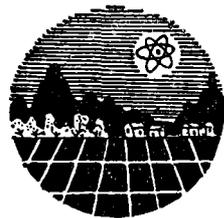


物理技术在农业上的应用

金 仲 辉



随着现代科技的发展,物理技术也逐渐应用于农业。核技术在农业上的应用在我国已有数十年的历史,且有专门的期刊刊载这方面的文章。但是电场、磁场、光学以及电子束和离子束等技术在农业上的应用仅有十余年或数年的历史,其特点是大多数应用还处在摸索的阶段,尚未达到推广的地步,还有机理方面的研究很不充分,尚待进一步完善。本文主要介绍近年来电、磁、光和电子束、离子束技术在我国农业上的某些应用。由于物理技术较之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,所以物理技术在农业上的应用应该引起我们物理工作者的重视和关心。我们深信,在不远的将来,物理学内将建立起一门新的分支学科,即农业物理学。

一、电场技术的应用

1 静电场技术

内蒙古大学物理系梁运章从1984年开始用静电场处理甜菜种子,并系统地进行了生物效应的研究。结果发现甜菜种子经静电场处理后,发芽势、发芽率、幼苗百株重、绿叶数、株高、块根鲜重、含糖分等指标与对照组相比均有明显的提高。1987—1990年连续四年在内蒙古、吉林、辽宁三个省区的10个糖厂的试验示范,结果是总面积达8.6万亩的产物之含糖分平均提高0.6度,亩产提高7%左右,经济效益达540万元。

经研究还发现,经静电场处理后种子的呼吸强度比对照组提高 $0.220\text{mg/g}\cdot\text{h}$,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。还进行了X射线衍射和利用顺磁共振仪对自由基的测定。实验表明,与对照组相比有明显的差异。

鞍山静电技术设计院也用静电场(100—250kV/m),照射时间为0.08—0.17小时处理作物种子(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)。静电场处理促进了种子萌发,提高了抗逆境能力,作物增产量达5—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。

2 交变电场技术

华东师范大学叶士琛等自制ACHV-II型电刺激仪,连续三年在上海望新鱼苗场对异育银鲫和团鲂胚胎用 10^4V/cm 左右的低频电场作了3—5分钟的辐

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。获得了明显的经济效益。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。叶士琛还对家蚕卵作了电刺激,发现孵化整齐,进行对比饲养,1991年统计资料表明电刺激可增加丝的产量,一般成蚁茧层增加8.2%,经济收入可增加9%左右。还对甜椒、黄壳椒、条茄、牛茄种子进行电刺激试验。试验表明,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。

总之,电刺激促进动植物胚胎发育生长,增加了生产效益。另外,经遗传学方面的研究初步显示有遗传性,为电刺激诱变选育良种的大规模推广提供了可能。

山西农科院农业物理所萧复兴等用高频电场(频率50兆、功率200瓦)处理玉米种子(时间120秒)、高粱种子(时间30—90秒)、谷子种子(40—90秒)。在三个县布点试验,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个点增产,幅度为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°C — 70°C 范围内。温度超过 75°C 则出苗差,生长不正常,秆矮,叶色淡。

二、磁场技术的应用

北京农业大学林延安等在1989—1991年用梯度磁场处理冬小麦(品种87E20)、春小麦(中凡61)、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35.8%。

林延安等测定了梯度磁场对冬小麦、春小麦及玉米三种农作物幼苗的淀粉酶、过氧化氢酶活性影响。试验表明,处理的三种农作物幼苗的这两种酶的活性均比对照组要高,他们还利用电子顺磁共振仪来探测梯度磁场处理后的小麦干燥种子内自由基的浓度,所得的 ESR 谱为不具超精细结构的单峰波谱,与对照组相比,梯度磁场处理的小麦样品内自由基浓度增加 13%。

林延安等还对经梯度磁场处理后,马铃薯块茎芽眼内的赤霉素、生长素和脱落酸含量进行了测定。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。

