

空间诱变及其地面模拟诱变方法综述

尚 晨¹, 李集临¹, 张月学², 徐香玲¹, 韩微波², 蒿若超², 唐凤兰², 刘杰淋²

(1. 哈尔滨师范大学生命与环境科学学院生物系, 哈尔滨 150080;
2. 黑龙江省农科院草业研究所, 哈尔滨 150086)

摘要:介绍了空间环境和宇宙辐射;空间诱变条件、空间诱变因素及其诱变原理;地面模拟空间环境—粒子生物学诱变原理、弱地磁生物学诱变原理、微重力诱变原理;模拟空间资源与空间资源的比较;空间资源与模拟空间资源对植物育种的作用及长远影响。

关键词:作物育种;空间诱变;地面模拟

中图分类号: S 335 文献标识码: A 文章编号: 1002—2767(2007)06—0098—04

Summarize of the Space and the Ground Simulation Mutation

SHANG Chen¹, LI Ji-lin¹, ZHANG Yue-xue², XU Xiang-ling¹, HAN Wei-bo²,
HAO Ruo-chao², TANG Feng-lan², LIU Jie-lin²

(1 Biology Department, Life and Environment Science College, Harbin Normal University, Harbin 150080; 2 Pratacultural Sciences Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086)

Abstract: The current status of the space environmental conditions the effect and the elements of space mutation caused by the cosmic rays radiation, the micro-gravity and magnetic field-free space physical field were briefly introduced. The space resource and the simulation resource were compared, and their effects on crop breeding was also conducted.

Key words: crop breeding; space mutation; ground stimulation

收稿日期: 2007—04—30
第一作者简介: 尚晨(1982—), 男, 哈尔滨市人, 在读硕士, 从事植物遗传学研究。
通讯作者: 张月学, Tel: 0451—86695761, E-mail: zyxny@163.com。

酸碱度、光照、水深等多种因素密切相关, 我们需要对多种因子进行交叉研究、综合分析。

20 世纪 60 年代以来, 随着人口的增加和经济的发展, 水体富营养化已经成为世界范围的水环境问题^[5], 城市河湖尤为严重。防治水体富营养化已是各个国家和地区面临的共同问题^[9], 曲阜作为举世闻名的儒学发祥地, 其水环境状况直接体现着该城市的经济发展和文明程度。因此, 我们应逐渐优化曲阜流域内的产业结构, 推广生态农业, 增加植被覆盖度, 治理点源和面源污染, 消减水体营养负荷, 把营养物质的输入控制在水体自净能力范围内, 以实现曲阜水资源的可持续利用。

参考文献:

[1] Thornton K W, Kimmel B L, Payne FE. Reservoir limnology: Ecological perspectives[M]. New York: A Wiley—Interscience Publication, 1990.

[2] 金相灿, 屠清英. 中国湖泊富营养化调查规范[M]. 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[3] 刘静, 杜桂森, 刘小端, 等. 密云水库的浮游生物群落[J]. 西北植物学报, 2004, 24(8): 1485-1488.

[4] 蒙仁宪, 刘贞秋. 巢湖浮游植物与水体富营养化评价[J]. 水生生物学报, 1988, 12(1): 13-26

[5] RAST W, HDLAND M. Eutrophication of lakes and reservoirs : a framework for making management decisions[J]. Ambio, 1988, 17(1): 2-12.

[6] UNEP Earth Watch. Eutrophication[J]. World Environment, 1994(1): 23-26.

