

物理学与农业现代化

陈永明

(北京林学院)

物理学是一门发展较早、理论系统较严密、实验手段较先进的基础学科，它是自然科学的重要组成部分。物理学的基本课题是发现和支配自然界中物质的基本运动规律，借以解释已观察到的和预测未知的自然现象。物理学的每一重大发现，往往对其他科学产生深刻的影响。目前，物理学的理论、概念、模型和方法已深入到农业生物科学的各个领域，并对提高农业生产的科学水平起着越来越重要的作用。

物理学研究的是物质最基本的运动形态。它所观测的空间范围小到 10^{-14} — 10^{-15} 厘米，大到百亿光年，大小相差 10^{40} 倍以上；观察的时间过程，短到 10^{-23} — 10^{-24} 秒的瞬间，长到百亿年，二者相差也在 10^{40} 倍以上。物理学研究的运动形态具有最大的普遍性，是农业生物科学和其他科学的基础。但由于生物体的结构复杂，层次很多，它还有自己的特殊规律。农业科学要研究的问题很多，既要研究与农业生产直接有关的技术问题，又要研究生物科学的基础理论，其范围涉及从生物圈、群落、种群、个体、器官、细胞到基因等各种问题。尽管如此，这些问题的研究都离不开物理的理论和方法，而且越来越依赖于物理技术的发展，这方面国内外都有不少报道。限于篇幅，我们仅举几个例子来说明物理学对农业生物科学的贡献。

一、物理技术对现代农业的贡献

科学是生产力。所谓现代农业，一般是指向农业投入较多的物质和能量，依靠科学技术

的进步，逐步把以经验为基础的传统农业改变成为以科学为基础的现代农业。所以，现代农业是科学技术不断进步的产物，也是物理学及其他科学发展和推动的结果。农业生物科学中应用的常见物理技术有下述几个方面：

1. 电学技术

在农业中使用的电学技术，发展时间较长，测量手段也比较完备，主要有以下几方面的工作：

(1) 生物电的测量：动物方面的生物电，目前多由电生理方面的科学家从事专门研究。农业方面主要研究植物（如含羞草、向日葵等）在外界刺激下动作电位的变化。

(2) 非电量的电测法：由于电测法具有灵敏度高、响应特性好、易于自动控制和数据处理等优点，农业上广泛用于对影响植物生活的诸生态因子（如温度、光、水和土壤等）有关参数的测定。这些非电学的参数（如温度、含水率、流量等）首先要经有关敏感件（有压电式、电阻式、热电式、光电式等）变成电学量，然后用电测仪器（电位差计、电桥、电表等）进行测量，最后用显示器（仪表显示、数字显示、图形显示等）进行显示，用记录仪记录，或用控制器进行反馈控制，这方面常与电子技术、计算机技术相联系。

(3) 电能利用：我国农村的能源供应是个大问题，必须因地制宜利用一切有利条件和可能技术进行解决。涉及到的物理技术有太阳能、地热、小型水力发电、风力发电、潮汐发电等，如我国南方农村的小型水力发电已较普遍，北方干旱地区亦已开始小型风力发电试验，有

条件的海岛渔村也可开展小型潮汐发电试验。电能利用中一个值得注意的方向是生物发电的研究。从理论上讲,植物可利用高达12%的太阳能,这个效率是其他方法所不能比拟的。1978年,日本岛根大学落合教授用菠菜粘附在氧化锡板上做成一个“植物发电机”。但菠菜不耐高温高热,落合教授又用一种耐高温的温泉蓝藻代替菠菜,用5万勒克斯的光照强度照射,获得8—10微安的电流^[1]。

2. 光谱技术

光谱分两大类,即发射光谱(构成物质的分子、原子或离子受到热能、电能或化学能的激发而产生的光谱)和吸收光谱(试样吸收光谱辐射而产生的光谱)。农业上较普遍使用的是吸收光谱分析(包括原子吸收光谱分析、紫外可见分光光度分析、红外光谱分析等)。

