

内部资料

農業生物防護

参 考 资 料

(射频电能防治害虫专辑)

中国农林科学院农业生物研究所资料室编

一九七七年九月

目 录

一、用微波和其他射频能防治害虫的研究	(1)
二、用射频能防治贮粮害虫的研究	(9)
三、微波加热对仓库害虫的杀虫试验	(17)
四、应用微波电能防治小麦仓库害虫	(23)
五、射频能处理黄粉虫幼虫的死亡率与内热	(26)
六、39和2450兆赫电场防治小麦中米象的效果比较	(31)
七、射频电处理对黄粉虫生殖力的影响	(36)
八、射频电场对黄粉虫成虫生殖器组织细胞病理学的影响	(39)

附 录

一、高频介质加热浅说	(41)
二、微波加热	(43)
三、用于微波处理的材料的介质特性表	(51)
四、射频电磁场对作业人员身体健康的影响和防护技术	(80)

利用微波和其他射频能防治害虫的研究

实际应用微波能的最近进展和现在对用物理方法防治害虫的关心,为微波能防治害虫带来了希望。这不是一个新的概念。要详细评价其潜在性的应用可能,没有充分的资料,但是,在关于电磁波谱的射频范围内能量对害虫的影响的文献中,却有不少的资料。

射频范围通常就是位于声频与红外线区之间的那部分电磁波谱。实际上,无线电发射通常是在大约10千赫(10×10^3 周/秒)和100千兆赫(10×10^9 周/秒)之间范围。相应的波长为30000米和3毫米。“微波”这一术语用于频率高于约一千兆赫(波长短于30 cm)的射频范围内的电磁波不甚确切。因此,“射频”这一术语适用于很宽的电磁能的频率或波长的范围,而“微波”这一术语只适用于射频波谱较高的频段。

害虫处于足够高的频率和强度的射频电场中,当它们从电场中吸收能量,体温就迅速升高。这种处理的致死效应,通常是由于电介质加热产生了致死温度的结果。在过去,研究者常常认为射频电场的致死作用可能是由于电场某些“特殊效应”,而不是单纯的热因素。虽然有些对生物体系的“非热效应”被描述过,热与非热的射频效应的问题仍然有争论。单以热效应为根据,有些对害虫射频效应的观察报告,缺乏充分或满意的解释(Mickey 1963, Nelson 1967, Kadoum 1969 Carpenter and Livstone 1971)。但是热效应与一些非热效应是难以区分的,由于生物材料电介质混合物的性质,可能发生局部组织加热现象,这用普通测温法不能测出。总之,对治虫有效的致死性“非热效应”没有最后得到证明。

通过介质加热,能够达到防治为害谷物、木材、食品和其他贮藏产品的害虫。微波加热是利用微波频率的射频电介质加热。如果害虫可被选择性加热,就是说,如果害虫比它们寄主物质以较高的速度吸收能量,这样可以迅速升高到致死温度而不损伤寄主材料,则电介质加热就优于常规方法。本文的目的是简单评论利用射频电能防治害虫的一般原理和发现,并对此方法的可能的实际应用作若干评论。

一 般 原 理

在交变电场感应下,同一介质单位体积所消耗的能量可以用下式表示:

$$P = 55.63fE^2\epsilon_r'' \times 10^{-12} \text{瓦/米}^3 \quad (1)$$

f 表示应用电场的频率 H_z (周/秒), E 表示电场强度伏/米, ϵ_r'' 为介质的相对损失因数或损失系数,损失因数 ϵ_r'' 为介质的相对介电常数或复合介电常数 $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$ 的虚数部分,实数部分 ϵ_r' 称为物质的介电常数。

材料处于射频电场中所产生的热度,不仅依赖于材料的功率密度 P ,而且还依赖于

材料的比热和比重。升温的速度可以用 $dT/dt = 0.239 \times 10^{-6} P/c\rho$ 表示, P 为功率密度瓦/米³, c 和 ρ 分别代表比热与比重。这个方程式没有考虑由于材料的传导、辐射、对流或一些水分及其他物质蒸发的能量损耗。

