

物理学在促进农业发展中的作用*

金仲辉 毛炎麒 严衍绿 严泰来

(中国农业大学 北京 100094)

摘要 介绍了核技术、电磁学、光学、声学、离子束等物理学技术在农业上的应用和精确农业,指出了物理学各项技术可使农业获得更多的经济效益和生态效应,从而使农业得到持续的发展。

关键词 物理学技术,农业,农学参数,生化参数,精确农业

APPLICATIONS OF PHYSICS IN AGRICULTURE

JIN Zhong-Hui MAO Yan-Lin YAN Yan-Lu YAN Tai-Lai

(China Agriculture University, Beijing 100094, China)

Abstract The applications of nuclear technology, electro-magnetics, optics, acoustics and ion beam in agriculture and precision agriculture are reviewed. It is shown that the various technologies of physics can reap greater economic and ecologic benefits for agriculture, so that agro-technology can maintain continuous development.

Key words physics technology, agriculture, agronomic parameter, biochemical parameter, precision agriculture

当前学科发展的特点是多种学科的交叉,农学也逐渐走出传统发展的模式,有更多、更广泛的物理学技术应用于农业,促进了农业的发展。核技术在农业上的应用在我国有近 50 年的历史,可以说取得了很大的成果,在国际上处于先进的行列,近 20 年来,电磁学、光学、声学、离子束等技术开始在农业上得到了应用,虽说某些方面也取得了一些成果,但在种植业方面基本上还处于实验摸索的阶段,尚未达到广泛推广的地步。还有,许多机理方面的研究很不充分,有待于农学家和物理学家紧密地结合起来完善这方面的工作。以物理学等高科技为依托的精确农业在我国刚处在起步研究的阶段。由于物理学技术在农业上应用涉及的面非常广泛,所以,本文主要介绍某些应用,以此说明物理学可以大大促进农业的发展。由于物理学技术较之于传统的化学技术在农业上的应用,在达到同样的经济效益情况下,有成本低、省时、省工、不损害土壤、不污染环境等诸多优点,所以物理学技术在农业上的应用应该引起我们物理学工作者、农学工作者和政府有关部门的重视和关心,使它得到有序的发展,获取更多的经济效益和生态效益。我们深信,随着物理学技术在农业上日趋广泛的应用,物理学内将建立起一门新的分支学科,即农业物理学。

1 核技术

近半个世纪以来,核技术在农业上得到了广泛

的应用,形成了一套成熟的技术和方法,并建立了相应的基础理论。在此基础上,核技术与农学之间逐步形成了具有独特学科体系的分支学科——核农学。

核农学的研究内容主要包括核素示踪技术和核工业辐射技术,它们是利用放射性核素衰变和稳定性核质量差异作为信息表达,通过核化学分析和核物理仪器的探测获取信息,从而提示农学和农业生产中的奥秘。核辐射技术是利用核辐射与物质相互作用产生的物理学、化学和生物学效应,对生命物质进行改造,创造生物新种质,刺激生物增产、杀虫灭菌、利用和保持自然资源等。

通过近半个世纪的努力,中国核农学研究已成为促进农业生产发展的重要科技手段,取得了显著的成就,主要表现在以下方面。

1.1 植物辐射诱变育种

这是利用核辐射诱导植物体产生突变,并从中选择有用突变体,直接或间接地育成新品种的一种育种方法。与其他育种方法相比较,植物辐射诱变育种具有突变频率高和突变谱广、可有效地改良品种的某个单一性状、易于打破基因连锁促进基因重排、可缩短育种年限等诸多优点。辐射诱变育种的植物种类已相当广泛,几乎遍及所有具有经济价值和观赏价值的已被人们利用的植物。据 FAO/IAEA(联合国粮农组织/国际原子能机构)联合处 1995 年的统

* 2002-01-25 收到初稿,2002-03-11 修回

计结果显示,全世界在 158 种植物上,利用辐射育成和推广了 1932 个品种,其中我国育成的品种有 459 个,约占 24%。辐射诱变育成品种的全国种植面积,1985 年以来基本稳定在 9.0×10^6 公顷左右,如大豆突变品种“铁丰 18 号”的种植面积约 1.2×10^6 公顷,占我国大豆产区之一的辽宁省大豆种植面积的 70%,有 9 个辐射诱变品种获国家级发明奖^[1]。辐射诱变还提供了大量优良的植物种质资源可供育种利用。辐射诱变育种在农业增产中作出了重要贡献。

1.2 核素示踪技术

它是利用放射性稳定性核素作为示踪剂而建立的一种示踪方法。目前,农业上常用的核素约有 20 余种。核素示踪技术在农业上的应用非常广泛,其目的是阐明农业生物生命活动的奥秘,以及农业科学研究和农业生产过程中各因素的作用机理,为农业生产技术的实施、环境评价和宏观管理提供科学依据。具体应用范围为:改良土壤和合理施肥;动植物对各种养分的吸收、运转、同化和代谢等过程以及环境相互作用的机理;农业生态环境的监测 and 环境保护;提高家畜繁殖率与疾病防治;植物病虫害的预测预报和防治等等。示踪技术对农业生产的贡献是巨大的,例如应用¹⁵N 示踪技术试验表明,水稻采用一次全层基施氮肥可使氮肥利用率提高 10%—20%,平均增产 5%—12%,累计推广面积已达 4.7×10^5 公顷,其效益是极其显著的^[1]。

