^{60}Co-γ射线辐照对杰克贝尔氏粉蚧影响的研究初报

邵　莹[1,2]　任荔荔[1]　刘永杰[2]　王跃进[1]　焦　懿[3]　王巧铃[1,4]　詹国平[1*]
(1．中国检验检疫科学研究院　北京　100029；2.山东农业大学；3. 深圳出入境检验检疫局；4. 中国农业大学)

The primary results of the impact on the development and reproduction of Jack Beardsley Mealybug irradiated with Colbot-60 gamma rays. Shao Ying[1,2], Ren Lili[1], Liu Yongjie[2], Wang Yuejin[1], Jiao Yi[3], Wang Qiaoling[1,4], Zhan Guoping[1*](1. Chinese Academy of Inspection and Quarantine,Beijing 100029,China; 2. Shandong Agricultural University ; 3. Shenzhen Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau; 4. China Agricultural University)

Abstract The Jack Beardsley mealybug, *Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel & Miller, is an important pest that seriously damages fruits, vegetables, flowers and seedlings. It is recognized as a pest with quarantine importance because the mealybug is not currently distributed in China and could spread easily through the importing fruits. In order to determine the minimum doses for preventing development and reproduction as to facility the use of irradiation as phytosanitary treatment measure, all the instar nymphs, newly developed females and late females (>5 days lifespan) were irradiated with cobalt-60 gamma rays at the dose of 50-200Gy. In the dose of 75, 100, 125Gy, we compared the effect of irradiation on the development and reproduction of all instars, the results showed that the pattern of radiotolerance was 1st instar<2nd instar<3rd instar<newly developed female＜late female, and the minimum doses for 100% preventing the hatching of F_1 eggs were 75, 75, 100, 100, and >125Gy, respectively. The results from the dissection of female had showed that there was 81.7% of the eggs had already laid out of the body of late female before radiation, the highest dose used in the treatment of 200Gy lead less than 100% preventing the hatch of F_1 eggs, but 125Gy may lead to 100% mortality of its 1st instars. In this study, the Probit analysis through PoloPlus (LeOra Software) was used to predict the minimum dose for providing quarantine security (99.99% or 99.9968% mortalith of F_1 2nd instar nymphs developed from late femal), and the estimated $ED_{99.9968}$ for the most radiotolerant stage (late female) is 133.7Gy with the 95% confidence level of 117.2-168.0Gy. Thus, the minimum dose of 135Gy could be suggested for phytosanitary treatment of the Jack Beardsley mealybug contaminated with the importing fruits.

Key words *Pseudococcus jackbeardsleyi*; irradiation; phytosanitary irradiation; steirlization

摘要　杰克贝尔氏粉蚧（*Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel & Miller）为重要的水果、林木害虫，极易随进境水果进行传播，是我国未发生分布的具有重要检疫意义的粉蚧。为确定阻止其繁殖的不育剂量，促进辐照技术在检疫处理中的应用，利用^{60}Co-γ 射线对各龄期若虫、初期雌虫和成熟雌虫（虫龄大于5 d）进行辐照处理，辐照剂量为50~200Gy。在75、100、125Gy 剂量下比较发育和繁殖的影响，结果表明，各虫态对辐照的耐受性顺序为1龄若虫＜2龄若虫＜3龄若虫＜初期雌虫＜成熟雌虫，100%阻止其 F_1代卵孵化的最低吸收剂量分别为75、75、100、100和125Gy 以上。解剖雌虫发现，成熟雌虫的大部分卵（81.7±22.2%）在辐照前已产在虫体外的卵袋中，200Gy 虽然不能100% 阻止其卵孵化，但125Gy 即可导致其孵化的1龄若虫100% 死亡。应用机率值分析方法预测检疫处理的最低剂量，推算出阻止成熟雌虫繁殖 F_1代2龄若虫的最低吸收剂量（$ED_{99.9968}$）为133.7Gy（95% 置信区间为117.2~168.0Gy），推荐采用135Gy 作为杰克贝尔氏粉蚧检疫辐照处理的最低吸收剂量。

基金项目：国际原子能机构协调研究项目（IAEA No.15633）；动植物检疫处理专项（2013）；国家质检总局科研专项（2012IK284）
* 通讯作者：E-mail: zhgp136@126.com
收稿日期：2013-04-17

