

A. E. 克利博宾尼著

应用电离辐射 防治害虫



科学出版社

应用电离辐射防治害虫

A. E. 克利姆宾尼娅著

陈元霖译

桂 薰 校

科 学 出 版 社

1975

内 容 简 介

本书是应用电离辐射防治害虫的专著。作者扼要地陈述了电离射线对昆虫绝育作用的机理和方法,以及在害虫防治方面的应用历史、现状和发展前景。并介绍了与之有关的应用人工饲料饲养昆虫的最近进展。

本书可供生物学和农业工作者以及高等学校师生参考。

А. Е. КЛИМПИНЯ
ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В
БОРЬБЕ С ВРЕДНЫМИ НАСЕКОМЫМИ

«Зинатне», Рига, 1971

应用电离辐射防治害虫

А. Е. 克利姆宾尼亚著

陈 元 霖 译

桂 薰 校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

蓝田县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1975 年 5 月第一次印刷 印张: 3 5/8

印数: 0001—4,970 字数: 80,000

统一书号: 13031·277

本社书号: 433·13—7

定 价: 0.40 元

译 者 序

应用电离辐射防治害虫，是虫害防治的一项新技术。由于化学杀虫剂的使用造成环境污染，以及昆虫群体对药物产生抗性，近年来，生物学防治法受到人们的重视。

应用辐射不育防治虫害是生物学防治法之一。自从1954年在库拉索岛应用这种方法消灭羊旋皮蝇的试验获得成功以来，这方面的研究不断取得进展。同时，由于辐射不育法的实际应用需要饲养大量昆虫，因而也促进昆虫人工饲料的研究。

本书作者根据自己在甜菜潜蝇的研究，并蒐集了有关的文献资料，介绍了这种方法的理论和技术，及其发展历史和前景。对有关昆虫人工饲料的文献资料也进行了综述和评论。

我国劳动人民在与害虫作斗争的过程中，积累了丰富的经验。解放以后，特别是在无产阶级文化大革命和批林批孔运动推动下，害虫的生物防治工作已在全国各地区蓬勃开展。本书对于我国正在广泛开展的害虫生物防除工作，可能有一些参考价值。为此，我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，遂译这本书，以供有关同志参考。

但是，本书作者在综述世界各国学者的研究成果方面，存在着一些明显的错误。对已发现的错误，译文都作了改正，并分别加了译者注。还可能有一些尚未发现的错误，希望读者注意分辨，批判地吸收其中有用的东西。此外，原书有一些显微图片模糊不清，不能表达其显示的特征，因此中译本删去了其中的14幅插图。

由于译者水平所限，谬误或不当之处在所难免，谨请读者不吝指正。

1974年5月于昆明

著者前言

防治植物虫害，乃是保证农作物高产和稳产的最重要前提之一。因此，必须寻找比目前所应用的更为有效而经济的新方法，来防治害虫。

在植物害虫的防治方面，生物学方法正在得到日益广泛的应用。应用电离辐射使昆虫不育的方法，就是生物防治法中的最新趋向之一。这种方法的内容是：把用适当的绝育剂量照射过的昆虫，在其危害的地区大量释放，使当地的大多数正常个体不能进行有效的交配；或者使正常个体同不育性个体交配了，但不产生后代。

射线绝育的方法，除可在田野里防治植物害虫外，还可直接在害虫栖居的粮仓和贮藏室里，消灭粮食和贮藏物害虫。

性不育法是利用害虫延续种族的本能，来消灭该种害虫的独特办法。

昆虫性不育法的主要优点在于，应用这种方法防治害虫，只对整个生物群落中的一种成分发生作用，而对人和其他有益动物则完全无害。此外，应用杀虫药剂防治，有的昆虫会对杀虫药剂产生抗性，而应用性不育法就可避免这种可能。