(1) 原子吸收光谱: 这种方法是光源的光辐射经过将试样转化为气相的原子化器时,引起原子对辐射能量的选择性吸收,然后经过分光器(光栅)、检测器(光电倍增管)、信号指示系统示出吸收光谱,从而确定试样中某元素的含量。这种吸收通常在可见区和紫外区。原子吸收光谱分析可用于测定土壤、植物、水和生物圈中其他生物的元素含量,亦可用于对化肥、食品、饲料进行分析。

(2) 红外光谱: 红外区,包括近红外区(波长0.7—2.5微米,为照相区和泛音区)、中红外区(波长2.5—25微米,为基本振动区)和远红外区(波长25—300微米,为转动区)三部分。其基本原理是:一束红外光照到试样上时,试样就吸收部分光能,变成分子的转动动能和振动能,经过单色器、检测器、放大器,记录下该物质的红外吸收光谱。由于本方法具有吸收峰丰富(几乎找不到有相同红外光谱的化合物)、适用范围广(适用于有机、无机、高分子化合物)、不破坏试样等特点,所以农业上广泛用于对农产品进行多种有机成分的分析、对奶类营养成分进行测定、对蔬菜水果进行快速分类等。

(3) 荧光法: 荧光物质在光的照射下,能放出比入射光波长长的荧光。荧光分析仪器具

有极高的灵敏度,能观察浓度为 10^{-9} 克/厘米³的荧光物质所发出的荧光。农业上,荧光法主要用来检查农副产品的纯度、鉴定种子的活力、判断果实的成熟程度以及诊断农作物的病虫害等。国际上目前则用来对海洋植物(浮游生物)进行检测,以寻找新的为人类提供食品的高生产力区的可能性^[2]。

目前常把紫外光谱、红外光谱、质谱和核磁共振波谱作为研究有机化合物结构的有力工具,这四大波谱仪器也是农业各分析中心的常备仪器。

3. 显微技术

自1590年荷兰的眼镜制造商詹森(Janssen)兄弟发明最原始的复式显微镜后,人们才看到了过去用肉眼看不到的动植物的细微结构和许多微小生物。1665年,英国人虎克(R. Hooke)第一次用改进了的光学显微镜观察软木细胞,至今已有三百多年历史。这段时间,由于物理学的不断发展,特别是光学显微镜的不断改进和完善,使人们对细胞的认识逐渐深入和丰富。近年来,电子显微镜的出现和发展,为生物学的研究由微观世界进入超微观世界、由细胞水平进入到分子水平提供了新的有力的工具。

生物科学的发展依赖于物理技术的进步,在显微技术上最为明显。为适应生物科学发展的需要,目前已生产出不同生物用途的明视(暗视)显微镜、倒置显微镜、相差显微镜、荧光显微镜、偏光显微镜、实体显微镜、投影显微镜、电子显微镜和光声显微镜等,这里仅介绍几种特殊显微镜^[3]。

(1) 暗视显微镜: 这种显微镜利用一个特殊的暗视聚光器,使照射样品的光线不能直接射入物镜,只有样品表面的散射光线射入物镜,而到达观察者的眼睛,因此样品发亮而整个视野的背影是黑的,故名为暗视显微镜。它与明视显微镜主要结构的差别是聚光器不同。它能观察到明视显微镜油浸系中所看不到的微小粒子(0.1—0.01微米之间),还能显示不运动的及某些不能被染上颜色的脂粒等,常用于农业微生物及胶体化学的研究。

(2) 倒置显微镜: 这种显微镜的特点是把照明系统置于载物台的上面, 而物镜置于载物台的下面。其优点之一是大大增加了置物台上放置样品的高度, 物台上就可直接放置培养皿、培养瓶, 便于观察活体培养的细胞和组织, 这一点是其他显微镜做不到的; 另一优点是它有一套附件, 具有多种用途, 例如可对活体组织进行长时间的动态观察, 对生命活动现象进行动态摄影和放映, 是动态生物学研究中的一个理想工具。

