

穀象の耐熱性に就いて第一報

穀象成蟲の高温に對する抵抗力

農學士 土屋 孝

内 容

一、緒 言

二、材料及び方法

三、實驗結果並に考察

イ、溫熱に依る麻痺現象

1、麻 痺 溫 度

2、溫度及び接觸時間と麻痺との關係

3、麻痺の恢復

ロ、脱出成虫に對する溫熱の致死作用

1、溫度及び接觸時間と致死との關係

一、緒 言

現在我國に於ける貯穀害蟲の積極的防除法は殆ど燻蒸に依るのみであるが、之は主要貯穀が耐熱性の弱い玄米であり、

穀象の耐熱性に就いて 第一報

-
- 2、麻痺と致死との關係
 - 3、大いさ並に雌雄に依る耐熱性の相違
 - ハ、穀粒内成虫に對する溫熱の致死作用
 - 1、溫度及び接觸時間と致死との關係
 - 2、脱出成虫及び穀粒内成虫に對する溫熱の致死作用の比較
 - 3、處理穀象の穀粒脱出能力
 - 四、摘 要
 - 五、參 考 文 獻

而も之を俵装して倉庫内に保管する舊來の方法に依つて貯藏する事に基く様である。然しそのみに限らず、一般貯藏物資の害蟲防除には、歐米諸國に於て行はれる如く、高温低温等の利用に依る物理的防除法をも考慮して然る可きではないかと思ふ。

溫熱に依る害蟲の防除に關しては米國に於て多くの研究があり、製粉工場に於ては既に實施せられてゐる。従つて穀死溫度に關する報告も尠くなす。Dean (1911) は穀象成蟲を小麥粉と共に徐々に加熱した場合攝氏四七・八度が致死のであり、又同様にして高温に急激に曝露した場合は四六・一度に一二時間接觸させると致死のであると發表した⁽⁵⁾。又 Back 並に Caron (1918) は穀象とグラナリヤ穀象 *Calandra granaria* L. は屢々溫熱驅除の對稱となり、その致死溫度では三時間、五四・四度では三〇分間で死に至ると述べてゐる⁽³⁾。最近に至り Greenman (1931) は玉蜀黍の害蟲の溫熱驅除に關する研究を試み、穀象成蟲は五〇度に一〇分、四二度に二四時間接觸させると全部熱殺し得る⁽⁶⁾と述べてゐる。之等の研究成績は處理溫度並に接觸時間がまちまちであり、且實驗の方法も著しく異つてゐるので直接比較する譯には行かないが、先づ必ずしも同一の値を示すものとは言ひ難い。

我國に於ては玄米が比較的熱に弱いこと、倉庫の構造、經費等の關係から、溫熱に依る貯穀害蟲驅除の實施には幾多の困難があり、玄米に關する限り早急には望み難いが、此度政府に於ては主要穀物以外の食糧貯藏をも企圖して居り、又火力乾燥法が改良され進歩するに及んでは之が實施も強ち不可能ではあるまい。爾其他の加工品の害蟲に就いては比較的多くの報告があり、又臺灣では移出果實の加熱消毒が企てられ⁽⁸⁾、朝鮮に於けるワタヒゲナガザウムシの溫熱驅除

は既に實施せられてゐる」と云ふ。⁽¹¹⁾ 前述の様な事情から貯穀害蟲に關するこの方面の研究は寥々たるもので、僅かに穀象、その他に關する大國ハニ爾⁽⁹⁾、コタヌストモドキに就いての横山⁽¹²⁾、麥蛾に就いての春川並に熊代ハ元⁽⁷⁾の報告を見る位に過ぎない。

一方昆蟲に對する高溫の致死作用は生理、生態學的立場から見ても甚だ重要な問題で、從來發表せられたる昆蟲の致死溫度に關する報告は枚舉に追なき程である。BACHMANN (1911) ⁽¹³⁾ は昆蟲に對する熱作用の理論を樹立して偉大な功績を遺し、最近では DUBOY (1908) ⁽¹⁰⁾ は從來の研究を綜合して約五〇種の昆蟲の致死溫度を表示し、之が大體五〇度附近にあることを指摘した。然し同種の昆蟲と雖も、致死溫度は研究者に依り必ずしも一致しない。之は前述せる穀象の致死溫度に關する諸報告を通覽しても明で、この事は材料たる昆蟲の耐熱性に關する個體的變動が大きいこと及び實驗方法の相違に基くものであらう。従つて唯一つの研究成績を以て溫熱驅除の準據と爲すは甚だ危険と云はなければならぬ。此處に於て著者は我國に於ける貯穀の害蟲穀象の耐熱性を調査し、以て溫熱の致死作用の一端を明にすると共に之が防除上の効果を窺知せんとし、成蟲に就き聊か實驗を試したので、茲に一文を草して大方の叱正を乞ふ次第である。

尙本稿を草するに當り、御多忙中御校閲の勞を賜りたる東大教授楠木外岐雄博士に深厚なる謝意を表する。

二、材料及び方法

昆蟲の耐熱性を見るに大體二つの方法がある。即ち供試蟲を生活適溫より一定の割合で徐々に上昇する氣溫中に曝露

するのが其の一であり、豫め保たれた所定高温に所定時間突然曝露するのが其の二である。前法は謂はゆる致死温度の決定に屢々用ひられるが、一般に温熱の致死作用には接觸時間が重大な要素として關與するものであるから、その適確なる表現には後者に依ることが必要である。本實驗は特に斷なき場合は第二法に従ひ次の三項目に就き調査した。

一、温熱に依る穀象成蟲の麻痺現象

二、羽化後穀粒を脱出せる成蟲（以後脱出成蟲と略稱する）に對する温熱の致死作用

三、羽化せるも未だ脱出せずして穀粒内に潜む成蟲（以後穀粒内成蟲と略稱する）に對する温熱の致死作用

之等の項目に就いては大體同様な方法を以て調査したが、細部に至つては異なる所もあり、この點に關しては以下順を追つて記述することにする。

材料たる成蟲は、當研究所倉庫に於て採集せる穀象を攝氏二五度の許に玄米（旭、水分含量一五%内外）中に蕃殖せしめたものであるが、總て穀粒を脱出後一〇—二〇日間同條件の下に經過せる成蟲を供試した。之等は全く成熟の域に達し、生活力も最も旺盛なるが如く見えるからである。勿論實驗には特に發育の悪いもの並に形狀の異常なものは之を除外した。又穀粒内の成蟲は外部より容易に透視し得るからその撰別には至便である。

