

惰性粉的殺蟲研究*

部分 I. 對烏殼蟲 (*Colaphellus bowringi* Baly) 的影響

陸近仁 吳維均 曹本鈞 管致和

(北京農業大學, 中國科學院實驗生物研究所)

一. 緒 言

昆蟲生理學是防治害蟲的理論基礎。近年來因為該學的進展, 一部份過去不清楚的殺蟲原理得到了說明, 並且在害蟲的防治上開闢了新的途徑。由於昆蟲體壁構造和理化性狀的研究, 才能解釋惰性粉的殺蟲原理, 就是一個很好的例子。

惰性粉一般用作殺蟲劑如砷素, DDT, 666, 魚藤酮, 尼古丁等的摻和物。常用的有高嶺土、瓷土、黏土、石膏、晶體二氧化矽、無定形二氧化矽、蒙東土 (bentonite)、碳酸鈣等無機性粉。這些惰性粉早在二十餘年前就知道有殺蟲的效能, 但是殺蟲的原理, 卻一直到明確了上表皮的構造後才獲得解釋。

Alexander 等⁽⁵⁾根據其他學者對於體壁的研究結果, 初步確定上表皮具有保持蟲體水份的功能; 並且用賽璐珞膜仿效昆蟲的上表皮來試驗水份蒸發, 間接證明惰性粉有破壞上表皮中極薄的脂肪層的作用, 而使蟲體內的水份由被破壞處往外蒸發。Wigglesworth^(16, 17, 19), Beament⁽⁶⁾等研究幾種昆蟲的表皮, 發現上表皮由四層組成。從外向裏, 第二層厚約 $0.2-0.3\mu$ 的蠟質層是保持蟲體水份的構造。因此證實了 Alexander 的說法。因為惰性粉附着昆蟲體上後, 由於昆蟲的運動, 使與上表皮發生摩擦, 擦去蠟質層, 蟲體內的水份就從缺少蠟質層的部份蒸發, 達到相當程度後, 蟲就因乾燥而死亡。

Wigglesworth⁽¹⁸⁾用倉庫害蟲作材料, 應用染色方法, 更進一步確定了蟲體上被擦去蠟質層的地方是附屬肢的關節和其他節間的活動部份。他並證明摻和在接觸殺蟲劑內的惰性粉能够增強殺蟲劑的效能。

惰性粉的粉粒大小, 硬度和附着力, 以及昆蟲的食料, 處理時的溫濕度等, 對於

* 1950年7月31日收到

惰性粉的殺蟲效力，都有密切的關係，尤其是濕度、粉粒大小、硬度和附着力四因素最為重要。

作者等用烏殼蟲作材料，進行初步試驗，比較各種惰性粉對於這蟲的殺蟲效能、水份蒸發和呼吸的影響等。

二. 材料和方法

試驗所用的惰性粉，按照硬度的不同，選擇了八種。依硬度強弱的次序為：氧化鋁、西山石英、唐山長石、山東白石、玻璃粉、碳酸鈣、石膏和彭城高嶺土。此外還有煤灰（硬度不明）。這些粉的化學成份都未分析。應用前都通過每平方英寸 200 孔的銅篩。

烏殼蟲的成蟲是試驗的蟲期。都在處理當天的清晨，從田裏採來，雌雄分開放在底鋪濾紙的玻璃器內，不供給食物。處理距採集時間不超過八小時。

試驗共分三部分：——

(1) 死亡率試驗：把直徑 6 cm 的培養皿，去蓋撒粉；撒粉採用玻璃罩法，使粉粒很均勻地分佈在皿底。同時用紙片計算單位面積上的粉粒重量，以 mg/cm^2 表示。撒粉後把蟲放入，然後覆蓋。每皿裏放蟲十隻，雌雄各半。經一定時間檢查蟲的死亡。

(2) 呼吸試驗：應用 Warburg 微量呼吸測量計進行試驗。除去處理對照和測量計溫度對照外，每一小瓶裏撒有 2 mg 的惰性粉。用 10% KOH 吸收蟲所呼出的 CO_2 。每瓶裏放進雄蟲五隻。試驗在恆溫 25°C 下進行。隔一定時間記錄蟲的 O_2 消耗量和檢查蟲的死亡數。