原苏联是最先将磁场大规模地用于农业生产的国家。林延安等所用的磁场梯度装置就是由原苏联农科院农业物理所提供的。这个装置主要是由 12 块上、下相间排列的磁板组成。

西北农业大学傅志东等测定了小麦种子(咸农 683)和水稻种子(南京 11)经恒定磁场处理后的淀粉酶和过氧化氢酶,肯定了磁场对这二种酶有明显的激活作用。恒定磁场不仅使酶有激活作用,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度和改变米氏常数,即改变酶与底物间的亲合势来实现的。傅志东用的恒定磁场的场强在 200—400mT 之间,处理时间在 4—8 分钟之间可取得最好的效果。

总之,上述生化方面的一些研究,肯定了磁场处理种子后,使种子内某些酶和激素活性增强,促进种子发芽和生长,从而提高了产量。

三、光技术的应用

内蒙古农牧学院郝丽珍等用 737mW/cm² 的 CO₂ 激光照射油菜干种子(含水量为 5%)。在激光分别照射 10''、30''、50'' 后,提高了出苗率、出苗势,获得了增产,增产幅度为 4.3%—27.6%。他们还作了生化方面的测试,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,光合效率高,且有利于在弱光下进行光合作用。他们还对茄子干种子(含水量 8.33%)作了激光照射,结论是 825mW/cm² 的 CO₂ 激光照射 10''、13''、15'' 后可使前期、中期、后期增产效益明显,总产量提高 18.4—28.7%。

湖南省原子能农业应用研究所万贤国等近十余年来用不同激光(He-Ne、CO₂、钕玻璃、N₂、Ar⁺、YAG)照射水稻种子。研究表明,激光同其它理化诱变因素一样,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,多数都能真实遗传。在研究中还发现激光加 γ 射线复合处理可以显著地提高诱变效果;He-Ne、Ar⁺ 等激光均对辐射损伤有明显的缓解作用。

江苏农学院邵耀椿测量了玫瑰茄、蕃茄、大豆及小麦种子的种皮对 He-Ne 激光的透射率和部分种子胚的吸收率。实验得出这些种子皮对于 2mW 的 He-Ne 激光(6328 Å)透射率为 20%—30%,当照射剂量为 1 J 时,约有 10¹¹—10¹² 个光子被胚吸收。他还对激光育种机理作了初步的探讨,认为当激光照射种子时,大量激光光子与 DNA 分子作用(生物遗传与 DNA 分子碱基次序有关),影响周围电环境,由于双光子和多光子效应而激发碱基。根据 DNA 碱基基态与激发态能级差,He-Ne 激光可以直接激发 DNA,由此引起 DNA 的突变。这种解释是否正确尚难决断,但我们要对实验结果作机理上的探讨是值得肯定和重视的。

沈阳农业大学王学恕等在辽宁省新宾县人参生产基地使用蓝、绿、黄色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,它与无色塑料膜加苇帘做荫棚对照,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程度的促进作用。由于无纺布不易老化、使用方便、省工时、有推广价值。王学恕等的工作说明,在植物生长中光是一个重要的调节因子。

四、电子束和重离子束技术的应用

吉林农业大学李素华等自制非真空电子束仪(利用高压放电原理、产生脉冲宽度可变,能量可调的电子束)。仪器技术特性为:电压 10—50kV,频率 0.5—5 Hz,放电间隙 1—6cm,脉冲宽度 2μs, 0.2μs, 0.05μs,脉冲束流最大值为 500mA,平均电子束流最大值为 500μA。他们用上述仪器产生的电子束照射豌豆种子(种子先吸水泡胀 5 小时),剂量分别为 0, 17.80, 38.80, 60.55, 88.00 × 10GY。实验结果得出电子束对供试品种的半致矮剂量和半致死剂量在 58—80 × 10 GY 之间。再选取 38.8 × 10GY 处理种子的根尖做染色体畸变率的测量,结果表明总畸变率为 9.23%,说明非真空电子束是一种好的诱变辐射源。

