



中国科学院
禹城综合试验站年报

1988—1990

气象出版社

中国科学院
禹城综合试验站年报

1988—1990

科学出版社

00797

内 容 简 介

本年报重点记述了中国科学院禹城综合试验站自开放以来研究及试验工作的进展,同时,也简要介绍了学术交流、国际合作、人才培养和开放课题管理条例及申请指南。

年报分三个部分全面介绍了试验站的基本情况。第一部分介绍了禹城站近年来的工作,然后分别记述了近3年来禹城站开放课题的8篇代表性研究成果、国家“七五”攻关研究工作的进展与部分成果、国家自然科学基金课题的研究成果和部分生态系统的过程和机理、生产潜力和土地承载力的系统网络研究中的研究成果。第二部分全文登载了中国科学院禹城综合试验站开放申请书以及有关开放课题的管理条例和申请指南。第三部分刊载了近2年发表的主要著作和论文目录,并报导了试验研究工作的简讯。

年报适于从事农业生态、气象、自然地理、植物水分生理、土壤专业的研究技术人员和高等院校师生及科技管理工作参考。

中国科学院 禹城综合试验站年报 1988—1990

胡朝炳 丘 山 编

责任编辑 潘根娣

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

新时代出版社印刷厂印刷

气象出版社发行

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:418千字 印数:1000

ISBN 7-5029-0760-2/Z·0038

定价:14.00元



李鹏总理等视察中国科学院禹城综合试验站时观看水面蒸发试验场



周光召院长视察中国科学院禹城综合试验站时观看试验农田

治碱、治沙、治涝，
为为层农业生产做出
新贡献！

李鸣

1988.6.18

向奋斗在农业战线上的
中科院的同志们致敬

周光召

6.16.

序 言

中国科学院禹城综合试验站从建站伊始,就以农田水分循环和水分平衡作为较长时期的研究方向。这个研究方向的选择与确定,有着两个方面的原因。首先是由于水是农业生态系统中最活跃的因素,大气降水、地表水、土壤水、植物水和地下水在这个系统中进行着相互联系与相互转换,而各种水分的运动速度和强度,又随着时间的不同和农田本身内外环境条件的改变而变化。土壤中养分和盐分等固体物质的迁移,水是最重要的载体,它也随着水分循环而移动。作物的光合作用与生长发育以及产量形成过程,水是不可缺少的物质。众所周知,能量是水分运动的根本动力,而水分运动本身也伴随着能量的传输、消耗与转换。因此,农田水分循环过程的阐明,必需研究能量的收支与转换,以及发生各类过程的条件,以便从能量的角度来探讨水循环和水平衡的机制。综上所述,农田水分循环和水分平衡的研究实质上是地理环境中物质能量迁移转化研究的一个重要领域,因而也是地理学理论研究的一个阵地。另一个原因是水循环与水平衡的研究有助于改善农田生态系统,合理利用农业水资源。华北平原自然条件的特点,一是水资源短缺,它制约着平原内农业生产潜力的充分发挥;二是洪涝旱仍然存在,旱涝交替发生;三是大部分盐碱土只是表层脱盐,它有可能随地下水位的回升使盐分重新聚积地表。所有这些问题的关键在于调节和改善水的运动状态,人为加速或减缓水分循环的速度和强度,或改变原来的水量平衡状况。

在农田水分循环和水量平衡的研究中,禹城综合试验站重点进行了农田蒸发的研究,这是由于蒸发是水分循环过程中的重要环节,也是水量平衡的重要组成部分,同时它与灌溉制度、灌溉方式的确定以及节水型农业和旱作农业的研究等都有着极为密切的关系。在这项研究中,禹城站以实验为基础探讨了农田蒸发的测定方法,也建立了一些模式,以揭示农田蒸发现律。这方面的成果集中反映在《农田水分与能量试验研究》、《农田蒸发研究》和《农田蒸发——测定与计算》等文集中。我们相信这些文集的出版将有力地推动我国蒸发研究工作深入开展。本年报发表了“大型多功能蒸渗仪的研制”一文,它标志着我国蒸渗仪的设计和测量精度达到了较高水平。

作物耗水特性、耗水量和水的利用效率的实验研究以及土壤包气带水分运动的研究一贯受到禹城站的重视和支持,它的实验数据无疑将为农业合理用水提供重要科学依据。

禹城综合试验站围绕水循环研究设置了一些开放课题,还开展了生态系统网络中光能与水热传输的研究。在国家“七五”科技攻关任务中,完成了《河间浅平洼地综合治理配套技术研究》以及“重盐化咸水洼地综合治理研究”。这些研究在改造自然的实践中都达到了较高的水平,并丰富了水循环和水平衡的理论研究,这些研究成果在本年报中都得到了适当的表述。