(3) 蒸發試驗：把直徑 6 cm 的培養皿底，在烘箱裏焙乾後，稱出重量。按照(1)所用方法撒粉，再稱求得粉粒重量。然後放入雄蟲十隻，再稱得十蟲的重量。試驗分成兩組：一組放在含有濃 H_2SO_4 的乾燥器內，另一組留在室內空氣中。皿上覆蓋紗布，防止蟲的爬出。然後定時稱皿重量和檢查蟲的死亡。所用天秤的精密程度是 mg 的十分之一。

試驗結果處理方法如下：試驗(1)的死亡率用 Abbott 公式校正。試驗(2)中的差異顯著性用變量分析法測定。試驗(3)中的死亡率和體重損失直線係用 Bliss 毒力曲線求得。

三. 試驗和結果

(一) 惰性粉對於烏殼蟲死亡率的試驗

這試驗的目的是用蟲的死亡率來測定各種惰性粉的殺蟲效力。共作三次試驗，方法稍有不同。試驗(B)和(A)性質相同，不過惰性粉種類增多。試驗(C)則以高嶺土作粉量多少和蟲爬行粉上時間長短的比較。

烏殼蟲放進培養皿後，因為玻璃光滑，容易翻身。在撒粉的皿裏，粉粒黏着足上和腹面各部後，爬動比較困難。有時足雖不斷活動，前進很慢；翻覆更易，使背面也黏着粉粒。

試驗(A)：這裏所用的惰性粉有高嶺土、石膏、碳酸鈣、玻璃粉、長石和石英六種。每一處理有五個重複，即每一處理有蟲 50 隻。在八月二十七日進行試驗，室溫為 20°—25°C。處理 22 小時後高嶺土中的蟲全數死亡。表一是 22, 32 和 46 小時後各處理的平均死亡率。

表一 六種惰性粉處理後烏殼蟲的死亡率(試驗A)

處 理 *	對 照	高 嶺 土	石 膏	炭 酸 鈣	玻 璃 粉	長 石	石 英
粉量mg/cm ²	—	0.322	0.410	0.542	0.450	0.455	0.588
死 亡 率 %	22小時後	2	100.0	20.4±5.6	59.2±7.0	28.6±6.4	89.8±4.8
	32小時後	4	—	54.2±7.1	89.6±4.3	62.9±6.8	100.0
	46小時後	4	—	79.2±5.7	100.0	89.6±4.3	—

* 惰性粉次序按照硬度的強弱排列。

從上面的結果中，可以看到處理 22, 32 和 46 小時後烏殼蟲死亡率的趨勢相同，並且殺蟲效力並不和硬度成正相關，而效力大小的次序是：高嶺土>長石>石英>碳酸鈣>玻璃粉>石膏。

試驗(B)：所用惰性粉除(A)中六種外，增加白石和氧化鋁。處理的方法和(A)相同。每一處理有蟲 50 隻。在八月三十日進行試驗，室溫為 20°—27°C。試驗結果列在表二中。

表二 八種惰性粉處理後烏殼蟲的死亡率(試驗B)

處理*	對照	高嶺土	石膏	碳酸鈣	玻璃粉	白石	長石	石英	氧化鋁
粉量 mg/cm ²	—	0.316	0.328	0.320	0.322	—	0.325	0.311	0.320
死亡率 %									
24小時後	0	100.0	50.0±7.1	56.0±7.0	72.0±6.4	96.0±2.8	96.0±2.8	76.0±6.0	62.0±6.8
34小時後	14.0±4.8	—	79.1±5.8	99.7±4.1	93.9±3.5	100.0	100.0	93.9±3.5	95.4±3.0
58小時後	48.0±7.0	—	76.9±5.3	100.0	100.0	—	—	100.0	100.0

* 惰性粉次序按照硬度的弱強排列。

這試驗證實了試驗(A)的結果,即高嶺土中的死亡率最高最速,處理 24 小時後已達全數死亡;石膏中的最低。處理 24 小時後死亡率的次序,大致和試驗(A)的相同,即依次為高嶺土>長石=白石>石英>玻璃粉>氧化鋁>碳酸鈣>石膏。白石中的死亡率和長石的相等,比高嶺土的稍低。氧化鋁中的死亡率雖在 24 小時後比石英和玻璃粉的為低,但在 34 小時後就比較高些。