供試蟲を高温に突然曝露するに際し、他要素の介入を出来るだけ避ける爲次の如き方法に従つた。即ち一端に紐の附いた眞鍮製金網細筒（徑一・五糧、長さ四糧、金網製の蓋を附す）に供試蟲を幽閉し、之を豫め所定温度に保つた電氣恒温乾燥器内にその上面の孔より投入し、所定時間經過の後に素早く紐を引いて取り出し、その結果を調べた、かくて乾燥器扉の開閉に依る器内温度の變動を避け、所定温度、所定時間の曝露を可及的に正確ならしめんことを期した。然し

一時間以上の曝露に際しては、乾燥器の性能上一度位の上下變動は免れない場合もあつた。この際乾燥器内の温度は別に調節を行はなかつた。實驗は昭和一六年一〇月―一二月に實施したから、實驗の初期と末期とは大氣濕にも相當の開きがある可く、特に雨天曇天の日は實驗を避けたが、全期間を通ずれば日に依る器内の温度には若干の差異があつたに違ひない。

前述の第一項に於ける溫熱麻痺の調査に當つては、處理穀象をその外見的狀態に依り便宜上次の三段階に別つてその數を求めることにした。

一、歩行個體 活潑なると遲鈍なるとを問はず、苟も歩行を爲し得る個體

二、微動個體 轉倒したまゝ歩行し得ず、僅かに肢、觸角のみを動かす個體

三、麻痺個體 肢を「く」の字型に伸し、觸角を垂れて強直し、全く動かさざる個體

然しこの區分は絶對的のものではなく、時間の経過と共に微動せるものが歩行し始め、又麻痺狀態にあるものが微動し出すこともあり、一連の移行し得る狀態であるから、その判定は乾燥器より取り出した直後なる可く早く之を行ひ、その後の變動は考慮に入れないことにした。致死個體數の調査に當つては、處理直後の供試蟲の麻痺と斃死との區別が困難なる爲、攝氏二五度、濕度約七五%に二四時間保護し、然る後に動不動に依つてその生死を判別した。穀粒内成蟲は處理後二五度に二四時間保護し、然る後に穀粒を破摧してその生死を決定した。

尙之等の實驗を通じて對照區を設けなかつたが、正常なる脱出成蟲は絶食の儘二五度に二晝夜幽閉されても死に至るものが殆どなかつた爲、對照區の必要を認めなかつたのである。之は處理を受けた穀象でも接觸時間が短い場合には全

然斃死するものがないことから見ても認容されると思ふ。又穀粒内成蟲は毎日被害粒より撰び出されたもので、實驗前に既に死せるものは先づないと見てよく、その後二晝夜以内に斃死するものがあるとしても無視し得る程度に過ぎない事を確めた上、敢て對照區の設置を省略したのである。

三、實驗結果並に考察

イ、溫熱に依る麻痺現象

昆蟲は異常なる高溫に曝露されると先づ狂燥的な困亂狀態に陥り、やがて轉倒して僅かに肢、觸角を微動させ、遂には溫熱に依る麻痺 (Heat stupor, Wärmestarre, Wärmeparalyse)⁽¹⁰⁾⁽²⁾⁽⁴⁾ を起して強直し全く動けなくなる。そしてこの麻痺狀態の持續が一定期間を超過すると死の轉機をとるに至るものである。然し麻痺狀態にある昆蟲は再び適當なる環境に戻されると麻痺の程度に依り一時的に或は正常狀態に恢復することがある。即ち BACHMETZEW の謂はゆる永久的麻痺 (Permanente Wärmestarre) は前者を、一時的麻痺 (Vorübergehende Wärmestarre) は後者を指すものである⁽²⁾。如是、熱に依る麻痺は或る程度まで可逆的であり、致死現象は不可逆的であるが、兩者は連續的な一過程であつて實際問題としては相互に不可分な關係にあると云ふことが出来る。嘗て MATHIEZ が「熱に依つて生じた麻痺はその接觸の時間さへ充分であれば確かに不可逆的である⁽¹⁰⁾」と云つたは、正にこの間の消息を語るものであらう。

穀象に對する溫熱の致死作用を調べるに當り、先づこの麻痺現象を知る必要があり聊か實驗を試みたので次にその成績を述べる。

(1) 麻痺溫度

一體穀象がどの位の高温で麻痺を起すかを先づ究明する必要がある。そこで穀象成蟲を兩側金網張りの小硝子管に幽閉し、之を三十度より約二分に一度の割合で上昇する氣温に曝露して何度で麻痺状態に陥るかを外部より觀察したが、その結果は第一表に示す通りである。この際温度の上昇に伴ふ穀象の行動を概述すると次の如くである。

三〇—三五度……正常に歩行

三五—四〇度……歩行活潑

四〇—四五度……歩行困亂

四五—四七度……歩行次第に緩漫となり靜止するもの

麻痺するものを生ず

四七—四八度……歩行極めて緩漫、靜止するもの大部

分、半数は麻痺強直す

四八—四九度……殆ど全部強直す

第一表 麻痺溫度

實驗番號	供試數	麻痺數						
		45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°
I	10	0	0	7	8	10	10	10
II	"	0	0	0	0	5	8	10
III	"	0	0	4	7	8	10	10
IV	"	0	0	1	5	10	10	10
V	"	0	0	0	7	10	10	10
VI	"	0	1	8	10	10	10	10
VII	"	0	0	6	10	10	10	10
VIII	"	0	1	7	10	10	10	10
IX	"	0	0	5	7	10	10	10
X	"	0	0	5	7	10	10	10
計	100	0	2	43	71	93	98	100

四九—五〇度…：全部麻痺状態に陥る

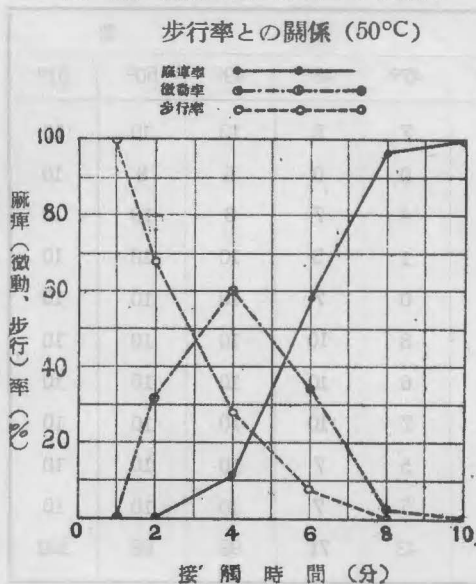
第一表を見ると、四六度—四七度が麻痺を起す最低温度の如くであり、之が BODENHEIMER の謂はゆる第七段階「熱に依る知覚喪失の開始」⁽⁴⁾に相當するものであるが、約半数が麻痺状態に陥る四七度を以て麻痺温度と見ることが出来る。