1.3 食品辐照贮藏保鲜

利用放射性核素⁶⁰Co 和¹³⁷Cs 的 γ 射线,以及加速器产生的电子束辐照食品,使之抑制发芽、延迟成熟、杀虫杀菌、防止霉变,从而达到保鲜或贮存的目的。由于辐射保藏具有节能、方法简便、效率高和安全可靠等优点,在国内外已广泛应用,形成了一项新兴的辐射加工产业。据 1995 年国际原子能机构统计,全世界已有 38 个国家批准了 539 种辐照食品上市销售,我国已对 200 余种食品进行了辐照保鲜、改善品质等方面的研究,并已成立了“中国农产品辐照加工联合开发集团”,以推进商品化进程。国家卫生部先后批准了一些辐照食品的卫生标准,以推动辐照食品产业化地发展。

1.4 昆虫辐射不育技术的应用

利用高能辐射使大量害虫个体不育,然后把它们释放到未经处理的野生种群的环境中去,在那里让处理过的不育成虫与野生的成虫交配,造成其后代不育,这样在连续世代中重复这一做法,野生种群会逐渐减少,最后导致消灭。这是现代生物防治技术

中一项惟一有可能灭绝一种害虫的有效手段,也是一项无公害的防治害虫的一种新技术。1954 年,美国在库拉可岛上,首次利用辐射不育技术成功地消灭了螺旋蝇。到目前为止,全世界已对 200 余种害虫进行了昆虫不育技术防治的研究,大面积防治螺旋蝇、地中海果实蝇和棉红铃虫等重要害虫取得了成功。我国于 20 世纪 60 年代初开始了这项研究,到 80 年代,不育亚洲玉米螟的释放试验取得初步成功,首次为我国利用这项技术防治害虫提供了一整套完整的技术资料。以后在野蚕、柑桔大实蝇、桃小实心虫等害虫上进行了不育技术的防治试验,取得了满意的结果^[2]。

2 电磁学、光学和声学技术

2.1 电场技术

用一定强度的静电场和照射时间作用于作物种子,使种子某些生物酶的活性、种子的发芽势、发芽率和幼苗百株重等农学参数均有明显的提高,从而提高了作物的产量。例如内蒙古大学物理系梁运章等从 1984 年开始用静电场处理甜菜种子,并比较系统地进行了静电场生物效应的研究。研究发现,经静电场处理后,种子的呼吸强度比对照组提高 $0.220\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$,电导率降低,酯酶同工酶活性明显提高,过氧化酶同工酶增加一条酶带。还进行 X 射线衍射和顺磁共振仪对自由基的测定,与对照组相比有明显的差异。经过 10 年实验,目前已在大面积农田上进行推广,平均提高甜菜糖分 0.6 度,亩产量提高 7%,创经济效益超过 1.8 亿元。他们还还对油菜、玉米、小麦等作物种子进行系统试验,都取得明显的效果^[3]。

鞍山静电技术设计院用静电场($100\text{—}250\text{kV}/\text{m}$,照射时间为 $0.08\text{—}0.17\text{h}$)处理作物种子(玉米、水稻、高粱、大豆、花生)和蔬菜种子(蕃茄、青椒、黄瓜、茄子、芸豆、白菜),促进了种子萌发,提高了抗逆境能力,作物增产达 $5\text{—}20\%$ 。吉林工业大学用静电场处理胡萝卜种子、沈阳农业大学用静电场处理桑蚕和食用菌都取得了显著增产效果。

也有单位在大田作物和蔬菜植株上方施加一定强度的高压静电场(用绝缘支架架设一副金属丝构成的屏网,其高度可以调节,高压静电电源的输出端与金属丝屏网联接,零线输出端接地),促进了植株的生长,获得增产。例如在对芹菜、生菜、油菜、韭菜、西红柿进行试验时,所用的电场强度值为 $65\text{kV}/\text{m}$,在每天植物光合作用最旺盛时间开机 4 小时下,它们的产量分别提高 36%、53%、31%、98%、21%,而

且它们的生长期都有所缩短。他们对食用菌和花卉也作了试验,都取得了很好的效果。高压静电场所以能促进植物生长,主要是加快其新陈代谢,对有叶植物加快其光合作用,经过静电场促进生长的植物枝叶和果实的成分均未改变,食用口感也没有变化。

上述这种方法虽然可以在小面积试验田里取得良好效果,但在大面积农田里推广有一定的困难,所以在农田里对植株施加静电场的方法不如对种子施加静电场的方法来简便易行。

静电场还可用于干燥处理水果、蔬菜,其效果优于日晒干燥处理。用静电干燥处理水果,其维生素C保存率可达99.6%,而日晒干燥仅有70%,而且维生素B₁和B₂含量也较高。还有报道,苹果、甜瓜经静电场(15kV直流高压、球状电极)处理5min后能保鲜,说明电场有抑制霉菌生长的作用^[4]。国内有些酒厂将静电场用于酒的催陈,将刚酿造出的酒(连同容器)置于电压为10—200kV的静电场中处理60—600min,即可得到色、香、味与自然陈化半年至一年的陈酿酒基本相同的酒,用气相色谱和近红外光谱分析,证实酒中成分确实发生了变化。这种方法给酒厂带来良好的经济效益,酒厂减少酒库和贮酒容器,资金周转加快。