左大康

目 录

李鹏总理、周光召院长题词

序言 左大康

研究工作及论文、报告

禹城站近年来科研工作综述及今后主要设想 胡朝炳(1)

中国科学院禹城综合试验站开放课题

- 小麦对水的利用效率的实验研究——单叶与群体测定结果的对比分析
..... 王天铎、马立望、贺东祥(4)
- 不同耕作措施对降雨入渗的影响 王 千、曾德超(14)
- 作物冠层的二向性反射数据对热点效应的检验方法的研究
..... 朱启疆、刘来福、范绍华、张仁华、覃文汉、刘 毅、李小文(24)
- 积水冲洗和浅群井抽咸条件下水盐运动规律研究
..... 戚隆溪、邱克俭、秦 宁、逢春浩、李运生、张兴权(35)
- 农田生态系统水热循环数值模拟 姚德良、沈卫明、李家春(45)
- 大型多功能蒸渗仪的研制 周延辉、李宝庆、赵家义(55)
- 中子土壤水分仪的研制与试验 逢春浩(63)
- 农作物光谱的逼近函数 张仁华(73)

国家“七五”攻关课题

- 《河间浅平洼地综合治理配套技术研究》总体方案设计 程维新(77)
- 《河间浅平洼地综合治理配套技术研究》总结 中国科学院禹城试区课题组(83)
- 重盐化咸水洼地综合治理研究
..... 张兴权、程维新、逢春浩、欧阳竹、李运生、王吉顺、刘恩民(91)
- 作物耗水特性与农业节水 程维新(102)
- 春玉米耗水量试验研究 赵家义、程维新、谢贤群、张兴权、欧阳竹(110)
- 不同植被条件下的土壤水分动态研究 丘 山、程维新(118)
- 禹城站四水转换试验研究概要 李宝庆、赵家义(127)
- 实验遥感的研究进展 张仁华(139)

国家自然科学基金课题

- 中国农田蒸发研究概况与进展 谢贤群(150)
- 禹城站水面蒸发研究进展 洪嘉琰(161)
- 禹城节水农业综合研究的进展 吴 凯(165)
- 模拟陆地卫星 TM 波段资料计算多种作物净辐射通量的试验 张仁华(167)
- 利用作物冠层表面温度的空间变率推算作物的供水状况 张仁华(174)

生态系统网络研究

高精度微气象观测系统和热线脉动风速仪的研制及野外现场试验研究	孙晓敏、陈发祖、周树秀(180)
区域土壤湿度的热红外遥感及动态预报.....	张仁华(194)
冬小麦生育期间光合有效辐射能的测量及经验关系分析.....	谢贤群(198)
土壤—植被—大气系统中水热传输模拟研究.....	张士锋(208)

开放站有关文件汇编

中国科学院禹城综合试验站开放申请书.....	(214)
中国科学院地理研究所学术委员会意见.....	(222)
关于批准五个野外观测试验站对外开放的通知.....	(223)
中国科学院禹城综合试验站开放课题管理条例.....	(224)
中国科学院禹城综合试验站课题申请指南.....	(227)
中国科学院禹城综合试验站申请书填写内容.....	(229)
中国科学院禹城综合试验站课题申请表.....	(230)
公开发表的主要学术论文目录.....	(235)
禹城站 1990 年参加“全院自制野外观测仪器展评会”情况简介	杜懋林(240)
后记.....	(245)

禹城站近年来科研工作综述 及今后主要设想

胡朝炳

(中国科学院禹城综合试验站)

禹城综合试验站从1979年开始筹建,1983年经中国科学院批准成立。1987年经过论证,1988年由院列为首批开放试验站之一。事实证明,它的建立适应并推动了科学实验和当地农业生产的发展。

黄淮海平原在农业生产上具有巨大潜力,对于解决我国粮、棉等农产品有举足轻重的作用。但是,多年来这一地区遭受旱、涝、碱、风沙等自然灾害的威胁,作物产量低而不稳。归根结底,上述几种自然灾害的核心是一个“水”字。基于这一点,禹城站从建站之初便确立了明确的研究方向和应用目标。