(3) 相差显微镜: 它是荷兰物理学泽尔尼克 (F. Zernike) 发明的, 泽尔尼克因此而获得了 1953 年诺贝尔物理学奖金。相差显微镜可用于研究由普通显微镜难以观察到的无色透明活生物组织。其主要原理是利用了样品细节和背景的折射率 n 和厚度 t 的不同, 因此样品细节和背景的光程 nt 就不同。它有两个特殊装置——相差聚光器和相差物镜, 作用是使光波通过样品时波长与振幅发生变化, 以增大物体明暗反差。故只要在一台明视显微镜上, 换上装有环状光阑的 UK 万能聚光器和带有相板的相差物镜, 就成为一台相差显微镜。由于它利用了光的干涉, 使得未染色的活细胞产生非常明显的形象, 所以农业上用它来观察新鲜组织和活体细胞。

(4) 偏光显微镜: 对不易染色而具有双折射性质的样品, 可用偏光显微镜进行观察。它与普通显微镜主要区别是在样品前后加上一组起偏振器和检偏振器, 故利用偏振光能显示出一般光线下所不能看到的神经纤维结构。农业上常用它来观察活细胞的结构细节。

(5) 荧光显微镜: 用一定波长光照射样品, 样品受到激发而发荧光, 通过荧光来观察样品的某些成分。在结构上, 它与普通显微镜的主要差别是: (A) 有一个特殊的激发光源。它不作直接照明用, 而是激发样品发荧光的能源, (B) 有一个滤光系统; (C) 有一个荧光垂直照明器, 以保证样品荧光通过目镜进入观察者眼睛。农业上主要用它来观察叶绿体、胶原纤维等。

(6) 电子显微镜: 自 1940 年开始应用以来, 发展迅速, 现已能进行立体显示。扫描电子显微镜能把一般平面图象分辨不清的细微结构, 通过扫描能清楚地显示出来。与电子计算机配合使用时, 还可把平面图象的材料映出立体结构来。目前的电子显微镜分辨率约 1 埃, 放大率近一百万倍。农业上主要用它来观察细胞及细菌、病毒的结构等。

(7) 光声显微镜: 利用光声效应做成的显微镜叫光声显微镜。光声效应是指周期性切断的光束照射到充气封闭盒中的固定试样时, 在盒中可检测到频率与光调制频率相同的声信号。光声效应是 1880 年 A. G. Bell 发现的。本世纪七十年代以来, 随着声学技术、电子技术和激光技术的发展, 光声谱技术又开始发展, 而且成为传统光谱技术的强有力的补充。目前光声显微镜的分辨率已达到 1—2 微米。生物科学上主要用于研究生物组织的特征光吸收带, 对动植物组织进行显微成像等。

4. 农业病虫害的物理防治技术

化学防治农业病虫害的方法虽有效果较好、费用较低的优点, 但往往有残留毒性和环境污染问题, 故近年来物理防治^[4]又有所发展。例如诱虫灯被广泛地应用在害虫的诱捕(如棉花、玉米、烟草、果树、蔬菜等)上; 晚上利用黑光灯和性诱剂防治甘蓝尺蠖已取得成绩。

近年来利用红外线、电离辐射等技术在防治贮藏害虫方面已做了很多工作, 利用激光杀虫的研究已在加拿大开始。国际上在贮藏中还采用低温、气调(缺氧)等物理技术。

昆虫的成群迁徙会导致农业的严重经济损失, 目前已能利用雷达探测害虫迁飞。利用红外遥感进行大面积病虫害调查, 应用电子计算机指导病虫害的测报。

鸟害是农业上另一个严重问题, 除用生物防治外, 目前有人利用声防治法, 即录下鸟类被捕时的哀鸣声, 然后在农田进行播放, 以驱赶同种鸟类, 已取得一定的效果。

5. 计算机技术

计算机是目前发展较快的一门技术, 软件

和硬件越来越完善,在农业上应用也越来越广泛。目前已建立不少数学物理模型(如农业与环境关系、气象预报、产量预测等)在计算机上模拟计算,如日本利用计算机制订灌溉计划,实行计划用水。

