

文章编号: 1000 - 5463(2003)03 - 0145 - 05

# 试论农业工程中的力学问题及主要研究方向

阳小成<sup>1</sup>, 王伯初<sup>2</sup>, 叶志义<sup>3</sup>

- (1. 华南师范大学生命科学学院, 广东广州 510631; 2. 重庆大学生物工程学院, 重庆 400044;  
3. 中国科学院力学研究所微重力实验室, 北京 100080)

**摘要:**综述了农业工程中所存在的主要力学问题或现象,如:应力与植物的生长、种子损伤与激活、土壤粒子(泥沙)在雨水和江河中的流动、农作物体内水分、矿质元素和光合产物的运输、农作物种植、农产品运输和土壤耕作过程中所存在的力学问题或现象,并在概述了相关研究现状的同时,着重探讨了今后农业生物力学研究的主要方向,强调了加强生物力学研究的重要性。

**关键词:**环境应力; 农业工程; 生物力学

**中图分类号:**S2      **文献标识码:**A

## PRIMARY DISCUSSION TO MECHANICS PHENOMENA AND ITS STUDY TENDENCY LIED IN AGRICULTURAL ENGINEERING

YANG Xiao - cheng <sup>\*1</sup>, WANG Bo - chu<sup>2</sup>, YE Zhi - yi<sup>3</sup>

- (1. School of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;  
2. School of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;  
3. Micro - gravity Laboratory of Mechanics Institutes, China Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Some primary mechanics phenomena lied in agriculture and bioengineering are comprehensively discussed, which contain environmental stress integrated with plant growth and development, seed injury and living, soil flowing in rain or river, water, mineral and production of photosynthesis transporting in body of plants, crop planting and soil cultivating and so on. Meanwhile, the study progress up to now of bio - mechanics has been summarized. Furthermore, the tendency of the study from now on has also been discussed, and the importance to enforce the mechanics study lied in agricultural engineering is stressed.

**Key words:** environmental stress; agricultural engineering; biological mechanics

农业工程是一门直接为农业生产服务的应用技术学科,主要研究农业机械化及电气化技术和管理、农业生物环境及设施、农产品加工及贮藏工艺和设备、农产品的深度开发、农作物的生长发育、农村能源开发利用、农业生态系统保护、农业生产新工艺以及生物高新技术在农业工程中的应用等<sup>[1]</sup>。当前我国的农业正处于传统农业向规模化、集约化、科技化的现代农业迅速转型的过程中,特别是在知识经济时代的今天,“科技+公司+农户”的新的现代农业运行模

收稿日期: 2002 - 10 - 21

作者简介: 阳小成(1965 - ),男,重庆市人,工学博士,华南师范大学生物学博士后研究人员。

式已开始取代传统的一家一户的小农生产方式,如工厂化育种育苗的普及应用,大规模的养鸡、养猪、养鱼,农产品的深加工及观光农业的开发等。为此国家近年来提出了实施诸如“退耕还林、还草工程”、“菜蓝子工程”、“长江防护林工程”以及“农产品养殖工程”等一系列的大规模农业生物工程项目。这些项目的实施都需要很强的工程技术的支撑,因而相关的工程技术和力学研究手段越来越渗透到这一领域中,这就为工程技术方法及其相关的力学分析和研究在现代农业中的运用提供了可能,因而两者的有机融合也就成为了必然。系统地研究农业工程中所涉及的相关力学问题,有利于农业产业结构的调整和农业产业化项目的实施。本文拟从农业工程和工程技术相交融的层面出发,概述农业工程及其发展过程中所涉及的力学问题及相关研究的进展。

## 1 力学与农业工程

工程必须建立在科学技术成就的基础上。而对于与农业有关的工程技术来说,力学无疑是最重要的基础科学之一。对于农业工程中的力学问题,华云龙等(1991)<sup>[2]</sup>提出将其分为耕作与牵引力、播种、收获、加工、运输和贮藏,水及其溶质在土壤和植物体内的运移,农业生物环境工程等方面的力学问题等。在此将较典型的农业生物工程中涉及的主要力学问题(或现象)加以归纳,将其划分为以下几个主要方面并分别阐述之。