(2) 温度及び接觸時間と麻痺との關係

殺虫成蟲を、五〇—一〇〇度間の六種の致死高温にある所定時間曝露した場合に於ける歩行個體率、微動個體率、麻痺率と略稱する）を示すと第二表の如くである。

今處理温度五〇度の場合を例にとつて圖示すると第一圖の如くであり、麻痺率と接觸時間との關係はS字型の曲線で表し得る事がわかる。即ち麻痺個體は接觸時間四—八分間に急激な増加を示し、一〇分にして一〇〇%に達する。歩行率は麻痺率とは反對に接觸時間が長くなるに従つて減少し、その關係は逆S字型の曲線で表される。又微動率は接觸時間の延長と共に増加するが、約四分の所で最大値に達し以後は減少する。之を要するに、歩行率の減少と共に

第一圖 接觸時間と麻痺率、微動率



第二表 温度並に時間と麻痺率、微動率、歩行率

實驗番號		I				II				平均			
處理	溫度	時間	供試數	麻痺數	微動數	步行數	供試數	麻痺數	微動數	步行數	麻痺率%	微動率%	步行率%
	100°C	5秒	50	0	0	50	50	0	0	50	0	0	100
		10〃	〃	0	1	49	〃	0	6	44	0	7	93
		15〃	〃	21	7	32	〃	41	6	3	62	13	35
		20〃	〃	50	0	0	〃	50	0	0	100	0	0
	90°C	5秒	50	0	0	50	50	0	0	50	0	0	100
		10〃	〃	0	4	46	〃	0	1	49	0	5	95
		15〃	〃	28	6	16	〃	19	5	26	47	11	42
		20〃	〃	47	3	0	〃	48	2	0	95	5	0
	80°C	15秒	50	0	1	49	50	0	1	49	0	.2	98
		20〃	〃	16	10	24	〃	4	8	38	20	18	62
		25〃	〃	44	6	0	〃	31	12	7	75	18	7
		30〃	〃	49	1	0	〃	50	0	0	99	1	0
	70°C	25秒	50	0	0	50	50	0	0	50	0	0	100
		30〃	〃	10	10	30	〃	11	10	29	21	20	59
		35〃	〃	25	9	16	〃	34	9	7	59	18	23
		40〃	〃	46	4	0	〃	50	0	0	96	4	0
		45〃	〃	50	0	0	〃	50	0	0	100	0	0
	60°C	40秒	50	0	0	50	50	0	1	49	0	1	99
		50〃	〃	10	12	28	〃	2	18	30	12	30	58
		60〃	〃	38	9	3	〃	28	9	13	66	18	16
		70〃	〃	45	5	0	〃	46	2	2	91	7	2
		80〃	〃	50	0	0	〃	50	0	0	100	0	0
	50°C	1分	50	0	0	50	50	0	0	50	0	0	100
		2〃	〃	0	13	37	〃	0	19	31	0	32	68
		4〃	〃	2	29	19	〃	10	31	9	12	60	28
		6〃	〃	25	19	6	〃	33	15	2	58	34	8
		8〃	〃	48	2	0	〃	49	1	0	97	3	0
		10〃	〃	50	0	0	〃	50	0	0	100	0	0

微動率は増加し、微動率の減少と共に麻痺率は増加すると云ふ關係が成立つが、之は供試個體が歩行より微動を経て麻痺に陥る過程をとる當然の結果である。

第二表より一〇〇%の麻痺を起すに要する接觸時間と溫度との關係、並に全く麻痺も微動も起さない最長接觸時間と溫度との關係を圖示すると、第四圖に於けるⅠ及びⅡの二曲線の如くである。今假りに前者を一〇〇%麻痺率曲線、後者を〇%麻痺率曲線と呼ぶことゝすれば、麻痺現象は總てこの二つの曲線に挟まれたる部分に於てのみ起り得ると云ふ事が出来る。又この二曲線の時間的間隔は溫度の上昇と共に狭くなつてゐるが、之は穀象が麻痺状態に陥る接觸時間の個體に依る變動が、溫度の上昇と共に少くなることを示すに外ならない。又この一〇〇%麻痺率曲線から、凡そ何度の溫度に何分間曝露すれば一〇〇%の麻痺を起させ得るかを知る事が出来る。即ち五〇度では一〇分を要するが六〇度では一分二〇秒に過ぎず、溫度の上昇と共に接觸時間は短縮するが、その短縮率は次第に減じ九〇度と一〇〇度では殆ど差異が見られない。

(3) 麻痺の恢復

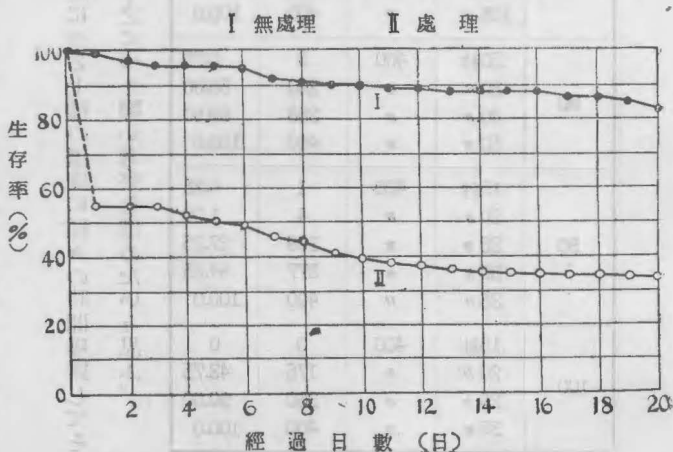
溫熱處理を受けても死に至らずして麻痺状態より恢復した穀象成蟲がどの位の生存能力を有するかは、その處理の程度に依り著しく異つて來ることは云ふ迄もない。今六〇度—二分三〇秒及び六〇度—三分の溫熱處理を受けて恢復した穀象の生存能力を調べた結果を示すと第三表の如くであり、實驗Ⅰを圖示すると第二圖の通りである。

此處で生存率とは供試總數に對する生存蟲數の百分率である。第三表に於ける實驗第Ⅰに就いて見ると、この二〇日間に斃死せるものは處理區に於て二一・四三%、對照區(無處理區)に於て一七%であつて、前者に於て僅かに高率であ

第三表 溫熱處理を受けた穀象の生存率

實驗 番號	區	經過日數		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		供試數										
I	60°—2分30秒	378		55.03	55.03	53.97	52.38	50.79	49.47	46.56	44.44	41.27
	對 照	100		99	97	96	96	96	95	92	91	90
II	60°—2分30秒	100		70	66	65	65	65	65	61	58	58
	60°—3 分	100		4	4	4	4	4	4	3	2	2
	對 照	100		99	99	99	99	99	99	99	99	99
經過日數		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
區	60°—2分30秒	39.68	38.36	37.30	36.24	35.71	35.19	35.19	34.66	33.86	33.60	33.60
	對 照	90	89	89	88	88	88	88	86	86	85	83
區	60°—2分30秒	58	56	51	49	48	47	47	47	47	47	47
	60°—3 分	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	對 照	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99