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

关键词　杰克贝尔氏粉蚧；辐照；检疫辐照处理；不育
中图分类号　S41-33

杰克贝尔氏粉蚧（*Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel et Miller）属半翅目（Hemiptera），蚧总科（Coccoidea），粉蚧科（Pseudococcidae），粉蚧属（*Pseudococcus*）[1]。该虫寄主种类繁多，已有文献记载的寄主植物包括木棉科、桃金娘科、葫芦科、茄科、梧桐科、茜草科等40余科200余种，主要寄主有榴莲（*Durio zibethinus*）、莲雾（*Syzygium samarangense*）、红毛丹（*Nephelium lappaceum*）等水果，南瓜（*Cucurbita moschata*）、马铃薯（*Solanum tuberosum*）等蔬菜，还包括咖啡（*Coffea arabica*）、可可（*Theobroma cacao*）等多种林木作物[2]。杰克贝尔氏粉蚧取食、危害寄主时，体内分泌蜜露，使果实感观和品质下降，造成一定的经济损失[1-3]。该虫主要分布于泰国、菲律宾、马来西亚、新加坡、越南、汶莱等东南亚地区[4]，目前在中国大陆未见分布报道，2009年4月，深圳出入境检验检疫局首次从进口泰国莲雾中截获该虫[1]，应采取积极有效的检疫措施，阻止传入。

杰克贝尔氏粉蚧主要随进境水果、蔬菜、种苗等进行传播，对鲜食水果的检疫处理，目前仍主要采用溴甲烷熏蒸技术[5]。辐照作为一种安全、快捷、无毒、无污染的处理技术，经联合国粮农组织（FAO）、国际原子能机构（IAEA）、国际植物保护公约（IPPC）等国际机构以及各国的积极开发和推广，从2004年开始，已在美国、澳大利亚、泰国、越南、印度、墨西哥等国的进出口水果检疫处理中应用[6,7]。鉴于目前缺乏杰克贝尔氏粉蚧检疫辐照处理的剂量指标及相关研究报道，本文采用^{60}Co-γ 射线辐照其若虫和雌成虫，确定辐照耐受性差异及其检疫辐照处理的最低吸收剂量，为进境水果检疫辐照处理提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　虫源及饲养

试虫来源于深圳出入境检验检疫局从泰国进境榴莲上截获的杰克贝尔氏粉蚧，在实验室内用发芽的马铃薯饲养，温度25±2℃，相对湿度50%~70%RH，第6代雌虫用于本试验。

1.2　辐照处理

1.2.1　试虫准备

辐照前35、28、21、14 d，在单个马铃薯上接入1头雌虫后放入方形塑料盒（高度为13.5 cm，上下底边长分别为12.5 cm和9.0 cm）内，上盖中心钻1.5 cm圆孔并用40目铜网封闭，7 d后用大头针将接入的雌虫刺死。辐照时的虫态标记为初期雌虫（35 d）、3龄若虫（28 d）、2龄若虫（21 d）、1龄若虫（14 d）。另外，辐照前5 d在每个马铃薯上接入30~35头雌虫，辐照时观察雌虫已产生卵袋并产卵，本文标记为成熟雌虫。

1.2.2　辐照源及辐照剂量

使用中国计量科学研究院的钴源（装源花栏为圆形，装源量4万居里）对杰克贝尔氏粉蚧进行辐照，各虫态的辐照剂量设计见表1。

表1　杰克贝尔氏粉蚧辐照处理的剂量设计

虫态	剂量/Gy	重复/处理
1龄若虫	0，75, 100, 125	3
2龄若虫	0，75, 100, 125	3
3龄若虫	0，75, 100, 125	3
初期雌虫	0, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200	3
成熟雌虫	0, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200	3

1.2.3　辐照

将已接入粉蚧的塑料盒摆放于距离辐照源中心100 cm处，达到设计剂量一半时，将塑料盒旋转180度，达到设计剂量后取出塑料盒。塑料盒内放入Fricke剂量计监测吸收剂量，剂量率为5.0Gy/min，辐照剂量不均匀度为1.18。