### 1.1 农作物种植和土壤耕作中的力学问题

在土壤耕作和作物种植中存在着大量力学问题需要研究。利用耕牛或拖拉机的机械力将土层翻转、耙碎、耘平是农田作业中消耗能量最大的工作,因而历来受到农业工程专家的重视,并努力寻求节省能量的耕作机械设计方法。随着农业机械化的发展,上述耕耙作业中的动力问题逐步得到了解决,但随之又产生了新的问题——拖拉机的行走机构(轮胎或链轨)压实了土壤,而传统上认为“土壤压实”肯定会造成减产,因此这一度成为农业机械化高度发达国家的研究热点。但在各种农田土壤的具体条件下,土壤的坚实程度究竟要达到多少,植物的根系才与土壤颗粒耦合得最恰当,并最适合作物生长,仍然只有凭主观的经验判断,做不出科学的理论计算。因为土壤颗粒和耕作的情况太复杂了,影响作物生长状况的因素也太多,这其中土壤的情况尤为复杂多变:不同颗粒大小的土壤形成不同的结构,在土壤颗粒表面和颗粒间的空穴中存在着不同形态的水和空气,而这又是植物、动物、微生物的活动空间,生物及其死后的残体从许多方面影响着耕作层的物理、化学性质,外界气候的变化如雨雪、冰冻、曝晒、风蚀等对土壤耕作层也有深刻的影响。这就引出一个既有理论意义又有实际价值的问题:土壤耕作层在农田各种环境因素作用下的力学关系究竟是怎样的?自然力的作用有多大的潜力?人们怎样才能进行最合理、最有效的干预,从而显著地提高农业建设的劳动生产率、并使之对自然生态环境的破坏降到最小?这在当前进行大规模农业开发的时期尤其具有重要的现实意义。这一系列问题几乎都属于力学研究的范畴,或与力学相关。由此可见工程技术和力学方法在现代大农业中的重大意义。

### 1.2 土壤粒子(泥沙)在雨水和江河中的流动的力学问题

土壤粒子在雨水冲击下的运动及泥沙在河流中的运动、沉积规律是属于典型的力学问题,将它研究清楚是做好水土保持和河流治理工作的重要基础<sup>[3,4]</sup>。对于我国目前面临的严峻的江河湖泊(如长江、黄河、洞庭湖、太湖)的泥沙淤积的疏通治理,重大水利工程(如长江三峡水库、二滩水库,黄河小浪底水库等)的冲沙清淤、25度以上陡坡地的退耕还林工程对水土流失

的防止,以及沿海、河口地区的围海造田工程等均有十分重大的意义。

随着当前全球环境恶化,乱砍滥伐森林和过度垦殖、放牧所造成的河流泥沙淤积和水土流失,乃至日益严重的干旱和荒漠化已成为影响人类可持续发展的几个重大生态问题,因而对其详细发生机理、作用过程以及随后的防治措施的研究就显得非常紧迫和重要。毫无疑问,这些问题均主要属于力学的研究范畴。在这一研究中,流体力学、工程力学、空气动力学等力学领域的几大分支将发挥不可替代的重要作用。相信通过工程、力学专家与生态学家们的通力合作,提出一个或几个适用于各种情况下雨水对地表和土壤冲刷的数学模型;泥沙在不同流量大小的河流中的运动规律和淤积模式;土壤中水分含量在一天或一年四季中的变化模型;草地在四季的最适载畜量模型等,将使人类今后在对大自然的可持续发展利用中处于游刃有余的主动地位,找到既能有效防止河流泥沙淤积、又可为人类提供足量的农林产品和畜牧食品的最科学有效的农业工程措施,将有效实现趋利避害,甚至化害为利、为民造福。

### 1.3 农作物(或植物)体内水分、矿质元素和光合产物的运输中的力学问题

这主要涉及到流体力学的相关问题,有关这方面的研究较复杂,难度也较大。如,植物维管束中导管对水分和矿质的吸收;筛管中有机物质的输导;以及水分在大气——植物——土壤连续体中的运动过程等。这些运输过程均受到诸如根毛吸水力、导管两端的水势差、叶面的蒸腾拉力等许多因素的影响,目前尚无一个权威的数学模型能解决其中复杂多变的问题。现在的研究仅是将本用于描述理想牛顿流体的 Poiseuille 定律近似地用于植物茎部木质部导管中水分的流动和韧皮部内细胞间同化物的运输规律的研究中<sup>[1]</sup>。将这种本身很复杂的物质运输过程加以过分简单化,其效果自然不够理想。因为影响水分、矿质和光合产物运输的外界环境因素非常多,变化性也非常大(主要有日变化和年变化),而植物体内的输导系统结构非常复杂,而且同一株植物体在其生长发育的不同阶段其输导系统的结构都要发生相当大的变化,很难进行精确的度量。所以,需要今后发展一种特殊的流体力学模型来进行这些相关的研究。