1 太空环境和宇宙辐射

太空环境并不只是我们所能见到的日月星辰棋布的广大而平静的空间, 它有高速运动的尘埃、流动的星体; 自 140 亿年前的宇宙大爆炸以后, 形成了现在的宇宙, 宇宙史的纪元从此开始。随着宇宙的膨胀, 温度不断降低, 太空已经成为一个超低温的环境(平均温度为 -270.3°C); 太空中散布的元素主要是氢, 但非常稀薄, 只有 $0.1\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 氢原子, 而在地球大气层中, 含有 $10^{10}\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 氮和氧分子。由此可见, 太空又是一个高真空环境; 在太空中, 不仅有宇宙大爆炸时留下的辐射, 各种天体也向外辐射电磁波, 许多天体还向外辐射高能粒子, 形成宇宙射线。例如, 银河系有银河宇宙线辐射, 太阳系有太阳电磁辐射、太阳宇宙线辐射(太阳耀斑爆发时向外发射的高能粒子)和由太阳日冕(太阳大气的外层被称为日冕。强大的日冕物质喷射会导致太阳抛射出大量带电粒子, 形成所谓的太阳风暴。太阳风暴会对太空中运行的卫星和地球上的通信等造成危害)吹出的高能离子体流等。同时许多天体都有磁场, 这些磁场能俘获多种高能带电粒子, 形成辐射性很强的辐射带, 因此太空还是一个强辐射环境^[2]。太空中的超低温、高真空和超洁净等条件和强烈的辐射, 再加上太空特有的微重力环境等, 使得植物种子和种苗在空间环境中比地面上更容易产生显著变异^[3]。

2 空间诱变因素及其诱变原理

空间诱变是指利用返回式航天器(卫星、航天飞机和宇宙飞船)将农作物种子带到太空, 利用太空特殊的环境(主要是空间宇宙射线、微重力、高真空、弱磁场等因素)对农作物种子产生诱变, 再返回地面选育新种质, 培育新品种的作物育种新技术。返回式卫星的运行轨道高度在 $180\sim 400\text{ km}$, 卫星所处空间的真空度在 $10^{-3}\sim 10^{-6}\text{ Pa}$, 卫星所提供的微重力在 $10^{-3}\sim 10^{-6}\text{ g}$, 卫星舱内宇宙射线剂量平均在 $0.1\sim 0.3\text{ mGy}\cdot\text{d}^{-1}$ 。除返回式航天器外, 还有高空气球, 中国科学院于 1984 年建成了一套包括气球研制和发放、遥测遥控和定位跟踪、实验舱姿态控制、实验设备回收、气体储运设备、气象保障和地面勤务通信等的高空科学气球系统, 并应用于科学观测和研究。气球体积最大达 5 万 m^3 , 最大载荷重量 250 kg , 飞行高度 $32\sim 34\text{ km}$, 气球的滞空时间 $3\sim 5\text{ h}$ ^[4]。在太空诱变过程中, 太空辐射中高 LET(传能线密度)的全谱高能粒子(HZE)起重要作用, 高

LET 与低 LET 的粒子辐射(如 r 射线)相比, 高能粒子可更有效地导致细胞内遗传物质—DNA 分子的双键断裂。而且其中非重接性断裂所占的比例较高, 从而有更强的诱发突变能力^[5]。孙野青等利用返回式卫星将带有柠檬白杂合等位基因(Lw1/lw1)的玉米种子包夹在核径迹探测器中, 生物叠和 G—M 计数管(Geiger—Muller 计数管, 核辐射探测器)、LiF(敞开式光栅尺)剂量计同时搭载在返回式卫星上, 进行 15 d 的太空飞行, 种子回收后, 从植物形态学和分子生物学水平进行突变的检测, 同时计算所测到的辐射剂量。用 LIF 剂量计测量空间穿透屏壁的粒子剂量为 2.656 mGy , 平均日剂量为 $0.177\text{ mGy}\cdot\text{d}^{-1}$, 研究结果表明其中高能重粒子与引起玉米黄白条纹突变有相关性^[6]。

除去太空辐射的诱变作用, 微重力、弱地磁等条件起到的综合作用^[7]也是引起植物遗传性发生变异的主要因素。亿万年以来, 在地球的恒定重力场(1 g)作用下生长的植物(种子), 其形态、生理、行为和演化都一直受恒定重力的调节和影响, 而且种族(群)进化过程越长的植物受重力的影响就越大。当植物(种子)处于空间微重力环境中时, 同时受到宇宙射线中的高能重粒子(HZE)轰击。会出现更多的多重染色体畸变, 植株异常发育率增加, 其遗传性必然受到强烈影响, 所得到的遗传变异也是地面诱变育种中较难得到的。另外, 有研究认为微重力条件下可以抑制修复机制, 即微重力与空间辐射可以产生偕同作用, 增加变异率^[8]。

