

网络出版时间:2014-06-21 18:02

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.07.013

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.07.013.html>

辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛成螨的影响

邓乐晔, 张珂, 付昊昊, 祝绍文, 李志斌,
胡美英, 赵海明, 翁群芳

(华南农业大学 昆虫毒理研究室, 天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广东 广州 510642)

[摘要] 【目的】研究辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛(*Panonychus citri* McGregor)成螨的影响,以寻求提高辐照处理柑橘红蜘蛛成螨效果的方法。【方法】以 0,100,200,300 和 400 Gy 的剂量辐照处理柑橘红蜘蛛成螨后,分别置于 5,10,15,20 和 25 °C 条件下饲养,观察成螨死亡率及其后代繁殖情况。【结果】同一剂量下,柑橘红蜘蛛成螨死亡率随温度升高而增大,辐照后置于低温条件下可抑制成螨的死亡;用 400 Gy 剂量辐照处理柑橘红蜘蛛成螨后置于 25 °C 条件下 15 d,可使成螨死亡率达到 100.00%。低温对柑橘红蜘蛛成螨产卵量及卵的孵化率有显著抑制作用,成螨经 100 和 200 Gy 辐照处理后置于 5 °C 条件下,产卵量为 0;成螨经 300 Gy 处理后置于温度低于 20 °C (包括 20 °C)条件下,可 100%抑制卵的孵化。【结论】当温度为 5 °C 时,100 Gy 辐照处理柑橘红蜘蛛成螨即可达到 100%不育。

[关键词] 柑橘红蜘蛛;辐照;温度;死亡率;不育作用

[中图分类号] S412

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)07-0136-05

Combined effects of temperature treatment and irradiation on citrus red mites (*Panonychus citri* McGregor)

DENG Yue-ye, ZHANG Ke, FU Hao-hao, ZHU Shao-wen,
LI Zhi-bin, HU Mei-ying, ZHAO Hai-ming, WENG Qun-fang

(Laboratory of Inset Toxicology, Key Laboratory of Pesticides and Chemical Biology Ministry of Education of China,
South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: 【Objective】This experiment was conducted to evaluate the combined effects of irradiation and temperature on citrus red mites (*Panonychus citri* McGregor). 【Method】Female adult citrus red mites were irradiated at 0,100,200,300 and 400 Gy before being raised at the temperatures of 5,10,15,20, and 25 °C, respectively. The mortality and offspring breeding were observed and recorded. 【Result】The mortality increased as the increase of temperature at same irradiation level. Low temperature could significantly inhibit the death of adult mites. The mortality reached 100.00% after being irradiate at 400 Gy followed by 15 days' treatment at 25 °C. No eggs were observed when the adults were irradiated at 100 and 200 Gy levels and kept at 5 °C, indicating the significant suppression of low temperature. Adult mites could be completely sterile after the treatment of 300 Gy and a temperature of no larger than 20 °C. 【Conclusion】100% sterility could be reached by treatment of 100 Gy and 5 °C.

[收稿日期] 2013-05-17

[基金项目] 国际原子能机构合作项目(15630/RO,15059/RO)

[作者简介] 邓乐晔(1987—),女,云南普洱人,在读硕士,主要从事植物源农药研究。E-mail: dengyueye@163.com

[通信作者] 翁群芳(1972—),女,广东梅州人,副研究员,博士,主要从事植物源农药研究。E-mail: wengweng@scau.edu.cn

Key words: *Panonychus citri* McGregor; irradiation; temperature; mortality; sterility

辐照作为检疫处理方法具有稳定高效,不受温度和货物包装形式影响,对环境无污染等优点,对促进农产品的国际贸易有巨大潜力。特别是自 1997 年蒙特利尔公约明确规定了包括溴甲烷(MB)在内的引起大气臭氧层减少的化学物质停止使用的日期以来,各国进一步加强对熏蒸剂使用的限制^[1],辐照技术作为一种替代溴甲烷等熏蒸剂检疫处理的首选方法,受到多个国际组织和国家的关注,目前已被美国、澳大利亚、新西兰等多个国家在不同领域中应用于商业用途^[2]。在对害虫的检疫除害处理研究中,为使辐照处理达到更佳的效果,一些学者还研究了辐照技术与其他方法相结合对害虫除害效果的影响。胡美英等^[3]以 350 Gy 剂量 γ -射线结合低温(7℃)冷藏处理荔枝蒂蛀虫(*Conopomorpha sinensis* Bradley),可提高其死亡率;赵学谦等^[4]以 400 Gy ^{60}Co - γ 射线辐照处理柑桔大实蝇幼虫后再在 3~6℃ 条件下冷藏 28 d 以上,可使死亡率达 100%。