禹城站的研究方向为水平衡水循环,研究农业生态系统中土壤—作物—大气体系的水分交换及其在实践上的作用和理论上的意义。在水平衡研究方面,从水平衡的收入和支出的各要素的测定入手,重点探讨水分收支问题,同时涉及水分收支对养分、盐分平衡影响的研究;在水循环研究方面,从客观存在的实际水体——大气水、植物水、土壤水、地表水和地下水的特性着手,研究它们之间的相互转换,建立水循环过程的模型。其目的是为黄淮海平原旱涝碱的成因分析和综合治理提供基本依据,同时为农田水分研究提供基本方法和理论。

按照上述建站宗旨,试验站自始至终坚持一点,即积极创造条件,承担国家和院重点科研项目。先后承担了“六五”攻关项目“禹城综合开发治理技术体系”研究。“七五”期间承担了“河间浅平洼地综合治理与综合开发配套技术研究”。这项综合治理技术体系和示范实验,多次受到国家、省和地方的表扬和奖励,李鹏总理、陈俊生国务委员、周光召院长等1988年6月还亲自到试验区 and 禹城站视察并题了词,充分肯定了禹城站的成绩和经验。1990年,这项成果通过了国家验收,经专家组鉴定,认为具有国际先进水平。除此之外,还完成了“华北地区地表水、地下水相互转化关系研究”,“华北地区水资源开发利用对环境的影响研究”等项国家科技攻关项目。

为鼓励禹城站做出贡献的科技人员,国务院于1988年表彰了本站的六位科学家,其中1人获一等奖,其它5人获二等奖。同年,本站有16位科技人员受山东省表彰并获一等奖。1988年11月中国科学院又表彰本站2人为优秀科技人员并获一等奖,另外有2人获二等奖。

上述工作有许多是属于应用研究和开发工作,之所以能取得丰硕成果,有赖于在禹城站长期基础研究的储备和积累工作。近年来,申请获准有五项国家自然科学基金课题在试验站进行工作,如《农田蒸发测定方法和蒸发规律研究》集中了地理所从事这一研究领域的高级人才并动用了站内最精良的设备,同时用八种方法进行三年联合观测,取得了令人满意的高水平成果。

从1989年开始,在中国科学院重大项目《生态系统网络功能结构及示范研究》,本站是2

个二级课题和 8 个三级课题的负责单位,如进行了“主要类型生态系统水分状况及动态监测的网络观测的设计和筹建”,开展了“植物水分利用效率,需水量和耗水量估算模式及植物水分关系的机理和实验研究以及管理耕作措施和土壤肥力养分与植物水分利用关系和影响”,“区域土壤和植物水分状况动态监测的遥感技术和方法”,“不同灌溉的节水效益和节水灌溉的自控系统研究”等。

三年来,站学术委员会共批准了 38 项开放课题,其中约占 2/3 的课题由 20 名客座人员承担,他们主要来自本院的上海植物生理所、力学所、沙漠所、南京地理与湖泊所、遗传所、遥感所以及院外的北京大学、清华大学、北京师范大学、北京农业大学、河海大学等。此外,地理所五个研究室的业务骨干约 20 人也作为客座人员参加站内的试验工作,他们充分利用了本站良好的设备和仪器,进行着独具特色的试验研究工作,并已取得一批高质量成果。

禹城站承担的“重盐碱地综合治理与开发技术研究”课题,1989 年在北丘注重盐碱地上采用强排强灌的技术措施,使多年寸草不生的不毛之地得到了有效治理,当年种植作物即获得好收成,这对于应用和开发工作来说已算取得突破性成果。但从长远来讲,需要保持应用和开发工作的后劲,这就必须对水盐的动态迁移过程及其内在规律作深入研究。为此,商请力学所的科研人员来站合作,应用流体力学的业务专长和该所的实验、设备条件,协作进行“重盐碱地强排强灌技术的水盐动态规律与数值模拟模型”研究,大大有利于提高试验工作的深度。上海植物生理所过去就曾就“植物蒸腾速率”课题进行一系列的数学模型研究,但由于缺乏标准的检验手段与设备,使之在确定模型中的有关参数遇到很大困难,而禹城站备有全国仅有的一台高精度大型蒸渗仪,王天铎教授亲自率 3 名博士研究生多次来站进行试验研究,经过二年的观测试验,得到了较理想的结果。

本站试验研究课题的来源比较广泛,除上述国家科技攻关项目、国家自然科学基金课题、中国科学院重大项目,还承担了一些院重点项目和横向研究课题。

鉴于禹城站实验研究工作的综合性强这一特点,更加需要进行学科渗透和广泛的合作与交流。这种渗透和合作在正式批准为院开放站之前便已开始,只不过在实行正式开放措施以后,这种学科的渗透和广泛的合作更具有计划性罢了。该站的一台国内仅有的 10 吨级大型原状土蒸渗仪就是在澳大利亚专家帮助下,由禹城站自行制造和安装的。1990 年还研制成功一台表面积为 3m²,深度为 5m,重达 30 多吨的称重式大型蒸发渗漏仪,达到了国际先进水平,这台蒸渗仪的研制和安装成功也是得益于前一台的结果。