從上面的結果,可以按照烏殼蟲死亡率的高低,把所用的惰性粉分成三級:死亡率最高的有高嶺土、長石和白石,其次是石英、氧化鋁和玻璃粉,最低的為碳酸鈣和石膏。

試驗(C): 從上面兩個試驗的結果中,得知高嶺土的殺蟲效力最高。這試驗是對於高嶺土作進一步的研究。試驗分成兩部份:(i)比較粉量多少,和(ii)烏殼蟲在粉上爬行時間長短對於死亡率的影響。所用方法和(A)(B)相同,但是試驗(i)中的粉量有 0.325 mg/cm² 和 0.506 mg/cm² 兩種;試驗(ii)中烏殼蟲在撒有少量的高嶺土粉上爬行時間分二分鐘和十分鐘兩種,爬過後就移進潔淨的培養皿中。每次處理各有蟲 50 隻。在九月一日進行試驗。結果見表三。

表三 高嶺土粉量和爬行時間對於烏殼蟲死亡率影響的比較(試驗C)

處理	對照	試驗(i)		試驗(ii)	
		少	多	爬行 2 分鐘	爬行 10 分鐘
粉量 mg/cm ²	—	0.325	0.506	0.310	0.318
死亡率 %					
0 小時後	0	6.1	24.0	1.0	8.0
23 小時後	0	98.0	100.0	73.6	92.0
35 小時後	4	100.0	—	75.3	92.0

試驗(i)的結果顯示粉量加多,起初蟲的死亡率增高,但在 23 小時後量少的死

亡率和量多的很接近。在試驗(B)中高嶺土的粉量少到 0.316 mg/cm^2 , 已經可以在 24 小時後使烏殼蟲全數死亡(表二)。所以增加粉量並無顯著的效果。

試驗(ii)的結果顯示烏殼蟲在粉上爬行較長時間, 死亡率顯著增高。處理 23 小時後爬行二分鐘的死亡率和十分鐘的比較, 尚差 20% 左右。如果把爬行十分鐘的和試驗(i)比較, 在 23 小時後相差祇有 6% (少量) 和 8% (多量)。由此證明烏殼蟲在高嶺土上爬行十分鐘, 粉粒已經可以黏着蟲體, 發生致死作用。

(二) 惰性粉對於烏殼蟲呼吸影響的試驗

趙善歡⁽⁹⁾證明惰性粉殺死豆象(*Acanthoscelides obtectus*(Say))的作用和呼吸無關。這試驗的目的在觀察所用的惰性粉對於烏殼蟲的呼吸有無影響和窒息現象。

所用的惰性粉有高嶺土、石膏、煤灰和氧化鋁四種。處理所用的蟲都屬雄性, 因為雌蟲不斷的產卵, 可能影響試驗結果。試驗在九月七日進行。處理後 11 小時內的結果, 列在表四中。

表四 惰性粉對於烏殼蟲呼吸的影響(一小時內 1 gm 體重的 O_2 消耗量(c.c.))

處理 取材時間	對 照	高 嶺 土	石 膏	煤 灰	氧 化 鋁
第 4—5 小時	1.9934	2.1489	1.9584	2.1360	2.0140
第 6—7 小時	1.7658	1.8742	1.8662	1.9796	1.9484
第 8—9 小時	1.6282	1.9796	1.7048	1.6724	1.9036
第10—11小時	1.4676	2.0006	1.9122	2.0440	1.8588
均 數	1.6913	2.0006	1.8304	1.9580	1.9312
和對照的差異	—	+0.3083	+0.1681	+0.2667	+0.2399

