

低能离子注入引起的植物种子微结构的变化^{*}

陆 挺^{1,2,3}

(1 北京师范大学低能核物理研究所 北京 100875)

(2 北京师范大学射线束技术与材料改性教育部重点实验室 北京 100875)

(3 北京市辐射中心 北京 100875)

摘 要 以植物干种子芸豆和花生为生物体材料,采用正电子湮没技术(PAT)测定了该两类生物样品的正电子湮没寿命谱(PAL)。测量结果表明,在芸豆和花生生物体内存在着大量微小的孔洞,孔洞的直径分别为0.48nm和0.7nm。植物种子的这类特殊的微孔结构是低能离子注入生物效应机理的基础。对注入200keV低能V离子的花生样品也测量了它的PAL谱,并与未经离子注入的花生样品的PAL谱作了比较。

关键词 正电子湮没 植物种子结构 离子注入生物效应机理

THE CHANGE IN MICROSTRUCTURE OF PLANT SEEDS INDUCED BY LOW ENERGY ION IMPLANTATION

LU Ting^{1,2,3}

(1 Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(2 Key Laboratory for Beam Technology and Materials Modification of Ministry of Education, Beijing 100875, China)

(3 Beijing Radiation Center, Beijing 100875, China)

Abstract Positron lifetime measurements were performed on biological samples of lima bean and peanut. The experimental results showed that there were many small holes of diameter 0.48nm and 0.7nm, respectively, in the lima bean and peanut samples. The very special micro-hole structure of plant seed is the basis of biological effects caused by ion implantation of low energy. The peanut seeds were implanted with vanadium at an energy of 200keV. The positron annihilation lifetime (PAL) spectra of implanted and non-implanted peanut samples were compared.

Key words positron annihilation, structure of plant seed, mechanism of biological effect of ion implantation

近年来在辐射育种领域中,我国在世界上首先使用低能 N^+ 、 C^+ 和 P^+ 等注入植物干种子的胚部,从而引起植物生理和遗传方面的变异^[1-6]。这类变异的突变率高、突变谱广,为辐射育种领域开辟了一个新的方向,并在农作物育种上取得了显著的经济效益。然而对于这类低能离子注入生物诱变效应的机理仍是不清楚的。这类离子的能量一般在30—200keV,从核物理学的角度看,如此低能量离子在生物体密度的均匀介质中的射程均不足 $1\mu\text{m}$,而一般种子的外皮在 $7\mu\text{m}$ 以上,因此低能离子如何穿过种皮进入种子胚部一直是众多核物理学家和生物学家争论的焦点。

为了要正确地了解低能离子注入生物效应的机理,就必须首先了解植物种子生物体的微观组织结构和低能离子对微结构的影响。本研究工作是利用正电子湮没技术(PAT)来探明植物种子微结构及其

在低能离子作用下的变化。PAT是一种独具特色的核探针技术,它利用 e^+ 与被测材料中的 e^- 发生湮没反应而产生 2γ 射线的方法来探知材料中的微观信息。尤其是当 e^+ 进入多孔材料时会形成正电子素(O-Ps),而O-Ps的“撞击”湮没(pick-off)的寿命可直接反映出材料中原子尺寸量级的微孔洞大小。PAT通常是用来探测金属、合金、半导体等材料的微结构和微缺陷的,并取得了极大的成功。本研究是首次把PAT用于生物材料的植物种子的微结构研究,实验结果表明这是一次十分成功的尝试,因而将对拓宽PAT的应用领域起积极有效的作用。

用PAT对两类种子样品进行测量,并对测得的正电子湮没寿命谱进行拟合,所得到三个寿命成分

^{*} 国家自然科学基金(批准号:19890303)资助重大项目
2002-04-29收到初稿,2002-06-04修回
E-mail: luting@bnu.edu.cn

及其相应的强度均列于表 1. 表中的 τ_1 为自由正电子在被测样品体内的湮没寿命, I_1 为 τ_1 寿命成分湮没所占总正电子湮没的份额. τ_2 为正电子在被测样品的空位中形成束缚态后湮没的寿命, I_2 则是该类湮没所占总湮没的份额. τ_3 为正电子在被测样品的缺陷或孔洞中形成 O - Ps 后的 pick - off 湮没寿

命, I_3 是此类湮没占总的正电子湮没的份额. τ_3 的大小反映了被测样品中缺陷或孔洞的大小, I_3 的数值则说明了该类缺陷或孔洞的体积之和占被测样品总体积的多少. 表 2 所列花生样品注入 V 离子与未注入 V 离子的 PAL 谱拟合后的三个寿命成分及其强度.