6. 遥测技术

应用紫外线、可见光、红外线和微波可取得农作物和地表的各種数据,并据以辨别土壤类别、地形、地质和生态特征;用多波段遥感来估计产量,预报病虫害,监测水灾和森林火灾,以及水资源的监测和管理等。

7. 激光技术

农业上激光技术不仅用在育种、防治病虫害、兽医等方面,而且为农业生物科学的研究提供了强有力的手段。例如,激光喇曼光谱作为超精密分析技术,灵敏度可达 10^{-14} — 10^{-16} 克;激光全息显微术亦已用在生物样品进行细微结构研究;美国利用氦离子激光器0.5微米直径的激光微束,研究各种细胞的线粒体、核仁和染色体,同时在显微镜上装上电视,可以看到激光照射的细胞生长的过程。

8. 磁共振波谱技术

波谱技术分两大类:

(1) 电子顺磁共振波谱(ESR): 主要研究原子核外层电子的顺磁共振现象。农业上主要用于研究植物的光合作用及用来测定蛋白质的结构和功能。

(2) 核磁共振波谱(NMR): 其原理是利用物质的原子在一个恒定磁场中吸收一定波长的电磁辐射来测定物质的分子、原子等精细结构。它的优点是可以在液态中测定大分子的结构,它弥补了X射线衍射技术必须用晶体样品的不足。农业上用于测定作物籽粒中的水分、含油量和蛋白质含量等^[2]。

9. 快速反应测定技术^[3]

上述的一些光谱技术、波谱技术、电泳技术及本文未谈及的X光衍射技术等,在研究物质分子的结构方面起着很重要的作用,但这些技术有个缺陷,即对快速变化的过程无能为力。如要研究光合作用的动力学过程和能量变换途

径,就要求有一套快速反应测定技术。自1960年第一台激光器诞生后,快速反应测定技术就迅速发展起来,1967年时间分辨率已达到百万分之一秒。目前利用激光脉冲而建立的激光快速光谱方法,其时间分辨率已高达毫微秒(10^{-9} 秒),甚至微微秒(10^{-12} 秒)。这种快速光谱方法,已成为目前光合作用研究中最活跃的领域。

10. 核技术^[6]

1923年,G. Hevesy最先使用天然放射性核素铅(^{210}Pb)研究铅盐在豆科植物内分布和运转,至今已六十余年。核技术的引进,大大促进了农业生物科学的发展。现在不仅能够较确切了解物质在生物体中的运动规律,并且阐明了一些用其他方法不能了解的现象。农业上以放射性同位素示踪法的应用最为广泛,示踪法在土壤肥料、作物营养生理、农业环境保护、作物育种、植物保护、畜牧兽医中都已开展了广泛的应用研究。此外,利用 γ 射线测量土壤含水量,利用中子探测地下水分布,用X射线分析和微密度测量技术测定植物的年轮(无损检测),并可推断历史上某一时期的气候趋势。

二、物理理论在农业生物科学上的渗透

上面谈的是物理的各项新成就和新技术应用于农业生物科学各领域的情况。此外,物理学观点和理论也深刻地影响和促进农业生物科学的新概念新理论的建立。物理学和农业生物科学两学科间的相互交叉相互渗透结果,促进了物理学与农学之间的一些交叉学科和理论的建立,除了生物物理学这门比较成熟的交叉学科外,目前还有一些已经形成或正在形成的物理与农学之间的交叉学科或理论,下面分别作一简单介绍。

