成绩(以年代为序)	253
7.3	施雅风院士等专家的推荐信	255
7.4	与北京领导的部分通信	263
	参考文献	269

1 总论

蒸发器的设计、运用属基础研究的范畴,由于基础研究的特殊性,书本上找不到答案,也没有现成的经验可以借鉴,所以实验计划难以做到详细,要靠研究者自己去设计仪器和方法,自己观测并及时总结,这些是基础研究的特点。目前,这方面的人才很缺。

1.1 论科学研究

科学研究的目的是在前人劳动的基础上,找到符合自然规律的新成果,为发展生产和指导科研服务。科学工作是巨大的脑力和体力双重劳动,为使劳而有功,必须解决两个关键问题。一是人不可能有先见之明,都是事后聪明。应鼓励年轻人多参加实践,在平凡的观测工作中善于发现疑点,及时捕捉思想火花一闪念,及时设计新仪器、新方法,在补充实验中,找到新规律。这就要求独立思考,突破旧框框束缚,开拓一个新的天地。二是要解放思想,要勇于与伪科学作斗争。在科研活动的不同阶段(找课题、实验、总结提高)要有自己的见解,在前人科研成果的基础上找寻突破口,创新思路与理论,使科研工作健康发展。

科学,是自然规律的不断揭示。科学研究,是探索自然规律的过程。基础科学研究,是对经常遇到的、带普遍性的难题进行研究。应用研究,是前人对其基本规律已初步摸清,在推广使用过程中的补充研究。

在科学研究中,人与仪器相比,人是第一位的,因为仪器(包括智能仪器)是人创造的。手和脑是科学研究的重要条件,仪器设备是探索自然规律的助手。仪器的性能不佳和使用不当都会使研究成果失去代表性。就像对人不能迷信一样,对先进仪器也不能迷信。因为仪器总有不足,在长期使用过程中发现不足,不断改进或换代。先进是相对的,相对于时代局限,相对于某些性能。

在科学研究中遇到的几个问题,如找课题、做实验、总结提高和主观作用,下面分别述之。

1.1.1 找课题

经济的迅速发展,需要公平竞争,淘劣择优,说到底就是科学水平的竞争。对科研人员来说,如何在公平竞争中胜出,首先要有找课题的本领,课题找对了,就有一半的收获。解决这个难题,与个人的素质有关。通过了解国内外行情,找到阻碍科学发展的难点,就像一条道路的畅通,需遇河架桥,逢山凿洞一样。所谓“学问”就是要学会问,第一要问自己,第二要问老师(包括实验仪器读数),答案不一定一致,可能多数情况下是矛盾的,若要求得正解,关键是做到心中有数(从过去的经验得来),才不会上当受骗。

根据本人的实践,举几个找课题的实例。

(1) 器内水深对蒸发量的影响

1982年笔者在阿克苏站时期,做16和18醇抑制水面蒸发实验,原计划用E₆₀₁型水面蒸发器(以下简称E₆₀₁型)实验,而当时站上没有那么多E₆₀₁型,在一次会议上,我提出用 $\phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 蒸发器和蒸发台秤做实验,与会同志都同意,于是在当地加工了一批 $\phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 白铁皮蒸发器。

按计划 $\phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 蒸发器内水面上放抑制物,在气象场自然蒸发。原来水深都一样,过几天后,发现器内水深有差异,蒸发快的水深小,蒸发慢的水深大。我开始思考一个问题:水深对蒸发是否有影响?为此我立即动手做水深对蒸发影响的补充实验。经过几天的测定,发现水深大的白天日晒水面积大,水温偏高,蒸发偏大;到了晚上,水深大的热容量大,冷却慢,水温偏高,蒸发偏大。即水深大的,白天、晚上蒸发都偏大;水深小的,白天、晚上蒸发都偏小。降暴雨时,水深大的溅出水多,溅入水少,实得雨量偏小,计算得到的蒸发量偏大;水深小的溅出水少,溅入水多,实得雨量偏大,使计算得到的蒸发量偏小或为负值。所以稳定蒸发器内的水深,对蒸发量的可比性至关重要。