第二圖 溫熱處理を受けた穀象成蟲の
生存率と經過日數（實驗 I）



る。二分三〇秒處理の場合、處理を受けて生き残つた穀象の六〇・七〇%は、少くとも生存能力より見れば正常状態に恢復したと見る事が出来やう。

ロ、脱出成蟲に對する温熱の致死作用

異常高温の致死作用の様相を明にする爲、穀象成蟲を四〇度より一〇〇度に至る七種の温度に種々の時間曝露してその致死個體數を調べたが、その結果を總括すれば第四表の如くである。以下之につき聊か考察を進めたいと思ふ。

第四表

脱出成蟲に對する温熱の致死作用

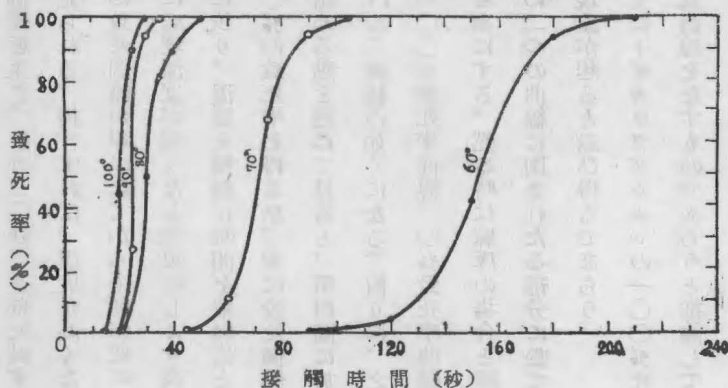
温度 ^{°C}	時 間	供試數	致死數	致死率
40	4 時間	400	0	0
	8 "	"	18	4.50
	12 "	"	250	62.50
	16 "	"	348	87.00
	20 "	"	400	100.0
50	20分	"	9	2.25
	30 "	"	54	27.00
	40 "	"	127	63.50
	50 "	"	375	93.75
	60 "	"	384	96.00
	70 "	"	400	100.0
60	60秒	400	0	0
	90 "	"	2	0.50
	120 "	"	15	3.75
	150 "	"	168	42.00
	180 "	"	377	94.25
	210 "	"	400	100.0
70	45秒	400	5	1.25
	60 "	"	44	11.00
	75 "	"	269	67.25
	90 "	"	380	95.00
	105 "	"	400	100.0
80	20秒	400	3	0.75
	30 "	"	200	50.00
	40 "	"	358	89.50
	50 "	"	400	100.0
90	15秒	400	1	0.25
	20 "	"	4	1.00
	25 "	"	109	27.25
	30 "	"	377	94.25
	35 "	"	400	100.0
100	15秒	400	0	0
	20 "	"	175	43.75
	25 "	"	360	90.00
	30 "	"	400	100.0

(1) 温度並に接觸時間と致死率との關係

今、第四表より各種温度に於ける接觸時間と致死率との關係を圖示すると、第三圖

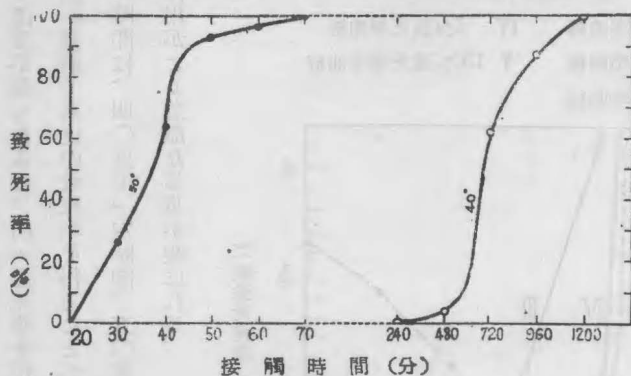
第三圖 (一)

各種温度に於ける接觸時間と致死率との關係(脱出成蟲)



第三圖 (二)

各種温度に於ける接觸時間と致死率との關係(脱出成蟲)



に見られる如く總てS字型の曲線を呈し、前述の麻痺率と接觸時間との關係を示す曲線と全く相似である。之は耐熱性の個體的變動が確率

の法則に従ふことを示すものに外ならない。

第四表を見るに、四

〇度に於ては四時間以上の接觸で初めて斃死する個體が現はれ、八一六時間で大部分が二〇時間で全部が斃死する。同様に五〇度では二〇分の接觸で斃死する個體を生じ、七〇分で全部死滅し、又六〇度では一分三〇秒で

斃死する個體を生じ、三分三〇秒で全部死滅する。かくて温度が高くなる程、同一致死率を得る爲の接觸時間は短くなる傾向が見られる。換言すれば、温度が高くなる程短時間の接觸で高度の致死率を得ることが出来る。

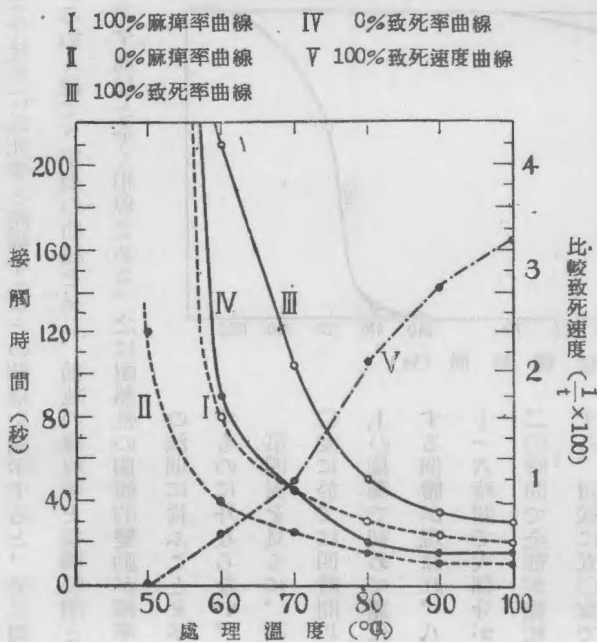
又最初の致死個體が現はれてから全部が死に至るまでの時間は、四〇度で一六時間、五〇度で五〇分、六〇度で二分と云ふ様に處理温度が高くなる程短縮しより高温の致死作用がより急激なる事が窺はれる。