1. 物理生物模型

物理学上为了将问题简化,使用过很多理想模型,如理想气体模型等。这种处理问题的方法,也被农业生物科学所沿用,建立一些生物模型。这是因为模型往往具有这样的特点:模型是所考虑问题的高度抽象和概括,忽略次要

因素,突出问题的关键,便于人们分析综合,得到符合要求的正确结论,并能进行定量预测。

对于一个生命实体而言,可以提出很多种不同模型,模拟原来实体的某些功能和性质,这模型对生物体某些动作原理提出一些看法。模型已成为农业生物科学研究的一种重要手段。例如,描述动物体的血流的流体力学模型,从这个模型可以了解动物体弹性管道内血流的脉动问题和粘滞系数对脉动的影响。有的生物模型则用电子线路来模拟有机体的功能,如用电路网络理论来模拟植物纤维组织的热传导问题。此外农业上还有各种生态的物理模型和数学模型。

2. 农业应用物理

物理学在农业上应用是我国农业现代化中的重要问题之一。关于普通物理学的基础理论和有关技术在农村中应用方面的报道已不少,《农村应用物理基础》就是其中一本综合读物^[7]。

3. 风沙物理学

世界性的沙漠化问题是人类面临的一个严重问题,每年都有大批农田被侵蚀吞没。沙漠化问题的研究吸引了不同学科的科学家。早已出现的风沙物理问题又开始被人们重视起来。风沙物理学是以物理学的观点和方法研究风沙运动和荒漠沙丘形成的规律。这方面比较重要的著作有《风沙和荒漠沙丘物理学》(R. A. 拜格诺著),国内已有译本^[8]。我国干旱和半干旱地区约占总面积的52.5%,国家也非常重视这方面的研究。通过风沙物理问题的研究,对沙漠化的预测预报、防沙治沙、植树造林、农田保护等具有一定的现实意义。

4. 土壤物理学

土壤物理学主要研究土壤的物理性质和规律,但新近国外出版的土壤物理学专著(如《Soil Physics》T.J. Marshall and J.W. Holmes)^[9]则着重注意了水和土壤的相互作用,注意了土壤、植物和水之间的相互联系以及水在多孔物质中运动规律。这些问题对水土资源的充分利用开发和水土保持工作是十分重要,并有助于土壤-植

物-空气-水(SPAW)系统的物理模型的建立。

5. 木材物理学

木材物理问题过去讨论较多的是木材的力学性能,现在对木材的声学、热学、电学性能都进行了探讨,特别是注意用一些物理模型去描述木材内水分的运动规律和热传导问题等^[10],使木材物理由实验走向理论,由定性走向定量,逐渐形成一门较系统的学科。这门学科对林业生产和材料科学是非常重要的,但国内对其理论尚未充分展开研究。

6. 生物热力学

热力学理论应用生物系统,目前已从经典热力学处理的平衡态发展到非平衡态,从孤立系统到开放系统。生命系统是个开放体系,不断地与外界进行着物质和能量的交换,可能驱使这个系统远远地偏离了平衡态。只要满足一定条件,系统是同样可以稳定的,并且可以有空间上和时间上的有序结构。因为这种状态的维持需要有能量和物质的不断供应,也就是消耗了能量和物质,故称为耗散结构。比利时Prigogine学派的进化热力学观点,为生物进化的物理基础研究指出了一条可能进行探索的途径。

此外,物理学和生物学之间的交叉学科还有量子生物学、生物控制论、生物信息论等,目前国内则把这些内容归入生物物理学的理论生物学部分中。1982年夏天,全国六十多所农林院校的物理工作者曾在厦门就生物热力学耗散结构问题进行了深入的讨论。

三、物理工作者与农业现代化

为迎接世界新的技术革命的挑战,我们物理工作者也要面向现代化,面向世界,面向未来,密切注视现代科学技术的发展趋势,进行农业中各种新技术的开发研究,为实现我国农业现代化作出自己应有的贡献。随着我国农业现代化的深入,展现在我们面前的问题会越来越复杂,其中有很多问题不是仅仅有几个农学家所能解决得了的。例如为了有效地利用农业生

