

文章编号: 0258-7025(2006)08-1148-05

半导体激光对果蝇的控制效果

任珂, 屠康, 李宏文

(南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095)

摘要 为研究半导体激光对水果的主要虫害——果蝇(*Drosophila melanogaster*)的控制效果,采用响应曲面法设计,实验研究了激光功率和照射时间对果蝇的生物学效应。结果表明,用波长为650 nm的半导体激光照射果蝇幼虫,在功率60 mW,照射1282 s条件下,果蝇幼虫的致死率可达到99%以上,且体重降低、羽化延续时间缩短,激光对果蝇幼虫具有较强生物学致死效应。但当功率低于40 mW时,激光对果蝇产生激励作用,促使果蝇的生长发育。继续用原剂量照射第三代果蝇的幼虫,对比发现在连续多代照射后,果蝇后代并没有产生对激光的抗逆性。为半导体激光在水果病虫害控制中的应用提供了实验依据。

关键词 医用光学和生物技术;半导体激光;果蝇控制;响应曲面法;致死率

中图分类号 Q 631 文献标识码 A

Control Effects of Semiconductor Laser on *Drosophila Melanogaster*

REN Ke, TU Kang, LI Hong-wen

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract The control effects of the main insect of fruits—*Drosophila melanogaster* were studied with the semiconductor laser in this paper. The experiment was designed with response surface method to investigate the biological effects on *Drosophila melanogaster* with different laser power and irradiation time. The results showed that the death rate was above 99% to the larva of *Drosophila melanogaster* under the conditions of laser power of 60 mW and irradiation time of 1282 s, with semiconductor laser at wavelength of 650 nm. At the same time, the weight of *Drosophila melanogaster* was reduced, and the required eclosion time was decreased. Therefore, the semiconductor laser has strong biological effects to larva of *Drosophila melanogaster*. However, when the power was below 40 mW, the laser light has the effect of promoting the growth of *Drosophila melanogaster*. The experiment demonstrated that *Drosophila melanogaster* did not show anti-laser effects in the third generation under the same experimental conditions compared with the control groups, it is suggesting the possibility of the semiconductor laser application on pest control of fruits.

Key words medical optics and biotechnology; semiconductor laser; *Drosophila melanogaster* control; response surface method; death rate

1 引言

果蝇作为水果主要虫害,会由表及里加速腐败和破坏水果品质。目前国内外在防治水果病虫害方面做了很多研究工作,但基本采取化学药剂喷施的方法。随着人们对化学药物不良反应的关注,如何

用物理方法和技术防治病虫害已成为目前国内外研究的热点。激光技术作为新兴技术,如果能在农林生产中替代化学药品杀灭害虫,可有效减轻农药残留等对环境的污染和因食用被污染的食品而给人们健康造成的伤害^[1]。

我国在激光应用的许多领域开展了大量的工

收稿日期:2005-11-14;收到修改稿日期:2006-03-01

基金项目:国家自然科学基金(30270765),教育部“新世纪优秀人才支持计划”和江苏省自然科学基金(BK2006707-2)资助项目。

作者简介:任珂(1980—),男,广西桂林人,南京农业大学食品科技学院硕士研究生,主要从事农产品贮藏加工方面的研究工作。E-mail:renke2001@sina.com

导师简介:屠康(1968—),男,浙江黄岩人,南京农业大学食品科技学院教授,博士生导师,主要研究农产品检测与贮藏加工方面的工作。E-mail:kangtu@njau.edu.cn

作^[2]。张建民^[3]和贾振宇等^[4]分别应用 He-Ne 激光与 CO₂ 激光对果蝇的生物学效应进行了研究。结果发现,激光连续照射多代后,果蝇子代数量减少、体重降低、羽化延续时间缩短,有一定致畸效应。庚镇城等^[5]用 C. S., Basc 和 bw-st/bw-st 三种系统的果蝇研究了氮-氩激光、氮分子激光和氩离子激光辐射对果蝇遗传的影响。但这些研究主要集中于果蝇的遗传生物学效应,对致死效应和致死剂量没有作进一步探讨。生物体对激光的抗逆性国内外也缺乏相关研究。