物 理 因 素

公式(1)为研究影响射频电场治虫效果的一些物理学因素提供了基础。公式(1)表示, 功率或能量吸收比率依赖于频率、电场强度和材料的电介质损失系数。

热差——受害产品如谷物和食品, 处于射频电场时寄主物质和害虫都受到相同的频率, 但是寄主物质和害虫上的电场强度 E 和介质损失系数 ϵ_r'' 是不同的。损失系数是材料的固有特性, 但是其值依赖于频率和温度。吸水材料的电介质特性还取决于它们的含水量。电介质特性可通过适当的测量技术测定。害虫与寄主物质相对电场强度的测定更困难。关于害虫与寄主物质相对场强能通过研究一种材料球状内含物在另一材料媒介中的情况予以了解。若要研究害虫与寄主物质之间关系的模型, 场强之比可以数学地表示为:

$$E_i/E_h = 3/(2 + \epsilon_{ri}/\epsilon_{rh}) \quad (2)$$

下方的 i 表示害虫, h 表示周围的寄主物质, ϵ_{ri} 和 ϵ_{rh} 为各自的相对电介常数或所有实际应用的介电常数(Nelson and Charty 1972)。如果害虫与寄主物质的电介质特性即 ϵ_r 和 ϵ_r'' 很不相同, 而彼此有固定的关系, 则害虫就会选择性地吸收能量或者害虫与寄主就有热差。理想的关系是昆虫与寄主物质介质损失系数比: $\epsilon_r''i/\epsilon_r''h$ 的值要高, 而昆虫与寄主复合相对介电常数比 $\epsilon_{ri}/\epsilon_{rh}$ 的值要低。 $\epsilon_{ri}/\epsilon_{rh}$ 的值低, E_i/E_h 的值就高(公式(2)), 因此, 与寄主物质相比, 害虫就将吸收更高的能量(公式(1))研究温度上升速度的公式表示对比热和比重来说, 也需要低的害虫与寄主之比。

利用同样的理论研究, Thomas(1952)认为, 在高频电场中, 谷物内害虫选择性加热是可能的。在利用39兆赫电场防治米象*Sitophilus oryzae*(L)和杂拟谷盗*Tribolium Confusum* Jacquelin duval所需的寄主物质温差, 用这种分析给予解释了(Nelson and Whitney 1960)。对小麦中米象和杂拟谷盗成虫, 用此理论可预见害虫的选择性加热, 但是, 对碎小麦中杂拟谷盗就不能。处理小麦中害虫时, 粮温低于米象和杂拟谷盗致死温度就可完全杀死害虫。然而在处理碎麦中杂拟谷盗时, 害虫死亡要求寄主物质致死性温度。

寄主介质——除昆虫及其寄主物质电介质特性外, 害虫所处的场强还取决于几何和空间因子。因此, 寄主物质颗粒的大小和形状可望影响致死处理的水平。以小麦和同样含水量的玉米中的谷象*Sitophilus granarius*(L)成虫试验表明, 粮温差不多, 害虫在小麦中比玉米中死的少(Nelson and Kantack 1966)。米象成虫在较小玻璃球寄主物质中处于射频电场比在较大玻璃粒中存活的好(Nelson et al 1966)。

Pyeeuson(1933)早期研究指出, 某些昆虫周围的物质当处于高频电场时, 有保护昆虫趋势。还有一些证据说明, 在谷粒内的害虫可以部分地被保护。谷粒的导电性太

小以致不可能提供有效的保护作用,但是,它们可以改变电场分布,在某种意义它有利于害虫的生存。对小麦粒内和粒外的米象成虫和谷蠹*Rhyzopertha dominica* (F)成虫的处理试验表明,同样龄期的害虫,粒外害虫比粒内的死亡率稍高(Nelson et al 1966)。

寄主物质的含水量同样可以影响射频处理的效果。39兆赫处理含水量11.4%和12.8%的小麦,米象成虫的死亡率无明显的区别(Whitney et al 1961),但是最近的工作指出,水分在12%至16%范围内,射频处理的效果随含水量的增加而提高(Nelson and Kantack 1966)。寄主物质含水量可以影响致死量以下的处理的害虫的存活。即使小麦含水量高到足以维持昆虫正常生活,在射频电场处理后,移到水分高的小麦中比移到水分低的小麦中害虫死亡率低(Nelson et al 1966)。在致死作用所处理的昆虫,水分的损失等于它体重的百分之几。因此,似乎有理由预料,害虫受到致死量以下的处理时,在含水量较高的物质中,它们可以更迅速地恢复失去的水分,能较好地活下来。

应考虑的另一因素是昆虫向周围寄主物质的散失热量。如果虫体内的热量能够很迅速传给其周围物质,紧靠寄主物质的昆虫经短暂高温处理可以活下来。Thomas (1960)就长时间处理进行了讨论。他研究了用37.5和76兆赫的频率防治木材害虫作用的可能性,还以2450兆赫研究了用微波的木材除虫作用(Van den Bruel et al 1960₂)。