很多研究证明, 空间诱变的优点是太空飞行时间长, 单位时间内辐射剂量小, 因而搭载后的植物材料死亡率低, 诱发引起的各种突变可充分表现出来。而常规的辐射育种一般采用 r 射线等低传能线密度的辐射源, 辐射时间短, 为了达到更强的诱变效果, 一般采用半致死的辐射剂量(单位时间内辐射剂量大), 处理后死亡率较高, 许多有益突变被致死突变掩盖。

3 地面模拟空间环境—粒子生物学、弱地磁生物学、微重力诱变原理

3.1 粒子生物学诱变原理

粒子生物学效应模拟包括单粒子效应模拟和混合粒子效应模拟, 日本、法国和德国等在 20 世纪 60 年代便开始利用地面加速器开展研究。20 世纪 90 年代初, 我国也开始研究加速器单粒子的生物学效应, 初步建立起了地面模拟高能单粒子生物诱变的

新方法,并申报了专利^[9-11]。

由于宇宙空间的射线粒子是由多种高能、高LET粒子组成的混合场,显然,单粒子效应很难真实反映宇宙线辐射效应。因此中国农业科学院航天育种中心利用我国高能物理研究所1990年7月21日验收的正负电子对撞机,进行模拟次级宇宙粒子,通过包括派介子、谬子、正、负电子、光子和质子等多种高能粒子组成的混合粒子场处理技术,对小麦、蔬菜和牧草等作物进行处理^[3]。并已在部分冬小麦和苜蓿品种中得到了比 γ 射线处理更高的相对生物学和细胞学效应^[12-13]。

3.2 弱地磁生物学诱变原理

弱地磁是空间环境重要因素之一。前苏联在屏蔽磁场的零磁空间生物效应研究方面已有相关专著^[14],但至今国外零磁空间生物学效应的研究仍基本上停留在对生物体当代生物效应的生理分析上,零磁空间对农作物世代遗传特性的影响尚未报道,并缺乏对零磁空间诱发农作物遗传变异可能性与可行性的探索研究。

1998年中国农业科学院空间技术育种中心与中国地震局地球物理研究所合作,利用双层磁屏蔽结构和线圈补偿方式相结合建造了大型26面体磁屏蔽装置模拟空间弱地磁效应^[15-17]。通过对小麦风干种子和小麦花药处理后的结果表明,小麦种子在零磁空间处理180 d以上会明显抑制种子萌发和幼苗生长,表现出与传统 γ 射线处理完全不同的生物效应,但抑制损伤不存在剂量效应,即抑制效应不随着处理时间的增长而增强;在小麦花药愈伤组织诱导过程中附加一定周期的零磁空间处理,对小麦雄核发育和最终形成愈伤细胞团有一定的刺激作用,有助于促进高质量愈伤组织及其绿苗的获得率。黑龙江省农科院利用该技术育成了国内外首个零磁紫花苜蓿品种龙饲0301。该品种具有越冬性强、返青早、返青率高、生物产量高、丰产性好等特点,一年可刈割三次,鲜草产量3 t以上,蛋白质含量20%以上。均高于普通苜蓿品种^[18]。

3.3 微重力诱变原理

太空的微重力(重力加速度小于 $10^{-4}g$)是一种宝贵资源。由于在地面上很难产生持续稳定的微重力状态,所以在地面模拟空间实验中,研究人员大都利用回转器模拟微重力效应,而不是模拟产生微重力。江丕栋等^[5]、王欣敏等^[19]依据植物对重力刺激的时间要求而自行设计研制出可用于模拟微重力条件的多用途回转器。他们认为,对重力敏感的生物

