食 品 害 虫 と 窒 素 ガ ス

吉 田 敏 治*

Nitrogen Atmosphere and Pest Insects

Toshiharu YOSHIDA

(Laboratory of Applied Entomology, Faculty of Agriculture, Okayama University: Tsushima, Okayama)

1. ま え が き

大気中含まれている酸素^{1)~6)}, オゾン^{7)~10)}, 二酸化炭素^{11)~13)}, 窒素, ヘリウム^{13)~15)}, アルゴン¹⁶⁾といった気体でも, その濃度が高すぎると昆虫を死亡させる原因となる。

窒素は重量百分比で空気の実に75.51%を占め, 他方, タンパク質, アルカロイドなどの構成原子としても不可欠で, 重量百分比で生物の1~10%をも占めている。窒素はこのようにポピュラーなものであるが, きわめて不活性な気体で, 常温では安定している。

近年, 穀物の密封貯蔵施設の開発と普及に関連して¹⁷⁾, 食品害虫に対する窒素の致死効果を調べた資料が急速に蓄積されつつある。たまたま, 育粉への害虫の侵入が問題となり, 育粉は製造過程でかんに入れられ窒素ガスを充てん密封し出荷されるため, この問題に関連して, 害虫が窒素ガスの中で生き続けていけるものかどうかを知る必要にせまられた。それが直接の動機となって, 以下, 窒素ガスと食品害虫に関連した, 麻酔, Controlled Atmosphere Storage (CA 貯蔵), 毒性防御物質の分泌についてのこれまでの研究結果の総説を試みる。

2. 窒素ガスによる麻酔

動物は大気中含まれている二酸化炭素^{18)~21)}, ヘリウム²¹⁾, アルゴン²¹⁾, ²²⁾, キセノン²³⁾, 窒素, オゾン¹⁰⁾などの気体にさらされると麻酔される。取り扱いの便宜上, 実験昆虫の動きを一時的に止めるのには, 古くはエーテル, 最近では二酸化炭素, 低温がよく用いられる²⁴⁾, ²⁵⁾が, 窒素を二酸化炭素の代りに用いることも検討されている。

以下, 窒素の昆虫麻酔効果について述べる。まず, 高気圧窒素ガスの中での麻痺現象から研究が始った。

Meyer らは1923年, コバネゴキブリ (*Blatta orientalis*) が90気圧の N_2 で麻酔されることを発見した²⁶⁾。これが実験室での不活性ガスによる麻酔の発見の始まりである。Cook はシロアリ (*Zootermopsis nevadensis*)

を N_2 に3時間さらしたが, すぐ回復した。しかし, 24時間さらすと麻痺し回復するのに1時間かかったという²⁷⁾。Gilmour は同じ種の幼虫を N_2 に2時間さらすと約30分, 4時間さらすと75分麻痺して動かなくなり, 正常な活動にかえるにはさらに少くともこの倍の時間を要したと報じている²⁸⁾。Goldsmith は1955年, キョウソウヤドリコバチ (*Mormoniella*) を, 5および10気圧の N_2 にさらすと, わずかに麻酔されることを見いだした¹⁶⁾。Brooks は, チャパネゴキブリ (*Blattella germanica*) の麻痺に対し, N_2 はあまり有効でなく, 転倒するまでに数分さらす必要があり, それから速やかに自発的に回復すると述べ, 2時間半さらすと腹部が膨張するが, 翌日はすべて回復するという²⁹⁾。Knippling らは次のように述べている。 N_2 にさらしたマメコガネ (*Popillia japonica*), オガサワラゴキブリの類 (*Leucophaea maderae*) は歩くことはできたが, 後肢を引きずって歩いた。窒素は神経と筋肉に影響を与えないから, これは酸素不足のためだろうという。昆虫に N_2 をふきかけると20~30秒で完全に動かなくなる。ネッタイシマカ (*Aedes aegypti*), イエバエ (*Musca domestica*) は N_2 に15分さらして後, ゴキブリ (*L. maderae*) は1時間さらして後も回復する。窒素ガスは昆虫の麻酔剤として二酸化炭素の代りに十分使えるという³⁰⁾。Brooks はチャパネゴキブリでいろいろな麻酔剤の効果を比較検討し, N_2 で幼生期に毎週1回ずつ麻酔したゴキブリの発育は, 対照区のものとは比べて最大2~3週間遅れたが, 発育期の生存率はかえって高まった。羽化した成虫の体重は軽くなったが, 寿命は延びた。雌当り産まれた卵英数, 卵英当たりの卵数には変化が認められなかったが, 発育が停止するか死亡した卵英の百分率は増加した。したがって増殖率は低下し, 窒素も完全に安全な麻酔剤ではないと述べている²⁹⁾。Hooper はチチュウカイシバエ (*Ceratitis capitata*) で窒素麻酔の影響を調べ, 30分までの麻酔なら生存率, 産卵率, 卵孵化率に悪影響はなく, 二酸化炭素を使う場合に必要な注意深い濃度調