1.3　辐照后试虫饲养

辐照后将所有试虫置于原饲养条件下继续饲养。为防止交叉感染，对照组和处理组隔开饲养。每周检查并记录若虫龄期、若虫和雌虫数量，共检查12周。

1.4　雌虫产卵情况观察

随机选取试验中初期雌虫和成熟雌虫各100头，在体式显微镜（SteREO Discovery V12，德国Zeiss公司）下检查产于体外（卵袋、马铃薯芽叶）成熟卵的数量，然后解剖虫体，检查观察体内卵的数量。

1.5　数据分析

采用DPS数据处理系统（Version 2.00，杭州睿丰信息技术有限公司）对若虫发育为雌虫的死亡率、F_1代1龄若虫数量、F_1代1龄若虫发育至2龄的死亡率等数据进行单因素方差分析，用Tukey法比较差异显著性。并使用PoloPlus软件（Version 0.03，LeOra Software）预测阻止成熟雌虫繁殖F_1代2龄若虫所需的最低吸收剂量。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2　结果与分析

2.1　辐照对若虫发育的影响

表2列出了杰克贝尔氏粉蚧若虫经75、100、125Gy 辐照后发育为雌虫的死亡率，结果显示，当辐照剂量为75Gy 时，各龄期若虫发育为雌虫的死亡率未见明显差异（df=8, F=0.9, P=0.4635）；当剂量为100Gy 时，1、2、3龄若虫发育为雌虫的死亡率显著降低（df =8, F=9.0 , P=0.0109），3龄若虫最低而1龄若虫最高；在125Gy 辐照时，死亡率随龄期的增加逐渐降低，3龄若虫的死亡率显著低于1、2龄若虫（df =8, F=8.2, P=0.0194）。由此可以说明，从若虫发育为雌虫的死亡率结果分析，3龄若虫对辐照的耐受性最强。另外，当辐照剂量由0Gy 递增到125Gy 时，1、2、3龄若虫发育为雌虫的死亡率显著升高（1龄：df=11, F=120.5, P<0.0001；2龄：df=11, F=30.0, P=0.0001；3龄：df=11, F=8.9, P=0.0063），当剂量达到125Gy 时，1龄若虫无成虫出现，说明该剂量可以完全阻止1龄若虫发育为成虫，但仍然有1.6%的2龄若虫发育为成虫，由此说明2龄若虫对辐照的耐受性强于1龄若虫。因此，从阻止若虫发育为雌虫这一辐照效应判定，杰克贝尔氏粉蚧若虫对辐照的耐受性顺序为1龄＜2龄＜3龄。该结果与辐照处理扶桑绵粉蚧（*Phenacoccus solenopsis*）、新菠萝灰粉蚧（*Dysmicoccus neobrevi*）、木槿蔓粉蚧（*Maconellicoccus hirsutus*）等结果相似，辐照耐受性随若虫龄期的增加而增强[8-10]。

表2　若虫发育为雌虫的死亡率

若虫龄期	若虫发育为雌虫的死亡率（Mean±SD）/%			
	0Gy	75Gy	100Gy	125Gy
1龄	12.8±8.2[a]	33.1±13.5[a]	92.6±1.3[a]	100.0±0.0[a]
2龄	7.2±2. 8[a]	36.3±20.6[a]	77.1±15.3[ab]	98.4±1.5[a]
3龄	5.5±4.9[a]	21.1±7.4[a]	46.1±15.7[b]	62.0±22.5[b]

同列中字母相同表示差异不显著，字母不同则表示在5%水平上差异显著（Tukey法）；表3~5同

2.2　辐照对繁殖的影响

2.2.1　辐照对F_1代卵孵化的影响

若虫和雌虫经75、100、125Gy 辐照后，F_1代1龄若虫数量的结果（表3）显示，未辐照的若虫和雌虫，单头雌虫繁殖 F_1代1龄若虫数量差异不显著（df =14, F=1.404, P=0.3012），说明各龄期发育正常。75Gy 辐照时，1、2龄若虫发育的雌虫未繁殖产生 F_1代1龄若虫出现，其雌虫可能产卵，但卵不孵化，说明75Gy 辐照可以100% 阻止1、2龄若虫产生的 F_1代卵的孵化。而3龄若虫发育的雌虫可以产卵并孵化出 F_1代1龄若虫，由此也说明，从繁殖能力比较，3龄若虫的耐受性强于1、2龄若虫。当若虫与雌虫比较时发现，单头雌虫繁殖的 F_1代1龄若虫的数量随着发育的完善程度而显著增加（df =14, F=12.9, P=0.0006），以成熟雌虫的数量最多。当辐照剂量为100Gy 和125Gy 时，单头雌虫繁殖 F_1代1龄若虫的数量存在显著差异（100Gy：df =14, F=34.4, P ＜0.0001；125Gy：df =8, F=73.7, P=0.0001），只有成熟雌虫能够繁殖 F_1代1龄若虫，说明成熟雌虫为最耐受的虫态。