第四表に依り、温度を横軸に時間を縦軸にと

つて一〇〇%の致死率を得る點、並に致死個體が現はれ始める點を連ねて見ると、第四圖に於けるⅠ、Ⅳの二曲線の如くなる。假りに、之等を夫々一〇〇%致死率曲線、〇%致死率曲線と名附ける事にする。然る時は麻痺の場合と同様に、この二つの曲線に圍まれたる部分に於てのみ致死現象が起ると云ひ得るであらう。

横山博士はトビカツラブシムシの一〇〇%死滅曲線は双曲線をなすものであらうと推論してゐるが、著者の結果も大體双曲線を呈する。然し、一〇〇%を死に至らしめ得る接觸時間の逆

第四圖 麻痺率曲線、致死率曲線及び致死速度曲線（脱出成蟲）



數を一〇〇%致死速度とし、之を各溫度に對し點描して見ると、第四圖に於けるVの如き直線に近いS字型の曲線が得られる。この曲線の性状に依り等致死率曲線の性状が決る譯であるが、之が果して一本の直線より成るか、又は二本の直線より成るか、或はS字型の曲線であるかは、尙實驗を重ねた上で確定したいと思ふ。

この一〇〇%致死率曲線を見ることに依り、凡そ何度の溫度に何時間接觸せしめると穀象成蟲を全滅せしめ得るかの見當をつけることが出来る。そこで米國に於ける研究の結果と著者の成績とを比較して見るに、DEANの四六度—二二時間、BACK並にCOTTONの四九度—三時間、GROSSMANの四二度—二四時間は著者の結果よりも接觸時間が著しく長くなつてゐる。又BACK並にCOTTONの五四・四度—三〇分は著者の成績と大體一致してゐるが、GROSSMANの五〇度—一〇分は逆に著く短くなつてゐる。著者の實驗方針として、溫熱の作用を最大限に直接的ならしめたのであるから、接觸時間がその他の方法を以てした諸氏の結果よりも短くなるのは當然のことである。極めて乾燥せる状態の許に更に數回繰り返した實驗では、脱出穀象は四〇度—二〇時間、五〇度—七〇分の曝露で全滅することが明かになつた。

(2) 麻痺と致死との關係

第四圖を見ると、一〇〇%麻痺率曲線(I)と〇%致死率曲線(IV)とは七〇度の所で交叉することが解る。この事は、七〇度以下では供試蟲の一〇〇%が麻痺状態に陥つても未だ致死點に達する個體を生じないが、この溫度以上になると各個體が麻痺状態にある時間が短くなると共に致死作用も急激に起り、一〇〇%が麻痺状態に陥る前に既に致死點に達する個體が現はれることを示すものである。換言すれば、七〇度以上の溫度では、處理穀象の全部が一齊に麻痺状態にある時期がないことになる。

今、各温度に於て最初の麻痺個體が現はれる接觸時間と全部が麻痺に陥る接觸時間との中間を以て平均麻痺時間と假定し、之を P で表はし、同様にして平均致死時間を I で表はせば、各温度に於て各個體が麻痺状態にある時間の平均 P (之を平均麻痺持續時間と假稱する)は次の次式より算出することが出来る。

$$P = I - p$$

但し麻痺(致死)個體の出現が接觸時間に對して正常なる確率曲線をなすや否やに關しては正確なる實驗を缺くから不明であり、從つてこゝに云ふ平均は極めて粗略なものであることは言を俟たない。

第二表、第四表及び前式より、各温度に於ける平均麻痺持續時間を算出すると第五表の如くである。即ち五〇度では大體二二分間の麻痺状態が續くと見て良し。この表を見て明かなる如く、供試蟲が麻痺状態にある時間は温度の上昇と共に短縮するが、その短縮率も同時に漸減する傾向を示し、温度に對し前述の麻痺率曲線や致死率曲線の場合と全く同じ關係にあることが解る。

(3) 大いさ並に雌雄に依る耐熱性の相違

耐熱性の調査に當り、個體に依り耐熱性に著しい變動があることを屢々目撃したが、この一因として個體の大いさが關係することは想像に難くない。そこで大麥を喰害せる大型殺虫を材料として、之を大型小型の二區に分ち六〇度に二分三〇秒曝露(之は前述の結果より見るに大體五〇%を殺し得る處理である)せしめた後夫々の致死個體數を調べて見

第五表 麻痺持續時間

時間 温度	平均致死 時間(秒)	平均麻痺 時間(秒)	平均麻痺 持續時間 (秒)
100	22.5	15.0	7.5
90	25.0	15.0	10.0
80	35.0	22.5	12.5
70	75.0	35.0	30.0
60	150.0	60.0	90.0
50	2700.0	360.0	1340.0

た。その結果は第六表に示す如くである。但し大型とは便宜上、前胸背板前縁より尾端に至る長さが三耗以上のものを謂ひ、小型とは三耗未満のものを指すのである。

この表に依り、大型穀象は小型穀象よりも耐熱性が著しく強いことが知られる。大型穀象は熱の傳導に依る體溫の上昇が遅れること、體積に對する體表面の割合が少いため水分の喪失が少いこと及び幼蟲時代の環境が良かった爲に生活力に於ても優つてゐること等の理由に依り、小型穀象よりも耐熱性が強いと想像される。

又實驗範圍内では、耐熱性には雌雄に依る一定の傾向が見られない。著者の材料は前述の意味で雄の方が幾分大きい様に見受けられたが、この爲に雌雄の耐熱性に強弱が生ずる程顯著な相違はない様に思はれる。

ハ、穀粒内成蟲に對する温熱の致死作用

穀象はその卵、幼蟲、蛹の時代を穀粒内で經過するものであるから、蛹より羽化した成蟲は穀粒から脱出しなければならぬ。然し羽化後直に脱出するものではなく、數日間は穀粒内に留り、キチン質の硬化を待つて然る後穀壁を破り脱出するのが通常である。それで同じ成蟲でも脱出せるものと、今尙穀粒内に留つてゐる羽化直後のものとは、自ら之等に對する温熱の効果も異なる筈である。春川博士に依ると、麥蛾の幼蟲は若齡のものの方が老熟に近いものよりも熱に對する抵抗力が弱いと云ふ。又穀象成蟲でも羽化直後の尙穀粒内に保護されてゐる時代と、脱出後相當の期間を經過し

第六表 穀象成蟲の大きさ耐熱性

區			供試數	致死數	致死率 (%)
大	型	區	190	51	26.84
小	型	區	188	122	64.89

て完全に成熟せる時代とでは、その耐熱性に相當の開きが豫想される譯である。然し此處では兩者の間に如何なる抵抗力の隔りがあるかを見ることをやめ、實際問題を考慮して穀粒内にある成蟲は、穀粒に保護されてゐるが故に如何様に溫熱の効果を被るかを知らんとして實驗を試みた。従つて此處に得た成績は、穀粒内成蟲そのものゝ抵抗力（之は脱出成蟲のそれより寧ろ弱いことが豫想される）を示すものではないことを指摘して置かなければならない。