柑橘红蜘蛛(*Panonychus citri* McGregor),又名柑橘全爪螨,因其个体微小,肉眼不易观察,对水果的产量和质量均可造成很大的为害,在我国广东、广西、福建等柑橘产区为害严重,给我国水果对外贸易造成了严重影响,是进出口水果的重要有害生物之一^[5-6]。另外,由于果农对农药的不合理应用,已使柑橘红蜘蛛产生了严重的抗药性,导致其防治也越来越难,不但严重影响了柑橘类水果的产量和品质,对柑橘的出口也带来了很大的威胁。在此前提下,朱富伟等^[7]曾研究了辐照对柑橘全爪螨不同虫态的杀灭效果,认为以 400 Gy 剂量辐照处理柑橘红蜘蛛雌成螨可使其不育,400~600 Gy 辐照处理后 15 d、800 Gy 辐照处理后 13 d 死亡率可达 100%。为寻求更加安全有效的辐照处理方法,本文在朱富伟等研究的基础上,进一步探索了辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛成螨的影响。

1 材料与方法

1.1 供试螨

供试螨采自华南农业大学柑橘园内,采回后接种至实验室自主种植、未喷洒过农药的砂糖橘植株上,以获取足量虫源。辐照处理后饲养柑橘红蜘蛛的叶片为实验室自主种植、未喷洒过农药的砂糖橘植株叶片。

1.2 主要仪器设备

^{60}Co 源:辐照设施位于广州市南沙区辐锐高能技术有限公司,为加拿大 Nordion 公司设计的 ^{60}Co - γ 辐照源,剂量率为 4 Gy/min,用 Fricke 剂量计校准。解剖镜由江南仪器厂生产。光照培养箱:HR-250A,常州国华电器有限公司生产。

1.3 方法

采摘新鲜柑橘叶片,用清水洗净擦干,将叶边缘及叶柄用湿润脱脂棉包裹,叶背朝上,置于直径 12 cm 的培养皿内,培养皿底部铺有湿润海绵,以保持脱脂棉湿润及叶片新鲜。从自主饲养于柑橘树上的螨中选取大小一致的健壮雌成螨,接入以上叶片,每叶片接 50 头,分别以 0, 100, 200, 300 和 400 Gy 的剂量辐照处理。将辐照处理后的成螨转接至经同样处理过的新鲜叶片上,分别置于相对湿度(75±5)%、16:8(L:D),温度分别为 5, 10, 15, 20 和 25℃ 的光照培养箱中,连续观察 15 d,以 25℃ 为对照,同一剂量下每温度处理 3 次重复。自辐照处理后第 2 天起,每隔 1 d 于 20~80 倍解剖镜下观察记录卵死亡或发育情况。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行处理。二因素方差分析采用邓肯氏新复极差检验法(Duncan's multiple ranger test, DMRT)进行。

2 结果与分析

2.1 辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛成螨死亡率的影响

从表 1 可以看出,柑橘红蜘蛛成螨死亡率随辐照剂量的增加而增大。未经辐照处理(0 Gy)时,柑橘红蜘蛛成螨死亡率随处理温度的升高而增大,且 5~20℃ 处理组柑橘红蜘蛛成螨死亡率在整个试验过程中始终差异不显著,除第 7 天和第 11 天处理组与对照组的柑橘红蜘蛛成螨死亡率在 5% 水平上差异显著外,其他时间处理组和对照组成螨死亡率均差异不显著;在整个试验过程中,相同处理温度下,对照组(25℃)成螨死亡率始终最高,到第 15 天时,对照组成螨死亡率达 35.33%,而置于 5℃ 条件下的成螨死亡率仅为 17.33%。经 100 Gy 剂量辐照时,不同温度处理后 7 d 内柑橘红蜘蛛成螨死亡率均不超过 50%,其中在 5℃ 条件下的成螨,到第 13

