

文章编号:1000-582X(2002)01-0154-05

力学方法在植物学研究中的应用及进展^{*}

阳小成¹, 王伯初¹, 段传人¹, 车晓彦²

(1. 重庆大学生物工程学院, 重庆 400044; 2. 四川省药品检验所, 成都 610036)

摘要:综述了目前有关力学方法在传统植物学研究中的应用概况及有关研究的进展情况。分别简要阐述了机械振荡、强(超)声波、电(磁)场和微重力等力学因子对植物生长发育过程的影响,或植物体在以上有关环境应力的作用下的应激效应(正效应或负效应);论述了环境应力作用下植物组织细胞的微观生物学效应及可能的作用机理;提出了植物力学在21世纪初将重点研究的几个主要问题,特别指出Ca²⁺作为第二信使的作用机理的深入研究意义更大;展望了植物力学这一新兴的边缘学科今后的发展趋势和良好的应用前景。

关键词:力学方法;植物学;环境应力;生物学效应

中图分类号:Q 947

文献标识码:A

生长在自然环境中的植物体不可避免地要受到各种外界环境的刺激,并对其生长发育产生不同程度的或正或负的影响,进而直接或间接地左右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。20世纪以来人类社会经济的飞速发展,使声、光、电、磁等各种物理因子对植物生长发育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。在近来各学科间相互交叉和渗透融合的大趋势下,在20世纪80年代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,但以前它的研究对象主要集中在有关动物和人体的医学问题上,而作为这一学科内部的天然分支——植物力学(或称力学植物学)是近年来才提出来的新概念^[1],尚有着巨大的发展空间。本文拟就该学科的研究进展和实际应用情况做一初步概括和综述,为植物学研究工作者提供一些参考和启发。

1 环境应力的概念及植物的应激效应

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^[1]。它包括自然和人为的两大应力源^[1]。因此环境应力的概念比我们原来单纯从光、温、水、矿质等角度来研究植物要广泛得多。

人们很早以前就认识到机械刺激对植物的生长产生明显的影响,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产生明显的影响,如黄山迎客松、旗形树等;而国内外许多科学家在研究声波对植物的生长影响时发现:一定强度的音乐刺激能明显地促进植物的生长。一般地说,机械震动能使植物茎干变粗变短,从而使茎干抵抗震动的能力增强。而对水生植物来说,水流动的剪切力对植物的生长和形态也有重要影响。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。美国宾州大学的生物学家 Cosgrove (1992)研究了植物细胞生长与应力刺激之间的关系^[2],此之后, Lynch 和 Lintithac (1995)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^[3],但对其作用的机理目前仍不是很清楚。

2 力学方法在植物学研究中的应用

· 收稿日期:2001-07-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39770206)

作者简介:阳小成(1965-),男,重庆市人,重庆大学博士生,从事植物力学研究。

2.1 机械振荡刺激对植物生长发育的影响

这一研究方法目前主要用于植物细胞和组织培养过程中,并取得普遍优于传统方法的良好效果。该实验装置其实主要就是一种振荡培养箱(摇床),通过对放置在摇床之上、生长于固体培养基上的植物实验材料施加一定频率、强度和时长的水平往复或旋转振荡,可有利于其愈伤组织的分化和出芽,以及此后组培苗的生根和强壮。

有人以非洲雏菊(*Gerbera Jamesonii acrocarpous*)为实验材料研究机械振荡对其愈伤组织生长发育过程的影响^[4]。结果发现:一定的最佳振荡频率刺激可以促进雏菊茎尖愈伤组织的生长。其生长速度和细胞 SOD 活性明显高于对照组,质膜流动性增强,细胞壁明显变薄,植物组织对外界环境的抗逆性也有所增强。

许多学者对机械应力刺激的研究结果表明:机械应力均对植物的生长发育和形态发生有明显影响,而适当强度、频率和时长的机械应力处理能促进植物的生长发育,但其详细的作用机理尚须进一步深入探究。

流体剪切力也属机械刺激的范畴,这一技术在植物无土栽培技术方面应用较多。例如根下培养液的流动与否对植物体的生长发育有着较显著的影响。在植物细胞培养技术方面,流体剪切力对悬浮培养的植物细胞的影响也是非常明显的^[5,6]。由于植物细胞体积大,具僵硬的细胞壁和大型的液泡,人们通常认为它具有较高的抗拉伸强度,但抗剪切的能力却很小,所以植物细胞对剪切力非常敏感。有实验发现:流体剪切力越大,悬浮培养的甘草和烟草细胞的存活率越低^[6]。概括地说,流体剪切力对植物细胞的作用有正反两方面,除了增加通气、保持良好的混合状态和细胞的分散性、提高次生代谢产物产量之类的积极作用外,大多数情况下则呈现出负作用。