表 1 芸豆、花生样品的正电子湮没寿命和强度

样品种类	τ_1/ns	$I_1/\%$	τ_2/ns	$I_2/\%$	τ_3/ns	$I_3/\%$
芸豆	0.178 ± 0.002	37.3 ± 0.8	0.479 ± 0.005	47.1 ± 0.6	1.694 ± 0.009	15.5 ± 0.2
花生	0.259 ± 0.003	65.24 ± 0.60	0.671 ± 0.005	18.49 ± 0.60	2.598 ± 0.009	16.27 ± 0.20

表 2 注入离子与未注入离子花生样品的正电子湮没寿命和强度

样品种类	τ_1/ns	$I_1/\%$	τ_2/ns	$I_2/\%$	τ_3/ns	$I_3/\%$
注入 V ⁺ 样品	0.259 ± 0.003	66.28 ± 0.60	0.699 ± 0.005	17.94 ± 0.60	2.650 ± 0.009	15.78 ± 0.20
未注入 V ⁺ 样品	0.259 ± 0.003	65.24 ± 0.60	0.671 ± 0.005	18.49 ± 0.60	2.598 ± 0.009	16.27 ± 0.20

植物种子生物体从本质上讲是一种组织结构疏松的有机材料体. 在这类材料结构的空隙处, 正电子极易形成类似氢原子的正电子素. 正电子素是一种不稳定的准原子态, 它的 1/4 形成单态 1^1S_0 , 即称为仲正电子素 (P - Ps). P - Ps 可发生自湮没, 其湮没寿命较短, 与自由正电子在样品体内的湮没寿命 τ_1 接近. 正电子素的 3/4 形成三重态 1^3S_1 , 即正正电子素 (O - Ps). O - Ps 在与缺陷或孔洞壁的“撞击”过程中, O - Ps 中的正电子会与 1 个具有相反自旋方向的“外来”电子相碰撞而发生 2γ 湮没, 这样 O - Ps 的寿命可减少到几个纳秒, 从而形成 τ_3 . 孔洞越大, O - Ps 中的正电子与外来电子碰撞几率越小, 则 O - Ps 寿命越长. 由此可知, τ_3 的大小直接和孔洞的大小有关, 在正电子谱学教科书中有不同介质材料的孔洞尺寸与 τ_3 对应关系的数据和曲线, 以方便人们从 τ_3 值而直接得到相应孔洞体积的大小. 从表 1 中可知, 芸豆样品的 τ_3 为 1.694, 其相应的孔洞直径应为 0.48nm. 这就是说, 在芸豆种子的组织体内存在许多 0.48nm 直径的孔洞, 这些孔洞的体积之和约占芸豆总体积的 15.5%. 而在花生种子的生物组织内有 16% 的体积是直径为 0.7nm 的孔洞.

从以上分析可以看到, 在植物干种子组织体内存在着大量的微孔洞. 这种微孔洞的结构为低能离子穿过植物种子的表层进入种胚提供了十分有利的条件. 尽管低能离子在一般均匀介质中的射程极短, 但植物种子组织的特殊构造使得低能离子可以利用其内部众多的微孔洞较容易地穿过表层进入植物种子的胚部, 导致胚部基因的突变, 因而引起植物的生

理和遗传方面的变异.

经过计算可知, 由 ^{22}Na 正电子源发出的 544keV e^+ 在花生种子体内的慢化长度为 $200\mu\text{m}$, 因此, 在花生种子表层的 $200\mu\text{m}$ 深度内结构若有变化, 就应该在 τ_3 中反映出来. 从表 2 中可知, τ_3 的数值在注入离子样品和未注入离子样品上是有区别的, 这就说明 200keV 的 V⁺ 注入花生后, 会造成花生组织结构至少在 $200\mu\text{m}$ 的深度内有变化. 此外, 离子注入可以引起有机物的交联和剪切^[7], 交联使有机物内的空洞变小, 而剪切使有机物内的空洞变大. 这两个作用是互相竞争的, 哪个作用占优势将取决于离子注入的种类、能量和注量. 从表 2 可以看到, 花生经 V⁺ 注入后, τ_3 值变大了. 这说明, 200keV V⁺ 以 $9 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 的注量注入花生种子后, 最后造成花生体内的微空洞变大了. 但由于离子注入对有机体的交联和剪切作用是互相抵消的, 所以 τ_3 值的变化是较小的.