场强——由于公式(1)中电场强度E是影响加热速度的一个重要因素,它对害虫死亡率的影响就得到了重视。Webber等人(1946)用1.2至1.8千伏/厘米的场强范围和11兆赫的频率处理面粉中地中海粉螟*Anagasta kuehniella* (Zeller)和杂拟谷盗。死亡率数据差别不明显,可以认为是场强的原故。场强和频率对昆虫死亡率的影响是很难区分的,因为二者都影响加热速度。因此,必须得考虑频率、场强、加热速度三因素的相互关系。用不同的场强和加热速度的组合,处理的时间从几秒至1分或更长些时间的10和39兆赫的几个试验表明,这些灵敏的频率效应取决于害虫种类和发育阶段(Nelson et al 1966)。以同样的加热速度比较10和39兆赫的处理,对某些种类和发育阶段,10兆赫的处理是一样的,而39兆赫对另一些是一样的。还有的种类,两种频率得到同样的死亡率。

以10和39兆赫处理,高场强比低场强对小麦中米象成虫致死作用更大,但是,对同一种类的幼虫阶段,高、低场强获得同样的结果(Nelson and Whitney 1960, Whitney et al 1961)。通常由于场强所致的害虫死亡率的差异,在场强大于1.2千伏/厘米时就消失了。频率一定,增加场强,加热速度也增加。伴随高场强处理的温度迅速上升,似乎有可能解释高场强处理效果大的原因,高场强处理可以产生高度的热冲击。处理时间长,在处理期间热能损失到周围环境也是一个因素。但是,单单加热的速度似乎不能确定不同频率的处理效果(Nelson et al 1966)。

调制——Thomas (1952)提出了利用脉冲调制射频电场防治害虫的可能优越性,然而,显然缺乏明显乐观的理论根据。以脉冲宽度为5到40毫秒,脉冲反复度为10到40周/秒(脉冲数/秒)范围的脉冲调制的39兆赫场的试验证明并不提高防治小麦中米象和

杂拟谷盗成虫的效果 (Nelson et al 1966)。以后有限的工作证明脉冲短到50微秒,场强为4千伏/厘米防治小麦中米象和谷象也没有比非调制处理得到更好的结果。同非调制的以1.4千伏/厘米处理相比较,以10毫秒的脉冲,反复度为10周/秒,场强为3.5千伏/厘米防治谷蠹成虫,经观察,处理效果有所提高 (Nelson et al 1966)。采用脉冲调制即使是相对较长的脉冲程,也可以应用很高的场强。含水量13—14%干净小麦,由麦粒间产生电弧使谷粒烧焦的趋势,频率为40兆赫的非调制射频处理的场强限制在大约1.6千伏/厘米。最大允许场强可随粮食水分的减小而增加。处理时间的长短也影响电弧的产生,并在介质加热时从谷粒内逸出的水分也增加了产生电弧的倾向。可用脉冲调制的最大场强似乎随脉冲宽度和脉冲重复频率的降低而增加。微波处理因为频率很高,在较低的场强时,对材料可以产生等量的加热度 (公式1)。因此,在微波加热中比较低频率电介质加热不大会遇到电弧问题。

频率——用射频电场防治害虫多数研究其所用的频率范围大约为1到50兆赫。由此范围频率不同而引起的治虫效果的一些差异在有关场强的讨论中曾提到过。像Thomas (1952)解释的,早期认为某些频率对昆虫组织加热比对植物组织加热更加有效是根据错误的假说,同样,关于对某些害虫可能存在某些很有选择性的频率这种概念既没有得到试验工作证明,也没有得到理论工作证明。

面粉中的杂拟谷盗和小麦中的谷象处于2450兆赫微波能的研究表明,没有获得害虫选择性加热 (Baker et al 1956)。防治未老熟期害虫其寄主物质的温度分别需要超过82和72℃。当粮温暂时升高至60—66℃的范围时,用39兆赫就达到防治小麦中谷象、米象和谷蠹相应的效果 (Whitney et al 1961)。用39兆赫电介质加热处理几秒,硬红冬麦中米象成虫全部被杀死,粮温升高至39℃ (Nelson and Whitney 1960),而热蒸气炉上这样温度,这些昆虫可以存活很长时间。被为害的谷物产品保持在60℃10分钟,可以有效的防治贮粮害虫 (Cotton 1963)。

39兆赫射频处理小麦中杂拟谷盗成虫,完全死亡时需要粮温为47℃ (Nelson and Whitney 1960)。同样频率的其他研究中,达到全部防治谷象成虫时,小麦温度为41℃ (Nelson and Kantack 1966)。以2450兆赫处理小麦中同样种类成虫时,使其全部死亡要求粮温高于57℃ (Baker et al 1956)。表1对Webber等人 (1946) 以11兆赫和Van den Brue1等人 (1960a) 工作频率为90兆赫的发现和它结果作了比较性概括。查表1中的数据可以看出,在每个例子中 (可能除了以11兆赫处理杂拟谷盗成虫外) 欲获100%死亡,用2450兆赫处理比用10到100兆赫较低的频率范围处理要求寄主物质温度高的多。因此看来,可能在较低的频率范围获得害虫选择性加热的程度比2450兆赫微波范围好的多。