試驗結果, 各處理中蟲的呼吸量都較對照的高, 但是差異都不顯著($t_{5\%}=2.18$; 差異顯著標點為 0.333)。處理之間的差異 ($F_{5\%}=3.26$; 今處理之間的 F 值為 1.23) 和各處理內時間之間的差異 ($F_{5\%}=3.49$; 今時間之間的 F 值為 1.22) 也都 不顯著。由此證明惰性粉對於烏殼蟲並無窒息作用。至於被處理的烏殼蟲呼吸量增高一點, 可能因為粉黏體上後刺激蟲的活動, 呼吸因而促進等所致。

(三) 惰性粉對於烏殼蟲水份蒸發影響的試驗

惰性粉的殺死烏殼蟲, 既然不是窒息作用, 已經在試驗(二)中證明, 那末烏殼蟲的死亡必定是因惰性粉的摩擦作用, 使蟲體水份蒸發的緣故了。這試驗的目的

在比較惰性粉處理後蟲體的水份蒸發量，來確定上面的說法；並且求出致死的蒸發量，用損失體重的百分率作標準。

所用的惰性粉為高嶺土、石膏、白石、煤灰、石英和氧化鋁六種。處理並無重複。每組各有二對照。在九月十四日進行試驗。處理後每隔二小時稱培養皿的重量，求出二小時內因為蒸發所損失的體重。處理 24 小時後的結果見表五。