我国在 80 年代后期开始用重离子注入种子的诱变育种的工作。武汉大学、四川大学、中科院等离子体物理所与安徽农科院、农学院研究组、北师大、中国农科院均采用 30—100keV 的氮离子注入小麦、水稻、玉米等种子,观察到生长受抑情况。安徽组在大田中已获得明显效果,产量提高 10—15%,抗涝性也明显增强,他们还开展了离子诱变机理及生物学效应的研究。90 年代初,中科院近代物理所与兰州大学、甘肃省农科院研究组采用 110keV 的 ¹⁴N⁺、¹²C⁺ 和 ⁵⁶Fe⁺ 离子注入小麦等种子,开展了深入的研究工作。

由于荷能重离子可能成为一种高效诱变源,它在诱变生物学方面有独特的优势,它是一项很有特色、很有前途的研究开发的项目。所以,重离子注入诱变育种研究已被国家列入“八五”科技攻关项目和“八五”重点科研项目。

四百年前,伽利略曾利用实验深入地研究了落体和抛体的运动。后来,从盛传的比萨斜塔实验中,人们发现任何物体的惯性质量 m_I 都等于引力质量 m_G 。

大约 80 年前,上述发现又成了广义相对论的基本出发点——等效原理。爱因斯坦还告诉我们,光子在引力场中也遵循这一原理。

能否在高塔上把光子下“抛”,来验证一下爱因斯坦的理论呢?第三届全国中学生物理竞赛(1986年)就有一道试题叙述了这个实验,该题^[1]内容如下:

“有人从高度 $H = 22.5$ 米的大楼上向地面发射频率为 ν_0 的 γ 光子,并在地面测量接收到的 γ 光子的频率 ν ,测得的 ν 与 ν_0 不同,与理论预计一致。试从理论上求出 $(\nu - \nu_0)/\nu_0$ 的值。”

实际上,该实验是由美国哈佛大学的 R. V. Pound 和 G. A. Rebka 在 1960 年做的^[1]。他们以半衰期为 270 天的 ^{60}Co 核为光源,发射 14.4keV 的 γ 光子,以 ^{57}Fe 核为靶,光源高于靶子 22.6 米,在后者下方记录共振吸收的情况。为了消除核在发射或吸收 γ 光子时的反冲对光子频率的影响,他们利用了 Mössbauer 的方法,将 ^{60}Co 和 ^{57}Fe 分别嵌入两块铁板(一上一下)表面的晶格中,同时把温度降得很低。这就象把大炮埋在地里,反冲由整个地球担负一样,放射性原子核与铁板晶格联系牢固,极低温又把晶格振动减弱到最低限度,从而



杨 大 卫
「光」有「重量」吗?
· 现代物理知识中的典型习题 ·

五、农作物农学参数和生理参数的光谱提取方法

为了更好地监测农作物的生长情况,有必要了解农作物的一些农学参数(例如叶面指数等)和生理参数(例如吸收光合作用有效辐射系数、叶绿素含量等)。这些参数与农作物产量直接相关,它们也与土壤、水、肥料各类逆境(例如病虫害)及气象等因素有紧密关系。因此,在农学中测出这些参数就可为采取某种田间措施,达到增产的目的提供了依据。

农作物群体叶面积一般以叶面积指数,即单位土地面积中绿叶面积与土地面积之比来表示。在农学中,传统的测定叶面积指数有多种方法,它们的共同特点是从农田中拔取有代表性的若干数量的植株(例如 20 株),然后在室内测量叶片的面积或重量或厚度等。总之,传统的测量既是破坏性的测量,又手续很烦杂、费时。如果用光谱方法测定叶面积指数,则可克服上述缺点。在光谱方法测定中,经常使用近红外波段(例如 $0.76-0.90\mu\text{m}$) 反射率 ρ_n 和红色波段(例如 $0.63-0.69\mu\text{m}$) 反射率 ρ_r 。笔者曾在麦田里测定冬小麦各个生长期下的 ρ_n 和 ρ_r ,得出用以下二式估计小麦的叶面积指数具有最佳的效果

