

文章编号: 1001-3806(2004)04-0431-03

## 激光辐照使滇三角大香糯产生变异的机理研究

张灿邦<sup>1,2</sup>, 周凌云<sup>2</sup>, 钱晓凡<sup>2</sup>, 戴志福<sup>1</sup>

(1. 红河学院 物理系, 蒙自 661100; 2. 昆明理工大学 理学院, 昆明 650093)

**摘要:** 从2001年开始, 连续两年用激光辐照加电场、磁场激发对滇“三角大香糯”进行了育种研究和各生育期的田间试验观测, 并得到了一些有较优变异的稻种。用喇曼光谱分析和量子力学方法对稻种的变异机制进行了研究。

**关键词:** 激光; 电磁场; 育种; 变异; 量子力学; 喇曼光谱

**中图分类号:** O434.14; S335.2<sup>+</sup>9; Q631 **文献标识码:** A

### Mechanism analysis of the effect of laser irradiation on the variation of Yunnan Sanjiao Fragrant Glutinous Rice

ZHANG Can bang<sup>1,2</sup>, ZHOU Ling-yun<sup>2</sup>, QIAN Xiaofan<sup>2</sup>, DAI Zhi-fu<sup>1</sup>

(1. Department of Physics, Honghe University, Mengzi, 661100, China; 2. College of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** From 2001 to 2003, the research of growing seed and the experiment of cultivating Yunnan Sanjiao Fragrant Glutinous Rice was made by using laser irradiation and the electric field and magnetic field excitation. The research group discovered that a little rice had better variation character. The variation mechanism of rice seed growth is analyzed by Raman spectroscopy and quantum mechanics.

**Key words:** laser; electric and magnetic field; seed grow; variation character; quantum mechanics; Raman spectroscopy

## 引言

“三角大香糯”是云南姚安县三角村一带种植的一季中熟粳稻。其米质优良, 尤以其独特的香味而远近闻名。但其产量低、植株高、地域性强, 种植范围限于姚安县三角村低河谷地区的半山坡梯田中(海拔1640m, 年均气温16.5℃), 现种植面积不足100亩。如移栽它处则植株过高的缺点甚为突出, 在原产地株高为1.20m~1.40m, 移栽它处后, 株高一般为1.79m~1.90m, 株秆易折断、倒伏而减产。该品种处于自生自灭状态, 但用传统杂交的方法, 育出之品种缺乏原三角大香糯之独特香味。

为保存此稀罕的稻种, 维护生物品种的多样性,

有必要改良它。作者从2001年春开始, 连续两年用激光辐照加电场、磁场综合的激励育种法, 对三角大香糯进行了稻种处理及田间栽培管理<sup>[1~3]</sup>。试验发现, 三角大香糯是一种极难诱变的稻种。但是与对照组(ck)相比, 经过处理后的稻种略显优势, 特别是经He-Ne, CO<sub>2</sub>激光照射过的组别, 有早熟的趋势, 植株明显矮于对照组。说明激光诱变育种亦有极小的变异几率<sup>[4]</sup>。

为进一步开展激光对三角大香糯的诱变育种研究, 以取得较好的育种效果, 有必要对激光与稻种分子的作用效应进行研究, 从机理上分析这种变异。为此, 测试了三角大香糯种子的喇曼光谱, 并用量子力学对测试结果进行针对性地解析分析, 与育种试验结果进行印证。

## 1 实验材料和方法

(1) 稻种: 云南姚安三角大香糯种子。

(2) 设备: He-Ne 激光器(1.5mW, 波长632.8nm); CO<sub>2</sub> 激光器(10W, 光束0.7cm<sup>2</sup>~0.9cm<sup>2</sup>, 波长10.6μm); 静电电源装置(1×10<sup>4</sup>V~1×10<sup>5</sup>V); 磁场装置(4.8T)。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60068001); 云南省自然科学基金资助项目(2000A0021); 云南省教育厅科研基金资助项目(0111054)