根据水深对蒸发量测定的影响,决定改变 $\phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 蒸发器的测定方法:每日傍晚加水至15 cm水深,雨前雨后加测以避免溅水的影响。

用定时加水和及时排水的办法,1983年开始设计E_{601K}型水面蒸发器(以下简称E_{601K}型)和土壤蒸发渗透仪,1984年试验成功。后来用E_{601K}型测定湖面蒸发,用土壤蒸发渗透仪测农田、高山草地和平原树木蒸发获得成功。

(2) 隔热蒸发器的诞生

在做抑制水面蒸发实验时发现:测定每个蒸发筒的水温,蒸发偏小的水面温度偏高,蒸发偏大的水面温度偏低。同时都放在一个环境里,每个筒与外界热交换不同,器内水面就代表不了大面积,于是有了设计隔热蒸发器的想法。1982年6月发现这个问题后,马上给课题负责人吴申燕先生写信反映上述观点,8月7日收到吴先生回信,同意进行隔热蒸发器实验。当天晚上,我向招待所管理员要了一条白色毡子,剪开缝了些外套,套在 $\phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 的外面,从1982年8月8日起在蒸发筒外都包以毡套或扎草绳,使周围空气和筒下水泥板向器内水体补热减小,拉大蒸发量的差距,即蒸发小的更偏小,蒸发大的更偏大。第一天抑制率、最大抑制率、时段起始增温值及增温有效期等均增大或延长了1~2倍^[1]。

现在水利部水文司正在国内推广使用玻璃钢E₆₀₁型水面蒸发器,在不锈蚀方面是一个进步。若能稳定器内水深、稳定蒸发环境和改用具有放大效能的量测装置^[2],则可增加站网蒸发量的可比性。若只是把原铁制E₆₀₁型改为玻璃钢制,仍用水位针观测,则器内水深对蒸发量的影响可增加1~2倍,使蒸发资料的不稳定性增加,这是一个退步,因玻璃钢隔热,与周围环境热交换减小,不能代表当地的小气候,使蒸发资料降低可比性。

(3) 土壤中闭塞空气胀缩作用的发现

从1961年在山东德州站测麦田蒸发实验开始,直到1972年做抑制土面蒸发实验为止,用了11年时间才发现土壤闭塞空气的胀缩作用。首先是问题提出。1961年在山东德州站用自动供水土壤蒸发器测量麦田蒸发,潜水埋深有两个,一个0.3 m,一个0.8 m。4月24日降雨4.1 mm,前者蒸发为0,后者蒸发0.7 mm,为什么阵雨后0.8 m埋深的还有蒸发?某日,在德州站用潜水蒸发器测棉花蒸腾和地下水平流时,发现上午(6~12时)有一个“水

平流”，当时解释不了。

1972 年用土面增温剂做抑制土面蒸发实验时，发现自动供水蒸发器内白天潜水位偏高，超过马利奥特管下端控制的高度，这些水从哪里来的？用 2 000 cc 烧杯做补充实验，发现土温和水位变化一致，透过烧杯观察到一个闭塞空气，才发现原来是土壤孔隙中闭塞空气胀缩作用造成的。藉此 1961 年在德州站发现的现象才得到了合理的解释：阵雨时地温下降，潜水埋深大的闭塞空气收缩总量较大，把潜水吸入包气带中，潜水位下降，引起马利奥特瓶供水；上午 6 时至 12 时地温升高，闭塞空气膨胀，排出较粗毛管水，下渗补充潜水，使潜水位上升，这实际不是水平流，而是垂直流。做蒸发入渗实验时，一些反常规现象都可用闭塞空气的胀缩作用来解释，如稳渗阶段，晚上的渗速大于白天的渗速；水分特征曲线的滞后现象；潜水蒸发系数时间剖面等值线的年内变化等^[1]。这推翻了 20 世纪 90 年代兴起的“零通量面”^[3]理论。