天时死亡率仅为 53.33%；处理后 15 d，仅对照组（25℃处理组）成螨死亡率达到 90.00%。经 200 Gy 剂量辐照处理后置于 10、15 和 20℃条件下，处理后 5 d 柑橘红蜘蛛成螨死亡率在 5%水平上差异不显著；200 Gy 辐照处理后置于 5℃条件下，成螨死亡率到第 15 天仍未超过 50%，仅为 42.00%。成螨经 300 Gy 辐照处理后置于 5 和 10℃条件下，处理后 11 d 内成螨死亡率在 5%水平上差异不显著；置于 15、20 和 25℃条件下的成螨，处理后 13 d 死

亡率均超过 80%，分别为 82.00%、83.33% 和 87.33%；到第 15 天时，25℃处理组的死亡率达 92.67%。成螨经 400 Gy 剂量辐照处理后置于 25℃条件下，到第 15 天时，死亡率达 100.00%，而经相同剂量辐照处理过的成螨置于其他温度条件下，到第 15 天时死亡率在 82.67%~98.67%，均不超过 100%。说明低温对辐照后的柑橘红蜘蛛雌成螨的死亡率有一定的延缓作用，即辐照结合低温处理并不能促进柑橘红蜘蛛成螨的死亡。

表 1 辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛成螨死亡率的影响

Table 1 Combined effects of temperature and irradiation on the mortality of adult <i>Panonychus citri</i> McGregor									
辐照剂量/Gy Dose	温度/℃ Temperature	成螨死亡率/% Mortality							
		1 d	3 d	5 d	7 d	9 d	11 d	13 d	15 d
0	5	0.00 i	1.33 i	2.00 k	6.00 k	7.33 n	7.33 o	12.67 l	17.33 n
	10	0.00 i	2.00 i	2.67 jk	7.33 jk	10.00 mn	10.67 no	16.67 kl	20.67 n
	15	0.00 i	2.00 i	4.00 jk	8.00 jk	12.00 mn	16.00 mn	23.33 jk	27.33 m
	20	0.67 hi	2.67 i	4.67 jk	11.33 jk	12.67 mn	22.00 lm	28.67 j	32.00 lm
	25	1.33 ghi	4.00 hi	6.67 ijk	13.33 ij	16.00 lm	24.67 l	30.00 ij	35.33 l
100	5	0.67 hi	3.33 i	6.67 ijk	12.00 jk	20.67 l	34.67 jk	53.33 gh	65.33 i
	10	2.00 fghi	4.67 hi	9.33 hij	18.67 hi	30.67 jk	41.33 ij	57.33 g	68.67 hi
	15	3.33 defgh	7.33 gh	12.67 ghi	26.00 fg	39.33 ghi	55.33 gh	67.33 f	79.33 fg
	20	4.67 bcdef	11.33 defg	18.67 efg	32.00 ef	46.00 fg	62.00 efg	72.67 ef	83.33 def
	25	5.33 bcde	12.00 def	24.67 cde	40.00 d	52.67 ef	68.67 def	78.67 cde	90.00 cd
200	5	2.00 fghi	7.33 gh	14.00 gh	20.00 gh	23.33 kl	28.67 kl	36.67 i	42.00 k
	10	2.67 efghi	10.67 defg	17.33 efg	26.00 fg	31.33 ij	38.00 j	49.33 h	56.67 j
	15	4.00 cdefg	12.00 def	19.33 efg	28.00 f	34.67 hij	48.00 hi	56.00 gh	71.33 hi
	20	6.00 abcd	12.67 def	23.33 def	36.00 de	53.33 def	60.00 fg	67.33 f	71.33 hi
	25	6.67 abc	17.33 abc	30.67 bc	50.67 c	60.67 cde	76.67 bcd	85.33 bc	91.33 c
300	5	2.67 efghi	7.33 gh	13.33 ghi	25.33 fg	36.00 hij	50.67 h	59.33 g	73.33 gh
	10	3.33 defgh	9.33 efg	19.33 efg	29.33 f	39.33 ghi	54.67 gh	70.00 f	78.67 fg
	15	4.67 bcdef	12.00 def	24.67 cde	52.00 bc	61.33 cd	69.33 de	82.00 bcd	86.67 cde
	20	6.00 abcd	14.00 cd	34.00 ab	52.00 bc	64.67 bc	74.67 bcd	83.33 bc	86.67 cde
	25	7.33 ab	18.00 ab	38.67 a	60.67 a	72.00 ab	82.00 ab	87.33 b	92.67 bc
400	5	3.33 defgh	8.67 fg	19.33 efg	28.67 f	42.00 gh	56.00 gh	68.00 f	82.67 ef
	10	4.00 cdefg	9.33 efg	21.33 ef	38.00 de	50.00 f	62.67 efg	74.67 def	88.00 cde
	15	6.00 abcd	13.33 de	28.67 bcd	48.67 c	60.00 cde	72.67 cd	82.00 bcd	91.33 c
	20	6.67 abc	14.67 bcd	29.33 bcd	58.00 ab	71.33 ab	80.67 abc	90.00 ab	98.67 ab
	25	8.67 a	20.00 a	39.33 a	63.33 a	78.00 a	86.00 a	96.67 a	100.00 a