作者简介: 张灿邦(1964-), 男, 副教授、硕士研究生, 从事激光与生物分子相互作用的机理及应用研究。

E-mail: cbzhang@vip.km169.net

收稿日期: 2003-12-02; 收到修改稿日期: 2004-02-13

(3) 剂量: He-Ne 激光辐照 20min, 种子离激光器出光处距离为 25cm; CO<sub>2</sub> 激光辐照 20s, 种子离激光出光处距离为 50cm。光斑直径为 7mm, 功率密度约为 0.26W/mm<sup>2</sup>。电场强度 1.43 × 10<sup>5</sup>V/m, 处理 5min。磁场强度 4.8T, 处理 10min。

(4) 育秧及田间试验: 2002年3月24日, 将所处理的稻种进行播种, 经 52d 育秧后移栽于大龙口乡

稻田中(非原产地, 海拔 1888m, 年均气温 14.9℃), 在各生育期统一进行常规管理, 对植株的质量性状进行了观测、记载。试验数据见表 1。

由表 1 可看出, 被 He-Ne, CO<sub>2</sub> 激光照射过的种子, 与对照组相比, 出现了植株矮化现象, 降低了 10cm~20cm。并且茎蘖数、有效穗数增多。说明激光辐照种子, 确有一定的变异产生。

Table 1 Investigating on the character

treating conditions	number of seed	stem-tiller of single-tree / cm	number of stem	number of effective fringe	weight of per thousand grain/ g	period of plant/ d
nature-growth	ck	182	11	7	19.9	193
He-Ne laser + magnetic field + electric field	PNI- 1	180	27	23	22.2	187
He-Ne laser	PNI- 2	170	18	12	23.8	187
CO <sub>2</sub> laser	PNI- 3	160	20	32	23.5	175
electric field	PNI- 4	176	20	10	22	175
magnetic field + electric field	PNI- 5	180	18	21	21.5	178

## 2 对滇稻种子的喇曼光谱分析

为进一步了解激光的作用机制, 对水稻种子进行了喇曼光谱分析<sup>[5]</sup>。实验用样品为姚安三角大香糯, 其中 1# 样品经 2mW 的 He-Ne 激光照射 20min, 并置入均匀电场各 5min、磁场 10min(励磁电流 1A), 2# 样品是 1# 样品的对照组(未经处理)。经过处理后第 7d 进行种子的喇曼光谱测试。

测试分析仪器为昆明理工大学冶金与材料工程学院提供的 System1000 型显微共焦喇曼仪(英国 Renishaw 公司生产)。测试时在室温下直接将样品放在显微镜下, 采集的信号送往计算机光谱数据处理系统进行分析和处理。

同一天, 在相同测试条件下, 对 2 个样品进行多次测量, 得到样品的喇曼散射谱, 观察到样品的喇曼峰主要位于 400cm<sup>-1</sup> ~ 580cm<sup>-1</sup> 和 2800cm<sup>-1</sup> ~ 3100cm<sup>-1</sup> 范围内的谱带, 其余谱线不明显。

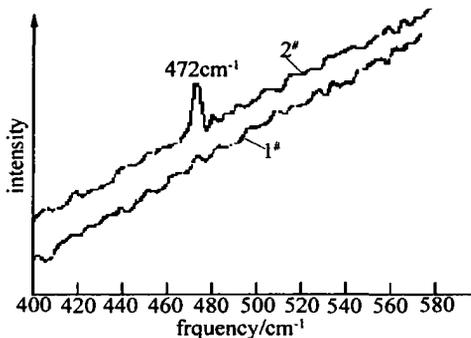


Fig. 1 Raman spectroscopy of the sample before and after laser irradiating

从图 1 可以看到, 辐射前后 1#、2# 样品的相应谱线的位置有所不同。特别地, 经低强度 He-Ne 激光照射后的 1# 样品, 在 472cm<sup>-1</sup> 处的二硫键伸缩振动谱线强度急剧降低, 意味着二硫键可能发生断裂, 表明样品的 DNA 发生了变化, 有可能引发变异。此结果与下述理论分析较吻合。