另外，试验中也发现，成熟雌虫经150、175、200Gy 辐照后都有1龄若虫出现，说明200Gy 不能100% 阻止卵的孵化。

表3　若虫和雌虫繁殖F_1代1龄幼虫的数量

虫态	单头雌虫繁殖 F_1代1龄若虫数量（Mean±SD）/ 头			
	0Gy	75Gy	100Gy	125Gy
1龄若虫	79.7±15.3[a]	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]	
2龄若虫	72.3±32.2[a]	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]
3龄若虫	48.0±24.3[a]	0.2±0.4[a]	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]
初期雌虫	82.5±2.2[a]	0.4±0.7[a]	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]
成熟雌虫	78.8±15.6[a]	4.1±1.7[b]	2.5±0.8[b]	1.6±0.3[b]

2.2.2　辐照对F_1代若虫发育的影响

3龄若虫、初期雌虫、成熟雌虫繁殖的 F_1代若虫由1龄发育至2龄时的死亡率结果（表4）表明，对照组死亡率很低，约为3% 左右，相互之间无显

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

著差异（df =8, F=0.04 , P=0.9574），表示辐照前发育正常；辐照剂量为75、125Gy 时，3龄若虫和雌虫 F_1代若虫由1龄发育为2龄的死亡率均无显著性差异（P>0.05）；但100Gy 辐照可以导致3龄若虫和初期雌虫 F_1代1龄若虫100% 死亡，成熟雌虫繁殖 F_1代2龄若虫的死亡率为90.1±8.0%，与3龄若虫和初期雌虫差异显著（df=8, F=383.8 , P<0.0001），且导致2龄若虫100% 死亡的最低剂量为125Gy，由此也进一步说明，成熟雌虫对辐照的耐受性最强。

表4　F_1代1龄若虫发育为2龄若虫的死亡率

虫态	F_1代1龄若虫的死亡率（Mean±SD）/%			
	0Gy	75Gy	100Gy	125Gy
3龄若虫	3.3±0.6[a]	78.1±38.0[a]	100.0±0.0[a]	100.0±0.0[a]
初期雌虫	2.7±1.4[a]	79.1±36.3[a]	100.0±0.0[a]	100.0±0.0[a]
成熟雌虫	3.4±4.7[a]	58.9±26.1[a]	90.1±8.0[b]	100.0±0.0[a]

上述分析结果（表3，4）都说明，对于雌虫来说，在75、100、125Gy 等3个剂量辐照时，成熟雌虫的繁殖能力明显强于初期雌虫，辐照耐受性更强。为分析出现这一现象的原因，分别解剖两种雌虫各100头，分析其产卵数量及其分布情况，结果（表5）表明，成熟雌虫总卵量显著大于初期雌虫（df =199, F=106.0, P ＜0.0001）；100头初期雌虫中仅有4头的卵排出体外，且体外卵数量占总卵量的比例为0.3±1.3%，而所有的成熟雌虫都有卵排出体外，体外卵占总卵量的比例为81.7%，极显著高于初期雌虫体外卵的比例（df =199, F=1340.8, P ＜0.0001）。因此，本实验中的成熟雌虫在辐照时，有大量的 F_1代卵，其卵龄比初期雌虫所产卵更长，发育更为完善，由于昆虫发育越完善，辐照耐受性越强[7,9,11]，因此，表现出成熟雌虫的耐受能力也更强。

表5　初期雌虫和成熟雌虫体内外卵的分布情况

虫态	雌虫数量/头	体外带卵的雌虫比例/%	卵量/(头/雌)	体外卵的比例/%
初期雌虫	100	4.0	101.5±46.9[b]	0.3±1.3[b]
成熟雌虫	100	100.0	163.6±38.0[a]	81.7±22.2[a]