体,受重力的作用超过一定时间后才会有响应,此时间称作“重力响应的最小作用时间”,简称“最小响应时间”(MRT),它因生物体种类和响应类型而异。在作用时间未到达MRT之前若改变地球引力相对于生物体的作用方向,则响应不能表现出来^[20]。微重力会使得植物细胞壁变薄,引起胚器官更早和更快的发育,也会改变根的生长和分化形式。如空间生长的燕麦幼苗侧根数增加,豌豆幼苗节间生长延长^[21],洋葱鳞茎较早地生根^[22],石刁柏的幼苗根短粗,根的生长方向不一^[23]等。幼苗的生长速度及生长姿态对空间微重力有明显的反应。通过大量实验证明,微重力对植物有一定影响,不过影响没有辐射的影响明显^[20]。

4 模拟空间资源与空间资源的比较

资源的含义非常广泛,宇宙万物、空间、时间都是资源。人类对资源利用的最主要形式是提取能量,维持人类生活和科学技术的不断发展。这些能量资源,一类来自太阳,主要是太阳电磁辐射的光能和热能;一类来自地球,主要是各种物质的热化学能、动能和势能。几十年前,又开始利用原子核的裂变和聚变能。仅从太阳系范围来说,在月球、火星和小行星等天体上,有丰富的星际空间,有真空资源、弱地磁资源、辐射资源、大温差资源,那里的太阳能利用效率也比在地球上高得多。利用航天器的飞行,还可派生出轨道资源和微重力资源等。

但是目前我们通过利用航天器进行的空间实验受到其技术要求高,成本高,实验机会有限等条件制约,无法大量投入生产。因此,地面模拟空间环境因素的试验研究对于开展作物诱变改良也具有非常重要的实际意义^[17,24]。目前国内外还不能对空间环境的宇宙线粒子、微重力、弱地磁、高真空和超低温等协同因素做出综合模拟,但在单因素地面模拟方面已取得了可喜进展^[12]。

5 空间资源(模拟)对植物育种的作用及长远影响

生物进化是变异和选择的结果,由生殖细胞的遗传物质发生变异并能遗传给后代的属于可遗传变异。部分基因突变对生物体是有害的。如植物中常见的白化苗,就是基因突变致使叶绿素缺乏而不能进行光合作用,最终导致死亡。但是有利基因突变可以被自然或人为选择保留下来,如18世纪后期,在美国一个农民家的羊群里,出现了一只短腿公羊。由于腿短而不能跳越一般的栅栏,这样便于管理和

饲养,于是就将这只公羊作为种羊,很快便成为绵羊中的一个新品种——安康羊。这是人类根据自己需要选择的结果。在自然状态下,对一种生物来说,基因突变的频率是很低的。据估计,在高等生物中,大约十万个到一亿个生殖细胞中,才会有一个生殖细胞发生基因突变,突变率是 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ 。

为了增加生物体的突变率,人们开始利用物理因素(如X射线、 γ 射线、紫外线、激光等)或化学因素(如亚硝酸、硫酸二乙酯等)来处理生物,使其发生基因突变,从中选择和培育优良品种。其中空间诱变育种是指利用返回式卫星或高空气球将农作物种子带到太空,利用太空特殊的环境对农作物种子进行物理诱变,再返回地面进行作物育种的新技术。空间诱变种子当代的生物效应表现与传统的 γ 射线处理相比,最大区别在于其损伤轻、甚至有刺激生长作用,有益变异频率明显提高等^[3,25]。

自1987年以来,我国科学家利用返回式卫星、神舟飞船和高空气球先后进行了有源搭载和无源搭载21次农作物种子等生物材料的空间搭载试验,共涉及70多种植物的1000多个品种,涉及粮、棉、油、蔬菜、瓜果、牧草和花卉等植物。经过多年的地面种植筛选,已育成60多个农作物优异新品系并进入省级以上品种区域试验,其中已通过国家或省级审定的新品种或新组合25个^[26]。研究和实践证明,空间处理具有变异幅度大、有益变异增多、有利于加速育种进程和改进品质等特点,并希望从中获得传统育种方法较难获得的、对产量和品质等重要经济性状产生重大影响的罕见种质材料,成为培育突破性品种的有效途径之一,为作物育种开拓了一个新的边疆。

参考文献:

[1] 梁思礼. 征服未来:向太空的长征[M]. 北京:中国宇航出版社,2003.

[2] 罗格. 叩开太空之门—航天科技知识问答[M]. 北京:中国宇航出版社,2000.