## 3 激光与二硫键的作用机制

将 DNA 分子中相邻的 S-S 键视为一偶极谐振子<sup>[6,7]</sup>, 用产生算符 a<sup>+</sup> 和湮灭算符 a 进行二次量子化, 其哈密顿量为<sup>[8]</sup>:

$$\hat{H}_0 = \eta\omega_0 a^+ a + \frac{1}{2} \eta\omega_0 \quad (1)$$

激光辐照种子, 就是激光(频率为  $\Omega$ ) 对这一偶极谐振子的微扰, 考虑旋波近似, 其作用势为:  $U_1 = \eta\omega_R \times (a^+ e^{-i\Omega t} + a e^{i\Omega t})$ , 因此, 系统的哈密顿量的量子化形式可化为:

$$\hat{H} = \eta_1 a^+ + \eta_2 a^+ + \eta_3 a + \eta_3 (a^{+2} + a^2) \quad (2)$$

式中,  $\eta_1 = \eta\omega_1$ ,  $\eta_2 = \eta[\omega_R \exp(-i\Omega t) - \omega_2]$ ,  $\eta_3 = \eta\omega_3$ ;  $\omega_1 = \omega_0 + \frac{12k_0}{\eta}$ ,  $\omega_2 = 3k_1$ ,  $\omega_3 = \frac{6k_2}{\eta}$ ,  $\omega_R$  为 Rabi 频率。

令  $\langle a^+ a \rangle = N$ ,  $\langle a^+ \rangle = \langle Q_1 + i P_1 \rangle$ ,  $\langle a^{+2} \rangle = \langle Q_2 + i P_2 \rangle$ , 设  $t=0$  时,  $N = n_0$ ,  $Q_2 = P_2 = 0$ , 并利用  $a, a^+, aa^+, a^2, a^{+2}$  及恒等算符 I 构成的李代数, 带入力学量的期望值方程<sup>[8]</sup>:  $\frac{d}{dt} \langle k \rangle = \frac{i}{t} \langle H, k \rangle$ , 可解

$$\text{得} \begin{cases} \frac{dQ_1}{dt} = -\omega_R \sin \Omega t - \omega_0 P_1 \\ \frac{dP_1}{dt} = -\omega_2 + \omega_R \cos \Omega t - (\omega_0 + 4\omega_3) Q_1 \\ \frac{dN}{dt} = -2\omega_R Q_1 \sin \Omega t + 2(\omega_R \cos \Omega t - \omega_2) P_1 - \omega_3 P_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $N$  为占有数期望值,  $Q_1$  与非谐振子的位移期望值  $\langle x \rangle$  相关,  $P_1$  与非谐振子的动量期望值  $\langle p \rangle$  相关:  $\langle x \rangle = (2\eta/mw_0)^{1/2} Q_1$ ,  $\langle p \rangle = (2\eta mw_0)^{1/2} P_1$ 。令“近”共振频率为  $\omega_r = (\omega_0^2 + 4\omega_0\omega_3)^{1/2}$ , 则当  $\Omega \neq \omega_r$  时(3)式的解为:

$$Q_1 = \frac{\omega_0 \omega_2}{\omega_r^2} + \frac{\Omega + \omega_0}{\Omega^2 - \omega_r^2} \omega_R \cos \Omega t - \frac{\omega_0(\Omega^2 \omega_2 + \omega_r^2 \omega_R) + \omega_r^2(\omega_R \Omega - \omega_0 \omega_2)}{\omega_r^2(\Omega^2 - \omega_r^2)} \cos \omega_r t \quad (4)$$

$$P_1 = \frac{\Omega + \omega_0 + 4\omega_3}{\Omega^2 - \omega_r^2} \omega_R \sin \Omega t - \frac{\omega_r^2(\Omega + \omega_2) \omega_R + \omega_0 \omega_2(\Omega^2 - \omega_r^2)}{\omega_0 \omega_r(\Omega^2 - \omega_r^2)} \sin \omega_r t \quad (5)$$

(4)式、(5)式反映了经过激光干扰后,分子键的位移期望值、动量期望值的非线性振动情况(这里,因不讨论占有数问题,故未写出  $N$  的解的表达式)。

DNA 分子中含有多种分子链、键。激光对分子的作用表现为两个方面:一是当某些链、键的谐振基频  $\omega_0$  接近辐射的激光频率  $\Omega$  的时候,位移期望值、动量期望值将发生“近似共振”现象;其二是通过次谐波泛频对分子键原振动波形的叠加,使振动变为非线性振荡。伏肯斯坦指出<sup>[7]</sup>:“谐振动不能使分子键断裂,而非谐振达到一定程度时,分子将分解成组成它的原子或离子”。因此,在激光作用下,有可能促使某些链、键断裂,从而改变 DNA 分子的构象,发生变异。