近年来,试验站与国外科学家进行了相当广泛的学术交流与合作。从建站开始的 1980 年至 1990 年共接待了来自 20 多个国家的 108 批共 298 位科学家到站参观访问和考察,他们对本站的精良的仪器设备,优越的试验研究条件和大量的研究成果均表示赞赏,一些著名科学家主动提出愿意同本站进行合作研究。

1988 年 6 月在苏联科学院地理所库尔斯克试验站举行了有关地气交互作用学术讨论和联合试验,同年 12 月苏联科学家同禹城站在北京和禹城举行三天双边学术讨论。1989 年 9 月禹城站同日本东京、筑波等 5 所大学 6 位学者在禹城举行双边有关土壤盐碱化学术讨论和今后三年合作议项。此外还同美国康纳尔大学、联合国国际开发总署国际粮食政策研究所在“华北平原灌溉水资源管理”方面合作,与洪堡特州立大学在“禹城试验区地表水与地下水联合利用”方面合作,与澳大利亚科工组织大气物理部科学家合作,并于 1990 年在澳大利亚进行了中澳双方联合试验观测。

禹城站作为开放试验站的前后几年间,在人才培养方面有很大起色,1986年以后,该站接受了3名博士后来站工作,培养和指导了博士生6名、硕士生10多人。试验站的一些固定编制人员和客座研究人员直接担任导师,试验站为他们提供了各种试验仪器和必要的生活条件,使他们做出了较高水平的研究成果。

近几年中,站的研究成果获得国家和部委级奖励的共7项,出版专著6本,在国际高水平学术刊物和国际会议发表学术论文18篇,在国内核心学术刊物如中国科学院科学通报及各学报发表论文30篇,在国内一般性刊物和会议上发表近100篇,此外,还出版了禹城站遥感观测数据集。在基础研究方面比较突出的如张仁华发展的F作物缺水指标可以估算有作物覆盖下的土壤水分和作物长势,其方法优于国外杰克逊和IDSO方法,另外,他还建立了用热惯量计算裸地土壤水分的遥感模式以及利用光谱和热红外两种信息的复合估产模式;陈镜明建立的植物剩余阻抗的蒸发模式,解决了国外普遍采用的卢森堡—布朗公式系统偏高的问题;李宝庆等发展了土壤水分零通量面计算蒸发的新方法;谢贤群利用禹城站的试验数据对蒙梯斯蒸发公式中稳定度函数作了修正,改进后的模式更接近实际;陈发祖对高粗糙度植物冠层与大气间的湍流输送的理论实验研究,证明了所谓的普遍通量——剖面关系的局限性,并从湍流尺度探讨了其物理机制,在上述研究领域内,本站的工作成果都已达到较高水平。

鉴于我国人口迅速增长对食物需求的压力日趋严重以及由于人口增长、人类生产活动造成的资源和环境恶化所带来的威胁,我站的研究工作的内容和方向必将进一步进行调整和充实,除了继续进行农业生态系统中土壤—植物—大气体系的水平衡水循环研究外,今后的研究将更加全面和综合,逐步开展农业生态系统结构功能及优化模式研究示范,以便发展黄淮海平原地区开发治理中与大农业持续发展、生态系统管理以及生态环境发展预测和治理保护等有关理论和实践,其目标是要寻求研究和解决黄淮海平原地区农业生态系统中带有全局性的问题和解决问题的途径和方法。

小麦对水的利用效率的实验研究 ——单叶与群体测定结果的对比分析*

王天铎 马立望 贺东祥**

(中国科学院上海植物生理研究所)

一、引言

因为黄淮海平原的蒸发需求(或称蒸发热)大大高于降水量,所以对于分析该地区的生产潜力,计算水的利用效率(WUE)比计算光能利用率更有意义。而水的利用效率可以分三个层次来考虑,即光合器官进行光合作用时的水的利用效率,即光合/蒸腾之比;整个群体的水的利用效率,和以籽实产量计算的水的利用效率。为叙述方便,可以分别简称为叶片水平、群体水平和产量水平。其中叶片水平的水的利用效率是计算的基础。