(4) 自选课题的特点

由上面 3 个例子可以说明，自选课题必须在实验过程中发现，通过补充实验得出结论，使实验继续进行下去。用新发现的理论解释自然现象或设计新仪器，为开辟新课题做物质准备。像上述课题，在书本上是找不到的，不接触实践的科研人员也不会发现。业务素质差（知识和经验缺乏）或怕困难的科研人员，也可能对科研中发生的问题（测定结果与预想不符）熟视无睹。更有甚者“打马虎眼”，伪造资料，欺骗他人。试想，连小问题都解决不了的科研人员，又怎能在大课题中解决大难题呢？

对基础研究来说，课题只有难易，无大小之分。攻关课题，是因为在科研道路上有个障碍，只有克服它，其他研究才能顺利进行。如同一部机器只因某个零件不过关，造成整部机器不运转。再如鞋底里藏了一颗钉子，不能走路，只有发现钉子，拔掉它，才能继续前进，这个钉子就是难点，就是我们要攻克的课题。

所谓大课题，其中的难点不一定多，或者大部分难点前人已经解决，道路已经疏通。对基础研究的人员来说，由于精力和时间有限，要能够在科研中找到难点，并不遗余力地应战，不要在别人走过的路上过多地消磨时间。

有些人喜欢验证外国的理论和公式，但千万不要生搬硬套，一切要经过自己的思考，才能决定取舍。找课题要经验，也要聪明。基础研究的道路是前人未走过的，只有冲破旧框框束缚，设计新仪器，寻找新方法，才能发现新课题。历史上一些重大发现，都是由外行完成的。只会看书，不会动手的人，或只会指挥别人干，而自己不干的人，在基础研究领域里，不会有重大发现，因为他脱离了实践，找不到好的课题。

1.1.2 做实验

科学实验是找课题的深入和继续，包括制定实验方案、观测、写报告和绘图。观测中及时整理资料，发现问题及时修改实验方案和做补充实验，写报告和绘图也是为修改实验方案服务的。这三者是互相补充和同时进行的。

1.1.2.1 制定实验方案

带着选定的课题，到图书馆看书、查资料，到现场调查，根据实际情况（人力、物力和财力）设计和购买测试仪器。常规观测仪器（如温、湿、风等）主要靠购买，非常规测试仪器必须自己设计，这一步办不到就不可能超过前人，在公平竞争中也不可能压倒群雄。

实验方案只是一个初步设想,既要测到自然状态的数据,又要避开环境条件的干扰,这里就提出一个代表性和可比性问题。方案实施后,必须做到:这样测定的结果,别人用同样的仪器方法也可以测出来,即可再现或可复制。在一个点上测到的结果,还要拿到面上去验证,使所得结论经得起时间的考验。举例说明。

1972—1973 年在北京市北郊做土面增温剂抑制蒸发实验,抑制效果主要由两个指标来概括,一个是增温值 ΔT

$$\Delta T = T_0 - T_1 \quad (\text{公式 1-1})$$

式中: T_0 ——施剂地温度($^{\circ}\text{C}$);

T_1 ——对照地温度($^{\circ}\text{C}$)。

一个是蒸发差比率 μ

$$\mu = \{(B_1 + E_1) - (B_2 + E_2)\} / (B_1 + E_1) = \frac{(B_1 + E_1) - (B_2 + E_2)}{(B_1 + E_1)} \quad (\text{公式 1-2})$$

式中: E_1 ——对照地植物蒸腾量(mm);

E_2 ——施剂地植物蒸腾量(mm);

B_1 ——对照地棵间土面蒸发量(mm);

B_2 ——施剂地棵间土面蒸发量(mm)。

首先要分析,影响这两个指标的因素有哪些? 经过观察实验确定 5 个因素:剂膜好坏、土壤湿度、土壤物理性质、气象条件和作物郁闭度。只有固定一些因素(已知条件),才能突出增温剂膜的作用,办法是:

- (1) 剂膜的好坏——用统一配方,同一稀释倍数;
- (2) 土壤物理条件和气象条件——仪器安装在两个相邻地块,一个施剂,一个对照;
- (3) 土壤湿度——用两个同样尺寸的自动供水土壤蒸发器;
- (4) 增温剂质量和作物郁闭度——用“蒸发差比率”来概括(详见 1.1.2.2(2))。

通过上面的分析,要搞好此项实验,必须先设计自动供水土壤蒸发器。1960 年,在方正先生指导下,笔者设计的自动供水土壤蒸发器,因缺少自动溢流设备,雨后、灌后土壤含水量偏大。1972 年重新制做时,增加了溢流筒。但量水筒放在地面上,受日光周期照射,筒内温度也有周期变化,它像一个大的闭塞空气,影响蒸发器内潜水位变化,后在量水筒外包以隔热层,筒内气温变幅减小,仪器性能得以改进。

主要测试设备研制成功后,再确定其他观测项目,并设计和购置相应的仪器。

1.1.2.2 观测

观测过程是实验方案不断修改的过程,不断发现新问题,不断做出新结论的过程。科研人员在思想上丝毫不能松懈,才有成功的希望,其间应自觉地排除一切干扰,相信实验仪器是唯一的老师,它会告诉您该怎么办。失败并不是坏事,多一点失败就多一点经验,多一点成功的希望。关键在于不断地思考,不断地改进实验。还举抑制土面蒸发实验的例子。

- (1) 自动供水土壤蒸发器存在的问题

在实验过程中,发现自动供水土壤蒸发器性能方面存在问题,并找出了对策,如量水筒

水位管中水位与筒内水位不一致,但有个变化周期;每次供水量与器内水位有关。做相应实验,根据测试结果决定:为了测准日蒸发量,必须每日定时观测,可减小观测误差;勤加水,保持水筒内高水位,可提高观测精度^[1]。

(2) “蒸发差比率”的提出

土面增温剂抑制的是土面蒸发,其抑制率(γ)用下式表示:

$$\gamma = (B_1 - B_2)/B_1 \quad (\text{公式 1-3})$$

植物蒸腾并未抑制,试验地小苗出土早,且苗齐苗壮;而对照地小苗出土晚,且苗不齐苗不壮。这时的土面抑制率(γ)用下式计算:

$$\gamma = (E_2 - E_1)/B_1 + \mu(B_1 + E_1)/B_1 \quad (\text{公式 1-4})$$

式中: E_1 ——对照地植物蒸腾(mm);

E_2 ——施剂地植物蒸腾(mm);

B_1 ——对照地土面蒸发(mm);

μ ——蒸发差比率(%)。

(3) 增温剂毒性试验计划

1973年早春在进行育苗试验时发现,施剂地早期苗齐苗壮,待出土几天至几十天后变黄。对各种作物(大蒜、水稻、小白菜、韭菜等)试验,都得出后期小苗变黄的结论。尤其是黑芸豆表现更为明显,育苗移栽后(未再施剂)长不高且发黄,只比对照早结果7天,但总产未有对照高。当时在北京市北郊917大楼前试验,中国科学院遗传与发育生物研究所(简称遗传所)和中国科学院地理科学与资源研究所(简称地理所)化学地理室同志观看后都异口同声地说:有机物对土壤环境的污染太严重。为了对子孙后代负责,我在1973年5月13日上午写下了《增温剂毒性试验计划》,当时地理所领导很支持,并说:“就在自己地里试验,不要去坑害农民!”