Boulanger等人 (1969) 比较了2450兆赫工作的微波处理谷物系统和13兆赫电介质加热系统,但是不幸,他们没有报导两种不同频率防治贮粮害虫相应效果的明显比较。

表1 害虫100%死亡射频处理后所需寄主物质的温度:

种 类	虫 态	频率(兆赫)	介 质	温度(℃)	文 献
米 象	成 虫	39	小 麦	39	略
	各期发育未全的	39	"	61	"
谷 象	成 虫	39	"	41	"
	成 虫	2450	"	>57	"
	幼 虫	2450	"	>82	"
	卵	2450	"	>72	"
	成 虫	11	面 粉	75	"
杂拟谷盗	幼 虫	11	"	65	"
	成 虫	90	"	59	"
	幼 虫	90	"	53	"
	成 虫	2450	"	>68	"
	幼 虫	2450	"	>82	"

以2450兆赫,用在波导管中处理后粮温达65℃,据报导能完全防治杂拟谷盗,但是,没有说请试验是否包括抗性更强的发育未成熟的虫态。Kirkpatrick和Roberts(1971年)报导了三种贮粮害虫种类在2450兆赫微波炉的处理试验,但是,由于没有报导粮温,同其他工作比较,提供的资料没有多少价值。Jolly和Tate(1971)提出用微波防治 Douglas 枞树种子中Chalcids的可能优越性。然而选择证实他们论据的电介质特性数值是不可靠的,而且他们的结论和下节讨论的图1中数据所得结论是截然相反的。

电介质特性的频率依赖性——为评价射频谱内不同频率的不同加热程度,在250赫到12000兆赫的整个频率范围内测量了小麦及米象的电介质性质(Nelson and Gharity 1972)。图1表示硬红冬麦和米象成虫的大部分样品在50千赫到12000兆赫范围介质常数 ϵ_r' 和损失 ϵ_r'' 的数据。根据公式(1)和公式(2)的关系,从数据分析可看出, ϵ_r'' 是影响从射频电场的示差能量吸收的主要因素。因此小麦中米象成虫获得最好的选择性加热频率大约要在5到100兆赫的范围。根据这些数据,频率在1和12000兆赫之间,就不可能期望有什么热差。根据这些测量的预测似乎同昆虫处于不同频率射频电场所获得的试验数据是一致的(表1)。

根据最初由Debye(1929)提出的介质扩散和极性分子能量吸收的经典理论,图1的曲线与图2的曲线具有相似性,这倒颇有意思。图2中 ϵ_r' 代表一个低频率介质系数值, ϵ_∞' 为一个高频率介质系数值, $\omega = 2\pi f$ 为角频。曲线表示具极性分子材料的扩散和吸收范围内 $\epsilon_r'\epsilon_r''$ 的频率依赖性遵循Debye氏张弛过程(Nelson 1973)。在

米象和小麦张弛频率(ϵ_r'' 曲线顶峰)的范围内结合态的水可望有助于这种类型的频率相关性的特性(de Loor 1968)。

由于昆虫及其寄主物质的介质特性同温度有关,并由于射频处理时这些物质的温度发生改变,介质特性的温度相关性同样需要加以研究。昆虫与谷物的电介质张弛频率可能随温度升高而增加。一旦测定 ϵ_r'' 因昆虫及其寄主物质的温度而变化的程度,利用两种不同物质损失系数的最大差别在处理时期通过改变频率,就很有可能改进射频处理的效果。

昆 虫 学 因 素

有关影响射频电场处理治虫效果方面,还探讨了几个昆虫学因素。关于这些方面,Nelson(1967)发表了一个评论性的文献。

发育阶段——一般说来,射频处理防治害虫成虫期比未成熟阶段敏感。就米象、谷象和谷蠹而言,未成熟期在粒内发育。各试验中成虫对射频处理较为敏感(Whitney et al 1961, Nelson et al 1966),如已讨论的所示,未成熟类型受到局部保护可能是某些敏感性不同的原因。但是幼虫与成虫的敏感性差异在种类之间也有变化。