长期以来,用于研究生物体的激光器大约有 15 种,其中使用较多的是 N₂, CO₂ 和 He-Ne 等传统激光器^[6]。在激光技术迅猛发展的今天,半导体激光具有体积小、能耗低等优点,使得许多激光生物实验有可能从实验室扩展到地头田间,形成新的应用领域。但目前利用半导体激光进行生物体致死效应的研究国内外鲜见报道。本实验通过响应曲面设计,研究半导体激光的生物效应控制果蝇幼虫的成活率。同时探索半导体激光对控制水果表面病虫害的效果,确定激光致死功率和辐照时间的变化范围,以及果蝇对激光的抗逆性。

2 材料与方法

2.1 实验材料及培养

黑腹果蝇(南京农业大学畜牧兽医学院遗传分

子实验室提供),野生型, Oregonk 品系,每 10 对雌雄果蝇分装于指形试管中,培养原料为专用玉米培养基^[7],培养试管均置于 25±1 °C,相对湿度 65% 的恒温恒湿培养箱中培养。

2.2 处理方法

将果蝇幼虫放置于玻璃皿中,再置于实验装置中(如图 1),利用半导体点光源激光器(红光波长 λ = 650 nm,输出功率为 0~62 mW 左右,可调功率密度为 0~221 mW/cm²,照射距离为 40 cm,光斑直径为 0.6 cm)对果蝇幼虫进行不同功率、不同时间的照射实验,实验采用响应曲面设计(Response Surface Design - Orthogonal Central Composite, 如

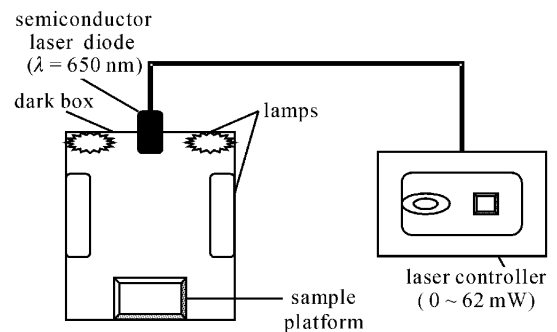


图 1 激光控制果蝇实验装置

实际输出功率范围为 0~62 mW

Fig. 1 Experimental setup of drosophila melanogaster

control by laser

output power=0~62 mW

表 1 激光照射实验观察结果(设计表采用 Orthogonal Central Composite 响应曲面法)

Table 1 Observed results of laser irradiation experiment designed by orthogonal central composite on response surface method

Test group	Treatment conditions		Measurement parameters		
	Time /s	Power /mW	Death rate /%	Weight /mg	Eclosion time /d
1	180	25	(35.25±1.45)	0.68±0.01	17.27±1.52
2	180	55	(45.41±2.05)	0.64±0.02	16.65±1.03
3	540	25	(44.35±1.96)	0.70±0.03	15.43±1.25
4	540	55	(57.68±2.89)	0.44±0.01	11.17±1.63
5	105	40	(22.35±0.96)	0.72±0.04	18.89±1.45
6	615	40	(39.14±1.67)	0.56±0.02	14.68±1.22
7	360	19	(35.27±2.51)	0.73±0.03	13.47±1.01
8	360	61	(72.65±2.31)	0.56±0.01	14.46±1.07
9	360	40	(30.34±1.09)	0.72±0.05	18.71±1.84
10	360	40	(27.46±1.47)	0.70±1.45	18.68±1.43
11	360	40	(29.85±1.02)	0.70±0.04	18.23±1.48
12	360	40	(31.29±2.07)	0.72±0.06	18.18±1.33
13	360	40	(29.34±1.63)	0.68±0.03	17.49±1.03
14	360	40	(28.72±1.82)	0.68±0.01	17.51±1.84
15	360	40	(30.46±1.97)	0.70±0.05	18.31±1.39
16	360	40	(27.18±2.96)	0.68±0.06	17.87±1.02
CK	0	0	(26.72±1.82)	0.65±0.06	17.02±1.61

表 1,由 SAS8.2 设计完成),观察果蝇致死率、羽化时间、成虫体重,同时以不处理组为对照,连续处理并统计 3 代果蝇,每组重复 3 次,每次处理 10 对雌雄果蝇。