2.2 强声波(或超声波)刺激对植物的作用

声波可以说是无处不在,物理学上按其频率不同而人为的分为声波、强声波和超声波。声波对植物的影响很大,因而研究它对植物的作用效应意义也很大。

超声波或强声波也是交变应力的一种作用形式,是一种弹性机械波。它作为一种物理能量形式,广泛应用于医学、化工等领域。近 20 年来由于功率超声设备的普及和发展,以及多学科间互相渗透和融合的科研大趋势,超声波逐渐开始在生物工程领域、包括植物学的研究中得到应用和发展(如图 1),并取得不少成果。

超声波能在物质介质中形成介质粒子的机械振动,这种含有能量的超声振动在亚微观范围内引起的机械作用主要有:机械传质作用、力的热作用和空化作

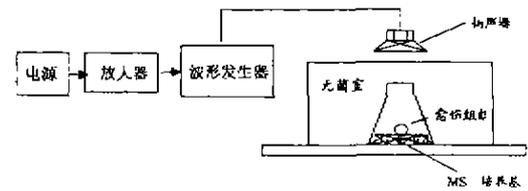


图 1 声波刺激对植物应激效应研究的装置图用。其作用的强弱与超声波的频率和强度有关^[7]。

研究表明:声波刺激对生物细胞的生长发育具有双向作用。即声波刺激对植物细胞的生长不仅有破坏作用,而且在处理时间及声波刺激频率与强度都掌握得比较适当时,对细胞的生长有促进作用^[1]。我们同样以非洲雏菊为实验材料,发现适当频率和强度的声波刺激可以有效的促进植物的生长,使细胞的分裂和分化能力都有所提高;进一步研究植物组织的生理生化指标发现,在酶和细胞消化的反应过程中,较低强度的超声波作用可以提高酶的催化活性或加速细胞的代谢过程,增加膜的通透性和选择性,从而增强了生物膜及细胞壁的物质传递,促进细胞的生长。从声波作用机理上研究发现,强声波使细胞质膜微囊变小,膜蛋白的构像和功能发生改变,膜质合成代谢加强,膜蛋白的磷酸化加强; Ca^{2+} 作为第二信使参与了这一过程并发挥了重要作用。此外,国内有人根据超声波的空化作用机制,发展了一种新的外源基因导入方法——超声波法,利用这一技术,首次将外源的 GUS 基因转入小麦愈伤组织,并获得了短暂表达^[3]。显示了超声波作为一种新的转基因手段的良好前景。

关于声波作用的机理目前尚未完全弄清,仅从宏观生物学角度做了初步探讨。清华大学孙克利等人研究了强声波发生装置产生的交变应力对烟草愈伤组织细胞的影响,结果一定频率和强度范围内的声波刺激能使植物细胞的相变温度有明显的降低,而细胞热力学相变反映了细胞壁膜的流动性,相变温度低表明细胞壁膜的流动性增强^[9]。

2.3 电(磁)场对植物生长发育的影响

随着电力能源的大规模应用和电子技术的飞速发展,尤其是近年来高压输变电和无线电射频技术的迅速普及,使各种生物时刻处在各种电磁场的包围中,特别是高压静电场和交变电磁场对人类和其它生物、包括植物的影响越来越大,因而对生物电磁场效应的研究也越来越受到重视。因此有必要深入研究电磁场对植物作用的机理,从而扬长避短,兴利除弊。