以39兆赫和1.4千伏/厘米处理麦片时观察了杂拟谷盗成虫和幼虫期死亡率的差异很小(Whitney et al 1961)。但是,Webber等人(1946)发现在面粉中用11兆赫处理同样种类幼虫比成虫要敏感一些。Boker等人(1956)发现,用2450兆赫处理整份面粉,杂拟谷盗成虫比幼虫或卵期敏感。这些研究中还指出,谷象成虫比卵敏感。大谷盗*Tenebrio mauritanicus*(L)幼虫比成虫敏感(Nelson and Kantack 1966)。大谷盗幼虫很大,并在粒外取食,因此诸如大小和几何学关系之类的物理因素可以更好地说明敏感性的不同。Frings(1952)注意了形态不同,尤其是成虫阶段有附肢可以更好地说明成虫和幼虫的敏感性不同。黄粉虫*Tenebrio molitor* L,在致死量以下的处理时,由这些幼虫发育的成虫中观察到引起形态上的畸形的影响(Kadoum et al 1967a Raih et al 1971)。还发现了黄粉虫一天的卵处于39兆赫射频电场比三天的卵敏感(Rai et al 1972)。

种类——不同虫子对射频电场处理防治法的敏感性亦不同。以频率为39兆赫,电场强度为1.2千伏/厘米处理小麦,根据成虫死亡率比较几种贮粮害虫种类,敏感性按下列顺序递减:米象和谷象;锯谷盗*Onyzaephilus Surinamenlis*(L);杂拟谷盗和赤拟谷盗*Tribolium Castaneum*(Herbst)斑皮蠹*Trogoderma Variabile* Ballion(formerly *Parabole* Beal);大谷盗和谷蠹(Whitney et al 1961, Nelson and Kantack 1966)。

所看到的另一种间差异是处理后延迟死亡的程度。米象和谷象处理后一天到一周内死亡率增加显著,而以后由于射频处理的死亡率实际上没有发生变化。谷蠹也有显著死亡延迟现象,而这样的死亡率与其说出现在处理后第一周倒不如说主要出现在处理后的第2周。杂拟谷盗和赤拟谷盗的死亡延迟较不显著,大部分出现在处理后第二和第三周

(Whitney et al 1961, Nelson et al 1966)。其它的研究中,黄粉虫幼虫的死亡率在39兆赫处理后,在两周期间还继续增加(Kadoum et al 1967c)。

生理性伤害——如绪言所指出的,射频电场对害虫的致死作用,实质主要是热效应,Frings (1952) 注意并详细地研究了昆虫处于射频电场时的“击倒”,并断言附肢迅速加热可以说明击倒效应。Whitney等人(1961)注意了射频处理后小麦中的贮粮害虫的伤害情况,证实了这种理论。在附器中特别是附肢关节中注意到了损伤。认为射频处理黄粉虫幼虫损伤成组织细胞,发育成的成虫变畸形或缺少附肢(Kadoum et al 1967a)。Rai等人(1971)叙述了一些种类的幼虫及蛹期在射频处理后,头和胸发育异常。其它以不完全变态为特征的异常发育类型由Carpenter和Livstone(1971)报导了,他们用10000兆赫微波能处理同一种虫子的蛹,能量低到没有观察到整个虫体加热。

在39兆赫工作中,黄粉虫幼虫的体内加热证明了害虫死亡率的观察(Kadoum et al 1967c)。Kocian (1936) 观察了受到2兆赫电场处理后,这些种类幼虫的呼吸速度显著增加。Kadoum等人(1967b)观察了黄粉虫幼虫在以39兆赫射频处理后体重的减少和氧气吸收量的增高。吸氧量增高和外伤幼虫的吸氧量一样。Kadoum(1969a,b)还观察到了蛋白质合成速度的增高。他认为蛋白质合成的改变,可与直接机械损伤引起的变化相比拟。