产所需的自然资源,保证农业的稳产高产,这就要求包括农学家、物理学家、生态学家等在内的多学科的科学家们的通力合作,共同努力.物理工作者与农学家协作,同样可以在农业现代化的广阔天地里充分施展自己的才能.生物学家沃森和物理学家克里克的成功合作而发现DNA双螺旋结构,被认为是二十世纪生物学上最伟大的成就之一,从而获得诺贝尔奖金,他们的合作被誉为当今不同学科间合作的典范.

现代农业需要研究的课题是很多的,可以是理论的或模型方面的,也可以是实验测试手段方面的.农业模型研究中的一个例子是美国农业局的科学家建立的 SPAW 模型,该模型可以比较准确地预测全国各地的土壤湿度分布对作物产量的影响.农业模型的研究是国内比较欠缺的.又如光合作用的研究也是一个值得注意的课题,科学家们论证植物可以利用高达12%的太阳能进行光合作用,然而,迄今为止在世界上最先进的农业经营中,农作物所利用的太阳能仅约1%.因此,如果稍微提高作物的光合作用效率,就能极大地增加作物的产量.此外还有很多课题,在此就不一一列举了.

总之,物理工作者投身于农业现代化中是大有可为的.1982年,全国六十多所高等农林院校的物理工作者曾对物理学与农业科学的关

系问题作过几次有益的研究和探讨,较深入地研究农林高等院校物理教学和科研问题,在王竹溪先生和贝时璋先生的亲自关怀下,对耗散结构在生物科学中的应用也作过有益的讨论.这些活动对高等农业院校物理的教学和科研工作,对物理学为农业现代化服务方面都起到一定的推动作用.我们相信,今后将会有更多的物理工作者投身于农业现代化的洪流中去,与农学家们合作,互相学习,取长补短,作出成绩,作出贡献.

参 考 文 献

- [1] 岛根大学农学部生物化学研究室,科学朝日,42(1982),106.
- [2] 费尊乐,生态学杂志,1(1983),42.
- [3] 谷祝平,生物学通报,3(1980),44.
- [4] 中国农林科学院科技情报研究所主编,国外农业生产水平和科技进展,科学出版社,(1975).
- [5] 上海植物生理研究所等,光合作用研究进展(第二集),科学出版社,(1980).
- [6] 陈子元等,核技术及其在农业科学中的应用,科学出版社,(1983).
- [7] 河北师范学院物理系编,农村应用物理基础,科学出版社,(1980).
- [8] R. A. 拜格诺著,风沙和荒漠沙丘物理学,科学出版社,(1959).
- [9] T. J. Marahall et al., Soil Physics, London, Cambridge Univ. Pr., (1979).
- [10] J. F. Siau, Flow in Wood, Syracuse University Pr., (1971).

1984年第7期《物理》内容预告

激光/电子束用于金属表面处理的物理冶金原理(葛云龙等);同位素仪表设计中的若干物理问题(朱节清);金属的超塑性及其应用(王燕文);放射性激发光源—— ^{31}H 和 ^{81}Kr 原子灯的研制(孔祥海等);热电系数及其精确测量方法(李景德等);离子溅射在物质微观组织结构研究中的应用(程鹏翥);棒状晶体位向差的快速测定(刘来保);不缀饰直拉硅单晶原生微缺

陷X射线形貌观察(麦振洪等);近代物理讲座第七讲 超导电性(章立源);新实验技术在材料研究中的应用 讲座第十六讲 半导体晶体缺陷显微镜研究中的若干方法(高维滨);光学信息处理讲座第二讲 半色调方法实现非线性变换(戴建华等);量子论发展道路的历史回顾(Friedrich Hund).