2.3　阻止雌虫繁殖F_1代**2**龄若虫的最低剂量

在蛉虫的检疫辐照处理研究中，通常以阻止繁殖 F_1代2龄若虫为目标，阻止最耐受虫态繁殖 F_1代2龄若虫的最低剂量作为检疫辐照处理的最低吸收剂量[8-10]。杰克贝尔氏粉蛉雌虫经50~200Gy 辐照都能繁殖 F_1代1龄若虫，125Gy 以上剂量则能100% 阻止其发育为2龄若虫，其死亡率（表6）随着剂量的增加而显著升高（初期雌虫：df =14, F=23.4, p ＜0.0001；成熟雌虫：df =14, F=262.1, p ＜0.0001），死亡率与剂量呈非直线关系，若采用直线回归不能准确推测达到检疫安全的最低剂量值。由于机率值分析常用于熏蒸和农药杀虫的毒力测定中，分析剂量与害虫死亡率之间的关系，预测特定死亡率要求的剂量[12]。因此，本文应用机率值分析方法，分析 F_1代1龄若虫死亡率与辐照剂量之间的关系，预测阻止2龄若虫出现的最低剂量值 $ED_{99.99}$和 $ED_{99.9968}$（95% 置信水平）。在使用 POLO 软件分析过程中，剂量未经对数转换，并考虑对照死亡率的影响，由于初期雌虫在100% 死亡率以下数据仅2个，软件未能给出预测值。成熟雌虫预测结果（表7）显示，ED_{99}为109.8Gy，与试验中导致100% 死亡的剂量125Gy 比较接近，$ED_{99.9968}$为133.7Gy，由于粉蛉与实蝇相似，属于感染数量和感染率大的一类害虫，IPPC 和美国等接受机率值9（即 $ED_{99.9968}$）作为检疫辐照处理的标准[7]，因此，可以推荐135Gy 作为杰克贝尔氏粉蛉检疫辐照处理的最低剂量指标。

表6　雌虫F_1代1龄若虫死亡率

虫态	F_1代1龄若虫死亡率（Mean±SD）/%				
	0Gy	50Gy	75Gy	100Gy	125Gy
初期雌虫	2.8±0.8[B]	16.1±9.3[B]	79.0±36.3[A]	100.0±0.0[A]	100.0±0.0[A]
成熟雌虫	3.8±4.5[C]	2.5±0.9[C]	75.2±6.7[B]	90.1±8.0[AB]	100.0±0.0[A]

同行中字母相同表示差异不显著，字母不同表示在1%水平上差异显著

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表7　阻止成熟雌虫F_1代2龄若虫出现的机率值分析结果

虫态	回归方程	异质因子	ED_{99}及95%置信区间	$ED_{99.9968}$及95%置信区间
成熟雌虫	Y=0.070 × D - 0.369	5.622	109.8Gy（99.3~131.0Gy）	133.7Gy（117.2~168.0Gy）

Y：死亡机率值, D：吸收剂量

3　讨论

根据 IPPC 制定的植物检疫措施标准第18号“辐照用于检疫处理措施的准则”(ISPM 18)，以及第28号“限定性有害生物的检疫处理”(ISPM 28）的要求，制定有害生物的检疫处理技术标准，需要使用寄主饲养的试虫开展剂量响应试验，确定对辐照最为耐受的虫态，并针对最耐受虫态开展大规模验证试验确定辐照处理的最低吸收剂量[14,15]。目前，对于杰克贝尔氏粉蚧的生物学特性研究很少，若虫历期数据缺乏，本文将雌虫接入后14、21、28、35d 的粉蚧虫态分别标记为1、2、3龄若虫和初期雌虫。1龄若虫辐照时可见快速爬动的若虫，可以确定所处理的虫态为1龄若虫，但2、3龄若虫之间很难通过虫体大小进行准确界定，而且人工接入时不仅工作量巨大，而且还会对若虫造成伤害。因此，本文仅根据其发育时间区分龄期，虽然文中所述2、3龄若虫可能有偏差和交叉，但不影响最耐受虫态的确定。根据辐照对发育和繁殖能力影响的结果确定了初期雌虫耐受能力大于若虫，并通过成熟雌虫辐照时卵袋内携带有81.7% 的成熟卵，且125Gy 可以100% 阻止卵发育为2龄若虫，但试验中发现该剂量辐照1龄若虫后，发育为2龄若虫的死亡率为16.5±6.7%，由此推测出卵的耐受性比1龄若虫低，从而证明杰克贝尔氏粉蚧对辐照耐受性随着发育的完善程度而增加，其顺序为：卵＜1龄若虫＜2龄若虫＜3龄若虫＜初期雌虫＜成熟雌虫。