试验证明,用39兆赫致死量以下处理的米象和杂拟谷盗有繁殖能力。而更严重的处理,许多存活的成虫产生后代的数目大大减少。对谷蠹的研究表明,当用射频处理成虫

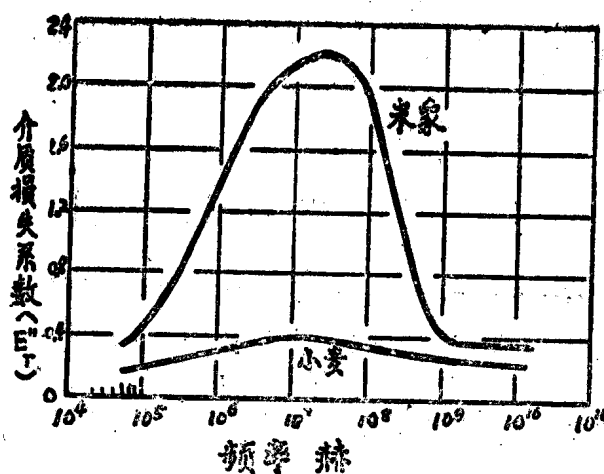


图1 米象成虫和硬冬红麦(10.6%水分)在24℃时,堆积样品的介质损失系数与频率的关系。

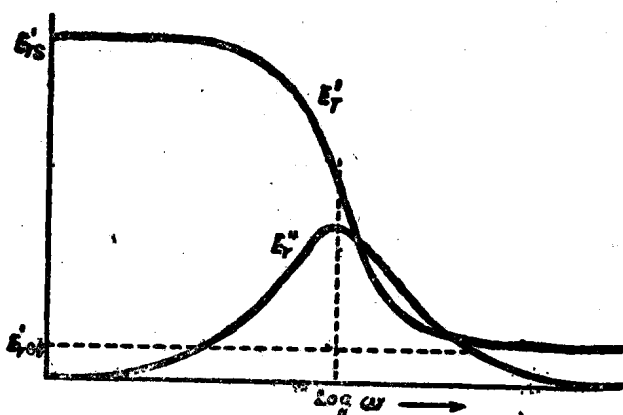


图2 Debye氏衰减法作为极性分子所描述的分散和吸收曲线

其死亡率超过50%时,则活着的虫子就降低其繁殖率(Nelson et al 1966)。早期Webber等人曾报导了以11兆赫处理,面粉中未死的杂拟谷盗的生殖能力。Rai(1970)观察指出,黄粉虫生殖力降低大概是由于精细胞和卵巢组织受到热损伤。

实 用 问 题

在过去关于应用射频能治虫虽表现得很乐观,但由于经济上的原因,从来还没有实际应用过。根据20年前英国条件的成本计算表明,谷物和其它一些货物的射频处理,可以同常规的熏蒸方法相比拟(Thomas 1952)。根据美国1958年普遍条件进行类似比较指出,谷物射频处理的成本每蒲式耳大约在3和4美分之间,为当时化学熏蒸成本的好几倍(Nelson and Whitney 1960, Whitney et al 1961)。Boulanger等人(1969)根据加拿大1969年的价格估计,高频与微波系统价格在同样的范围。

熏蒸总成本是很难估计的,但是,当大规模使用时,无疑大大低于射频处理每蒲式耳3—4美分的估计。Witters(1969)谈到,在加拿大熏蒸大谷舱成本为每蒲式耳1.5—2分。

化学熏蒸成本因购买物的形状和体积有很大的变化,但是,处理每蒲式耳谷物成本大概在0.3—1分之间。谷物温度升高至60℃所需要的能量,大约为每蒲式耳0.5千瓦时。需要的能量取决于初始温度,并由于设备不是100%有效,实际能量的需要接近每蒲式耳1千瓦时。因此,单单能量的必要成本就可能会超过单单化学熏蒸材料的成本。

一般性质的成本比较是很难进行的,并会使人误解。只有在特殊情况下,才能进行精确的比较。在设备上,射频处理系统比化学熏蒸应用的设备投资更大。射频电源的成本价格常常在0.5和1美元/瓦的输出价格之间范围。射频处理过程中,运送谷物通过处理设备无疑是必要的,但化学处理也往往是必要的。劳动力和保管的要求也必须加以对比。

射频处理主要优点是无残毒。如果压缩限制杀虫剂的趋势继续下去的话,此因素将显得格外重要。

另一项可加考虑的因素是射频装置的双重用途的可能性。在实验室中射频处理成功地用来增进种子的发芽率。一些工作指出,这种设备可以有效地进行谷物催干。

目前,马上应用射频方法防治害虫,从经济观点看似乎有问题,但是,成本的因素随时间和工艺的发展而改变。射频处理法的优越性在将来可显得更加重要,并作为特殊应用时,进一步评价这种方法似乎是恰当的。贵重产品中麻烦的治虫问题还是用射频防治技术为好。

为了最好地利用选择性加热的优点,就需要关于害虫及其寄主物质介质特性的频率相关性及温度相关性的资料。对某些特殊用途,在不同温度范围内,图1介绍的那种资料似乎有价值。频率随 $\epsilon_{rs}''/\epsilon_{rh}''$ 最大的比值而变化的可能性会产生更好的效果,如果它确实随温度变化的话。因此,降低了射频处理治虫的成本。

快速加热对某一特殊用途如果不重要的话,显然射频加热就一定比成本低的热能源

有其它独特的优越性。害虫选择性加热往往会有这种优点。确定可用于治虫的非热效应,可能有更重要的优越性,在实际上能增加实际应用的希望。

译自美刊《美国昆虫学会通报》1973, 19: 157—163

原作者: S. O. Nelson

译者: 张从仲

校者: 胡藕祥

用射频能防治贮粮害虫的研究

摘 要

小麦中米象 *Sitophilus oryzae* (L.); 谷象 *S. granarius* (L.); 皮蠹 *Trogoderma Parabile* Beal; 皮蠹 *T. glabrum* (Herbst); 锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* (L.); 大谷盗 *Tenebroder mauritanicus* (L.); 印度谷螟 *Plodia interpunctella* (Hübner) 和烟草蚜 *Lasioderma serricorne* (F.) 受39兆赫射频电场照射, 可以杀死所有生长阶段的试验仓虫。高场强比低场强防治效果好。完全死亡所需要的照射量及延迟死亡率总数随种类和发育阶段而异。射频防治害虫的效果, 在水分为12%到16%间, 随寄主谷物含水量增加而有明显的提高。小麦被为害前就用射频处理不影响以后谷象的为害。射频轻微处理卵期后, 可增加几种贮粮害虫的成虫羽化。估计射频防治害虫的成本要超过化学方法。提高处理效率以及种子有益处理设备的双重应用, 会改进实际应用的前景。