* 岡山大学農学部応用昆虫学研究室: 岡山市津島

整や、酸素の付加といった特別の配慮がいらないので、窒素はいい麻酔剤である、と述べている³⁹⁾。Irwin らはコクヌストモドキ (*Tribolium castaneum*) の成虫をいろいろな濃度の N_2 にさらした。98.8% までの濃度では虫の活動に変化は認められない。98.9% と 100% では 30 秒以内に麻痺し、この麻痺に先立って虫は異常に活動的になることを発見した³¹⁾。

多くの昆虫の成虫、幼虫は無酸素の状態でも 4 時間から 4 日間生きていられる。中には 56 日間も生きていた例がある³⁰⁾。イエバエの成虫を酸素を含まない低圧 N_2 にさらすと、しばらくあばれてからよろめき始める。30~45 秒でガラス面から落下し、45~90 秒ですべて動かなくなる³⁷⁾。 N_2 に 60 分さらした後、新鮮な空気中へ戻してやると、約 5 分後腹部表面から、消化管のかすかな動きが見え始める。これが、回復の最初の兆候である。10 分後には肢が動き始め、20 分後までしだいに肢の動きが活発になる。回復の早いものは 20 分たつと歩き始める。30 分経過すれば、ハエは全部が足で立ち、飛べるようになる。 N_2 に 3 時間さらすと、回復にはさらに手間どるようになるが、やはり 3 時間半たてばすべてが飛べるようになる³⁸⁾。 N_2 にさらされ無酸素状態に置かれた昆虫がその後空気中に戻されて回復するまでの全プロセスに見られる生化学的変化を要約すると、次のとおりである³⁹⁾。胸部で ATP が壊され、AMP と IMP が蓄積する。AMP は回復中に急速に加リン酸分解されるが、IMP の方は少なくとも 2 時間は変化しない。ハエの正常活動への復帰は、アルギニンリン酸の再合成に伴い、それに平行して行われる。一リン酸グリセロールの濃度は二つのステージを経て、もとに戻る。そのステージの一つはきわめて急速に進行し、もう一つのステージは緩慢に進行する。オルトリン酸塩の濃度は、回復プロセスに入ってから初めの 5 分間は正常以下の濃度に低下するが、20 分経過するとほぼ正常の値に戻る。Bennett は窒素麻酔はこの酸素欠乏症のため起こるのかもしれないという³⁰⁾。Carlson も窒素麻酔と酸素欠乏の関連を暗示している⁴⁰⁾。

高圧窒素による麻酔のメカニズムについて、Goldacre は、麻酔は窒素がリポイド、あるいは、それを構成しているタンパク膜に溶けこむため細胞膜が拡張するために起こると考えた³²⁾。Mullins は、麻酔は膜の細孔に不活性ガス分子がたまって、その透過性を減じるから起こるのだと主張した³³⁾。Pauling は、タンパク質表面上での包接化合物形成に際し、窒素はリポイドではなく水に反応し、その結果、水の電気伝導性が減じて、神経伝導に支障をきたし麻酔が起こると考えた。Fenn は、検証には成功していないが、 N_2 が細胞、恐らくは細胞膜内の脂質と水分の多い相との間の界面張力に影響を及ぼして麻酔が起きるのだという考えをいだし続けた³⁵⁾。彼はさらにそれまで行われた高圧の不活性ガスによる麻酔の