华东师范大学叶士等自制ACHV-II型电刺激仪,在上海望新鱼苗场对异育银鲫和团代鲂胚脱用10⁴V/cm左右的低频电场作3—5min的辐射。通过这种电刺激,胚胎孵化率高,鱼苗放养成活率和成功率高,生长速度相对加快25%以上。若未经电刺激,从上海运往北京、东北等地的鱼苗大批死亡,成活率很低,电刺激后就解决了这个难题,获得了明显的经济效益。他们认为淡水鱼胚胎受电场处理后之所以能促使其生长发育速率加快的可能原因是胚胎内含有大量的细胞水,胚胎外的包囊也充满着水,当它们受到电场作用时,会生成一定浓度的超氧负离子自由基、过氧化氢和自由质子,这些物质提高了细胞代贮能、转化排废及防御消毒的功能,促进了代谢作用,于是提高了胚胎孵化率和成活率。叶士等还对家蚕卵作了电刺激,发现孵化整齐,进行对比饲养,经电刺激可增加丝的产量。他们还对甜椒、黄壳椒、条茄、牛茄等种子进行电刺激试验,结果表明,适当剂量的刺激能提高种子的发芽势、幼苗的株高和增大开展度,得到了增产的效果。

山西农业科学院萧复兴等用高频电场(50MHz,200W)处理玉米种子(时间120s)、高粱种子(时间30—90s)、谷子种子(40—90s)。在三个县进行布点试

验,玉米有47个试验点,其中39个点增产,幅度为7%—15%,其余8个点与对照组无差异;高粱有27个试验点,其中21个试验点增产,幅产为8%—13%,其余6个点与对照组无差异;谷子有27个试验点,其中22个点增产,幅度为9%—16%,其余5个点与对照组无差异。他们在研究中发现,用高频电场处理种子时,温度高低与处理效果有较大关系。温度过低没有效应,过高种子被烫伤,甚至烫死。一般温度应控制在45—70℃范围内。

2.2 磁场技术

磁场的生物效应已有不少研究。20世纪60年代初,Pittman^[5]和Jacob^[6]等人曾报道磁场能促进植物生长。20世纪70年代中期至80年代初,苏联在几十种农作物上开展了磁处理的研究,获得不同程度的增产效果,取得了显著的经济效益^[7]。我国在20世纪80年代初开始了这方面的工作。中国农业大学林延安等人在1990年至1991年用梯度磁场装置(由六对12块永久磁铁,南北极相间排列为N-S-N-S-N-S……组成,磁铁表面的磁感应强度为40mT左右,这套装置是苏联农业物理研究所赠给的)^[8]处理冬小麦(品种87E20)、春小麦(中凡61号)、玉米(农大60、掖单2号)种子和马铃薯(克新4号),在北京近郊和延庆县山区进行小面积播种试验。种子经磁场处理后,出苗率有明显增加,冬小麦产量提高10.7%,春小麦产量提高10.4%,玉米产量提高12%,马铃薯对梯度磁场的反应更为敏感,其单株块茎总数增加62.7%—74.3%,单株块茎平均重量增加36.6%—48.2%,1990年测产结果,增产幅度在10.9%—45.0%,1991年增产为35%^[9]。

林延安等测定了梯度磁场对冬小麦、春小麦和玉米三种农作物幼苗的淀粉酶、过氧化氢酶活性的影响。试验表明,处理的三种农作物幼苗的两种酶的活性均比对照组高,他们还利用电子顺磁共振仪探测梯度磁场处理后的小麦干种子内自由基的浓度,与对照组相比,自由基浓度增加13%,所得的ESR谱为不具有超精细结构的单峰波谱。林延安等还对经梯度磁场处理后的马铃薯块茎芽眼内的赤霉素、生长素和脱落酸的含量进行了测定,与对照组相比,赤霉素和生长素的含量增加,而脱落酸含量降低。生物学研究指出,这些都有利于种子的发芽。

西北农业大学傅志东等用200—400mT的恒定磁场处理小麦种子(咸农683)和水稻种子(南京11),处理时间为4—8min。研究表明,种子内的淀粉酶和过氧化氢酶有明显的激活作用,而且还影响整

个酶促反应过程,这主要是通过提高最大反应速率和改变米氏常数,即改变酶与底物间的视合势来实现的。

国内许多人的研究工作都肯定了用一定强度的磁场和一定时间处理作物(包括蔬菜)种子后,种子内某些生物酶和激素活性增强,促进种子发芽和生长,从而提高了产量。但是上述的研究似乎都局限于实验室和小面积农田上的试验,至今未见在国内有较大面积农田上推广的报告。

有人将钝顶螺旋藻在 0.25T 的磁场下培养,使螺旋藻内组氨酸、精氨酸(人体需要的两种氨基酸)和微量元素(Sr, Ni, Co, V 等)的含量有了明显的提高^[10]。还有人用磁处理水(水在一定强度磁场下流过)喷浇蔬菜和食用菌,使其内的一些生物酶活性增强,从而提高了产量。国内的一些酒厂也有用施加一定强度和一定时间的磁场作用于酒,以达到催陈酒的目的^[11]。