在过去的40年间, 有许多人研究了用高频或射频电场防治害虫的各个方面。这工作已有人作了评述 (Ark and parry 1940, Frings 1952, Thomas 1952, Pere-del'skii 1956, Nelson and Whitney 1960, Watters 1962)。有些研究者对用射频能发展成实际防治害虫方法是乐观的。但是, 至今这种处理方式的有效应用没有实现。其原因在于害虫防治的经济问题。能发展成供粮食工业采用之前, 新方法必须显示足够弥补发展和应用成本的优点。

Thomas (1952) 在其评论中认为, 在贮粮中高频防治害虫的成本同当时化学防治方法成本相当。Nelson and Whitney (1960) 估计, 用射频防治小麦中害虫, 仅一套运行2000小时/每年, 每小时处理400蒲式耳的设备, 成本约为3.5美分/蒲式耳。这样就超过粮仓中化学防治所必须成本的几倍。

射频防治方法却有一些在将来更加重要的优越性。它没有残毒。这种处理方式, 仅几秒钟处理就可以杀死种子和谷物中各个发育阶段的害虫。害虫完全死亡所需要的处理

不损伤含水量低至能安全贮藏谷物的发芽率。在一些例子中,这种照射可用作种子处理。对有些作物有催芽作用(Nelson and Walker 1961)。在一些豆科植物种子中可以减少僵硬种子的百分率(Nelson and Walf 1964)。同样的设备可适用于谷物种子的干燥(Knipper 1959)。若射频发生器发展了多种实际用途,就可提高射频防治害虫实用程度。

提高射频能杀死害虫效率的可能性未被完全探讨,电能和设备投资是两项较大的投资项目(Whitney et al 1961)。这两项费用通过处理效率的改进会减少。

射频处理的原理在以前的文献中曾报导过(Thomas 1952, Nelson and Whitney 1960, Nelson and Walf 1964, Whitney et al, 1961)。当被害的谷物受强的射频电场照射时,被照射物质吸收能量的速度取决于该物质的电特性以及交变电场的频率及强度或场强。吸收射频能就产生热,通常叫做电介质加热。

射频能引起非热或专化性生物学效应的早期说法,根据解译或由组织和物质电介质特性不同而引起不同的或选择性加热,大体上被澄清了(Thomas 1952)。Nelson和Whitney(1960)还对射频处理谷物,利用数字方法和电学说,未达到害虫致死温度的贮粮害虫高死亡率作了解释。他们的实验结果证实了理论。但是最近的证据有力的表明,以特殊频率可以获得非热生物学效应(Heller and Teixeira-pinto 1959, Mickey and Heller 1964)。射频照射害虫的特殊效应能否有效地用于治虫之目的还有待了解。

本文报导的工作旨在进一步探讨影响射频电场防治贮粮害虫效果的一些因素,而这些因素在评价利用这种防治手段的可能性中是很重要的。

材 料 和 方 法

所有实验昆虫是在温湿度控制的室内饲养的。饲养的昆虫保持在温度 $80 \pm 5^{\circ}\text{F}$,相对湿度为65—70%。试虫包括:米象*Sitophilus oryzae*(L.);各象*S. granarius*(L.);锯谷盗*Oryzaephilus Surinamensis*(L.);大谷盗*Tenebroides mauritanicus*(L.);印度谷螟*Plodia interpunctella*(Hübner);烟草钾*Lasioderma serricorne*(F.);两种皮蠹*Trogoderma parabile* Beal和*T. glabrum*(Herbst)。

所有虫子根据美国农业部贮粮害虫科标准饲养技术进行饲养。害虫的龄期在表1和图例中表示。

处理时害虫寄主物质为内布拉斯加生长的Nebred和pawnee硬红冬麦或脱粒的黄马齿种玉米(1959内布拉斯加501,中间平的谷粒)。所有试验用的谷物含水量由标准的烘箱(AOAC1959)试验程序测定。必要时得加水,至少经常搅动72小时,保证谷粒内水分分布均匀。