### 1.4 农产品运输中的力学问题

现代大规模的工厂化的农业生产,也带来了相关的农产品和原材料等运输方式和运输工具的变化,其中不可避免地要涉及到许多力学问题。如农业物料,包括谷物、饲料、肥料、粪便等的输送问题;鸡蛋、蔬菜、水果等农产品的搬运、分级及包装问题;蔬菜瓜果在运输过程中如何避免发生相互碰撞挤压造成破损,从而降低这些农产品的品质和造成经济损失;畜禽和各种仓储设备的通风与温度、湿度的控制问题等。通过对这些力学问题的深入研究,目前已有部分研究成果成功地应用于农牧业生产实践中,并且产生了较好的经济效益和社会效益。例如,气流输送系统在粮食、饲料、棉花等的加工厂中已经普遍应用;气流清选则在脱粒机、选种机、联合收割机中成为必备的工序;在奶牛业中,全自动挤奶器的发明就应用了真空技术。以上这些都是应用空气动力学取得的研究成果<sup>[2]</sup>。

### 1.5 环境应力对农作物(植物)生长发育的影响

植物与人类生活密切相关,而植物体固着生活的特性决定了其在自然环境中不可避免地要受到各种外界环境因子的刺激,并对其生长发育产生不同程度的或正或负的影响,进而直接或间接地影响着人类所需的植物产品(如粮食、果品、木料、药材等)的产量和品质。自 20 世纪以来人类社会经济的飞速发展和由此带来的各种现代化工业产品和设备的大规模应用,使声、光、电、磁等各种物理因子对植物生长发育过程的影响亦越来越显著,已逐渐引起人们特别是物理学家和生物学家的重视。在近年来各学科间相互交叉和渗透融合的大趋势下,约在 20 世纪 80 年代末诞生了将力学方法引入传统生物学研究中的新兴边缘学科——生物力学,并且在

国际上很快发展成为一个热点研究领域。作为这一学科内部的天然分支——植物力学是近年来才提出来的新概念<sup>[5]</sup>,尚有着巨大的发展潜力。

植物在生长发育过程中所受到的各种外界环境条件的刺激称为环境应力刺激,它包括自然和人为的两大应力源<sup>[5]</sup>。因此环境应力的概念也比我们原来单纯地从光、温、水、矿质等角度来研究植物要广泛得多。

其实,人们很早以前就认识到机械刺激对植物的生长将产生明显的影响,其中最为显著的是攀沿植物的向性生长:它们通过对接触敏感的茎、叶柄、卷须、花柄和根来识别外界环境并沿一定的路线伸展爬行。此外,我们还可观察到以下一些现象:有些植物受到敲击后茎变粗变短;根受到敲击后其生长会在几小时内受到阻碍;另外,人们发现风力作用所引起的周期性震动能对植物的形态发生有明显的影响,如黄山迎客松、旗形树等;而适当强度或频率的声波刺激(如音乐)能明显地促进植物的生长发育;水流动所产生的剪切力对植物细胞和水生植物的生长和形态也有重要影响,这方面 Braam 和曹孟德等<sup>[6,7]</sup>做了较为深入的研究。以上这些都是植物对外界应力刺激的宏观生物学效应,是植物感受外界刺激的行为。美国宾州大学的 Cosgrove 教授(1992)<sup>[8]</sup>从微观的角度研究了植物细胞生长与应力刺激之间的关系;之后,Lynch 和 Lintilhac(1995)<sup>[9]</sup>在植物发育过程中对单个细胞进行应力加载实验,并对细胞内应力信号的转导进行了初步探索。但目前对环境应力作用于植物的详细机理仍不是很清楚。

### 1.6 种子的损伤及激活中的力学问题

收获后的农作物种子和谷物等,含水量一般较高,不宜于立即贮藏。在发达国家通常利用人工烘干,使其含水量降低,但若烘干不当,容易引起谷物、种子产生机械损伤。虽然有许多学者试图在理论上(如有限元法模拟大豆烘干过程等)给出种子产生损伤的条件(如温度应力、水应力等)<sup>[2,10]</sup>,但在实际指导农业工程中的作用不是很明显。所以关于谷物、种子中水分的扩散运动方式、温度变化影响物料水分吸收或放出的能力、因含水量梯度而引起的水应力等系列力学问题有待深入研究。近年来,随着生物工程、生物力学的研究深入以及与其他学科交融的增多,人们已利用生物力学原理并结合物理学、空间科学和微重力等技术,完成返地卫星进行多次种子和幼苗搭载的实验。经搭载种子在多个地面基地种植,都能不同程度地激活种子或幼苗的活性,提高种子的发芽率与幼苗生长速度<sup>[11,12]</sup>。同时有实验还证明:适宜强度或频率的声波刺激或机械振荡也能显著提高植物愈伤组织或试管苗的生理活性,从而促进植物的生长发育<sup>[13~15]</sup>。