2.3 光技术

2.3.1 激光

从 20 世纪 60 年代开始,美、苏、澳、加拿大等国将激光用于诱变育种;我国激光育种始于 1972 年,激光育种取得喜人的成绩,初期主要用于粮食作物,后来向经济作物扩展。单就作物方面来说,到 1995 年就已育成 42 个新品种,取得良好的经济效益^[12]。激光育种中最常用的是 CO₂ 激光和 He-Ne 激光。

用激光辐照(一定强度和时间的)作物种子可提高它的农学参数(发芽率、发芽势等)和改善叶绿素含量,增强光合作用强度和某些生物酶的活性,有利于作物的生长,达到增产的目的。内蒙古农牧学院郝丽珍等用 737mW/cm² CO₂ 激光照射油菜干种子(含水量为 5%)。在激光分别照射 10、30、50s 后提高了出苗率、出苗势,获得了增产,增产幅度为 4.3%—27.6%。他们还作了生化参数的测试,发现经激光照射后过氧化氢酶的活性比对照组高 0.92—1.83%,叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量比值降低。一般说来,该比值低,则光合作用效率高,且有利于在弱光下进行光合作用。湖南省原子能农业应用研究所万贤国等用不同激光(CO₂, He-Ne, 钹玻璃, N₂, Ar⁺, YAG)照射水稻种子。研究结果表明,激光同其他理化诱变因素一样,能引起水稻后代出现多种性状的变异。特别是早熟、矮秆、籽粒变大等有利变异出现的频率较高。这些变异通过 3—5 代的观察,多数能真实遗传。

研究证明,激光可导致 DNA 分子氢键的断裂,引起单链或双链的断裂。1979 年, D. A. Angelor 等首

次用激光将 DNA 和 RNA 的一种碱基进行双光子光解,实现了对 DNA 氢键的断裂,当它们再接合时有可能发生差错, DNA 分子将按新的模板进行复制, DNA 分子链上核苷酸或碱基顺序将发生变化,造成基因突变,生物的遗传性状将发生变化,稳定后便完成了激光诱发突变。

有关激光辐照蔬菜种子和蚕卵、蚕蛹、鱼卵、鸡卵等都获得良好的结果,激光还用于酿酒酵母菌的诱变,得到良好变异菌种、酒和食醋的催陈等^[12]。

在生物工程中,激光微束(光斑直径可小于 0.5 μ m)可用于细胞融合技术和外源基因转移,这就从根本上改变了过去盲目大量诱变然后再从中进行筛选的传统做法。美国对蕃茄的基因改造,得到了不易软化和擦伤的品种,因此可以在成熟后收获且保存较长时间,也避免过去在成熟前收获因而口味不好的缺点。植物基因工程的应用,为农作物的大量增产和品种改造(例如固氮基因的转移等),提供了无法估量的发展前景。

2.3.2 生命物质的超弱发光

20 世纪 20 年代, Gurwitsch 从实验中发现^[13],洋葱根尖细胞在分裂时会发射微弱的紫外光。后来的研究证明,任何生命物质都会发射一种强度为 10⁵—10⁸ hv/s·m²、量子产额为 10⁻⁹—10⁻¹⁴、光谱范围为 180—800nm 的超弱光子流。这种超弱发光与生命体许多重要的生命过程,如氧化代谢、去毒作用、细胞分裂、光合作用甚至生长调节等有密切的关系。

利用附有光电倍增管的单光子计数探测系统可以测定作物种子的超弱发光强度。研究表明,作物种子的超弱发光强度与作物抗旱性和抗寒性呈正相关的关系。因此,测定作物种子超弱发光强度是一种鉴定和选育抗旱、抗寒品种的简便、准确和有效的方法。它优于化学的、生物学的方法,只需选择完整良好的种子即可直接测定,速度快,需样品量少,不损坏籽粒,特别适用于珍贵生物品种的鉴定^[14]。

同样,动物精子的超弱发光强度是精子代谢活动综合反应的动态指标,测定它可作为评定精子质量的方法^[15]。

2.3.3 光生态膜

光生态膜用于植物生长中调节光的谱成分,使照射到作物上光的谱成分与作物的光合作用的作用光谱尽量趋于一致。光生态膜是用浮染法将荧光助剂、着色剂分散进入低密度聚乙烯树脂中,通过挤出吹塑制成厚 0.12mm、宽 8m 的无滴长寿塑料薄膜。孟继武等用光生态膜对蕃茄进行试验,产量提高 5%

以上^[16]。美、日等国科学家用彩色塑料薄膜把不同波长的太阳光照射到农作物上,能够收到增产的效果。例如用黄色塑料薄膜覆盖芹菜,能够使其长得叶大无茎粗,在黄瓜幼苗生长期用黑色薄膜覆盖几天,可以提前绽蕾开花,用紫色薄膜覆盖茄子,可以提高茄子产量,用绿色薄膜覆盖过的菠菜,只要4天可以长到7cm高^[17]。

沈阳农业大学王学恕等在辽宁省新宾县人参生产基地做了使用黄、绿、蓝无纺布代替无色塑料薄膜加苇帘搭成荫棚的试验工作。实验表明用蓝色无纺布可取得最好的结果,它与无色塑料膜做荫棚对照,使用蓝色无纺布可对人参的叶绿素含量、光合速率及根重均有不同的促进作用。由于无纺布不易老化,使用方便,省工时,有推广价值。上述各项工作说明,在植物生长中光的确是一个重要的调节因子。