与其他防治害虫的方法相比，应用性不育法的另一个优点是，它可以和其他生物学或化学防治法配合起来使用，从而把害虫完全消灭，或者把它们数量减少到最低限度。这是单独应用当地的害虫天敌，或杀虫药剂所难以达到的。

关于应用性不育法防治害虫或寄生性昆虫的优越性，已为实际效果所证明。但是应当指出，性不育法的实际应用，还要看人工大量饲育该种昆虫的可能性如何而定。

目 录

第一章 昆虫对电离辐射作用的敏感性	1
辐射对不同发育期昆虫的作用	4
受照射昆虫的寿命和交配能力	15
第二章 在电离辐射作用下昆虫生殖腺发育过程中 的病理变化	22
电离辐射对雌虫生殖腺的影响	27
γ 射线对雄虫生殖腺的影响	33
第三章 昆虫性不育法的发展和展望	46
性不育法的实质	46
应用性不育法消灭害虫的条件	48
性不育法的发展史及其实际应用前景	49
昆虫电离辐射的绝育剂量	53
甜菜潜蝇的绝育作用	63
不育性和正常昆虫的数量比例	67
多配性昆虫与性不育法	70
应用性不育法防治甜菜潜蝇	71
第四章 饲养昆虫的人工饲料	75
合成饲料	76
半合成饲料	77
防腐物质	84
昆虫成虫期的食性	87
应用人工饲料饲养昆虫的结果	89
结论	91
文献	92

第 一 章

昆虫对电离辐射作用的敏感性

现有的文献中,已载有关于多种昆虫的放射敏感性方面的资料。对于放射剂量与生物学效应的数量关系,放射敏感性与昆虫性别的关系,放射敏感性与各种性质电离射线的关系,以及各种照射条件对放射敏感性的影响及意义等方面,都取得了若干成果(Калмыков,1970)。

电离辐射作用能引起机体发生各种变化。机体的组织在吸收射线能量之后,产生一系列的化学反应。这种反应,对新陈代谢过程和各种生命活动,起着抑制作用(Fritz-Niggli, 1959)。

在较低剂量的电离辐射作用下,就已引起蛋白质及核蛋白分子水平上的改变,破坏新陈代谢,抑制核糖核酸和脱氧核糖核酸的代谢(Граевский,1961)。

各种动物对电离辐射的反应是极为不同的。例如,变形虫的致死剂量高达100千伦,而人的致死剂量还不到0.5千伦。机体的构造越复杂,对电离射线的反应也就越敏感。昆虫具有很高的放射抗性(即对放射作用的耐受性)。例如,果蝇的成虫受80千伦剂量照射以后,在较长的时期内仍然保持着正常的生命机能,只有生殖腺的活动遭到明显损坏。

各种昆虫的放射敏感性是不一致的(Grosch,1962)。Erdman (1960,1963)以令人信服的事实证明,甚至在生物学上亲缘相近的两个种,杂拟谷盗(*Tribolium confusum* Duv.)和

赤拟谷盗(*Tribolium castaneum* Herbst)之间,它们的放射敏感性也不一样。他认为,这两种害虫的染色体数目的差异,可能是其放射敏感性不同的原因。赤拟谷盗的放射抗性较高,它的单倍数体也较多。

Калмыков(1970)根据文献资料和他自己的研究结果断定,直翅目和鞘翅目的代表昆虫的放射敏感性,稍高于双翅目、蜉蝣科、虱目、半翅目和膜翅目昆虫。然而他也指出,由于各作者所用的研究方法不同,这个结论在某种程度上是有条件的。

根据 Gole 等(1959)的资料,LD₅₀(即在 24 小时内使 50% 个体死亡的剂量)在雌蜉蝣是 48 千伦,家蝇 110 千伦,虱 180 千伦。杂拟谷盗(*Tribolium confusum*)的致死剂量(即使个体在 6 小时内死亡的剂量)为 151.2 千伦(Dennis, 1961)。有些仓库害虫的“线下死亡”(即个体在照射期间死亡)剂量只有 300 千伦(Андреев 等, 1963; Андреев 和 Мартенс, 1963)。谷皮盗(*Trogoderma granarium* Ev.)在照射期间的绝对致死剂量为 250 千伦(Huque, 1963)。