因为各种因素对光合速率和蒸腾速率的影响不同,不可能提出一个普遍适用于各种不同情况的水的利用效率的数值。要详细计算,只能运用模拟光合和蒸腾的数学模型。模型的详简可以有很大的伸缩。为与实测数据核对,我们于1989年在禹城综合试验站,对蒸散计上种植的小麦的光合和蒸腾速率以及气孔导度,作了一系列测定,将所得数据做了一些计算,并与蒸散计所测的蒸散(或称腾发)做了核对。现将所得结果报告于下。测定分别在抽穗前的4月29日、30日和5月1日,以及灌浆期的5月23—25日。因受篇幅限制,每类型的图只选用两天的数据以显示一般情况。但各天之间有一些差异。

二、测定方法与计算方法

叶片光合与蒸腾速率的测定使用英国ADC公司的叶室分析仪。它实际测定的是水蒸气和CO₂的浓度,空气的温度和光合有效辐射等四类数据。通过该仪器所附的微型计算机计算出光合和蒸散速率、叶片温度、气孔导度和气孔内腔中CO₂的浓度。测定用的植株是在中国科学院禹城综合试验站蒸散计上种植的小麦。

群体的蒸散速率由地理所提供。蒸散计面积为3m²。自6:00至18:00(东经120度实际时间),每2小时有一次测定数据。

大气温度与风速由地理所提供。有0.5m,1.0m,2.0m等三个高度。自干湿球温度可以计算出相对和绝对湿度。

* 本工作为中国科学院禹城综合试验站基金项目,计算机程序设计得到中国科学院重点科技项目经费资助。

** 光合速率对PAR的直角双曲线方程的拟合程序为陈德兴拟定。

为与蒸散计的结果相对照,光合与蒸腾的测定集中于偶数时的前后约 15 分钟之内。时间即记为该偶数时的整数时,当显示每偶数时的统计量时,忽略最多半个小时的时差的影响。

各种实验数据写成标准格式,储于计算机软盘。由 EXPDATA.BAS 读出,并进行统计,求出各时刻和各叶的平均值。然后由 ET PLOT.BAS 将各项统计量绘成日变化图,由 PS PLOT.BAS 绘成各因素之间的相关图。光合速率对 PAR 关系的直角双曲线拟合用 PIFIT.BAS。

三、测定结果的统计和分析。

测定在 4 月 29 日、30 日,5 月 1 日、23 日、24 日、25 日等 6 天进行,所得数据就以下几方面做了分析。

1. 光合速率的日变化

图 1 为各时刻、各叶位叶片的光合速率。可以到,自上数第一叶(旗叶)光合速率最高,向下以次递降。虽然光合速率的测定都在原位进行,以求尽量反映田间实际情况,但因所用叶室偏大,测定时待测叶片与茎鞘或相邻株的叶片、茎鞘之间的距离常略大于在群体内的实际平均距离,叶片平面与铅直线的夹角(倾角)也有时略大于自然情况下的数值,因而受光强度往往略大于群体内的实际平均受光强度。

造成各实测点分散的原因,有各叶光合能力的随机差异,也有由于叶子受光强度不等产生的影响。特别是第二叶和第三叶受上面的叶片的遮挡,受光显著低于第一叶。为区别光强的影响和叶片本身光合能力上的差异,须分析以光合速率与光强的关系。

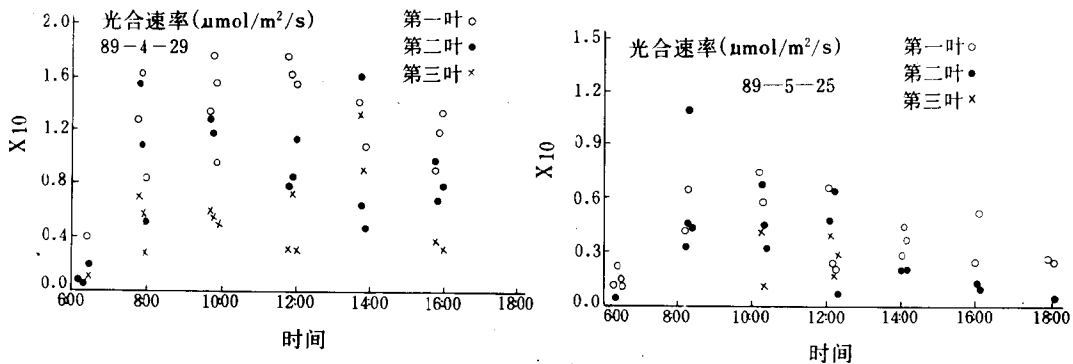


图 1 单叶光合速率的日变化

2. 光合速率与光强的关系

将光合速率对光合有效辐射(PAR)作图,得图 2。其中虽然光合速率与 PAR 的线性相关在多数情况下是显著的,但已知二者之间的关系不是线性的,求线性相关很不合理。按常用的直角双曲线来拟合,经统计处理结果,如对各叶分别处理,则常发生迭代不收敛的情况。鉴于以线性回归计算时,自上数起一二叶的位置接近,将这两个叶片合并起来计算,得出拟合曲线如图 3。散点的分散程度相当高,部分地是由于气孔导度在一天中早晨随日出而上升,达最高点后,逐渐下降(见图 4)。