新に撰び出した成蟲の潜む穀粒に、溫熱處理を加へて得た成績を示すと第七表の如くである。今それに就き論議を進めたいと思ふ。

(1) 溫度並に接觸時間と致死との關係

第七表を見ると四〇度では一二時間の處理で斃死するものが現はれ、二四時間で五一・九五%、即ち約半數が斃れ、三六時間で全部が死ぬことがわかる。五〇度では三〇分以上で死ぬ個體を生じ、六時間で一〇〇%が斃れる。かくて處理溫度が高くなる程同一致死率を得る爲の接觸時間は短縮し、この關係は前項の脱出成蟲の場合に於けると全く同様である。

又同一溫度に於ける接觸時間と致死率との關係も脱出成蟲の場合と全く同様で、S字型の曲線を以て表はされるが、同一程度の致死率を得る爲にはこの場合、接觸時間を遙かに延長しなければならない。之は穀粒の溫度上昇に相當の時間を要する爲、所定溫度が蟲體に到達する時刻が遅れることに基因するのは明かである。

次に穀粒内成蟲の一〇〇%致死率曲線並に〇%致死率曲線を圖示すると第五圖の如くになり、脱出成蟲の場合に於けるそれと全く同様な曲線を得るが、この場合の方が同じ溫度では接觸時間が長くなり、同じ接觸時間では溫度が高くな

第七表 溫度並に接觸時間と致死率（穀粒内成蟲）

溫度 °C	時間	實驗 番號	供試 數	致死 數	致死率 %	平均致 死率%	溫度 °C	時間	實驗 番號	供試 數	致死 數	致死率 %	平均致 死率%
40	12時間	I	56	3	5.36	2.68	60	4分	I	40	0	0	0.88
		II	76	0	0				II	57	1	1.75	
	16 "	I	88	9	10.23	16.23		6 "	I	46	2	4.35	9.58
		II	54	12	22.22				II	54	8	14.81	
	20 "	I	65	15	23.08	25.34		8 "	I	68	46	68.53	57.71
		II	58	16	27.59				II	32	15	46.88	
	24 "	I	56	32	55.56	51.95		10 "	I	48	39	81.25	87.74
		II	60	29	48.33				II	52	49	94.23	
	28 "	I	82	46	56.10	70.29		12 "	I	48	48	100.	100.00
		II	58	49	84.48				II	52	52	100.	
	32 "	I	68	68	100.	95.99	1分	I	45	1	0.22	0.11	
		II	137	126	91.97			II	55	0	0		
	36 "	I	70	70	100.	100.00	2 "	I	35	0	0	6.52	
		II	83	83	100.			II	46	6	13.04		
50	30分	I	95	0	0	0	70	3 "	I	46	28	60.87	52.26
		II	50	0	0				II	55	24	43.64	
	1時間	I	92	3	3.26	15.59		4 "	I	51	39	76.50	77.28
		II	43	12	27.91				II	41	32	78.05	
	2 "	I	69	56	81.16	55.06		5 "	I	43	37	86.05	92.03
		II	38	11	28.95				II	51	50	98.00	
	4 "	I	25	23	88.46	88.76		6 "	I	35	32	91.43	95.72
		II	64	57	89.06				II	43	43	100.	
	6 "	I	68	68	100.	100.00		7 "	I	43	43	100.	100.00
		II	34	34	100.				II	36	36	100.	

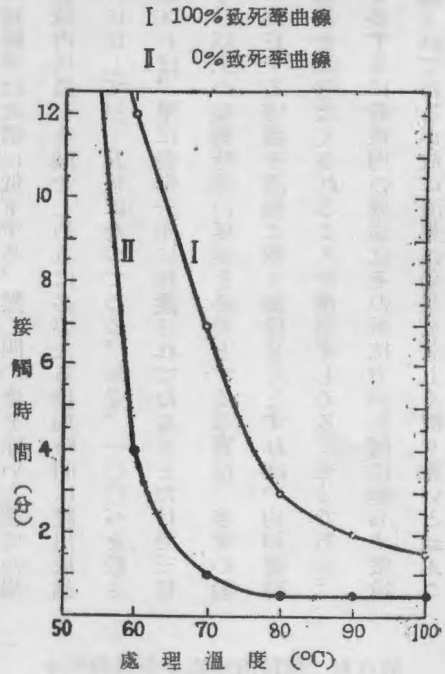
溫度 °C	時間	實驗 番號	供試 數	致死 數	致死率 %	平均致 死率%	溫度 °C	時間	實驗 番號	供試 數	致死 數	致死率 %	平均致 死率%	
80	30秒	I	51	2	3.92	1.96	90	75 "	I	34	17	50.00	56.52	
		II	52	0	0				II	46	29	63.04		
	60 "	I	52	4	7.69	9.51		90 "	I	42	34	80.95	80.27	
		II	53	6	11.32				II	49	39	79.59		
	90 "	I	48	13	27.08	36.04		105 "	I	44	41	93.20	90.12	
		II	40	18	45.00				II	54	47	87.04		
	120 "	I	45	39	86.67	77.72		120 "	I	45	45	100.	100.00	
		II	48	33	68.77				II	44	44	100.		
	150 "	I	38	37	97.37	97.58	100	30秒	I	52	1	1.92	3.90	
		II	45	44	97.78				II	51	3	5.88		
	180	I	43	43	100.	100.		45 "	I	71	11	15.49	16.24	
		II	44	44	100.				II	53	9	16.98		
30秒	I	56	0	0	0			60 "	I	76	60	78.95	79.86	
	II	33	0	0					II	52	42	80.77		
45 "	I	55	12	21.82	16.73			75 "	I	49	49	100.	96.16	
	II	43	5	11.63					II	78	72	92.31		
60 "	I	88	44	50.00	31.67			90 "	I	49	49	100.	100.00	
	II	45	6	13.33					II	64	64	100.		