2.4 声技术

20世纪70年代,澳大利亚的一位科学家在农田里做试验时,竟听到了作物发出的“咔嚓、咔嚓”的声音。这一偶然的发现很快引起了科学家的极大兴趣,进而的研究证明,当植物受到致命的伤害时,它会发出一种凄厉的嘶鸣声;当它遇到突然的气候变化时,又会发出低沉、混乱的声音;当天气适宜或久旱逢雨露滋润后,植物发出的声音就极为轻快、动听。如果能破译这种“植物语言”,无疑将对植物栽培和农业生产具有重大的意义。

植物不仅发出声音,而且可对声波作出反应,人们在几十年前就发现,生长在音乐厅周围的瓜果蔬菜的产量,要比在同样条件下生长在其他地区的产量要高。这说明声波可以促进植物生长。美国科学家发现,某些农作物受到某种噪声刺激时,其根、茎、叶表面的孔会长得很大,从而增强了作物吸收肥料和养分的能力。他们用汽笛向试验地里的西红柿苗发射100db的噪声30多次,与一般田里相比,西红柿产量有了很大的提高。还发现,不同的植物对噪声频率有不同的敏感度。此外,噪声还能控制某些植物提前或滞后发芽。利用这种差别制造成功的噪声除草器,可向地表发射特定波长的噪声,使杂草种子提前发芽,这样可在农作物生长前施放除草剂,除掉杂草,促进作物丰收^[18]。

20世纪80年代,微电子技术的进展,并与声学技术相结合,开拓出昆虫声学学科,可以利用昆虫鸣声特征进行种类鉴别,通过探测隐匿于水果和谷物中的害虫的声信息对害虫侵害程度进行量化。美国在储粮害虫声测报技术方面占领先地位,已建立了

实仓多点监测储粮害虫声音的微机监控系统^[18]。根据联合国粮农组织的调查,作物收获后的损失约为10%,即使在美国,每年储粮损失也在10亿美元以上,在发展中国家,这种损失更为惊人。在储粮损失中,储粮害虫是一个重要原因。声测害虫技术比其他方法(X射线法、红外线法和检测害虫发出CO₂气体等法)轻便、简单、快速、价廉和灵敏度高。

3 离子束技术

离子注入是20世纪80年代兴起的一种材料表面处理技术。中国科学院等离子体研究所余增亮等首创将离子注入应用于农作物品种的改良,并与安徽省农业科学研究院合作,培育出两个水稻新品种S₉₀₁₂和S₉₀₅₅,米质比原品种提高1—2个等级,抗病虫害性能提高1—3级。这两个新品种在1996年已在安徽、江西、湖北等省推广620万亩,平均亩产比当地主栽品种增加30—50kg。他们还从1991年开始利用离子束导入法,把玉米裸露DNA转入水稻,获得了俗称“玉米稻”的新品系。根据育种目标筛选的三个玉米稻新品系,秆茎粗、抗倒伏、光合效率比原品系提高13%,小区评比试验亩产在650kg以上。华中农业大学和华南植物研究所的科研人员利用中国科学院等离子体研究所提供的技术,改造特殊基因材料,获得了同样的结果。离子注入烟草和甜菊也取得了增产和改善内在品质的效果。

10余年来,中国科学院等离子体研究所与国内40多个单位合作,获得256个作物新品系,其中21个通过国家级或省部级1—2年的评比试验,通过审定的新品系有2个,投入生产的微生物菌种3个,累计经济效益达13亿元。国内许多单位,如武汉大学、四川大学、安徽农业大学、北京师范大学、中国农业科学研究院、中国科学院近代物理研究所、兰州大学、甘肃省农业科学研究院等都开展了这方面的工作。中国科学家将离子注入技术用于作物品种改良引起国外科学家的关注,日本在1991年11月召开了“离子束辐照生物技术”国际论证会,美、英、日发达国家纷纷开发微束和单粒子技术,离子束照射已达到单细胞甚至亚细胞水平,虽然我国在离子束作物品种改良方面走在前面,但就物理技术发展而言,已明显地落后了^[14]。

离子束育种与通常辐射育种在诱变机制上是有区别的,离子注入作物种子不仅存在能量沉积(包括动量传递)过程,又存在质量沉积和电荷变换过程,即同时间向作物种子某个局部输入了能量、物质和

电荷.有关离子束诱变育种的机制目前还是十分不清楚的.

4 光谱技术

4.1 近红外光谱

农业分析是对与农业有关的物质(谷物等农产品、土壤和肥料等农业物质)进行分析.许多农业样品属于天然物,结构和成分极其复杂;农业样品分析的项目繁多,通常每种分析项目都需要开发一种分析方法,分析步骤繁杂,需要占用大量仪器设备、人员与资金;许多常规分析项目在分析过程中产生有害环境的三废,因此农业分析在分析界属于困难多、分析量巨大的一个分析领域.20世纪60年代后,由于电子、光学、计算机技术的发展和化学计量学的应用,使从复杂、重叠、变动的近红外光谱(波长范围约为 $0.75\text{--}2.5\mu\text{m}$)背景中提取弱信息成为可能^[20],形成近红外分析方法.美国农业部的 Norris 首先将它应用于农业分析^[21].1970年,美国的一家公司首先研制出应用近红外技术的农产品品质分析仪器,主要用于分析农产品中水分、蛋白质等含量.由于这类仪器能迅速得到分析结果,且操作简单,大受粮库、进出口、粮食加工、粮食储存等单位的欢迎.到20世纪80年代中期,在美国已有上千台近红外分析仪进入使用单位.随着进一步运用了化学计量学、现代光学、计算机数据处理等技术,近红外分析技术发展为现代近红外光谱分析技术^[22].在国际上形成了研究近红外技术的高潮,方兴未艾.有关专家认为,近红外技术已经逐步成熟,不久将迎来快速发展的新阶段^[23].