对于验证试验中目标剂量的选择，通常采用机率值分析方法[16]，也采用逐步逼近法，即以剂量响应试验中100% 死亡率的剂量为中心，设计间距更小的剂量再一次试验，选择略高于100% 死亡率的剂量作为验证试验的目标剂量，还有通过简单的一元线性回归方法[9]，分析死亡率与剂量之间的关系，从而预测达到100% 死亡率的剂量。另外，对数模型、重对数模型、动力学模型等方法也较多地应用于剂量响应试验的数据分析[13]，本文选用机率值分析法，较好地预测了阻止 F_1代1龄若虫发育为2龄时所需的最低吸收剂量，其结果有待于验证试验的检验[14,15]，也有待于采用其他分析方法对数据进行分析，以探索出适合辐照处理研究的数据分析方法。

参考文献

[1] 焦懿，余道坚，徐浪，等. 从进口泰国莲雾上截获重要害虫杰克贝尔氏粉蚧. 植物检疫，2011，25(4): 63-65.

[2] Kondo T，Ramos -Portilla A，Vergara-Navarro，et al. Updated list of mealybugs and putoids from Colombia (Hemiptera: Pseudococcidae and Putoidae) . Bulletin of the Museum of Entomology at the University of Valle，2008，9(1): 29-53.

[3] Williams D J. Mealybugs of Southern Asia. Kuala Lumpur，Malaysia: Southdene Sdn Bhd，2004: 667-671.

[4] Williams D J，Watson G W. The Scale Insects of the Tropical South Pacific Region. Pt. 1. The Mealybugs (Pseudococcidae). London，England: International Institute of Entomology，1988:235-263.

[5] 詹国平，李洋，李天秀，等. ^{60}Co γ射线辐照对桃小食心虫卵发育的影响初报. 植物检疫，2013，27(1)：16-19.

[6] 高美须. 辐照作为一种检疫处理方法的发展和现状. 植物检疫，2003，17(2): 91-94.

[7] Guy J Hallman. Phytosanitary Applications of Irradiation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety，2011，10: 143-151.

[8] 马骏，赵菊鹏，林莉，等. 扶桑绵粉蚧辐照处理研究. 植物检疫，2012，26(3): 13-16.

[9] Doan Thi The，Nguyen Thuy Khanh，Vo Thi Kim Lang，et al. Effects of gamma irradiation on different stages of mealybug *Dysmicoccus neobrevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae). Radiation Physics and Chemistry，2012，(8): 97-100.

[10] Christopher，Jacobsen M，Arnold H Hara. Irradiation of *Maconellicoccus hirsutus* (Homoptera: Pseudococcidae) for Phytosanitation of Agricultural Commodities. J Econ Entomol，2003，96(4): 1334-1339.

[11] 王跃进，王新，詹国平，等. 辐照对光肩星天牛幼虫发育的影响. 核农学报，2006，20 (6) :527-530.

[12] 张宗炳. 杀虫药剂的毒力测定. 北京: 科学出版社，1988: 359-392.

[13] 周月，李柏树，王跃进，等. 桔小实蝇热响应数学模型比较. 植物检疫，2011，25(3)：6-11.

[14] IPPC (International Plant Protection Covention). ISPM No.18: Guidelines for the Use of Irradiation as a Phytosanitary Measure. 2003.

[15] IPPC (International Plant Protection Covention). ISPM No.28: Phytosanitary Treatments for Regulated Pests. 2007.

[16] Peter A Follett，Lisa G Neven. Current Trends in Quarantine Entomology. Annu Rev Entomol，2006，51:359–85.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net