为什么昆虫有很高的放射抗性呢? Sullivan 和 Grosch (1953)认为,昆虫的成虫同哺乳动物一样,体细胞已完成分化,不再进行细胞分裂。而生殖腺则不同,继续活跃地进行细胞分裂,因此,它们对放射的作用是很敏感的。上述作者还指出,致死剂量的大小与昆虫体型的大小有关。他们看到,体型较大的昆虫的 LD 一般比体型小的为低。

关于昆虫的放射敏感性与体重的关系, McMahan (1969)也提出了类似的见解。

Fritz-Niggli (1959)认为,昆虫有很高的放射抗性,是由于它的体内含有较多的防护物质。在虫体组织内含有很多过氧化氢酶,这种酶能够分解由于照射而形成的 H₂O₂。

Калмыков(1970)把昆虫同其他动物进行比较,对昆虫产生放射抗性的原因及其机理进行了深入的分析。根据许多文献资料,以及他自己的研究结果得出结论:昆虫之所以具有很高的放射抗性,不仅是由于成虫的体细胞不再进行细胞分裂(生殖腺除外),而且与其新陈代谢特性有关。Калмыков(1970)提醒大家注意,存在着放射敏感性与机体的生理状况,比如与细胞代谢的状况相关的事实(图 1)。

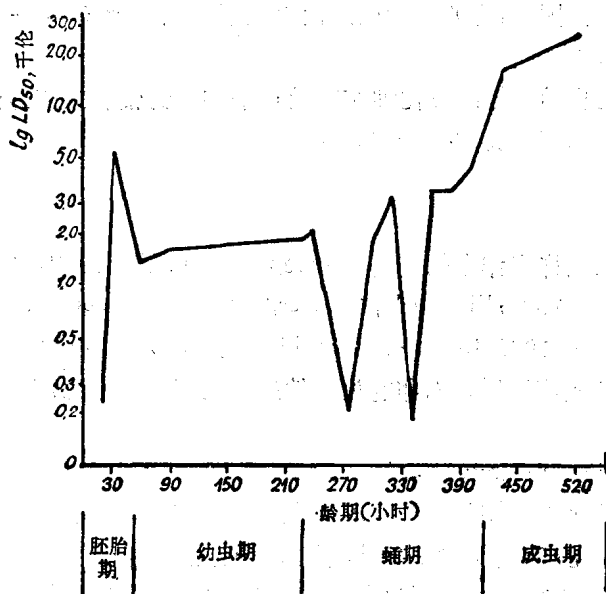


图 1 大陆原伏蝇(*Protophormia terraenovae*)变态过程对 γ 射线的敏感性。

Калмыков 把大陆原伏蝇(*Protophormia terraenovae*)在变态过程中嫌氧呼吸期(也叫做残余性呼吸)的发展状况,同放射敏感性进行比较后发现,这两种现象之间存在着一定关系。并且认为,昆虫成虫期放射抗性较高,以及从个体发育

不同时期放射生物学效应的异质性 (Разнокачественность) 看来,是与嫌氧呼吸的发展程度有关。

辐射对不同发育期昆虫的作用

正在发育的机体,对射线的作用特别敏感。机体的放射敏感性与其生理状况有关,而机体的生理状况又是不断地在变动着。因此,它的放射敏感性也在不断地变动 (Fritz-Niggli, 1959)。

昆虫随着体内分化细胞的数量增加,受辐射损伤的程度也跟着相应减弱 (Nöthel, 1968)。

胚胎期

根据许多作者的资料 (Передельский 等, 1957, 1958; Юсифов, 1968; El Sayed 和 Graves, 1969 b; Hennenberry, 1963; Proverbs, 1962; Reichle, 1969), 昆虫从胚胎发育到成虫,其放射抗性相应递增,而卵的放射敏感性在产出以后比产出以前更高。