射频处理准备样品:用一个适当容积的扣杯,把谷物装进Bradley 3号聚苯乙烯盒,使装盒均匀。大多数种类每盒装10头试虫,各照射重复10盒。内部形态,被害的谷物在装盒前充分混合。用一连串不同的处理时间得出特殊条件下死亡率和羽化曲线。

被害的谷物盒在Nelson和Whitney 1960和Whitney等人1961描述的射频功率振荡平行板电极之间受射频电场照射。和试验有关的重要的电学和物理学参数的测量方法已有人发表了(Nelson and Whitney 1960, Nelson and Wolf 1964, Whitney等人 1961)。

处理后立即用30标号B & S康铜热偶——一种热偶电位计，测量每盒中心的谷样温度，并用外推法技术推算处理刚一结束时粮堆温度。处理前的粮温始终大约为76°F。

处理后一天记录各重复的死亡数，一周后再记录一次。成虫和任何幼虫形态死亡标准是用针刺或气流刺激，通过视觉检查完全不动弹。对内部形态来说，其标准是在利于发育的环境中正常孵化期后不能羽化。

结 果 讨 论

较早的研究指出了，种类和种内发育阶段之间对射频电场防治敏感性的差异(Nelson and Whitney 1960, Whitney et al 1961)。未成熟型比成虫抗性大。而小麦中处理的成虫，米象和谷象比杂拟谷盗更敏感，而谷蠹在这4种中抗性最大。本文报导的研究证实了早期处理条件一样时，对同样种类的试验。

本报告中的死亡率曲线表示死亡百分率随射频处理产生不同的粮温而变。粮温增高是能量输入的指数和比较产生不同加热速度的不同场强处理的基础。处理时间也在一些曲线中表示了。由于选择性或不同加热，射频照射后害虫内部温度要比粮温高。

为比较种类和发育阶段对射频防治的敏感性，表1列了害虫90%死亡率的粮堆温度。所包括的全部处理的射频功率振荡工作频率为39兆赫/秒。这些试验中使用的场强为3.6千伏/吋²。以90%死亡率的粮温为基础比较各种昆虫看出，米象和谷象成虫最敏感。锯谷盗似乎比米象和谷象的抗性要略强些。根据一天的死亡率，Trogoderma成虫和幼虫要求更长时间或更强场强的照射。但是Trogoderma类成虫经处理显示某种程度的延迟死亡率，而幼虫在处理后的1天到8天内却压根儿未遭另外的死亡。谷象和印度谷螟卵及大谷盗幼虫，均需与对皮蠹幼虫大约相同的照射。烟草甲成虫似乎比皮蠹类成虫稍微敏感，但是比米象和谷象成虫抗性强。

有一个试验研究了虫龄的影响，在小麦中对谷象成虫的3到4周虫龄组和7到8虫龄组，给予相同的射频照射。两个虫龄组之间死亡率没有差异。另外的试验中，3和6周龄期谷象成虫，当给予相同的射频照射时，死亡率是一样的。

表 1, 以39兆赫和3.6千伏/时的射频电处理, 在指定日期后造成90%贮粮害虫死亡的寄主物质温度。

种类	虫态	龄期 (天)	介质	材料含水量 %	°F		
					1天	8天*	6周
米象	成虫	14—28	小麦	11.8	112	89	
	"	"	"	14.9	109	92	
	"	"	"	15.6	109	93	
	"	"	玉米	11.9	117		
	"	"	"	13.3	105		
	"	"	"	14.4	107	83	
谷象	成虫	14—28	小麦	12.2	121	87	
	"	"	"	13.4	115	92	
	"	"	"	14.9	111	93	
	"	"	"	15.0	109	87	
	"	"	玉米	13.8	107	84	
	"	"	"	14.3	113		
	卵	1—3	小麦	13.2			131
大谷盗	幼虫	56—70	"	12.7	135		
T. glabrum	成虫	2—4	小麦	12.6	132	125	
	"	"	"	13.5	131	120	
	幼虫	14—21	"	15.0	132	133	
T. parabilis	幼虫	14—21	小麦	11.7	146	142	
	"	"	"	12.0	132	132	
	"	"	"	15.4	118	118	
锯谷盗	成虫	28—42	小麦	13.0	112	107	
印度谷螟	卵	1—2	小麦	12.8			133
	"	"	全麦粉	12.6			125
烟草钾	成虫	1—2	小麦	10.1	133		
	"	"	"	10.8	124		

*非处理对照的死亡率通常很低, 若一些种类的成虫由于正常情况寿命很短是显著的话, 应考虑对照死亡率对比值进行校正。

在用谷象成虫(图1)和皮蠹幼虫(图2)的试验中, 更进一步证明高场强效果更好。相同能量输入的死亡率, 以场强为3.6千伏/时比1.2千伏/时高。高场强相应处理时间要短得多。