以光合速率对气孔导度作图(图 5),在多数情况下表现出明显的相关,但相关系数不高。

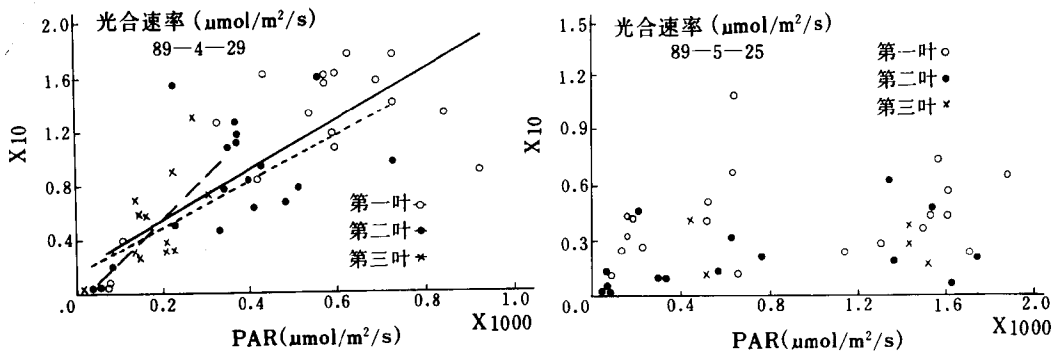


图2 光合速率与光合有效辐射的关系

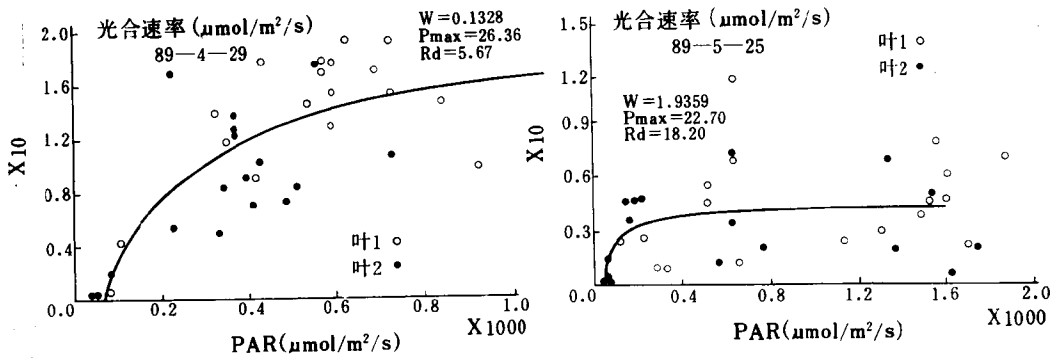


图3 光合速率与光合有效辐射以直角双曲线拟合情况

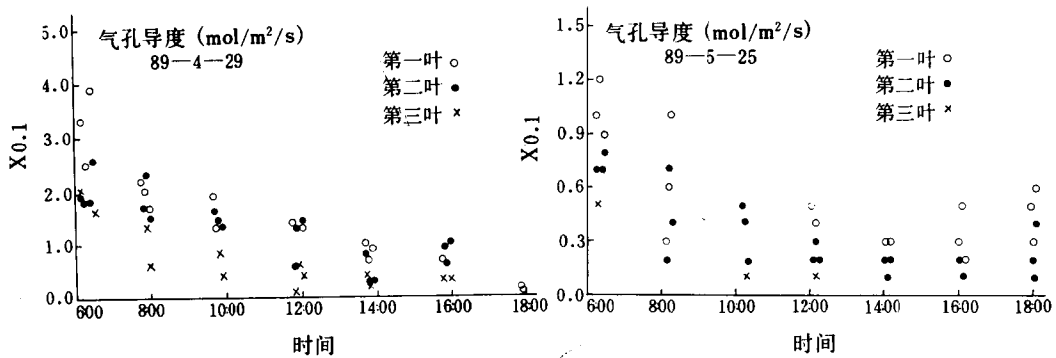


图4 气孔导度的日变化

因为虽然在低光下,气孔随光强提高而上升,但在本系列中(图4),只在少数几天中看到气孔导度从6:00到8:00的升高和从16:00到18:00的下降。其它的时间变化主要是由上午到下午的平缓下降,它更象是水分状况渐趋紧张所造成的。