Передельский 等 (1957) 查明,米象的卵在产出后第1—2小时受 X 射线照射 (剂量为 1 千伦), 只有 5.5% 能发育到孵化; 卵在产出后第 1—3 天, 受同样剂量照射, 其孵化率为 9%; 在第 6 天照射, 孵化率为 56.5%。Dixon (1962) 照射羊旋皮蝇 (*Cochliomyia hominivorax* Coq.) 不同龄期的卵, 也看到类似的现象。

Bletchly 和 Fisher (1957) 报道, 窃蠹属 (*Anobium*) 和 *Xestobium* 属的木材害虫卵, 在第 1—4 日龄受照射, 其致死剂量不超过 4 千伦; 而在胚胎晚期受照射, 其致死剂量提高到 32 至 68 千伦。

Bughio 等(1969)查明,实蝇 [*Dacus zonatus*(Sounder)] 的卵,在产出 4 小时内受 2 千伦 γ 射线照射后,全部死亡;而在第 23—24 小时和第 29—30 小时受到 2—12 千伦照射,仍有 48—89% 的卵能够孵化;如果卵在第 4—30 小时遭受 4—12 千伦的照射,其幼虫期延长 1.5—2.3 倍。

我们在甜菜潜蝇卵对 γ 射线作用的敏感性方面所作的观察,结果与上述作者的报道是完全一致的。比如,甜菜潜蝇的卵在孵化前不久受 10 千伦照射,孵化率仍有 80% (对照组为 84%);卵在发育早期(产出后第 1—2 天)受 1 千伦照射,孵化率为 82.6%;受 6 千伦照射后,孵化率为 30% (Климпина, 1968 a)。

Ламбрев(1969)报道,用 X 射线(剂量为 1.5 和 2.5 千伦)和快中子(剂量为 1.0 和 2.5 千拉德)照射家蚕 [*Bombyx mori* (L.)] 的卵,由其所孵出的幼虫生长迟缓,死亡率增高。

但是,在现有的文献资料中,关于卵的不同发育时期的放射敏感性,有的结果是与上述诸作者的观察相矛盾的。比如, Balock 等(1969)断言,果蝇的卵对放射作用最敏感的时期,不是在它刚刚产出的时候,而是在产出以后胚胎发育经过了三分之一的时候。

Momose(1969)也认为,绿豆象 (*Callosobruchus chinensis* L.) 卵的放射敏感性的变化,同卵的发育程度不成比例关系,产出后第 6 天比第 3—5 天的卵敏感性更高。

各种昆虫卵的致死剂量颇不相同。例如,果蝇卵遭受 2 千伦照射后,胚胎的死亡率达到 99.9% (Bhatti 和 Qureshi, 1969);家蝇卵的致死剂量为 3.2 千伦;大白粉蝶卵的致死剂量为 4 千伦 (Палий 和 Иирковский, 1962)。致使胚胎即刻死亡,果蝇需要 8 千伦剂量 (Steenbeck, 1961);大陆原伏蝇需要 5 千伦 (Подольян, 1959)。番茄蚜卵受 20 千伦剂量照射后,

只有90%停止发育(Viado 和 Manoto, 1963)。一些鞘翅目和鳞翅目仓库害虫的卵, 其致死剂量更高, 甚至在 25 千伦剂量的作用下, 对卵的孵化率仍然影响不大; 需要 100 千伦剂量的作用, 胚胎发育才停止(Papadopoulou, 1963)。

为了测定甜菜潜蝇卵的放射敏感性, 我们在卵产出后第 1—2 天进行照射。为避免遭受机械损伤起见, 照射时把卵放在一片甜菜叶子上, 照射后的卵连同甜菜叶子一起, 放在培养皿内的潮湿滤纸上。总共照射 1,155 粒卵, γ 射线的照射剂量分别为 0.5, 1, 2, 3, 5 和 6 千伦(Климпия, 1968 a)。结果表明, 卵的孵化率随照射剂量的增高而降低。例如, 在对照组内, 平均孵化率为 84.5%; 受 0.5 千伦照射的, 孵化率为 76.3%; 而受 6 千伦照射的, 孵化率只有 30%(Климпия, 1968 a)。