る。

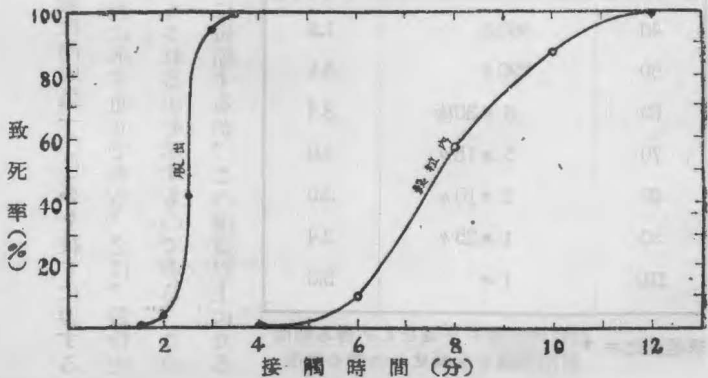
(2) 脱出成蟲及び穀粒内成蟲に對する溫熱の致死作用の比較

前項に觸れた如く、同一溫度に於て同一致死率を得んとするには穀粒内成蟲に對し接觸時間を延長する必要がある。今一例として、六〇度に於ける脱出並に穀粒内成蟲の致死率と接觸時間との關係を圖示せば第六圖の如くである。即ち兩者は相似的なS字型曲線を呈するが決して平行することではなく、高率となるに従ひ

第五圖 致死率曲線(穀粒内成蟲)



第六圖 脱出成蟲並に穀粒内成蟲に對する
溫熱の致死作用の比較 (60°C)



時間的間隔が廣くなる傾向が著しい。換言すれば、高率の致死率を得んとするには、より長き接觸時間の延長を必要とする譯である。之は脱出成蟲が直に所定温度に接觸するに對し、穀粒内成蟲は先づ穀粒が漸次熱せられて所定温度に達し然る後初めて該温度に接觸し而もそれ迄に穀粒の温度上昇と相俟つて徐々に熱せられると云ふ複雑な過程を取るものであり、兩者に於ける受熱状態に顯著な相違があること、加熱に依る兩者の水分喪失の状態が全然異なること、及び同じ穀粒内成蟲にしても嚴密に羽化直後のものと正に脱出直前にあるものとは、之等の耐熱性に相當の逕庭が豫

想され、脱出成蟲と穀粒内成蟲とでは耐熱性の個體的變動の程度が違ふこと等、幾多の原因に依るものと思はれる。兎に角、斃死する個體が現はれ始める接觸時間と一〇〇%が死に至る接觸時間との開きがより大きい事は、穀粒内成蟲に對する溫熱の効果がより緩慢であることを示すものである。

又實驗せる各種溫度に於て、「脱出成蟲一〇〇%を殺すに要する接觸時間」と「穀粒内成蟲一〇〇%を殺すに要する接觸時間」との差を第四表及び第七表より算出し、之と溫度との關係を見ると第八表に示す通りである。之は、穀粒内成蟲を全滅せしめる爲には脱出成蟲の場合に比してどの位接觸時間の延長を餘儀なくされるかを示すものである。この表に依り明かなる如く、四〇度より六〇度までは溫度の上昇と共に延長時間は急激に短縮するが、この溫度以上になるとその短縮率は次第に低下する。然し四〇度を除いた總ての場合、穀粒内成蟲を全滅せしめるに必要な接觸時間は脱出成蟲のそれに比して三—五倍になつてゐる。如是、一〇〇%を殺さんと欲すれば、單に穀壁一重に保護されてゐることだけで三倍或はそれ以上の接觸時間の延長を必要とする事實は、多量の穀物内に混在する害蟲を溫熱に依り驅除せんとすれば、尙相當時間の延長を餘儀なくされることを豫想せしめるに充分である。

之を要するに穀粒内の成蟲はその抵抗力の如何に拘らず穀粒に保護されてゐるが故に溫熱の効果を著しく被り難いと云ふこ

第八表 穀粒内成蟲を全部斃死せしむるに要する延長時間

溫度 °C	延長時間	※延長比
40	960分	1.8
50	290 "	5.1
60	8 " 30秒	3.4
70	5 " 15 "	4.0
80	2 " 10 "	3.0
90	1 " 25 "	3.4
100	1 "	3.0

※延長比 = $\frac{\text{穀粒内成蟲を全滅せしめ得る時間}}{\text{脱出成蟲を全滅せしめ得る時間}}$

とが出来る。

(3) 處理穀象の脱出能力

一度温熱處理を受けた穀粒内成蟲は、假令、死に至らずして恢復するにしても、當然その生活力は弱まり、穀壁を穿孔することが出来ず、早晩は斃死の運命に達着するものもいくらかはあると想像される。従つて、理論的には穀粒内成蟲を全部即死せしめ得ずとも、單に脱出能力を喪失せしめる程度でも防除の目的は達せられる譯である。それではどの程度に處理すれば、どの程度の脱出不能を來し得るかを知らんが爲、五〇度、七〇度の温度に就き次の如き實驗を試みた。

供試材料を次の如き三區に分ち、夫々の方法に従つて脱出能力を調べた。即ち、

第一區 所定温度に所定時間曝露した後、適當なる濕氣(約七五%)を與へて二五度に保護し、その脱出數及

び脱出し得ずして斃死せる數を調査

第二區 第一區と同じ處理を施した材料を二五度に二四時間保護し、然る後穀粒を破潰して成蟲の生死を調査

第三區 對照區として無處理の材料を第一區と同様の條件下に保護し、脱出數及び脱出し得ずして斃死せる數

を調査

かくて得た成績は第九表に示す如くである。

第九表の第一區補正致死率と第二區致死率との差は、温熱に依る直接の致死作用は被らないが脱出能力を失つた爲に穀粒内で斃死した個體の百分率、即ち脱出不能率を示す。各處理を通じてこの脱出不能率を見るに、七〇度一六分の處

理で一・五八%、五〇度—二時間で一八・九二%となり場合に依つて著しい懸隔がある。然し同一温度、即ち七〇度の場合だけを見ると、接觸時間が長くなる程脱出不能率の低下がある様に見受けられるが、實驗回数が少ないので確言は出来ない。

第九表 處理穀象の脱出能力

處 理 區	供試數	致死數	致死率	※補正致死率	脱 出 不 能 率
50°—2時間	I	240	193	80.42	79.15
	II	171	103	60.23	
	III	247	15	6.07	
70°—2 分	I	110	70	63.04	58.96
	II	106	53	50.00	
	III	114	13	11.40	
70°—3 分	I	59	39	67.80	67.12
	II	52	32	61.54	
	III	57	1	1.76	
70°—4 分	I	53	43	81.13	81.13
	II	51	39	76.47	
	III	50	0	0	
70°—6 分	I	49	47	95.92	95.92
	II	53	50	94.34	
	III	46	0	0	

$$\text{※ 補正致死率} = \frac{(x-y)100}{100-y}$$

但し x : I 區 致死率

y : III 區 致死率

尙温度の高低に依つても脱出不能率に何等かの傾向が存在するのではないかと思はれるがこの點は未だ明かでない。前述の結果に依ると高率の致死を得る處理に於ては、脱出不能率は五%以下となり、一〇〇%に即死せしめる接觸時間と、一〇〇%に即死若しくは脱出不能で斃死せしめる接觸時間との間には大した開きがないことがわかる。それで實際問題としては一〇〇%に斃死せしめる處理に準據しなければならないのであつて、脱出不能なる個體數には大した期待が持てないことになる様である。