2.3 测量指标

统计每组培养管中最初移入幼虫个数与 20 天后果蝇成虫个数,计算其死亡率,公式为

$$D = (A_1 - A_2) / A_1, \quad (1)$$

式中 A_1 为移入培养管的幼虫个数, A_2 为每组培养管中果蝇成虫个数。

每组三个重复中均选取 20 只果蝇成虫测其平均体重,单位为 mg。

记录果蝇从幼虫到成虫的变化时间,即羽化时间 d 。以每组三个重复中最后 5 只果蝇孵化为成虫的平均时间为准。

3 结果与分析

3.1 激光对果蝇的致死效应

激光对生物体的致死效应主要通过改变生物细胞膜的构形,使 DNA 产生阴性致死突变等方式^[6,8],进一步使果蝇虫卵或幼虫不能完成孵化和羽化过程。

由图 2 可看出,激光照射时间对致死率的影响是逐渐加强的,照射时间越长,致死率越高,但致死率的增长较缓慢。而激光照射功率对致死率的影响是先降低,后升高。激光的照射功率对致死率的变化趋势起决定性的作用。功率小于 40 mW 时,致死率呈缓慢下降,在 105 s, 40 mW 条件下致死率为最小,达 24.10%, 功率超过 40 mW 后,致死率呈迅速上升。但激光功率与时间对最终致死率会有交互作

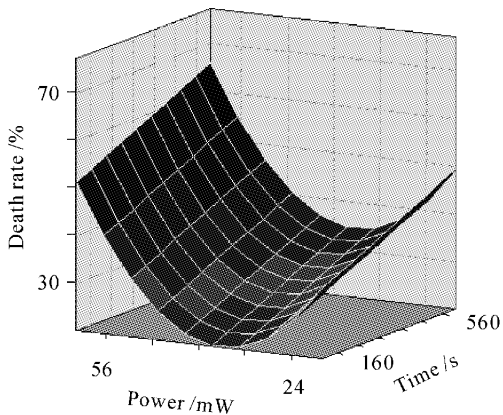


图 2 果蝇在不同功率和时间作用下的致死率响应曲面
Fig. 2 Response surface of drosophila melanogaster death rate at different laser power and radiated time

用,例如在功率为 25 mW 时,照射时间分别为 180 s 与 540 s,其实际致死率分别为 35.25% ± 1.45% 与 44.35% ± 1.96%,即在低于 40 mW 功率下,致死率也会受照射时间的影响,长时间的照射将增大致死率。

根据回归公式

$$D = 86.65203 + 0.031279 \times T - 4.038962 \times P + 0.058333 \times P^2, \quad (2)$$

$$R_{adj}^2 = 91.63\%,$$

可推测出,当照射条件达到 60 mW, 1282 s 时,死亡率将达 100%。作者依此条件实验,得出死亡率达到 99.85% ± 0.17%,与预测值相符。说明预测方程能有效预测果蝇致死率的变化。(2) 式中, D 为致死率(%), T 为照射时间(s), P 为照射功率(mW)。

3.2 激光对果蝇的其他生物学效应

低功率激光特别是可见光范围的激光,其生物学效应本质是生物分子吸收不同波长的激光,分子内发生能级跃迁,达到一定振动能,并引起生物分子构像发生变化。分子间或分子内的连接键解离或断裂,导致分子被激活或损伤^[6];同时 650 nm 的单色红光正处于影响 DNA 合成的波长范围 610 ~

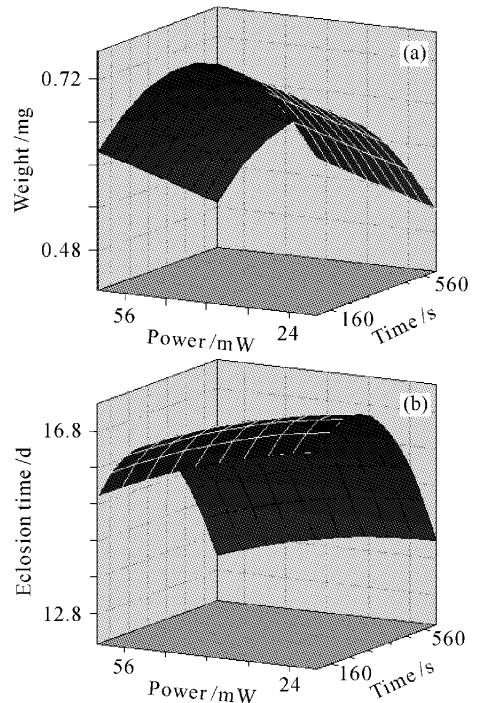


图 3 果蝇在不同功率和时间作用下的成虫体重响应曲面(a)和羽化时间响应曲面(b)