## 2 讨论与结语

农业工程方面的力学研究是一个十分复杂而广阔的领域,从本文所列举的一些例子就可窥见到这方面工作的复杂性和艰巨性。因此需要各有关学科的科学家、特别是生物学家和物理学家通力合作才能取得有突破性的成果。除了前述所涉及到的主要方面外,在农业工程的研究及实践中还涉及许多其它的力学问题,都有待我们今后深入研究以探清其机理<sup>[16]</sup>。如植物的生理流动(易位流和蒸腾流)规律及其与外部环境因素的关系;渗流与根系发育及其结构—功能的关系;应力对不同部位的植物细胞的生长、发育、分化等的影响;农业环境工程中的力学问题(动物环境工程、植物环境工程、农产品贮存环境工程)等等。因此,当前的农业生物力学研究尚处于起步阶段,任重而道远。

中国是一个人口众多的农业大国,农业在世界上有其特殊的重要地位,但相当长时期以

来,我国传统农业在生产的具体操作方面历来靠实践经验解决问题,这对过去小规模的自然经济生产是可行的,而在已经转向现代化、商品化的农业生产的新世纪,这种传统的方法就远远不能适应需求了。因为随着农业生产方式的变革,许多新的问题和新的要求产生了,需要引入科学的工程技术的方法加以解决。相信我国和世界农业的现代化建设和农业工程的实践,将为力学学科的发展开拓广阔的前景,但同时,我们在研究过程中必须注意到:农业生产及其环境条件都十分复杂,其多样性和可变性很大,而且地区性也很强,外地、外国的经验如果不与本地、本国的具体情况相结合,盲目照搬是很难取得成功的。所以,相关的力学研究必须结合本地的具体情况进行才具有现实的指导意义,才能真正促进生物力学在现代农业生产领域的发展和进步。

### 参考文献:

- [1] 孙一源. 农业生物力学[M]. 北京:农业出版社,1996.
- [2] 华云龙,张森文. 农业工程中某些力学问题[J]. 力学与实践,1991,13(2):13-20.
- [3] 潘君拯. 农业流变学导论[M]. 北京:农业出版社,1990.
- [4] 周乃健,王志亚,郝久青. 回归等值线在土壤水分时空变化动态分析中应用[J]. 农业工程学报,1997,13(13):112-115.
- [5] 王伯初,段传人,龙雪峰,等. 植物应激效应的研究[J]. 中国学术期刊文摘,1999,5(7):924-925.
- [6] BRAAM J, DAVIS R W. Rain, wind and touch induced expression of camodulin - Related genes in Arabidopsis[J]. Cell, 1990, 60:359-364.
- [7] 曹孟德,丁洪,王君健. 流体切力对植物细胞的影响[J]. 生物工程进展,1996,16(4):51-53.
- [8] COSGROVE D J. Wall extensibility: its nature, measurement and relationship to plant cell growth[J]. New Phytol, 1993,124:1-23.
- [9] LYNCH T M, LINTILHAC P M. Mechanical signals in plant development: A new method for single cell studies[J]. Developmental Biology, 1997, 181:246-256.
- [10] 付志一,华云农. 谷粒的热—湿应力分析[J]. 应用力学学报,2001,18(2):94-97.
- [11] 刘世华,赵淑萍,徐昭玺. 空间植物学研究进展[J]. 自然杂志,1999,21(1):19-23.
- [12] 徐继,闫田,赵琦,等. 空间环境对刁柏幼苗向性生长及代谢过程的影响[J]. 生物物理学报,1997,13(4):660-663.
- [13] WANG B C, LONG X F, DUAN C R, et al. Response of gerber jamesonii acrocarpus callus stimulated by mechanical vibration[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2001, 21: 253-257.
- [14] WANG B C, YOSHIKOSHI Akio, SAKANISHI Akio. Carrot cell growth response in a stimulated ultrasonic environment[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,1998,12: 89-95.
- [15] YANG X C, WANG B C, LIU Y Y, et al. Biological effects of *Actidinia chinensis* callus on mechanical vibration[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2002,25:197-203.
- [16] 李喜先. 21世纪初科学发展趋势[M]. 北京:科学出版社,1996:183-184.

【责任编辑 黄玉萍】