[3] Liu L X. Crop germplasm enhancement through aerospace mutation technique, Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000(Eds by Song Jian and Wang Maohua) [M]. New World Press, 2000: 356—357.

[4] 中国科学院光电研究院气球飞行器研究中心. 高空探测气球[EB/OL]. <http://www.ltachina.com/gaokong.html>, 2007—02—20.

[5] 江丕栋, 傅世密, 郑克, 等. 在地面进行微重力生物学实验模拟用的回转器[J]. 生物化学与生物物理进展, 1990, 17(2): 141.

[6] 李常银, 孙野青, 杨谦. 空间生物学研究进展[J]. 哈尔滨工业大

学学报, 2003, 35(4): 385-388.

[7] 刘录祥. 空间技术育种现状与展望[J]. 国际太空, 2001(7): 8-11.

[8] 李社荣, 曾孟潜, 刘雅楠, 等. 植物空间诱变研究进展[J]. 核农学报, 1998(5): 274-280.

[9] 卫增泉, 刘玉岩, 王桂玲, 等. 重离子对4种植物种子萌发力的影响[J]. 核技术, 1991(14): 380-384.

[10] 邓红, 梅曼彤, 卢永根, 等. 加速器氦离子在水稻育种中的应用[J]. 核农学报, 1994(8): 70-74.

[11] 余增亮, 王学栋, 吴跃进, 等. 离子束注入水稻诱变育种的机理初探[J]. 安徽农业科学, 1989(1): 12-16.

[12] 刘录祥, 赵林妹, 郭会君, 等. 高能混合粒子场辐照冬小麦生物效应研究[J]. 科学技术与工程, 2005, 5(21): 1642-1645.

[13] 刘录祥, 韩微波, 郭会君, 等. 高能混合粒子场诱变小麦的细胞学效应研究[J]. 核农学报, 2005, 19(5): 327-331.

[14] 曾治权, 苏先樱, 刘桂英, 等译. 地磁场和生命[M]. 北京:地质出版社, 1985.

[15] 刘录祥, 郑成成. 空间诱变与作物改良[M]. 北京:原子能出版社, 1997.

[16] Liu L X, Wang J. Study on biological and genetic effects of magnetic field-free space on wheat[C] //Paper Collection of International Wheat Genetics and Breeding Symposium, Beijing: Sciencetech Press, 2001: 227-232.

[17] 刘录祥, 王晶, 赵世荣, 等. 零磁空间诱变小麦的生物效应研究[J]. 核农学报, 2002, 16(1): 2-7.

[18] 张月学, 唐凤兰, 韩微波, 等. 零磁空间处理选育紫花苜蓿品种农菁1号[J]. 核农学报, 2007, 21(1): 34-37.

[19] 王欣敏, 任清荣, 傅世密, 等. 模拟微重力生物效应回转器的研制与应用[J]. 生物物理报, 1997, 13(4): 691-694.

[20] 郑景生. 微重力下的植物生物学效应与空间诱变育种研究[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(5): 671-675.

[21] Merkys A I, Lauinavichyus R S. Development of higher plants under altered gravitational condition[J]. Advances in Space Research, JAL press Inc., 1991, 11: 55-181.

[22] Halstead W T, Dutcher F R. Plant in space[R]. Annu Rev Plant Physiol, 1987, 38: 317~366.

[23] 徐继, 闫田, 赵琦, 等. 空间环境对石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): 660-664.

[24] 虞秋成, 刘录祥, 徐国沾, 等. 零磁空间处理水稻干种子诱变效应研究[J]. 核农学报, 2002, 16(3): 223-226.

[25] Liu L X. Space-induced mutation technique and its application in crop quality improvement in China[C] //Jakarta, Indonesia: Workshop on Methodology for Plant Mutation Breeding: Screening for Quality for Regional Nuclear Cooperation in Asia, 2000.

[26] 李国平. 发展航天育种, 服务现代农业——写在我国第一颗育种卫星成功发射之际[EB/OL]. <http://www.cnsa.gov.cn/n615708/n620172/n677078/n751578/76288.html>, 2006—09—09.