(4) 对照地存在条件试验

通过自动供水土壤蒸发器内外增温值过程线分析,灌水后3日内器外过程线与器内过程线变化趋势大致相同;从第4日起器外增温显著偏小,第5日上午出现负增温,这时“对照”已不存在^[1],因为负增温是对照地干土层与施剂地增温剂膜共同作用的结果。

(5) 发现退温曲线定时法

受云层的影响,太阳对地面的辐射热量变化是不均匀的,使地温断续升高;而晚上在无强寒流影响下,地温降低的趋势是均匀的。在退温曲线上,找出与日平均地温相对应的时间,这个时间随深度延后且误差加大,对地表温度计算较准确。该法在不同季节、不同地区已验证过。例如,大型蒸发池的日平均水面温度可用两点定时法测算,在阿克苏站试验为8时和18时30分^[1]。

1.1.2.3 设计仪器

面对实验仪器和测试数据,要及时找出变化规律,笔者一般是先写在过程线上或其他的纸上。经过不断地思考,有时晚上爬起来,打开灯写一段或绘个图,这一点一滴地思考积累再经过加工就有可能形成一篇报告。在试验高峰期,每天可写1~2篇,确保报告与实验同步。下面举几个实例。

(1) 负压计的设计

1960年我刚走上工作岗位,参与筹建山东德州站,在方正三先生指导下设计负压计。方先生给了我一墨水瓶水银,一个细菌过滤管。曾有同志用这些东西做负压计未成功,我吸取他人的经验教训,经过几天实验,夜晚想起水力学实验中用U型管测压。第二天一早就跑到化学所要来几根玻璃毛细管,在酒精灯上弯成U型,经过细心安装,结果成功了。

(2) 自动供水土壤蒸发器的设计

在筹建山东德州站时,方先生还把他过去做的自动供水土壤蒸发器的一个草图交给我,该草图的主要结构是从蒸发器(像个浅盘子)下部侧面引出一管,与一个上面开口的水容器相连,水容器上固定一根马利奥特管,管上接一个口朝下密封的大瓶子,瓶中水通过马利奥特管向水容器供水,然后再水平向流入蒸发器。

经过分析,认为:这种结构的自动供水土壤蒸发器不适用于野外工作,一是蒸发器太矮,器内作物长不好;二是蒸发器旁的水容器上方开口,容易落入灰土,且有水面蒸发。也是经过一整夜的思考,想方案,像演电影一样,一幕一幕推进,最后决定把马利奥特管下端封装在一个小容器内,马利奥特管只负责进气,供水靠另外一根供水管。这个小容器,当时叫“加水器”。这样可把“加水器”埋在土内,蒸发器也可加深,满足作物生长的条件。

在方先生的支持下,笔者设计的自动供水土壤蒸发器加工了一批,一部分安装在山东德州站。因量水筒焊接不好,经常漏气,筒内的水就流到蒸发器内,经常需要抢修。抢修的办法是:首先检查量水筒漏的地方,堵好,再把蒸发器内多余的水抽出,当时(1961年)没有抽气机,只好用一条橡皮管,一头接到加水器的通气管上,一头含在嘴里吸,吸满一口吐出来再吸。棕皮泡过的水又黑又臭,为了抢救仪器,也顾不了这样多。1972年增加了溢流筒,这个问题也得到了解决。

(3) 同心双环入渗仪的设计

1964年根据自动供水原理,设计了自动供水双环入渗仪。1965年在山东德州专区考察时使用,因每次供水量较大,规定在开始供水时读水位数,为等待供水,花去不少时间和精力。1974年在阿荣旗六间房坝址实验时,因黑粘土渗速太小,几个小时才供一次水,中午饭都吃不上,考虑是否也把马利奥特管封起来,让水位在小容器内变化,减小每次进气量,则每次供水量减小,供水次数(频次)必然加多,测定精度就可提高。经队长同意,马上到城里找铁工厂加工了两套加水器,安装在两个环上,确实凑效,观测精度提高了,在小叶章(甸子地上长的草)生长矮小的地方,渗速为5~7 mm/d的情况下,其日内变化过程都可以测出来。

(4) 旱田灌溉制度的计算

在计划层加深后,要增加一个蓄水量,过去都用春季解冻时的资料计算,这个蓄水量肯定偏大,笔者想用当时的土壤含水量计算,计算公式为:

$$\Delta W - (b_{i+1} - b_i) = [(a_{i+1} - b_{i+1}) - (a_i - b_i)](w_i - b_i) / (a_i - b_i) \quad (\text{公式 1-5})$$