Vasiljević 和 Injac (1967) 观察到, 舞蛾的卵受 1—4 千伦的 γ 射线照射, 对发育的速度和幼虫的体重都有刺激作用。

幼虫期

各种昆虫幼虫对辐射作用的敏感性各不相同。例如, 大白粉蝶幼虫的致死剂量为 8 千伦(Палий 和 Ёирковский, 1962); 谷皮蠹 (*Trogoderma granarium*) 幼虫受 6 千伦剂量作用后不能化蛹(Nair 和 Rahalkar, 1963); 番茄蛴幼虫受 1 千伦照射后死亡(Viado 和 Manoto, 1963); 桔小实蝇 (*Dacus dorsalis* Hend.)、瓜实蝇 (*Dacus cucurbitae* Coquil.) 和地中海实蝇 [*Ceratitis capitata* (Wied.)] 在受 15.6—28 千伦 γ 射线作用后, 不能在果实内继续发育 (Balock 等, 1966); 实蝇 (*Strumeta tryoni* Trogatt.) 的卵和幼虫受 80 千伦剂量照射后, 当天死亡 (Macfarlane, 1966)。

玉米螟幼虫的滞育期与非滞育期相比, 在滞育期受照射对幼虫躯体的损伤较小(Raun 等, 1967)。

根据一些作者(Иирковский, 1961; Палий 和 Иирковский, 1962; Родионова, 1957; Asman 和 Rai, 1965)的资料, 幼虫期遭受照射后, 食欲减退, 发育延缓。大白粉蝶幼虫受到 1.5 千伦剂量照射后, 食量比对照组减少了六分之五。幼虫的照射剂量提高时, 蛹所羽化出来的蛾子变小。Палий 和 Иирковский (1962)认为, 出现这种情况的原因是, 由于受过照射的个体新陈代谢减弱。

受到 2—100 千伦剂量照射的甜菜潜蝇幼虫, 我们未发现其食欲减退。这也许是由于幼虫是在晚期遭受照射, 而这时期即使对照组幼虫也很少摄食。

在受过照射的甜菜潜蝇幼虫上, 看到其发育稍有延缓, 在照射后第 2 天化蛹的幼虫不超过 26.5%, 在同一天未照射个体的化蛹率平均为 36%。我们用 γ 射线进行照射, 照射剂量为 0.5—500 千伦, 分成 12 个剂量组, 共照射 4268 只幼虫。剂量强度为 140 伦/秒。各组幼虫均在第 3 龄受照射。

结果表明, 照射剂量的大小与幼虫的化蛹数量之间, 没有明显的相关关系(表 1)。受 0.5—100 千伦照射的幼虫, 化蛹率为 64.6—84.4%(对照组为 72.4%)。未能化蛹的幼虫, 均于照射后的第 1 天或第 2 天死亡。

只有受到 500 千伦剂量照射时, 幼虫的化蛹率才显著减低, 只有 29%。蛹的形式没有什么特别的变化, 不过它是畸形的——蛹的末端伸长了。

由受照射幼虫发育成的蛹, 只有在照射剂量小于 15 千伦时, 才能羽化出成虫来(见表 1)。由此可见, 在高剂量照射下, 甜菜潜蝇在化蛹前死亡。在较低剂量作用下, 虽然能够发育到化蛹, 但是绝大多数个体仍在蛹期死亡(Клиппня, 1968 a)。