早在20世纪七八十年代,我国一些高等院校和科研机构利用世界银行长期低息贷款,进口了几批价值上千万美元的近红外仪,但由于缺乏适合我国国情的配套优秀软件,这批进口仪器大都没有发挥其应有的作用.20世纪90年代以来,我国的近红外应用技术有了极大发展,正在进入高潮.

与常规化学分析相比,近红外分析具有许多优点.近红外光谱分析应用的分析信息是分子内部原子间振动的倍频与合频,因此信息量极为丰富.近红外光谱几乎可以用于所有与含氢基团有关样品的化学性质和物理性质的测量.农业领域可分析农产品的蛋白质、氨基酸、脂肪、淀粉、面筋、水分以及其他营养成分与某些有害成分(如油菜籽中的硫甙与芥酸).在食品、果品、中药、保健品、饲料、化妆品、纺织、石油化工、高聚物、能源、医学、生命科学、环境监

测等领域,也都可以使用近红外技术作为产品与原料的检测、生产过程的监控以及研究开发的手段.

每种常规分析技术一般含有的有用信息少,因此每种分析项目都需要单独开发一种分析方法,近红外光谱中物质结构信息极为丰富,因此可以用一种近红外光谱完成多种常规分析方法才能完成的分析任务,适合于多项目的农业分析.近红外分析样品不需任何化学处理,不需要消耗试剂,不产生任何污染,是一种绿色分析技术,特别适合于非破坏测定谷物等农业样品.

一般传统的化学分析主要依靠手工完成,分析速度慢,而近红外光谱分析依靠现代算法通过计算机提取信息,完成分析,分析速度极快.一般传统的化学分析所有的操作步骤和数据处理通常由应用人员或用户完成,因此操作步骤比较复杂.而近红外光谱分析,其复杂的分析步骤(如建模)可由专业人员通过计算机技术及网络组成的技术支撑系统来完成,用户使用近红外技术极为简单.对某些近红外技术的用户,不需要任何困难的操作,就可以像“傻瓜机”一样应用近红外技术分析样品,这特别适合于大量农业用品的快速分析.

总之,近红外分析技术具有快速、高效、低成本、无损、无污染等许多优点,适合于农业样品分析,尤其适用于现场分析与在线分析.

4.2 紫外可见光光谱

利用紫外可见光谱可以有效地检测蔬菜、水果中的残留农药、药品和毒品,进行迅速、精确的检测,而且对动物、植物的药物残留和激素等有明显的辅助检测功效.今日的北京已在40余个蔬菜批发市场配备了“TU-1800系列紫外可见分光光度计”,抽检外地进京的蔬菜,让北京市民吃上放心的蔬菜.

5 精确农业

精确农业(precision agriculture)是以多种物理学科为基础,用诸多高新技术集成的现代化农业技术.所谓精确农业是指基于耕作农田的水、肥、土壤及农作环境局部区域的差异性,以遥感(RS)、全球定位系统(GPS)与地理信息系统(GIS)作为信息采集、信息处理以及辅助耕作决策的主要技术手段,定性、定量、定位、定时地自动采取相应合理的农作措施,以较小的投入而获取较高的收益,并将环境污染降低到最小程度的目的.精确农业又称“3S”农业^[24].

精确农业的概念出现在20世纪80年代末期,1989年11月,在美国夏威夷召开了第一次精确农业

国际研讨会.此后,先后在德国、加拿大、日本、以色列等国每年都召开一次研讨会,交流各种技术.1998年1月,美国副总统戈尔在他著名的“数字地球(Digital Earth)”演说中也曾提到了精确农业.在我国,精确农业作为国家级大型科研攻关课题研究始于1996年,国家投资5000万元在北京顺义县建立精确农业示范基地,对此项技术开始进行系统、深入的研究.在即将开始的“国家十五”科研攻关项目中,也将精确农业列入“863”计划之中.

据报道,到1995年美国已有5%的农田在不同程度上应用了精确农业技术,近年来又有更为迅速的发展.不仅西方发达国家对精确农业技术实践引起重视,而且韩国、巴西、马来西亚、泰国等也开始了实验示范研究^[25].