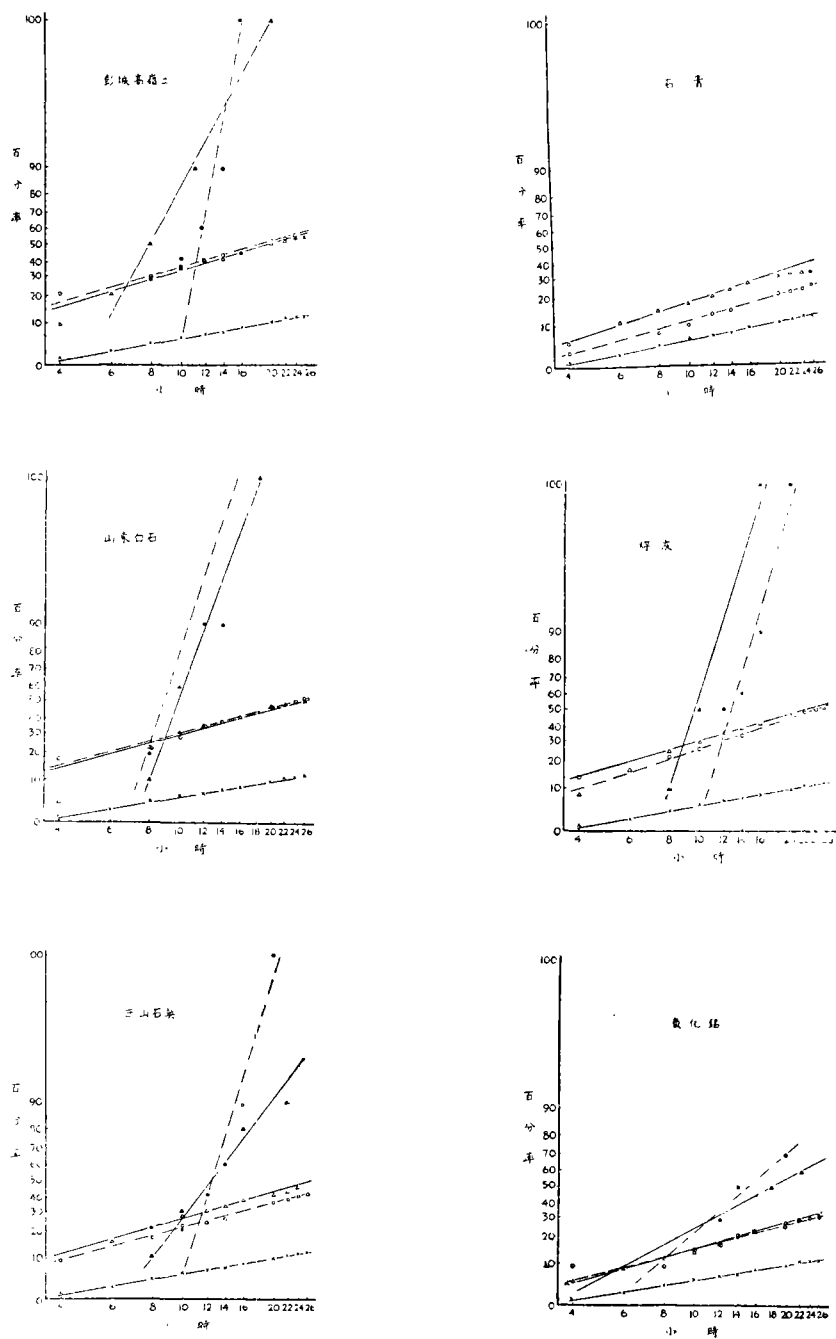
表五 惰性粉處理 24 小時後烏殼蟲體重損失和死亡率

	空 氣 中		乾 燥 器 中	
	體重損失%	死亡率%	體重損失%	死亡率%
對 照(1)	11.3	0	13.9	20
對 照(2)	10.6	0	12.5	0
高 嶺 土	54.2	100	56.3	100
石 膏	29.3	50	22.1	20
白 石	59.2	100	51.5	100
煤 灰	49.4	100	48.7	100
石 英	44.9	90	38.5	100
氧 化 鋁	39.9	60	39.1	70

試驗結果凡是經惰性粉處理的烏殼蟲，在 24 小時內體重減少 22.1—56.3%。對照組在此時期內祇損失 10.6—13.9%。體重的劇減證明蟲體經惰性粉摩擦後，蠟質層被破壞，水份蒸發因此增快。各處理在 24 小時內的體重損失百分率，有很顯著的差別。如果以損失的多少排列，空氣中的次序和乾燥器中的完全一致，依次為：高嶺土>白石>煤灰>石英>氧化鋁>石膏。

無論在空氣中或在乾燥器中，經過高嶺土、白石和煤灰處理的烏殼蟲，在 24 小時內都全數死亡。除石膏外，其他處理中的死亡率都超過 60%。如果按照死亡率的高低而排列則和體重損失的次序相符合，也就是死亡率和體重損失成正相關。這裏的結果和試驗(一)中(A)與(B)所得到的死亡率次序相同。這可以證明各種惰性粉的效力不同，所以水份蒸發就有快慢多少的分別，死亡率因此也不同。

各處理如果用 50% 死亡率作標準，比較在這死亡率時的體重損失百分率，就可以求得烏殼蟲死亡時所損失的體重，稱做致死蒸發量。結果見圖一和表六。圖中表示體重損失、死亡率和時間的關係，體重損失和死亡率都已分別轉換成直線。每一圖代表一種惰性粉處理後的結果。表內的 50% 死亡率時體重損失百分率數字是由圖中求出來的。



圖一 惰生粉處理後烏殼蟲在空氣中和乾燥器中的體重損失百分率和死亡率

×—對照中的體重損失百分率

▲—空氣中的死亡率

△—空氣中的體重損失百分率

●—乾燥器中的死亡率

○—乾燥器中的體重損失百分率

表六 50%死亡率時各處理中烏殼蟲的體重損失百分率

處 理	高 嶺 土	白 石	煤 灰	石 英	氧 化 鋁	均 數
空 氣 中	27.5	29.1	33.6	29.1	25.8	29.0
乾 燥 器 中	40.0	28.2	31.7	25.0	21.2	29.2

表六中的數字顯示經過處理後烏殼蟲的致死蒸發量，約為體重的 29%。空氣中和乾燥器中的均數極近。各處理在空氣中的致死蒸發量，除高嶺土外，都比乾燥器中的高一些。

對照組在 24 小時內的蒸發量，乾燥器中的比較高些，但未超過 14%。由此可推信烏殼蟲在不給食物的情形下，24 小時內的正常蒸發量大約是體重的 12%。

四. 總 結

1. 試驗所用的惰性粉，對於烏殼蟲成蟲都有殺蟲的效能，其中以彭城高嶺土、山東白石、唐山長石和煤灰最為有效。石英、氧化鋁和玻璃粉較次，碳酸鈣和石膏的效力最低。殺蟲效力並不和硬度成正相關。