Thomou (1963)曾观察到, 橄榄实蝇幼虫受 2.9—3.3 千

表 1 甜菜潜蝇幼虫期第 3 龄受 γ 射线照射, 幼虫的化蛹率
以及蛹的羽化率与照射剂量的关系

剂 量 (千伦)	幼虫数	幼虫的化蛹率 (%)	与对照组差 异的可靠性	蛹的羽化率 (%)	与对照组差 异的可靠性
0	340	72.4 $\pm$ 2.4	—	22.1 $\pm$ 2.2	—
0.5	90	84.4 $\pm$ 3.8	2.7	22.4 $\pm$ 3.6	0.3
2	257	71.6 $\pm$ 2.9	0.2	6.5 $\pm$ 1.5	2.7
5	250	69.2 $\pm$ 2.9	0.3	0	9.6
10	410	66.9 $\pm$ 2.3	1.7	0.4 $\pm$ 0.3	9.4
15	350	69.1 $\pm$ 2.5	0.9	0.4 $\pm$ 0.3	9.4
18	234	77.8 $\pm$ 2.7	1.5	0	9.6
20	361	74.5 $\pm$ 2.3	0.6	0	9.6
25	440	69.3 $\pm$ 2.2	0.9	0	9.6
30	333	64.6 $\pm$ 2.6	2.2	0	9.6
50	450	70.2 $\pm$ 2.2	0.7	0	9.6
100	270	82.6 $\pm$ 2.3	3.1	0	9.6
500	100	29.0 $\pm$ 4.5	8.5	0	9.6

伦照射以后,虽然还能发育到化蛹,但由这种蛹羽化出来的成虫不能飞。

根据 Передельский 等(1957, 1958)的资料,谷象和米象在发育早期受 X 射线照射,从 3 千伦剂量开始,受照射个体都在发育到成虫以前死亡。

Brownell 和 Yudelovitch(1962)已查明,墨西哥实蝇幼虫在发育早期受照射,从 2 千伦剂量开始,所有的幼虫都在发育到化蛹以前死亡。而在发育晚期,即使受到高达 70 千伦剂量照射,仍然能够化蛹,不过这种蛹已经不能羽化出成虫。

Balock 等(1963)指出,桔小实蝇(*Dacus dorsalis*)老龄幼虫的致死剂量为 160 千伦。

Harwalkar 和 Nair(1968)看到,红蜡(*Dysdercus koenigii*)的早龄幼虫受 X 射线照射后,脱皮的能力减弱。而这方

面,老龄幼虫表现有较高的放射抗性。

对受照射的甜菜潜蝇幼虫发育的蛹,进行解剖观察,结果发现,在 15 千伦剂量作用下,蛹内充满着黄色物质,在这种物质内还可以辨别出躯体的各个无色素沉着的部分——腹部和足。

甜菜潜蝇幼虫受较低剂量(5 千伦以下)照射,在由这种幼虫发育的蛹内,可以看到形态发育的各个阶段,但都业已死亡。幼虫期受到高于 15 千伦剂量照射,在其蛹内看不到发育为成虫的躯部芽基,只有充满着半液态的、大部分都已腐烂的灰色物质。在更高剂量的射线作用下,蛹在形成成虫躯体以前已经停止了发育。

在我们的实验中,甜菜潜蝇幼虫是在发育到最后 1/3 的时期内受照射的。此时,幼虫在照射前已经表现出临化蛹前的特征,即开始了幼虫器官的组织解离和成虫器官的组织形成。因此,这时幼虫体内的大多数细胞正在进行着分裂。正如 Fritz-Niggli(1959)所指出的,这时乃是对辐射作用最敏感的时期。由此可以推断,由于成虫器官芽遭到了损坏,成虫身体的各种器官不能建立,所以蛹的羽化率极低(Климпина, 1968 a)。

Erdman(1968)也指出,杂拟谷盗(*Tribolium confusum*)幼虫在发育的晚期有更高的放射敏感性。

甜菜潜蝇幼虫受到 1 千拉德剂量的快中子照射后,化蛹率为 87%。受 2 千拉德剂量照射的,为 77.5%。由受以上二种剂量所发育成的蛹,都不能羽化出成虫,蛹的内容物都已完全腐烂(Климпина, 1968 a)。