Fig. 3 Response surfaces of drosophila melanogaster weight (a) and eclosion time (b) at different laser power and radiated time

650 nm以内,结合生物体内非线性特性,半导体激光虽然输出功率不大,但也能引起生物体内的非线性效应,产生双光子和多光子吸收,从而进一步影响其生长发育^[9]。

从图 3(a)中可观察到,果蝇成虫体重随着照射时间的增加而迅速减少,但在低功率范围内,成虫体重随功率的增大而逐渐增加。当功率大于 40 mW 时,激光功率对果蝇的影响由刺激效应转变为致死效应,之后体重随着功率和时间的增加而迅速降低。同时根据响应曲面可推算,在 40 mW, 105 s 的照射条件下,果蝇的生长发育最好,成虫体重将达到 0.761 mg。其总变化趋势符合

$$W = 0.317937 - 0.000282 \times T + 0.025318 \times P - 0.000339 \times P^2, \\ R_{\text{adj}}^2 = 79.73\%, \quad (3)$$

式中 W 为成虫体重(mg)。

从图 3(b)中可以看出,果蝇羽化时间随着激光功率的增大而缓慢减少,但激光照射时间较短时(<232 s),其羽化时间反而增加,即低剂量激光能

使果蝇充分羽化,延长羽化时间。而当照射时间大于 232 s 后,羽化时间会随着照射时间的增大而减少。根据响应曲面回归可知,在 18.79 mW, 232 s 的处理条件下,果蝇羽化时间最长,达到 17.43 d,其变化趋势符合

$$E = 15.85744 + 0.014115 \times T - 0.000031 \times T^2 + 0.000035 \times T \times P - 0.000551 \times P^2, \\ R_{\text{adj}}^2 = 91.08\%, \quad (4)$$

式中 E 为羽化时间(d)。

3.3 果蝇对激光的抗逆性研究

以在 40 mW, 360 s 的处理条件下照射的第三代果蝇(F3)为样本,仍采用 40 mW, 360 s 的处理条件对 F3 与从未经过照射的对照组果蝇分别进行照射实验。结果发现,在果蝇的成虫体重、致死率、羽化时间等指标上均无明显差异(见表 2, $p \leq 0.05$),初步表明激光照射果蝇后,果蝇个体不会对其产生抗逆性。

表 2 激光照射 F3 代果蝇与对照组间的差异(采用 Duncan'新复极差法进行多重比较)

Table 2 Difference between radiated group and compared group in F3 by laser
(Using Duncan' method for multiple comparison)

Measured group	Measurement parameter		
	Death rate /%	Weight /mg	Eclosion time /d
F3 group	(29.54 ± 1.63)	0.68 ± 0.03	17.16 ± 1.03
Compared group	(29.01 ± 1.98)	0.64 ± 0.05	17.52 ± 1.76

4 讨论与结论

半导体激光的照射功率对果蝇致死率的变化起决定性影响。在低功率范围内,激光促进果蝇的生长发育,功率超过 40 mW 后,对果蝇才会产生致死效应,并随着功率和时间的增加,致死率逐渐增大。根据实验得到的回归方程表明,当照射条件达到 60 mW, 1282 s 时,死亡率将达 100%。实验测量值与预测值相符,说明预测方程能有效预测果蝇致死率的变化。

同时根据实验所得的响应曲面可推知,照射功率加大到超过 60 mW 后,其致死效率应更大,即需要的照射时间越短。但由于半导体激光二极管的制造工艺决定了更大的功率输出将导致成本的大幅提高,因此认为功率为 60 mW 左右的激光器较为经济实用。同时也能看出致死率同时受到时间和功率的

影响,且两者的影响效果并不完全相同,对不同的生理指标的影响效果也不同,因此很难用一个综合指标给出其效应值^[9],例如半致死剂量等。所以作者选择以含有时间和功率的回归方程来表现两者对致死率的影响趋势。