2. 惰性粉量加多，並無顯著的效果。烏殼蟲在粉上爬行十分鐘，已經足夠發生作用。

3. 惰性粉對於烏殼蟲的呼吸無顯著影響，並無窒息現象。

4. 烏殼蟲經過惰性粉處理後，體重迅速低減，並且和死亡率成正相關。證明惰性粉的殺蟲效力是使蟲體水份蒸發加快，乾燥而死。

5. 烏殼蟲成蟲的致死蒸發量約為體重的 29%。

6. 烏殼蟲成蟲在不給食物的情形下，24 小時內的正常蒸發量約為體重的 12%。

致 謝

上面的試驗是在 1949 年，在清華大學農學院進行的。作者等得到清華大學工學院化學工程系曹本熹先生，農學院農業化學系湯佩松和薛應龍先生等的協助，借用儀器等，並承燕京大學陶器製作場贈給高嶺土、白石、長石、石英和石膏，特此致謝。

參 考 文 獻

- [1] Alexander, P., Kitchener, J. A., and Briscoe, H. V. A., 1943: A simple method of protecting cereals and other stored foodstuffs against insect pests. Jour. Soc. Chem. & Ind., **62**, 32-3.
- [2] ———, 1944a: Inert dust insecticides, Part I: Mechanism of action. Ann. appl. Biol. **31**, 143-9.
- [3] ———, 1944b: Inert dust insecticides, Part II: The nature effective dusts. *Ibid.* **31**, 150-6.
- [4] ———, 1944c: Inert dust insecticides, Part III: The effect of dusts on stored products pests other than *Calandra granaria*. *Ibid.* **31**, 156-9.
- [5] ———, 1944d: The effect of waxes and inorganic powders on the transpiration of water through celluloid membranes. Trans. Faraday Soc., **40**, 10-9.
- [6] Beament, J. W. L. 1945, The cuticular lipoids of insects. Jour. exp. Biol. **21**, 115.
- [7] ———, 1946a: The waterproofing mechanism of an insect egg. Nature, London, **157**, 370.
- [8] ———, 1946b. The waterproofing process in eggs of *Rhodnius prolixus* Stahl. Proc. R. Soc. (B) **133**, 497.
- [9] Chiu, S. F., 1939a: Toxicity studies of the so-called "inert" materials with the bean weevil, *Acanthoscelides oblectus* (Say). Jour. econ. Ent., **32**, 240-8.
- [10] ———, 1939b: Toxicity studies of the so-called "inert" materials with the rice weevil and the granary weevil. *Ibid.* **32**, 810-21.
- [11] Gernar, B., 1936: Versuche zur Bekämpfung des Kornkäfers mit Staubmitteln. Z. angew. Ent., **22**, 603.
- [12] Kalmus, H., 1944. Action of inert dust on insects. Nature, London, **153**, 714.
- [13] Mackie, W. W., 1930: Prevention of insect attack on stored grain. Calif. agr. exp. Sta. Circ. 282, 8 p.
- [14] Parkin, E. A., 1944: Control of the granary weevil with finely ground mineral dusts. Ann. appl. Biol. **31**, 84-8.
- [15] Wigglesworth, V. B., 1944: Action of inert dusts on insects. Nature, London, **153**, 493-4.
- [16] ———, 1945: Transpiration through the cuticle of insects. Jour. exp. Biol. **21**, 97-114.
- [17] ———, 1947a: The epicuticle in an insect, *Rhodnius prolixus* (Hemiptera). Proc. R. Soc. (B), **134**, 163-81.
- [18] ———, 1947b: The site of action of inert dust on certain beetles infesting stored products. Proc. R. ent. Soc. Lond. (A), **22**, 65-9.
- [19] ———, 1948a: The structure and deposition of the cuticle in the adult meal-worm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera). Quart Jour. micr. Sci. (僅見摘要).
- [20] ———, 1948b: The insect cuticle. Biol. Rev., **23**, 408-51.
- [21] Zacher, F., and Kunike, G., 1931: Untersuchungen über die insektizide Wirkung von Oxyden und Karbonaten. Arb. biol. Reichsanst., Berlin, **18**, 201-31.
- [22] 曹職, 賈佩華, 1950: 高陵土性狀的檢定。中國昆蟲學報一卷一期。