鉴于甜菜潜蝇幼虫对辐射作用有较高的敏感性,照射后的羽化率很低,以及技术性的困难,在为获得大量不育性成虫的实践上,不宜采取在幼虫期进行照射的方式。

蛹期

昆虫在蛹期对辐射作用的敏感性,明显地低于幼虫期。蛹的放射抗性*,随蛹龄的增加而提高。根据 Nair (1962) 的资料,家蝇在化蛹后5—20小时内,受2千伦剂量 γ 射线照射后,全部不能羽化;而在化蛹后第30—80小时,即使受到10千伦剂量照射,蛹的羽化率仍然不大降低。比较年青的蛹对辐射作用之所以有较高的敏感性,是因为此时蛹内的细胞分化水平较低。

Donnelly (1960) 把三棕绿蝇 (*Lucilia Sericata* Mg.) 的蛹在发育早期进行了照射,得到类似于上述的结果,即蛹在发育2—3天内受3千伦剂量照射后死亡,而在4—6天受到甚至高达12千伦剂量照射,仍能羽化出成虫。

Mavor (1927) 曾经发现,成虫组织内细胞有丝分裂结束的时期,正好与蛹的放射抗性提高的时期相一致。Balock 等 (1963) 也认为,在蛹内与成虫发育有关的部分,对辐射作用最为敏感。

我们的关于甜菜潜蝇对 γ 射线敏感性的资料,与文献完全一致。我们总共照射了11,620个蛹。这些蛹,分别在蛹期的第1日龄,第8—11日龄,第12—15日龄及其发育晚期(即羽化前1—5天)受到照射。照射的剂量分别为2,4,5,7,8,9,10,11,12,15,18,20,25,50和100千伦。用羽化出成虫的百分率,作为测定蛹的放射抗性的指标。

照射结果表明,在蛹期的第1日龄,即在化蛹的第2天对 γ 射线的作用最敏感(表2)。这时受到2千伦剂量照射,羽化率平均为4.3%;遭受10千伦剂量照射,只有个别的蛹能够羽

* 原文为放射敏感性。与下文对照有误。——译者

表 2 甜菜潜蝇蛹期第 1 日龄受 γ 射线照射, 蛹的羽化率
与照射剂量的关系

剂 量 (千伦)	蛹 数	羽 化 百 分 率 (%)	与 对 照 组 差 异 的 可 靠 性
0	400	28.8 ± 2.2	—
2	300	4.3 ± 1.2	9.6
4	300	0	13.1
5	200	0	13.1
7	100	0	13.1
10	400	0.3 ± 0.3	5.5
15	400	0	13.1
18	300	0	13.1
20	200	0	13.1
100	200	0	13.1

化出成虫(对照组羽化率为28.8%)。

如果蛹是在第 8—11 日龄时受照射, 那么 γ 射线对甜菜潜蝇羽化率的影响就明显的降低了。这时受到 2—15 千伦剂量的作用, 羽化率为 20—42%(对照组为 45.9%); 在 18 千伦或更高剂量照射时, 羽化率急剧下降, 仅为 5%。

如果蛹是在第 12—15 日龄受低于 12 千伦剂量的 γ 射线照射, 则实验组与对照组羽化率的差别不大(表 3)。甚至在遭受最高剂量(100 千伦)照射时, 蛹的羽化率仍有 34%(对照组为 56.5%)。

如果甜菜潜蝇的蛹是在发育晚期(第 17—20 日龄)遭受 5—10 千伦剂量的照射, 则其羽化率与对照组并无差异。在这些剂量组内的平均羽化率为 58.3—82%, 对照组为 71.3%(表 4)。

甜菜潜蝇蛹期第 10—17 日龄时用快中子照射, 剂量分别为 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.5, 5.0 和 10 千拉德, 剂量强度为 10