$$\text{LAI} = 0.592 \exp[3.64(\text{ND} - 0.3)],$$

当 $\text{ND} < 0.91$,

$$\text{LAI} = 9.52 \times 10^{-7} \exp[17.98(\text{ND} - 0.3)],$$

当 $\text{ND} \geq 0.91$,

其中 LAI 为叶面积指数, $\text{ND} = (\rho_n - \rho_r)/(\rho_n + \rho_r)$ 。

光合作用有效辐射数量系数指的是能发生光合作用波段的入射光有多少比例被农作物截取(或吸收)。在农作物整个生长期内,它所吸收的光合作用有效辐射数量的总和直接与作物产量相关的,所以这个系数对于监测农作物生长情况和预报作物产量模型是很重

要的。我们可以测量农作物的光谱反射率 ρ_n 和 ρ_r ,根据一定的光谱模型推算出这个系数。笔者测量了冬小麦的 ρ_n 和 ρ_r ,得出利用下式估算小麦的光合作用有效辐射数量系数 PAR 是最可靠的。

$$\text{PAR} = 78.6\text{PVI} + 55.2,$$

其中 $\text{PVI} = 0.939\rho_n - 0.344\rho_r + 0.09$ 。

绿色植物内含有叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素等色素。这些色素尤其是叶绿素对植物光合作用起着极其重要的作用,直接影响光能的吸收和各类有机物(如淀粉、脂肪、蛋白质等)的制造。土壤中的水份、肥料、环境条件(例如气温、大气中 CO_2 含量、各种灾害)都对植物中色素的含量有影响。所以测定作物叶绿素含量对作物生长情况的监测是很重要的。

通常测量色素浓度有分光光度和目视比色法,它们的共同特点是首先采用破坏性的化学技术,用有机溶剂从叶片中提取色素,然后用光度计或有关方法进行测量。从 60 年代起有人采用非破坏性技术,测量新鲜叶片的光谱反射率,得出叶片总叶绿素含量。近年来有人用一种反射光谱比例分析方法,可以非破坏性测量新鲜叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量。所谓反射光谱的比例谱是待测物的反射光谱除以一个参考物的反射光谱所得的比例谱。这个比例谱将加大某些波长处的光谱差异。例如对于叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素可选定 675、650 和 500nm,它们分别为叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的吸收波长。他们研究了大豆叶片色素含量和叶片光谱反射率之间的关系,用以下式子计算色素含量是很准确的。

$$\text{叶绿素 a}(\mu\text{g/mL}) = 22.735x - 10.407,$$

其中 $x = (S_{675}/S_{500})/(R_{675}/R_{500})$;

$$\text{叶绿素 b}(\mu\text{g/mL}) = 2.94y + 0.378,$$

(下转第 11 页)

五、在我国高能物理研究所开展质子治癌研究的有利条件

1. 开展质子治癌研究的前提条件, 是需建造一台小型质子同步加速器。它的能量可变 (70—250MeV, 相当于在体内深度可达 10—33cm)、流强较弱(每脉冲 10^{11} 质子, 每 2 秒 1 个脉冲)。加速器的平均直径约 8—10 米。在该能量范围内的质子同步加速器, 较同能量的质子直线加速器和回旋加速器经济, 且输出能量可调。目前世界上已建成或拟建的质子治癌用加速器, 大多采用同步加速器。设计和建造这种小型加速器, 对已成功建造北京正负电子对撞机的高能物理所是完全有能力的。图 2 和表 3 给出了加速器的初步方案和主要参数。它是一台强聚焦、分离作用和慢加速周期的同步加速器。主要设备是 6 块偏转磁铁, 12 块聚焦磁铁, 1 个高频加速站(不调频、低功率)。1 套注入器和引出设备及自控、束测、真空和电源设备等。