注：同列数据后标相同字母者表示在 5%水平差异不显著(DMRT法)。下表同。
Note: Same letters in each column indicate no significant difference at $P=0.05$ level according to DMRT. The same below.

2.2 辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛成螨繁殖的影响

由表 2 可知，柑橘红蜘蛛成螨的产卵量和卵的孵化率随辐照剂量的增加而显著降低，低温可显著抑制成螨的产卵量和卵的孵化率。在未经辐照处理(0 Gy)时，成螨置于 5℃条件下，所产卵的孵化率为 0；成螨经 100、200、300 和 400 Gy 辐照处理后置于 5℃条件下，产卵量为 0；成螨经 100 和 200 Gy 辐照处理后置于 10 和 15℃条件下，所产的卵均不孵化；经 300 Gy 辐照处理后置于 10、15 和 20℃条件下，

成螨所产卵的孵化率为 0；经 400 Gy 辐照处理后置于试验所选的任何温度下，均可 100%抑制卵的孵化。表明成螨经 100~400 Gy 剂量辐照处理后置于 5℃条件下，可完全抑制成螨的产卵，而成螨经 100~400 Gy 剂量辐照处理后置于 10 和 15℃条件下可完全抑制所产卵的孵化率，300 Gy 剂量辐照处理成螨后置于 20℃及以下温度条件时，可完全抑制成螨所产卵的孵化。因此，在对柑橘红蜘蛛的实际检疫过程中，可根据携带红蜘蛛商品的存储温度选择适当的辐照剂量。

表 2 辐照结合不同温度处理对柑橘红蜘蛛成螨繁殖的影响
Table 2 Combined effects of temperature and irradiation on the fecundity of adult *Panonychus citri* McGregor

辐照剂量/Gy Dose	温度/℃ Temperature	产卵量 Oviposition number	孵化率/% Hatching rates
0	5	89.67 k	0.00 f
	10	160.33 j	0.61 ef
	15	545.33 c	10.32 c
	20	830.00 b	51.76 b
	25	1 204.00 a	94.29 a
100	5	0.00 l	0.00 f
	10	2.67 l	0.00 f
	15	292.33 fg	0.00 f
	20	487.67 d	3.35 d
	25	541.67 c	9.03 c
200	5	0.00 l	0.00 f
	10	2.00 l	0.00 f
	15	254.67 h	0.00 f
	20	305.67 f	0.98 ef
	25	466.67 d	2.56 de
300	5	0.00 l	0.00 f
	10	1.33 l	0.00 f
	15	245.33 h	0.00 f
	20	284.33 fg	0.00 f
	25	358.00 e	1.23 ef
400	5	0.00 l	0.00 f
	10	1.00 l	0.00 f
	15	201.67 i	0.00 f
	20	278.33 g	0.00 f
	25	376.00 e	0.00 f

3 结论与讨论

辐照技术是利用电离辐射的能量作用于被照物体后,抑制生物中酶的活动,破坏生物体中细胞结构,从而导致微生物死亡,当辐照剂量超过某一特定值时,就会引起细胞死亡或丧失繁殖能力^[8-10]。辐照植物检疫(PI)不同于其他所有商业处理的一个重要技术思想是:不是以高死亡率作为处理终点,而是阻止其进一步的生物发育和繁殖。辐照会使节肢动物最终死亡,但研究人员发现在达到阻止繁殖的辐照剂量下,一些节肢动物的寿命不会受到影响甚至寿命更长^[11]。实际应用中,能够使大部分检疫性有害生物达到立即死亡的剂量往往远远超过商品承受能力,因此一般选择能够使昆虫不育的剂量作为昆虫检疫处理的辐照剂量。美国是目前世界上使用辐照技术检疫处理农产品量最大的国家。2006 年,美国提出将 150 Gy 作为辐照处理果蝇的普适剂量,400 Gy 作为除鳞翅目蛹和成虫外所有昆虫普遍采用的剂量,但该建议没有被接受,因为该剂量被认为