第一〇表 (一) 處理穀象の脱出状態

經過日數 區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
70°—2分處理	0	0	1	7	11	16	1	1	0	0
對照(無處理)	1	1	6	30	32	19	3	1	0	0
70°—3分處理	0	3	3	6	2	5	1	0	0	0
對 照	10	10	8	18	4	4	2	0	0	0
70°—4分處理	0	0	3	2	4	1	0	0	0	0
對 照	5	10	25	3	7	0	0	0	0	0
70°—6分處理	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
對 照	11	22	10	2	1	0	0	0	0	0

第一〇表 (二)

脱出遅延日數

區	脱出迄の平均日數	脱出遅延日數
70°—2分	5.3	0.5
對 照	4.8	
70°—3分	4.3	1.0
對 照	3.3	
70°—4分	4.3	1.4
對 照	2.9	
70°—6分	4.5	2.4
對 照	2.1	

以上述べた所に依り麻痺状態より恢復した穀象成蟲の脱出能力は、適當なる條件下では豫想以上に大きいことがわかるが、その脱出状態を調べた成績を示すと第一〇表の如くである。即ち處理後脱出までに要する平均日數は處理區に於て四・三—五・三日、無處理區に於て二・一—四・八日であり、前者に於て〇・五—二・四日だけ長くなる。之は處理穀象が麻痺状態より恢復し、脱出能力を獲得するまでに要する日數に相當するものである。又この遅延日數は接觸時間が長くなる程長くなる傾向を示し、七〇度—二分の處理で最短(〇・五日)であり、七〇度—六分で最長(二・四日)となる。即ち強度の處理を受ければそれだ

け麻痺の程度が著しくなり、その恢復により多くの時間を必要とすることが肯かれる。

四、摘

要

殺象成蟲の耐熱性を知ると共に、之が防除上に於ける温熱の効果を窺知する目的を以て實驗を行ひ次の如き結果を得た。

一、脱出せる殺象成蟲は、攝氏四六度に於て麻痺状態に陥る個體を生ずるが、四七度は於てその約半數が麻痺するに至る。

二、麻痺率と接觸時間との關係はS字型の曲線を以て表はされる。又一〇〇%麻痺率曲線は双曲線様を呈する。

三、麻痺状態より恢復せる殺象の死亡率は初めの二週間に比較的高く、爾後正常状態に復歸する。六〇度—一二分三〇秒の處理に於て、正常状態に復歸せる殺象の數は、處理後蘇生せる數に對し、六〇—七〇%に相當する。

四、同一温度に於ては、接觸時間が長くなるにつれ脱出成蟲の致死率は高くなり、その兩者間の關係はS字型の曲線を以て表はされる。又同一致死率を得るに要する接觸時間は温度の上昇と共に短縮する。

五、一〇〇%致死率曲線は双曲線を呈する。即ち温度の上昇と共に接觸時間は短縮するが、同時にその短縮率も遞減する。又一〇〇%麻痺率曲線と〇%致死率曲線とは七〇度—四五秒の點で交叉する。

六、麻痺状態の繼續は温度の上昇と共に短縮するがその短縮率も亦遞減する。

七、大型殺象は小型殺象よりも熱に對する抵抗力が著しく強い。その耐熱性は雌雄に依り相違を呈しない。

八、穀粒内成蟲に於ける致死率と處理溫度及び接觸時間との關係は總て脱出成蟲に於けると同様である。

九、穀粒内成蟲は脱出成蟲に比し著しく溫熱の影響を被り難い。その一〇〇%の致死率を期せんとするには脱出成蟲の場合よりも三—五倍の接觸時間の延長を必要とする。

一〇、處理後恢復せる穀粒内成蟲の脱出能力は比較的大きい。脱出不能率は高度の處理を行ふ程低下する様に見受けられる。

一一、處理殺象の脱出遲延日數は、七〇度—二分の處理で〇・五日、七〇度—六分で二・四日であり、同一溫度では接觸時間の延長と共に長くなる。

五、参考文献

- (一) БАЗМАНОВ, Р. Экспериментальные энтомологические Studien vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus. Bd. I. Temperaturverhältnisse bei Insekten. Leipzig. 1901.
- (二) ———— Experimentelle entomologische Studien vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus. Bd. II. Einfluss der äusseren Faktoren auf Insekten. Sophia. 1907.
- (三) БАЗМАНОВ, Р. А. and СТОЛТОВ, К. Т. Relative resistance of the rice weevil, *S. oryzae* L., and the granary weevil, *S. granarius* L., to high and low temperatures. J. Agric. Res., Vol. 28, No. 10, 1924.
- (四) BODENHEIMER, F. S. and KLEIN, H. Z. Über die Temperaturabhängigkeiten von Insekten. II Die Abhängigkeit der Aktivität bei der Fütterung. *Mesozoön* *sericus* K. André von Temperatur und anderen Faktoren. Zeit. vergl. Physiologie, Bd. 11, Heft 3, 1930.

- (6) DEAN, G. A. Heat as a means of controlling mill insects. J. Econ. Entom., Vol. 4, No. 2, 1911
- (7) GROSSMAN, E. F. Heat treatment for controlling insect pests of stored corn. Bull. Florida Agric. Expt. Sta., No. 239, 1931.
- (8) 春川忠吉・熊代三郎 麥蛾驅除法としての乾熱の効果(第一報) 麥蛾の高溫に對する抵抗力 農學研究 二二卷 昭和九年
- (9) 小泉 清明 果實蠅に對する臺灣產果實の加熱消毒法の研究第一報 蜜柑小實蠅並に瓜實蠅の高溫致死點の決定 熱帯農學會誌 八卷 二號 昭和十一年
- (10) 大國 督 貯藏穀物の害虫に關する調査報告(一) 臺灣總督府中央研究所農業部報告 九號 大正一三年
- (11) 素木 得一(譯) 昆虫と氣候 養賢堂 昭和十一年
- (12) 横尾多美男 朝鮮に於ける麵子の害虫ワタヒゲナガザウムシに關する二三の知見 朝鮮總督府農事試驗場彙報 一〇卷 一號 昭和十三年
- (13) 横山 桐郎 トビカツラブシムシ及コクヌストモドキの異常乾高溫に對する抵抗力 蠶桑試驗場報告 七卷 二號 大正一四年