表 3 治癌研究用质子同步加速器主要参数

加速器周长	35m
平均半径	5.5m
注入能量、流强、脉宽	35.5MeV, <15mA, 10 μ s
引出能量	120、180、230MeV
引出流强	10nA (即 3.12×10^{10} 质子/脉冲, 0.5 脉冲/秒)
偏转磁铁 (6 块)	最高场强 1.5T 磁铁长度 1.6m 间隙 $6.5 \times 28\text{cm}^2$
聚焦磁铁 (12 块)	场梯度 6T/m 长度 20cm 孔径 11.6cm
高频加速站 (1 个)	频率 2.15.1MHz 电压 450—300V 功率源 2kW

2. 质子同步加速器必须有一台注入器, 它将质子预加速到一定能量后, 才能注入到同步加速器中继续加速。高能物理所现有一台 35MeV 质子直线加速器, 多年来运行稳定可靠, 完全可用作注入器, 从而可以大量节省建造经费。

3. 高能物理所现有快中子治癌研究实验室, 对于用粒子束进行治癌研究有一定的经验, 对射线的剂量测定, 治疗及定位装置等, 均有设计和建造经验。此外, 与北京市几家大医院的肿瘤和放疗方面的医学专家已建立了有效的合作途径。还应特别指出的是, 高能物理所现有快中子治癌的中子束, 是由 35MeV 质子束轰击靶产生的, 中子束的平均能量偏低, 若用同步加速器输出的 70MeV 质子束轰击靶, 可产生平均能量高于 40MeV 的快中子束, 将使中子束的放射生

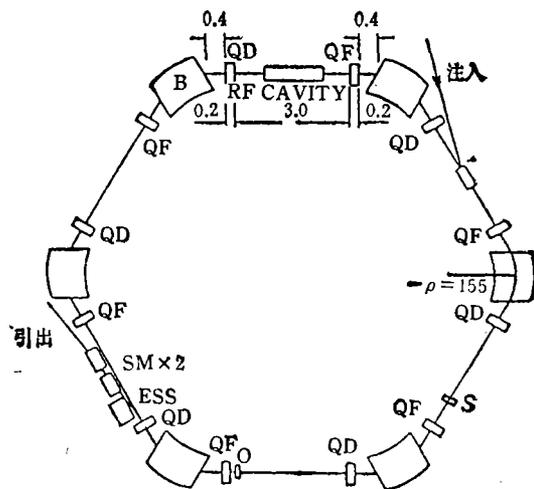


图 2 质子同步加速器示意图

- B: 弯转磁铁
- QF: 聚焦四极磁铁
- QD: 散焦四极磁铁
- SM: 切割磁铁
- ESS: 静电切割器
- RF: 高频加速器
- S: 六极磁铁
- O: 八极磁铁

物效应更好, 对继续发挥中子治癌的优势又是一个有力的推进。

实际上美、日、苏、英、法、瑞典等国的质子治癌研究工作, 都是首先在各自的高能物理所开始的。

建造质子同步加速器及治癌装置, 可在三年内建成。预期建成后每年可治疗 350—500 名患者。它将为我国深入进行质子治癌研究, 造福人民作出重大贡献。此外, 通过建造这台加速器及小型化研究, 在取得经验后, 还可为我国生产和出口该类医用加速器打下坚实的基础。

(上接第 16 页)

其中 $y = [S_{477}/(S_{630} \times S_{700})]/[R_{677}/(R_{630} \times R_{700})]$;

类胡萝卜素 ($\mu\text{g/mL}$) = $4.145z - 1.171$,

其中 $z = (S_{760}/S_{800})/(R_{760}/R_{800})$ 。

以上三式中的字母 S 和 R 分别表示待测叶片和参考物的反射率, 它们的下标表示以 nm 为单位的波长数。

将上述室内光谱的技术应用到野外光谱技术中去, 还需走一段路程, 主要是考虑到植被中叶片等分布的特点及其和辐射相互作用的方式, 太阳的方位和如何消除土壤背景的影响等等。