现在对生物电磁场刺激效应的研究较多^[10-12],对其作用机理的探讨也相对日趋成熟。例如高压静电场和交变电磁场对愈伤组织生物学效应的影响。实验发

现,愈伤组织经一定强度的电(磁)场处理后生长速度、呼吸速率、营养元素吸收率等均高于对照组。处理组愈伤组织中可溶性蛋白质的含量、蔗糖酶活性高于对照组;而 IAA 氧化酶、RNA 水解酶活性则低于对照组,显示经适当的电(磁)场处理的愈伤组织具有较高的代谢水平和旺盛的分裂生长能力。另据研究,红外线波段(0.76 ~ 1000 μm)的电磁波辐射植物后会产生许多明显而有益的生物学效应,因而被植物生理学家称为生物谱^[13]。经生物谱辐照的种子中 ATP 含量增加显著,表明细胞合成代谢加强。对于生物磁学在农业上的应用情况,多数研究表明:磁场处理对农作物的生长发育和增产有一定的促进作用,它能促进种子萌发,使株高和产量增加,同时使生育期缩短。我国用磁化水浸种和灌溉,在大多数农作物上表现出显著的增产效益^[14]。进入 20 世纪 90 年代以后,开始注重生物磁处理对提高作物抗旱性和抗寒性的系统研究。关于磁场作用的机理,有关研究表明,磁处理可影响植物体内多种生物酶的活性(例如使超氧化物歧化酶 SOD 同功酶活性增高),从而加快体内生物物质的代谢,使小麦和番茄幼苗体内 ATP、AMP、DNA 等含量较对照明显提高^[15]。这些变化将引起植株可溶性蛋白质和糖分含量的增高,从而最终促进植物生长发育的进程。

生物电磁学的发展虽然十分迅速,但仍有一个较普遍的问题尚未得到解决,即实验结果的重复性较差^[6]。究其原因主要有:1)生物组织的复杂性导致了生物电磁学实验中实验材料的一致性较差。例如电磁波促进烟草花粉萌发率的实验,在相同条件下用百合花粉却出现相反的情况;2)过去的生物电磁学实验基本上是在开放性实验系统中进行的,而开放性实验受天气和地理环境(包括大气电场和地磁场)的影响较大;3)实验中电磁场的计量不够准确。因此,为解决上述问题,现有的生物电磁学实验都在封闭式的电磁场系统中进行。

2.4 微重力状态(即空间失重环境)对植物的影响

随着人类科技的迅速发展,人类活动的范围已从传统的大地、海洋和中低空扩展到了遥远的太空和深邃的海底。相应地,在这些极端环境中生物的行为也成为了科学家研究的对象。自 1957 年前苏联发射第一颗人造地球卫星以来,美、欧、苏、日等发达国家的科学家利用生物卫星、高空气球、空间实验室等太空飞行器进行了许多空间生物学实验。其中,空间植物学的研究十分活跃,他们大多以幼苗为研究对象,在空间环保和园艺栽培技术,以及高等植物形态解剖、生长发育、生理生化和遗传变异等方面均取得了长足的进展

和多项研究成果——成功地获得了正常的“空间蔬菜”和“空间种子”,且后者能在地面上稳定地繁殖,不少品种的产量和品质均远远超过了地面的传统的种子。而我国空间植物学的研究起步较晚(始于 1987 年),但近年来发射的若干返回式卫星均搭载了多种类型的植物种子进行空间飞行,以对比试验太空失重环境对植物生长发育的影响。徐继等发现,空间飞行的幼苗的生长走向情况明显不同于地面对照,表现出对微重力的反应,当幼苗返回地面后继续培养,其生长速度快于地面对照组的幼苗^[17]。

研究表明:不同的植物种子受空间环境的影响不同,有的起促进作用(如石刁柏、番茄、青椒等),而有的起抑制作用(如绿豆、西瓜等),有的则无明显影响(如小麦、水稻、烟草等)。这可能与种子的大小、含水量、生理状态和对微重力的敏感性有关^[17]。但关于微重力引起植物生理生化反应的机理尚未完全明了,有人提出 Ca^{2+} 与膜结合引起的反应可能是其原因之一,有关 Ca^{2+} 在这方面作用的研究报告也较多^[18-22]。 Ca^{2+} 在细胞中作为第二信使,其浓度的高低对植物组织的形态发生和生长有重要作用。

研究植物在空间的生长情况以及空间的特殊条件,特别是微重力和宇宙射线的辐射对植物生长发育和遗传变异的影响,不仅对改善空间生命支撑系统中宇航员的生活环境以及氧气和食物的供应具有重要意义,而且可为太空农业和探索新的育种途径提供依据。太空微重力处理番茄种子可以提高种子的发芽率和活力,提高出苗率和幼苗的抗逆性,加快植株生长速度,并提高单果重和产量^[22]。