是对目前所积累数据的过度外推^[11-12]。Hallman 等^[13]认为,350 Gy 的剂量就足以用于所有鳞翅目害虫的检疫工作,因为鳞翅目害虫的成虫并不是检疫的重点,且在通常情况下,鳞翅目害虫的成虫在农产品收获及出口包装的过程中就会被淘汰。部分研究也表明,应用辐照处理与低温或热处理等方式结合,可在一定程度上降低杀灭害虫所需的辐照剂量,提高辐照效果^[3-4,14]。

本研究结果表明,柑橘红蜘蛛成螨在辐照剂量为 0 Gy(未经辐照)时置于不同温度条件下,成螨死亡率随温度的升高而增大,置于 5℃条件下 15 d 后,成螨死亡率仅为 17.33%,低于对照组(35.33%)。表明低温条件可在一定程度上抑制成螨的死亡率。岳碧松等^[15]研究了温度对桔全爪螨生长发育的影响,指出当温度为 10~35℃时,随着温度升高桔全爪螨发育速率加快,历期缩短。因此,对于成螨,在一定温度范围内,温度的升高可能加快了繁殖速率,从而促进了成螨的死亡。本研究中,同一剂量处理的柑橘红蜘蛛成螨,死亡率随温度的升高而增大;同一温度下,成螨死亡率随辐照剂量的增大而增大,成螨辐照后置于低温条件下,可在一定程度上抑制其死亡,这与胡美英等^[3]、赵学谦等^[4]的研究结果不同,这可能与昆虫的种类和虫态有关,其机制还有待进一步研究。尽管辐照结合低温处理不能促进柑橘红蜘蛛成螨的死亡,但从试验结果来看,在辐照商品可承受范围内,可考虑研究辐照结合热处理对柑橘红蜘蛛成螨的影响。

本试验结果也表明,低温对柑橘红蜘蛛成螨的产卵量及卵的孵化率有显著抑制作用。成螨经 100 和 200 Gy 处理后置于 5℃下,产卵量为 0,成螨经 300 Gy 处理后置于低于 20℃(包括 20℃)条件下,可 100%抑制卵的孵化。因此,在对柑橘红蜘蛛的实际检疫过程中,可根据货物储存温度适当调节辐照所需剂量。

国际植物检疫措施标准中对辐射用于植物检疫做了如下规定:在对某种病原媒介处理时,灭杀等反应可能是合适的,而对非媒介和商品上或商品中的有害生物,则不育可能是适当的反应。使有害生物没有繁殖能力包括:完全不育;仅一种性别具有有限的繁殖力;产卵和孵化但不进一步生长发育;改变习性;子一代不育。对于叶螨类(Acaridae)的要求是,使能够繁殖的成虫不育,最低剂量为 200~350 Gy^[16]。这为辐照在商业上的应用提供了更多的可行性,辐照后只要能使害虫不育,即可达到检疫目

的。本试验结果表明,当辐照与低温结合处理成螨时,尽管低温在一定程度上延长了成螨的死亡时间,但在 5~15 ℃,100 Gy 辐照处理的成螨就可达到 100% 不育,远低于常温下能使柑橘红蜘蛛成螨完全不育所需的 400 Gy 剂量,这在很大程度上保证了商品的品质。

尽管本试验中所选取的一系列温度在同一剂量下对柑橘红蜘蛛成螨的死亡率影响不大,但其对柑橘红蜘蛛其他虫态的影响如何,还有待进一步的研究。另外,综合试验结果,可考虑将辐照与热处理结合,以达到更好的辐照效果。如 McDonald 等^[14]的研究发现,热处理可减少辐射对水果造成的点蚀损伤。从本试验结果来看,在携带柑橘红蜘蛛的商品可承受的范围内,通过辐照结合热处理的方式处理柑橘红蜘蛛成螨是具有一定可行性的。

[参考文献]

[1] 詹国辉,樊新华,孙 威,等. 辐照处理在检疫除害中的应用 [J]. 四川林业科技,2002,23(4):37-41.
Zhan G H,Fan X H,Sun W,et al. The application of radiation in the quarantine [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology,2002,23(4):37-41. (in Chinese)

[2] IAEA/RCA. Regional training course on the use of irradiation as a phytosanitary application for economically important fruits [R]. Beijing,China;IAEA,2009.