遥感(remote sensing)是精确农业获取农田信息的主要技术手段.遥感技术是基于物理学原理在现代信息技术支持下完成的一种远程宏观对地测试工作.这项技术最大的特点是以扫描方式采集地面面状的光谱信息,这个特点正适合于对农田按逐个地块快速观测作物生长状态的要求.遥感技术经30多年的发展,其几何分辨率最高可达0.3m(SAR雷达遥感卫星),1m(可见光-多光谱遥感卫星),辐射分辨率可达1024个灰阶,而光谱分辨率可达 $10\mu\text{m}$.正常农作物在红光 $700\mu\text{m}$ 波长处有一个对阳光的吸收带,在近红外 $750\text{—}1400\mu\text{m}$ 波长范围有一个反射峰值,而在 $1450\mu\text{m}$ 波长处又有一个吸收带,这种由植物光合作用机理造成的光谱特性为人们利用遥感技术诊断作物生长状态带来了可能.经过大量的田间测试,不同作物、不同生长期、不同状态下的反射光谱数据库也已建成,这是精确农业一项基础性工作.

全球定位系统(global positioning system)是运用无线电技术结合天体学原理在计算机支持下进行全球空间空位信息采集的系统.该系统利用了铷(Rb)、铯(Cs)或氢(H)原子振荡周期作为超高精度、超稳定度的测时单位,将测时转换成测距,又用测距数据计算出定位坐标.全球定位技术始于20世纪80年代,90代成熟,首先用于军事,而后转为民用.它是向地球外均匀布设24颗卫星,地球上的任何一点在任何时间都可以在各自天顶上与24颗中的4颗以上卫星直接联系,用无线电测距技术分别测量地面待测点与这4颗以上卫星的瞬时距离,建立包括待定点坐标的联立方程组,通过微机解算这个方程组,再经适当的误差处理,就可以得到地面待

测点的坐标^[26].全球定位技术经过多年的改进,现在定位精度达到米级,差分全球定位系统(DGPS)甚至可以达到厘米级.全球定位系统精确定位数据用来对遥感图像象元(pixel)坐标进行精确校正,其系统的仪器设备也可以安装在智能化的农机具上,实时测试农机具所在位置,精确农业控制系统按位置采取相应的农作措施.

地理信息系统(geographic information system)是一种计算机存贮、处理、分析地理时空数据的信息系统.它所包容的数据有两类:一类为时空坐标数据;另一类为相应于时空坐标的属性数据.这种属性数据可以是多门类的,包括地学的、人文的,甚至可以是经济的属性.这些属性附着在时空数据框架之上.遥感图像象元位置,全球定位系统提供的数据以及其他土地测量手段得到的坐标数据为空间数据,而遥感图像象元灰度值以及其他测试手段获取的土壤性状、农田地块单元作物性状数据属于属性数据.地理信息系统将这些海量的数据融合于一体,按照一定的数据存贮模型生成数据库,对应不同应用要求快速完成各种逻辑推演与空间拓扑分析工作,为人们提供定量、定性、定位、可视化的强有力的空间数据处理工具.在这里,不但“3S”技术得到了良好的集成,而且根据光谱数据进行农学诊断的专家系统(ES)、农作决策支持系统(DSS)也可以集成在地理信息系统之内,计算机精确农业系统正是由这样一些技术加以集成、整合构建而成.

“3S”技术联同其他信息采集技术与传统的农业科学技术相结合,给传统的农业耕作方案带来深刻的变革,产生了精确农业的农业生产模式.它用多时相高分辨率的遥感图像为数据源,使用特定的图像处理方法,结合诊断模型,将农田分区耕作环境对作物胁迫状况以及作物水分、营养亏缺状况定量解译出来,系统又进一步调用相应专家系统逐一对待每个田块(可以为 $1\times 1\text{m}^2$, $10\times 10\text{m}^2$ 甚至更大)应采取的耕作措施做出决策,生成耕作电子作业图,交付智能农机具实行定量定位灌溉、施肥、杀虫.

带有GPS的智能农机具在作业时,GPS实时测报农机具当前所在位置,系统对照耕作电子作业图实施相应的耕作作业.这里多种物理学原理不但在构建遥感设备等信息采集器件上发挥着支撑性作用,而且数学物理思想方法在数据处理、农情诊断以及系统集成中也发挥重要作用.比如场叠加原理、傅里叶分析,多元统计方法等等.一些场合将多个离散点(如测试数值点)对于一个数值场的共同作用看作

是单个点源分别作用并相互线性叠加的结果,这就是场叠加原理思想.遥感图像处理中将图像象元灰度随位置变化看作是一个二维非周期振动波,根据傅里叶分析理论可以将它分解为一系列谐波的代数和,用函数卷积可以滤去其高频或低频分量,这就是遥感图像处理数字滤波原理^[27].数字滤波后的图像可以突出某种信息,而削弱某些信息,为数据挖掘(data mining)创造条件.物理学中一些经典概念也常被引入精确农业各种数据处理之中,如熵、能量、力矩等概念在特定条件下衍生演化^[28],赋予特定意义、为定性、定量表述并分析各种复杂农业信息的特征起着至关重要的作用.

我国农业发展的现状较之于发达国家还有很大的差距.从20世纪农业发展史可以知道,20世纪中期以前,第一、第二世界国家要从第三世界国家进口粮食和农产品来维持.然而到20世纪后期情况有了逆转,发达国家的耕地面积并无明显增加,主要靠着科技的力量使农业达到了经济效益、生态效益同步增长的持续发展,可以出口大量的粮食和农产品到第三世界^[29].由此可以看出,要使我国农业现代化,条件之一是必须依靠科技力量,其中也包括物理学各项技术在农业上的广泛应用.要做好这项工作,一方面需要物理学工作者和农业科技人员相互了解对方学科的语言和必要的知识,更紧密地结合,做出更多的成绩;另一方面需要扭转当前农业院校物理教学普遍存在的滑坡现象.许多农业院校的物理课教学学时数仅为70学时(包括实验课),有的院校仅为50学时(包括实验课),不少院校的农学专业甚至取消了物理学课程,这种情况是令人堪忧的.上述两方面的工作应该得到政府有关部门(如农业部、教育部)的引导和重视,因为在我国加入WTO后,要使农业在面临的激烈竞争中胜出,首先要注意人材的培养和有效的使用.