目前国内外的研究显示:太空中宇宙射线的高能重核粒子辐射和持续微重力的作用,对植物的生存、生长和衰老、癌变等有着深刻的影响。它们是引起植物发生形态、生理生化和遗传变异的两大主要因素。而此二者相结合更易引起细胞突变,如将空间诱变的突变株在地面通过细胞工程和基因工程的手段加以培养,并可通过在地面采用特殊装置模拟空间的失重环境进行相关研究并生产特殊的植物产品^[23]。这将可能给未来的农业生产带来难以估量的益处。

关于微重力对细胞分裂、生长过程的影响及其对细胞结构的影响,Anikeeva 等(1983)认为,微重力是通过增加种子对其它诱变因素的敏感性而增加了染色体的损伤和畸变率^[24];Ilin 等观察到在空间生长的松树细胞核数量减少,细胞核体积增大,他认为这可能与蛋白质的合成有关^[25];而 Dubinin 认为,空间条件使细胞壁变薄与纤维素和木质素的代谢有关^[26]。

3 植物力学发展前景展望

近年来在生物力学领域对植物应力效应的研究开始活跃起来,也取得了不少研究成果,但现在大多还处于理论探索阶段,与农、林等生产实践相结合的应用研究也尚处于起步阶段。尽管目前国内外在环境应力对植物生长发育和形态发生的效应方面已作了大量的研究工作,并且已从宏观效应开始深入到了细胞和分子水平,但对于彻底弄清应力刺激所引起的信号转导途径及其详细的作用机理,仍有很长的路要走。现在不少关于环境应力所引起的生物学效应的内在机理也只是在现有实验基础上的推测。而未来有关应力-细胞生长的关系的研究将是这一领域研究的核心和关键,它将是传统力学方法、生化方法和细胞生物学方法的有机结合^[27],这种多学科的交叉融合和互相渗透无疑将成为今后研究植物感知外界应力作用效应和机理的发展趋势。

综合分析认为,未来的 21 世纪初的植物力学这一新兴学科,对于外力因子对植物作用的效应及其机理的研究将主要集中在以下几方面:

- 1) 不同来源的应力对不同细胞形态、结构和功能的影响;
- 2) 在植物不同生长阶段应力对细胞发育和生长分化的影响;
- 3) 细胞有丝分裂的生物力学规律;
- 4) 应力对细胞膜的作用及其跨膜传递;
- 5) 应力-细胞质流动的关系;
- 6) 应力对细胞核结构、功能的作用;
- 7) 应力对细胞内外 Ca^{2+} 分布的影响。

其中,现代生物学越来越重视 Ca^{2+} 作为专门感受外界环境变化的信使功能,相信今后它将对阐明应力作用的机理有着重要的意义。

4 结 语

生物力学的创始人、美国三院院士冯元桢先生说:“应力-生长关系是生物力学的活的灵魂”。对于植物力学研究的核心也是如此。物理学为植物学的研究提供了现代化的实验手段和方法,因此今后生物学家和物理学家都应大力开展这一边缘学科的研究,为传统植物学的研究注入新的方法和手段,使之焕发出新的活力。进一步探讨和弄清植物对各种外界应力刺激的生物学效应及其内在机制,在今后的生产实践中积极利用其对人类有利的正效应,尽力消除或避免副效应,从而造福于人类社会。