在图 1 中,经低强度 He-Ne 激光照射后的 1# 样品,在  $472\text{cm}^{-1}$  处的二硫键伸缩振动谱线强度急剧降低。为解释这一现象,用 MATLAB 对(4)式进行图像处理,以分析激光引起水稻种子分子中的双硫键的非线性谐振动情况。 $t$  的单位是 ms,  $Q_1$  为无量纲的量。激光频率  $\Omega = 2\pi \times 10^7 / 6328\text{cm}^{-1}$ , 双硫键的基频  $\omega_0 = 2\pi \times 472\text{cm}^{-1}$ , 图 2 中的虚线为双硫键简谐振子 ( $\hat{H}_0 = \eta\omega_0 a^+ a - \eta\omega_0/2$ ) 的  $Q_1$  随时间  $t$  的变化图像,这是一光滑的简谐振动曲线。图 2 中的实线为激光作用下非简谐振子  $\hat{H} = \eta_1 a^+ + \eta_2^* a^+ +$

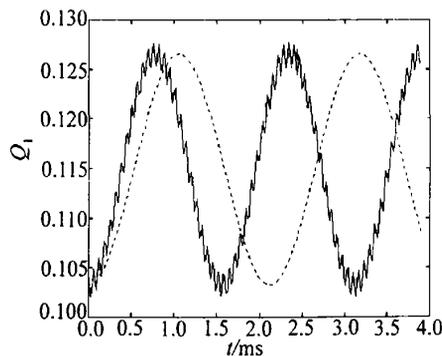


Fig. 2 The vibration of S-S bond before and after laser irradiating  $\eta_3^* a + \eta_3(a^{+2} + a^2)$  的  $Q_1$  随时间  $t$  的变化图像,“近”共振频率由  $\omega_0$  变为  $\omega_r = (\omega_0^2 + 4\omega_0\omega_3)^{1/2}$ , 并且在光滑的背景项上产生了非简谐高频微扰振荡。这种非简谐高频微扰振荡有可能引起双硫键的断裂。

可以认为,激光的作用,特别是低能量激光,对提供生物分子能量方面无太大作用,但激光之电场分量为交变电场,其周期性强迫振荡作用,将有可能与 DNA 分子的一些键、链产生共振激发,使这些键、链断裂,引起 DNA 的构象产生一定变化,即有产生变异的可能。当然,激光与稻种分子的作用是十分复杂的,以上只是对激光与分子键的局域作用进行了初步的讨论,今后,将继续对三角大香糯进行育种试验,以期获得优质、高产、地域性不强的新型三角大香糯。

感谢姚安县农技中心的任兆鸿等同志,在“三角大香糯”的栽培、田间管理、数据记录等方面所作的大量工作。

参 考 文 献

- [1] 周凌云,陈秀华,张灿邦 *et al.* 激光辐照加电场激励对滇稻生长发育的影响 [J]. 光子学报,2002,31(10):1198~1199.
- [2] 周凌云,任兆鸿,吴光敏 *et al.* 激光加电磁场诱变滇稻“三角大香糯”的育种初探 [J]. 光电子·激光,2002,13(10):1074~1076.
- [3] 张灿邦,周凌云,陈秀华 *et al.* 激光与电场同时激励在滇稻育种中的应用研究 [J]. 科学技术与工程,2003,3(3):242~244.
- [4] ZHOU L Y. A study of weak laser-DNA molecule interaction and its chaotic behaviour [J]. Chinese Phys Lett,1993,10(7):441~444.
- [5] 钱晓凡,周凌云.低强度 He-Ne 激光照射水稻的显微喇曼散射研究 [J]. 激光杂志,2003,24(4):81~82.
- [6] DINTENFASSL L. Blood microrheology [M]. Berlin: Butterwoths, 1977. 101.
- [7] 伏肯斯坦 M.B. 分子的结构及物理性质 [M]. 北京: 科学出版社,1960. 333~392.
- [8] ZHOU L Y. Analysis of the micromechanism of LIB treating diseases [J]. SPIE,1998,3344:149~158.