因为图2和图3中实测点的分散度相当大的一个原因是由于受到了上下午气孔导度差异

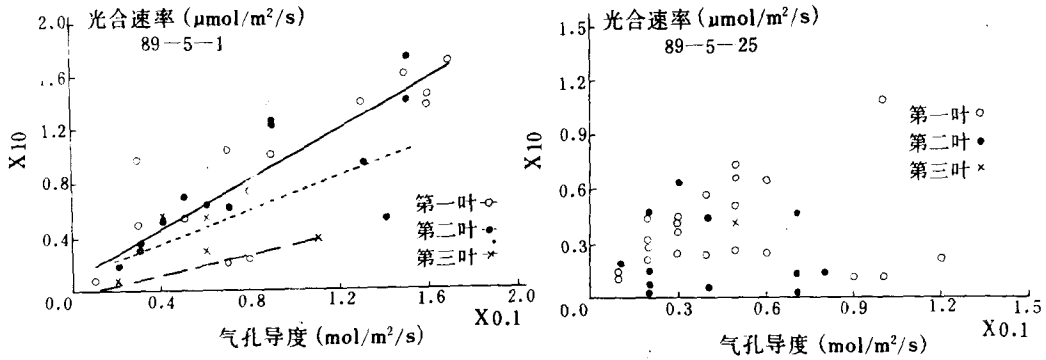


图5 光合速率与气孔导度的相关

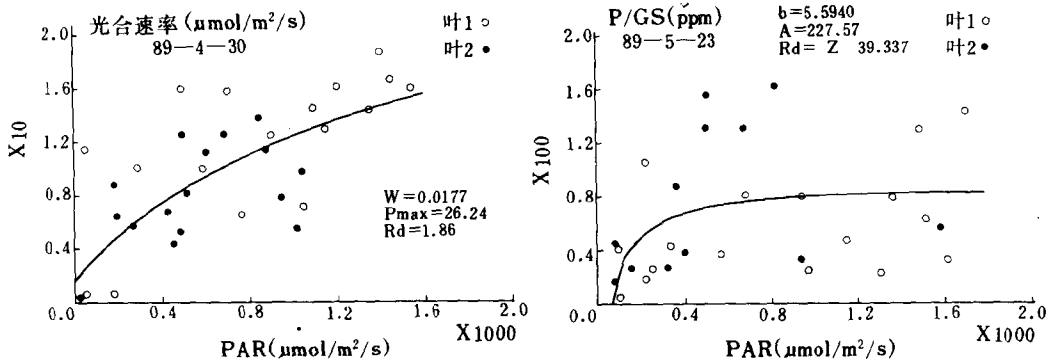


图6 P/GS 比与 PAR 关系以直角双曲线拟合情况

的影响,所以如果将光合速率与导度之比(P/GS)与 PAR 作图,再用直角双曲线去拟合,相关应该有所提高。P/GS 比的物理意义是光照造成的 CO_2 浓度降,它排除了光合速率所受气孔导度的影响,应更接近光合作用的光化学与生物化学机构进行光合作用的强度。图6 显示散点与直角双曲线的拟合程度在某些组数据略高于 P 对 PAR 作的图(图3)。

将不同叶片的数据做比较,虽然在图1 中自上而下以次递降,但将图2 中同样光强下的数据做比较,则第一二叶无明显差导;第三叶则有些天的测定,与上两片叶无明显差别(如4月29日数据),有些天则看来明显地低(如4月30日、5月23日数据)。

3. 蒸腾速率的日变化及其与光强的关系

图7 为几天中测得的单叶蒸腾速率的日变化。它与光合速率日变化的相似处是白天高,早晚低。不同处是下午常略高于上午。18:00 往往高于6:00。这可以用下午饱和差比上午高来解释。

图8 是蒸腾速率与光强的关系。二者之间也表现正相关,但比光合速率与光强的关系更接近于线性关系,且与纵轴交于正值,即在光强很弱时,仍有蒸腾。这相应于图1 中18:00 处的点(以及其它时刻下部叶的一些点)。