参 考 文 献

[1] 温贤芳主编.中国核农学.郑州:河南科技出版社,1999.604,491[Wen X F ed. China Nuclear Agricultural Sciences. Zhengzhou:Henan Scientific Technology Press, 1999.604 491(in Chinese)]
 [2] 徐冠仁编.核农学导论.北京:原子能出版社,1997.190[Xu G R ed. An Introduction to Nuclear Agricultural Science. Beijing: Atomic Energy Press, 1997.190(in Chinese)]
 [3] 梁运章,白亚乡.物理,1999,1:39[Liang Y Z, Bai Y X. Wuli (Physics), 1999, 1: 39(in Chinese)]
 [4] 梁运章等.物理,2000,1:39[Liang Y Z et al. Wuli(Physics), 2000, 1: 39(in Chinese)]

[5] Pittman U T et al. Plant Sci. , 1979 A5 594
 [6] Jacob R E et al. Prog. in NMR Spect. , 1981 ,14 :113
 [7] Пирузьян П А. Ансер Серьяол,1983 6 805
 [8] 彭运生等.中国水稻科学,1991,1:57[Peng Y S et al. Chinese J Rice Sci. , 1991, 1: 57(in Chinese)]
 [9] 林廷安等.北京农业大学学报,1992,18:357[Lin T A et al. Acta Agriculture Universitatis Pekinensis. , 1992, 18 :357(in Chinese)]
 [10] 李志勇等.生物物理学报,2001,3:58[Li Z Y et al. Acta Biophysica Sinica. , 2001, 3: 58(in Chinese)]
 [11] 仲伟纲等.物理,1993,6:359[Zhong W G et al. Wuli(Physics), 1993, 6: 359(in Chinese)]
 [12] 唐玄之等.激光生物学报,1999,2:157[Tang X Z et al. Acta Laser Biology Sinica, 1999, 2: 157(in Chinese)]
 [13] Garwitsch A G. Arch. EntwMech. Org. , 1923, 100 :11
 [14] 刁岗.物理,1994,9:548[Xi G. Wuli(Physics), 1994, 9: 548(in Chinese)]
 [15] 岳文斌,张建新.激光生物学报,2001,2:146[Yue W B, Zhang J X. Acta Laser Biology Sinica. , 2001, 2: 146(in Chinese)]
 [16] 孟续武等.激光生物学报,2001,2:108[Meng X W et al. Acta Laser Biology Sinica. , 2001, 2: 108(in Chinese)]
 [17] 柳涛,吴秀芳.物理,1992,4:223[Liu T, Wu X F. Wuli(Physics), 1992, 4: 223(in Chinese)]
 [18] 郭敏,尚志远.物理,2001,1:39[Guo M, Shang Z Y. Wuli (Physics) 2001, 1: 39(in Chinese)]
 [19] 余增亮.物理,1997,6:333[Yu Z L. Wuli(Physics), 1997, 6: 333(in Chinese)]
 [20] 严衍禄等.光谱学与光谱分析,2000,6:777[Yan Y L. Spectroscopy and Spectral Analysis , 2000, 6: 777(in Chinese)]
 [21] Norris K H, Rowan J D. Food Technol. , 1957, 11: 374
 [22] Stark E, Luchter K. Appl. Spectroscopy Rev. , 1986, 4: 335
 [23] Martin K A. Appl. Spectroscopy Rev. , 1992, 4: 323
 [24] 严秦来,朱德海等.计算机与农业,2000,1:3[Yan T L, Zhu D H et al. Computer and Agriculture , 2000, 1: 3(in Chinese)]
 [25] 汪懋华.精确农业基础序言.北京:中国农业大学出版社,1999.1[Wang M H. Infance of Precision Agriculture fundment. Beijing:China Agriculture University Press, 1999.1(in Chinese)]
 [26] 刘基俞,李征行,王跃虎等.全球定位系统原理及其应用.北京:测绘出版社,1993.5,202,211[Liu J Y, Li Z X, Wang Y H et al. The Principle and Application of Global Positioning System , Beijing :Measure and Mapping Press , 1993. 5 , 202 , 211(in Chinese)]
 [27] 严秦来,韩铁涛等.土壤学报,1992,2:48[Yan T L, Han T T et al. Acta Pedologica Sinica, 1992, 2: 48]
 [28] 容观澳.计算机图像处理.北京:清华大学出版社,2000.289,291[Rong G A. Computer Image Processtion. Beijing :Tsinghua University Press , 2000. 289 , 291(in Chinese)]
 [29] 邝朴生等.精确农业基础.北京:中国农业大学出版社,1999.1[Kuang P S et al. Precision Agriculture Fundment. Beijing :China Agriculture University Press , 1999. 1(in Chinese)]