式中: ΔW ——计划层由 i 变到 $i+1$ 时,增加的蓄水量(mm);

W_i ——计划层变动前土壤蓄水量(mm);

a ——土壤蓄水量上限(mm);

b ——土壤蓄水量下限(mm)。

上述公式列表计算,得出满意的结果。

(5) 土壤环境对蒸发量的影响

1982年在阿克苏站做水草蒸发实验,用隔热蒸发器测定,白天的增温值为正,晚上的为负;把水草移入铁制埋地式 E_{601K} 型水面蒸发器测定,白天的正增温还存在,晚上负增温就不存在了,且为零。当时不理解,认为观测错了,再仔细观察若干天,晚上增温值还是零。经过反复思考,才恍然大悟:原来铁的导热率是水的100多倍,晚上仪器周围土壤的热量可以传入器内,使试验与对照两器内温度一样(即增温值为零)。此时才认识到土壤环境对蒸发量的影响,铁皮只能隔断水分,隔不断热量的传递。

1.1.3 总结提高

课题设计和实验,包括实验报告和草图,都是感性认识,是一切理论产生的基础,但毕竟是粗糙的,还缺乏系统性和条理性,有时还存在鱼目混珠,还要再精炼,再提高,才能找到符合自然的规律性。

总结提高的方法有三个:一个是看书,带着问题找书、看书,参考前人的经验,与自己的实验比较,看有哪些发展。但书本上的不一定就对,还要结合自己的实验和思考加以判定,最后确定自己在这个学科领域中有哪些发展。第二个方法是写文章投稿,经过编辑请专家审稿,指出文章的不足。由于历史的局限性,有些专家提的也不一定对,只做参考,千万不能轻易地放弃自己的观点,改投层次低的杂志,新观点不易被专家们接受,只要发表了就是胜利。第三个方法是与同行专家进行学术交流,这个办法很好,能活跃思维,对野外的实验资料迅速消化,理出头绪。下面分别简述自己的一些经历。

1.1.3.1 看书

1979—1981年笔者在图书馆工作,白天编目、打卡、放卡、整架等,晚上、早上和节假日是自己支配的时间,期间阅读了大量文献,对野外简单的、粗糙的,但是生动的实验报告和图纸进行深加工,从中又发现若干新课题、新规律,写了几十万字的总结。前人的经验基本摸清,这为本人在1988年写专著打下了坚实的文献基础。

1.1.3.2 写文章投稿

在对实验报告深加工的过程中,认为有些观点已经成熟,就可以向杂志社投稿。工科学生语文水平不高,这对发表文章是一个难点,不要怕丢人,要知难而上,大胆投稿。有些编辑很热心,告诉怎样修改,怎样绘图表。根据编辑的意见重新写稿投稿,很快达到了发表的水平。有的编辑让修改内容,删掉观点,也只好忍痛割爱,如某杂志让删掉闭塞空气一段,笔者只好从命,但把这个观点改投其他刊物,在《潜科学》杂志上发表了^[33]。

笔者从1982年开始发表论文,发现摸清写论文的规律是件很不容易的事,只有苦练才会有收获,单单看书对一位科学家来说是不成的,必须会写才行。

1.1.3.3 与同行专家讨论

与同行专家进行讨论,是提高科研能力最快的办法,参加学术会议,大胆拿出自己的观点,不怕同行耻笑,争取大会发言。

平时多注意专业杂志,看到与自己观点不同的文章,主动与作者交流。如,最近关于“零通量面”的讨论,使我对这个问题有了深入的认识,并找出“零通量面”理论错误的原因。与同行专家讨论是论述自己观点的大好时机,在讨论中,也拓展了其他学问。如土壤水分运行规律,笔者过去认为土壤中主要是重力水和毛管水,现在看来气态水的运行和转化在冬季的