[3] 胡美英,姚振威,侯任昭,等. γ -射线对荔枝蒂蛀虫幼虫检疫处理的研究 [J]. 仲恺农业技术学院学报,1998,11(2):56-61.
Hu M Y,Yao Z W,Hou R Z,et al. Study on gamma irradiation of litchi stem end borer larvae as quarantine treatment [J]. Journal of Zhongkai Agrotechnical College,1998,11(2):56-61. (in Chinese)

[4] 赵学谦,范京安,朱 军,等. ^{60}Co - γ 射线辐照结合冷藏处理柑橘和柚对柑桔大实蝇幼虫存活的影响 [J]. 西南农业学报,1995,8(3):85-88.
Zhao X Q,Fan J A,Zhu J,et al. Effects of ^{60}Co - γ rays combined with cold storage on the survival rates of *Teradacus citri* hosted in sweet orange [J]. Southwest China Journal of Agricultural Science,1995,8(3):85-88. (in Chinese)

[5] 王慧芙,金道超. 中国螨类学研究的回顾与展望 [J]. 昆虫知识,2000,37(1):36-41.
Wang H F,Jin D C. The review of Chinese acarology [J]. Entomological Knowledge,2000,37(1):36-41. (in Chinese)

[6] 徐南昌,郎国良,刘立峰. 柑橘全爪螨发生规律及防治措施 [J]. 植保技术与推广,2003,23(9):22-23.
Xu N C,Lang G L,Liu L F. The occurrence and control of cit-

rus red mites (*Panonychus citri* McGregor) [J]. Plant Protection Technology and Extension,2003,23(9):22-23. (in Chinese)

[7] 朱富伟,邓乐晔,翁群芳,等. 辐照对不同虫态柑橘全爪螨杀灭效果的研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(5):57-61.
Zhu F W,Deng Y Y,Weng Q F,et al. Study on elimination effect of irradiation against different stages of citrus red mites (*Panonychus citri* McGregor) [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition,2012,40(5):57-61. (in Chinese)

[8] 赵文彦,潘秀苗. 辐射加工技术及其应用 [M]. 北京:兵器工业出版社,2003:268-295.
Zhao W Y,Pan X M. Radiation processing technology and its applications [M]. Beijing:Arms Industry Press,2003:268-295. (in Chinese)

[9] 雷 庆,黄 敏,伍 玲,等. 辐照技术在检疫处理方面的应用概况 [R]. 四川成都:四川省原子能研究院,2011.
Lei Q,Huang M,Wu L,et al. The general application of irradiation techenology in quarantine treatment [R]. Chengdu,Sichuan: Sichuan Insitdute of Atomic Energy,2011. (in Chinese)

[10] Hallman G J. Food irradiation principles and applications [M]. New York:J Wiley & Sons,2001:113-130.

[11] Hallman G J,Levang-Brilz N M,Larry Zettler J,et al. Factors affecting ionizing radiation phytosanitary treatments,implications for research and generic treatments [J]. Bio One,2010,103(6):1950-1963.

[12] Follett A P. Generic radiation quarantine treatments;The next steps [J]. Journal of Economic Entomology,2009,102(4):1399-1406.

[13] Hallman G J,Parker A G,Blackburn C M. The case for a generic phytosanitary irradiation dose of 400 Gy for Lepidoptera that infest shipped commodities as pupae [J]. Journal of Economic Entomology,2013,106(2):525-532.

[14] McDonald R E,Miller W R,McCollum T G. Canopy position and heat treatments influence gamma irradiation induced changes in phenylpropanoid metabolism in grapefruit [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science,2000,125(3):364-369.

[15] 岳碧松,雷慧德,黄良炉. 温度对桔全爪螨生长发育的影响研究 [J]. 植物保护,1992,18(3):6-7.
Yue B S,Lei H D,Huang L L. The effects of temperature on growth and development of citrus red mites (*Panonychus citri* McGregor) [J]. Plant Protection,1992,18(3):6-7. (in Chinese)

[16] IPPC. ISPM 18 Guidelines for the use of irradiation as a phytosanitary measure [S]. Rome:Food and Agriculture Organization of the United Nations,2003.