4. 蒸腾速率与叶片气孔导度的相关

图9 显示了蒸腾速率与气孔导度间的相关不高。在左侧有一个区域蒸腾速率与气孔导度

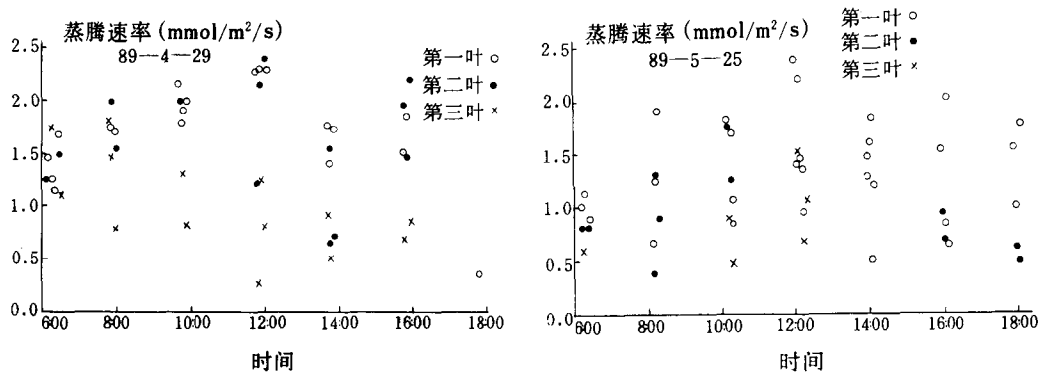


图7 单叶蒸腾速率的日变化

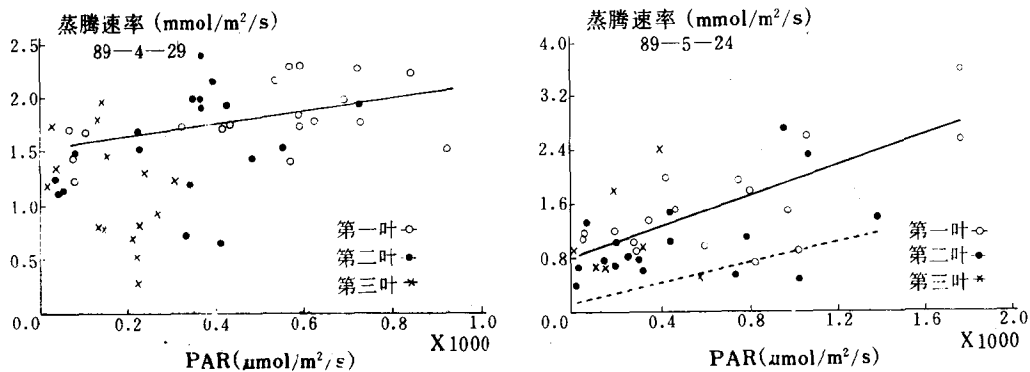


图8 单叶蒸腾速率与光强(PAR)的关系

有明显的正相关,但在右侧常常有虽然气孔导度很高但蒸腾速率不高的点,大大降低了相关,甚至使回归系数成为负值。这表现了在多种因素相互作用的情况下做简单回归的局限性。

5. 光合与蒸腾之比

光合与蒸腾之比,即叶片水平上的水的利用效率。将各次测定的光合速率与蒸腾速率分别作为 X, Y 坐标绘图,得图 10。可看出二者之间有明显的相关。其相关程度高于光合速率或蒸腾速率与光强之间的相关。这是因为光合速率与蒸腾速率受光强、气孔导度等的影响在很大程度上平行。但也有些影响不完全平行,例如蒸腾不象光合那样绝对地依赖于当时的光。这些因素造成了分散度。回归曲线交 X 轴于正值,也显示了光合为 0 左右而蒸腾仍在进行的情况。这种情况在清早、傍晚和下层叶片都会出现。

图 8 中每个点的纵横坐标值之比,就是叶片水平上水的利用效率。按图 8 中以摩尔为单位计算,高的数值可达 1.2%。对总体有意义的是各叶片的平均值,或总光合与总蒸腾之比。因为农业上计算水的利用效率用的是作物干物质而不是 CO_2 与水的重量(体积)之比,所以按摩尔数计算得出的比值须乘以干物质重(以 CH_2O 计算)和水的分子量之比。又鉴于不同叶位叶片的单叶面积不同,应按单叶面积加权。计算结果见表 1。其中以 4 月 29 日的数值为最高,以后下降。估计各日间的差异有两类原因造成。一类是天气条件造成,不同天气条件对光合速率与对蒸腾速率的影响不同。另一类是由作物的发育阶段和生理状况,特别是水分状况决定。在 4