参 考 文 献

- [1] 余增亮. 物理, 1997, 26(6): 333 [Yu Z L, Wu L (Physics), 1997, 26(6): 333 (in Chinese)]
- [2] 陆挺, 卫俊智, 朱凤绥等. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1991, 27(4): 421 [Lu T, Wei J Z, Zhu F S *et al.* Journal of Beijing Normal University (Nature Science), 1991, 27(4): 421 (in Chinese)]
- [3] 余增亮, 邱励俭, 霍裕平. 安徽农学院学报, 1991, 18(4): 251 [Yu Z L, Qiu L J, Huo Y P. Anhui Institute of Agriculture in China, 1991, 18(4): 251 (in Chinese)]
- [4] 朱凤绥, 卫俊智, 陆挺等. 作物学报, 1993, 19(4): 299 [Zhu F S, Wei J Z, Lu T *et al.* Acta Agronomica Sinica, 1993, 19(4): 299 (in Chinese)]

[5] 陆挺,谢立青,朱凤绥等.核技术,1994,17(7):444[Lu T, Xie L Q, Zhu F S et al. Nuclear Techniques, 1994, 17(7):444(in Chinese)]

[6] Lu T. Proceeding of the First International Conference on Frontiers

of Physics, Shantou, 1995. In :Ed. Li L F, Phua K K, Wong S S M et al. Singapore :World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1997. 135

[7] Venkatesan T. Nucl Instru. and Meth., 1985, B7—8 :461

附录 介绍《低能离子注入引起的植物种子微结构的变化》一文的背景

早在 20 世纪 70 年代,北京师范大学低能核物理研究所的科学家在离子注入研究中就发现用 100—200keV 的低能离子注入植物种子可以引起生物诱变,但很可惜的是当时对这个现象未引起重视.到 20 世纪 80 年代后期,中国科学院等离子体物理研究所余增亮研究员也发现了这个现象,可喜的是余先生凭着敏锐的科学眼光,立即意识到这个发现的巨大科学意义和应用前景,并很快得到国家自然科学基金委员会数理学部唐林、陈思育、方勤学等同志和生命科学部的冯锋同志的大力支持.接着北京师范大学的陆挺教授、中国农业科学研究所的朱凤绥研究员等也很快在国家自然科学基金的支持下投入这项研究.

低能离子生物诱变效应的发现在物理学和放射生物学界引起了较大震动,因为它在下列两个问题上对传统观念提出了挑战:一是对射程理论的挑战.一些物理学家认为,这样低能量的重离子连种皮也穿不透,不可能进入种子的胚部,引起遗传基因的变化;二是对放射生物学理论的挑战.一些放射生物学家认为,按照传统的放射生物学理论,辐射效应的大小只与射线的能量损失大小有关,而与射线的种类无关.按照这个理论,这样低能量的离子引起的辐射效应,即使有,也是很小的.

但事实胜于雄辩,低能离子显著的生物效应已为多个实验小组所证实.传统理论和新的实验事实的矛盾可能孕育着新的科学理论的诞生.在这种认

识下,国家自然科学基金委员会作了大量的统一认识的工作,对该项发现给予了从面上项目,到重点项目,到重大项目的连续支持,我国物理、化学、生物学等多学科领域的科学家协同攻关,对低能离子注入植物干种子的深度浓度分布,低能离子进入生物体的输运途径,低能离子注入的质量沉积和能量沉积,低能离子注入植物种子在分子、细胞、组织和个体不同层次上引起的生理生化效应,低能离子注入对多代遗传基因的影响,不同种类和不同能量离子注入诱变效应的差异等进行了深入系统地研究,并已取得重大进展,有些成果已陆续在国内外发表.这项研究成果在我国开创了低能离子生物学研究的新领域,填补了重离子生物学研究的一段空白,在国际上独树一帜,被国内外专家誉为“开创性的工作”.

陆挺教授从 20 世纪 80 年代末就参加了这项研究工作,他最先把正电子湮没技术用于低能离子注入植物干种子的深度分布和微观结构变化研究,阐明了植物种子生物体的特殊结构.这项工作不仅是首次把正电子湮灭技术用于植物体微结构的研究,而且为低能离子注入生物体的机理研究打下了良好基础.

(北京师范大学低能核物理研究所所长、国家自然科学基金重大项目“低能离子与生物体系的相互作用”学术委员会成员、核物理教授 周宏余)

· 信息服务 ·

招 聘 启 事

中国科学院化学研究所有机固体重点实验室理论物理与化学课题组,从事有机材料的光电性质,分子器件的理论设计,分子激发态与电荷转移,以及其他领域的基础理论研究.负责人帅志刚,在比利时工作 12 年,刚回国.课题组将与化学所的实验化学家广泛合作.

课题组拟招聘副研究员 1 名,博士后两名,硕士、博士研究生各两名.

招聘条件:凝聚态理论,固体理论,理论化学专业,有一定数值计算经验.

联系人:帅志刚 北京市海淀区中关村北一街 2 号,中国科学院化学研究所(邮编 100083)

Http://morris.umh.ac.be/Zhigang/cvshort.htm E-mail:zgshuai@infoc3.icas.ac.cn

电话 010-62521934(办公室),13021024258(手机)