参考文献

- [1] 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
- [2] DANIEL J. COSCROVE. Wall extensibility: its nature, measurement and relationship to plant cell growth. *New Phytol*, 1993, 124:1-23
- [3] TIMOTHY M LYNCH, PHILIP M LINTILHAC. Mechanical signals in plant development: A new method for single cell studies [J]. *Developmental Biology*, 1997, 181:246-256.
- [4] 龙雪峰. 非洲雏菊茎尖愈伤组织对机械振荡刺激的应激效应[D]. 重庆:重庆大学,1999.
- [5] 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.
- [6] 陈辉. 流体剪切力对植物细胞存活率的影响[D]. 武汉:华中理工大学硕士学位论文,1989.
- [7] 邱树毅,姚汝华,宗敏华. 超声波在生物工程中的应用[J]. *生物工程进展*, 1999, 19(3):45-48.
- [8] 许宁,赵南明,章力建,等. 超声诱导基因转移[J]. *生物物理学报*, 1990, 62:281.
- [9] 孙克利,席保树,蔡国友,等. 交变应力作用下烟草细胞热力学相行为的研究[J]. *生物物理学报*, 1999, 15(3):579-582.
- [10] 石贵玉,周巧劲,张振球. 高压静电场对银杏愈伤组织生长的影响[J]. *生物物理学报*, 1999, 15(3):547-550.
- [11] 赵剑,杨文杰,马福荣,等. 高压静电场(HVEF)对苜蓿叶片愈伤组织增殖的影响[J]. *生物物理学报*, 1997, 13(2):255-256.
- [12] 赵剑,杨文杰,马福荣,等. 高压静电场(HVEF)对苜蓿叶片愈伤组织诱导的影响[J]. *生物物理学报*, 1996, 12(3):517-520.
- [13] 郭静成,袁风华. 特定电磁波对作物某些生理生化特性的影响[J]. *作物学报*, 1994(2):235-240.
- [14] 曹宏,赵国林,张承烈. 生物磁学在农作物生产中的应用[J]. *植物生理学通讯*, 1999, 35(2):163-168.
- [15] 蒋毓华,王莉莉,蔡素雯. 磁处理对植物早期代谢的影响[J]. *生物化学与生物物理进展*, 1991, 18(3):234-235.
- [16] 黄卡玛,唐敬贤,刘永清,等. 一种从直流到超高频生物电磁学实验系统[J]. *生物物理学报*, 1994, 10(2):328-332.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 徐继,闫田,赵琦,等. 微重力对刁柏根尖组织和细胞中钙水平及分布的影响[J]. *生物物理学报*, 1999, 15(2):381-385.
- [20] BUSH D S. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1995,

46:95-122.

- [21] FRAZE L N, MOOR D. The role of calcium accumulation and cytoskeletal elements in perception and response of coprinus cinereus to gravity[C]. CQSPAR'94, Abstracts, 1994, 280.
- [22] 王立安, 赵俊霞. 钙对细胞骨架的调控及其在生命活动中的重要作用[J]. 生物学杂志, 1999, (4): 196-197.
- [23] 赵炜, 蔡伟明. 模拟微重力环境因子对人参细胞生长和人参皂苷含量的影响[J]. 植物生理学报, 1998, 24(2): 159-164.
- [24] ANIKEEVA, I D. [J]. Adv Space Res, 1983, 13(8): 129-133.
- [25] ILININ YU A. Biologicheskoye Issledovaniya na Biosputnikakh Kosmos[M]. Moscow: Nauka, 1979, 239.
- [26] DUBININ N P. Biologicheskoye Issledovaniya na Biosputnikakh Salyut[M]. Moscow: Nauka, 1984, 248.
- [27] 21世纪初学科发展趋势课题组编写. 21世纪初学科发展趋势[M]. 北京: 科学出版社, 1996, 183-185.

Application and Progress about Mechanics Technique Integrating with Botany

YANG Xiao-cheng¹, WANG Bo-chu¹, DUAN Chuan-ren², CHE Xiao-yan¹

(1. College of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Sichuan Provincial Institute of Drug Control, Chengdu 610036, China)

Abstract: The survey and progress about the study applying mechanics to traditional botany are summarized. It gives brief analysis to the influence of plant growth and development under the mechanics factors, such as mechanical vibration, strong sound wave (or ultrasonic wave), electromagnetic field and microgravity, et al. In other word, the biological effects of plant caused by environmental stress stimulation are set out (They contain positive effects and negative effects). Furthermore, the profound biological effects and some possible mechanism of the plant tissue and cell are discussed. The paper put forward several main problems about botanical mechanics which must be researched at the beginning of 21st century, and the more significant thing about it is the operation of Ca^{2+} which as a Second Messenger, will be probed into. At the end of the paper, the well development tendency and practical prospect of the newly compound subject -botanical mechanics is also presented.

Key words: mechanics technique; botany; environmental stress; biological effects

(责任编辑 陈移峰)

·下期论文摘要预告·

面向对象的地基与基础规范知识库设计

晏致涛, 李正良, 邓安福

(重庆大学土木工程学院, 重庆 400045)

摘要: 按照面向对象的方法, 采用 C++ 语言建立了现行地基与基础规范的知识库, 该知识库与应用程序相对独立。这样, 一方面便于设计规范知识库的单独维护与更新, 另一方面能使规范知识库提供给多个应用程序使用。同时, 通过继承性和多态性, 同一个应用程序有可能通过统一的接口使用不同的规范。文中具体描述了规范知识库类等级关系的设计, 给出了土层参数类、基础设计类、以及相关参数类、截面设计类等类的定义及其使用方法。此规范知识库可以应用于基础选型专家系统或基础设计决策支持系统。