半导体激光功率在对果蝇的成虫体重影响中起决定性作用,而照射时间对果蝇的羽化产生决定性影响。两者均在低剂量或低功率时对果蝇产生刺激效应,促进其发育,而高功率或大剂量时产生抑制或致死效应。同时果蝇的成虫体重和羽化时间也受时间与功率的双重影响。在较强功率激光照射下,激光能抑制果蝇的正常羽化,促使其提早结束羽化过程,影响成虫的生物特性。抗逆性实验结果初步表明,激光照射果蝇三代后,果蝇个体不会对其产生抗逆性。

分析认为,低功率激光对果蝇的刺激效应可能

是由于果蝇肌体能充分利用光效应将光能转化为生物内能,供给其生长发育,而功率或剂量达到一定阈值后,超过了果蝇表皮色素层对激光的最高吸收水平,肌体无法迅速分解和利用光能而产生有害积累,从而促使肌体合成代谢紊乱,形成负面生理效应。但光能在肌体内部及表面如何影响机体代谢的过程,以及对于激光抗逆性在三代后的表现还有待于进一步研究。

在实践中可利用半导体激光二极管组成光源,对水果进行照射处理,控制果蝇等害虫的幼虫及卵的成活率。实验中所使用的激光对苹果进行照射后发现,果实表面并未产生任何商品性状的损失。

参 考 文 献

- Gao Yinghong, Zuo Ying. Usag of laser in modern agriculture and bioscience [J]. *Journal of Tianjin Agricultural College*, 2002, **9**(1):55~58
高映宏,左 颖. 激光在现代农业及生物科学中的应用[J]. 天津农学院学报, 2002, **9**(1):55~58
- Lu Zhiguo. Progress of laser applications of China in recent 10 years [J]. *Chinese J. Lasers*, 1984, **A11**(10):577~583
陆治国. 中国激光近 10 年的应用发展[J]. 中国激光, 1984, **A11**(10):577~583
- Zhang Jianmin. Biologic effects on the drosophila melanogaster by laser irradiation [J]. *Applied Laser*, 1997, **17**(6):273~275
张建民. He-Ne 激光照射果蝇的生物学效应[J]. 应用激光, 1997, **17**(6):273~275
- Jia Zhenyu, Zhu Dingliang, Geng Zhengcheng *et al.*. Study on genetic effects of drosophila melanogaster by CO₂ laser irradiation [J]. *Chinese J. Lasers*, 1991, **A18**(3):235~237
贾振宇,朱定良,庚镇城等. 利用果蝇研究 CO₂ 激光的遗传效应[J]. 中国激光, 1991, **A18**(3):235~237
- Geng Zhencheng, Zhang Dan, Gu Shaohua *et al.*. Study on genetic effects of drosophila melanogaster by using laser irradiation [J]. *Chinese J. Lasers*, 1986, **A13**(11):720~724
庚镇城,张 丹,顾少华等. 利用果蝇(D. melanogaster)研究激光辐照生物的遗传效应[J]. 中国激光, 1986, **A13**(11):720~724
- Xiang Yang, Jin Mingming. Study of varied laser's effect of biology [J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 1994, **3**(1):423~425
向 洋,金明明. 激光的生物学效应研究[J]. 激光生物学报, 1994, **3**(1):423~425
- Zhang Jianmin, Wu Fuquan, Yu Dehong. Biological effects on drosophila melanogaster being irradiated ultraviolet ray and laser [J]. *Journal of Qufu Normal University*, 1993, **19**(1):81~86
张建民,吴福全,于德洪. 紫外线、激光照射果蝇产生的生物学效应[J]. 曲阜师范大学学报, 1993, **19**(1):81~86
- Li Xinhua, Huai Sufang. Interaction of laser with tissue and its application [J]. *Journal of Hebei University(Natural Science Edition)*, 2003, **23**(2):198~203
李新华,怀素芳. 激光与生物组织的相互作用及主要应用[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2003, **23**(2):198~203
- Chen Zhenggu. The biological effect of agricultural laser and laser parameter [J]. *Photoelectron Technology and Information*, 1995, **8**(6):1~6
陈震古. 农业激光生物效应与激光参量[J]. 光电子技术与信息, 1995, **8**(6):1~6