研究結果を要約した。不活性ガスは十分な高圧で、動植物を問わずほとんどあらゆる生物に麻酔を起こさせる。麻酔はガスにさらされると急速に起こり始めるが、効率は一進一退的に増す。この麻酔効果は、その部のリポイド可溶性、熱力学的活性、分子屈折と密接に関連していることを述べ、さらに、自らはショウジョウバエ (*Drosophila*) を 30 気圧の N_2 にさらしても、これに正常に近い圧力の酸素が混じていると何の効果も現れないが、酸素圧を一気圧に上昇させると、数時間でハエは死ぬか麻痺することを発見した³⁶⁾。

3. CA 貯蔵

野菜や果物のような、水分の多い青果物の鮮度を保つために、空気の化学的組成を人為的に変えて貯蔵する CA 貯蔵が広く行われている。この貯蔵の方法は、1820 年にフランスの Berard が、空気中の酸素を減らすと果実は熟してこず、鮮度の保てることを発見したのに端を発して、その後、1920 年にはイギリスの Kidd らが、この考えを CA 貯蔵に応用し、1928 年には最初の商業的 CA 貯蔵庫が設立されるに至り、以後、50 年代に急速に普及した。

いろいろな食品は空気中の酸素にさらされると、品質が悪化する。脂肪、油、脂肪種子、乾燥食品中に含まれる脂肪組成がとくにこの種の悪化をこうむりやすい。その結果、食品に悪臭が生じ、風味が失われ、香りが消え、退色し、あるいは変色し、ビタミンが破壊されて栄養価を減じる。育粉のような動物性タンパク質に豊かな食品では、脂肪の酸化とマイラード褐色化反応によって、不快な酸化臭が生じ、栄養価が低下し、風味が悪化する。これを防ぐために窒素充てんが行われる⁴¹⁾。CA 貯蔵法はまた、食品工業で、食品のビタミン含量、色、重量の保持、アルファルファベレット (アルファルファの乾草粉末を粒状に固めたもの) の家畜にとっての食味の保持などにも使われている⁴²⁾。

アメリカの穀物貯蔵を長年指導してきた Cotton は、1929、1932 年にすでに可燃性のくん蒸剤を使用する際の火災の心配を無くすために、二酸化炭素と窒素を使用するよう示唆していた⁴³⁾。1932 年当時、すでにカリフォルニアでは、慣習的に引火性のくん蒸剤を使う時、二酸化炭素、窒素のような不活性ガスを使って、倉庫内の酸素を除去していた⁴⁴⁾。

貯蔵穀物の害虫を防除するのに、これらのガスを違った経緯から使用する試みが活発に開始されたのは、戦中戦後にかけて発達した密封貯蔵に関連してであった。密封貯蔵については吉田が別に詳細な総説¹⁷⁾を行っている。それを参照されたい。薬剤くん蒸はある種の食品に有害な残留物を残す。また、あるものは引火性もち、くん蒸剤自体が有毒であるから、それを取り扱う人間に危険が伴う。さらに、薬剤の連用によって害虫に薬

Table 1. Susceptibility of Insects to Nitrogen Gas

Species (stage*, age)	Conditions	Mortality (or effects)	References
<i>Zootermopsis nevadensis</i> (L)	20-25°C, 7-hr exposure	100% next day	28)
<i>Leucophaea maderae</i> (A, ♂, 1-mo. old)	room temp., 100% N ₂ 99% N ₂ +1% O ₂	death within 1 day death after 1 day	58)
<i>Aedes aegypti</i> (A)	22.2°C, 4-hr exposure	100% 1st day, LT ₅₀ 1.5 hr	80)
<i>Musca domestica</i> (A)	22.2°C, 8-hr exposure	100% 1st day, LT ₅₀ 3.5 hr	
<i>Epilachna varivestis</i> (A)	22.2°C, 16-hr exposure	100% 4th day, LT ₅₀ 5.5 hr	
<i>Leucophaea maderae</i> (A)	22.2°C, 24-hr exposure	100% 1st day, LT ₅₀ 6.8 hr	
<i>Melanoplus femur-rubrum</i> (L)	22.2°C, 24-hr exposure	100% 4th day, LT ₅₀ 10.2 hr	
<i>Popillia japonica</i> (A)	22.2°C, 96-hr exposure	100% 4th day, LT ₅₀ 22.8 hr	
<i>Tribolium confusum</i> (A)	22.2°C, 120-hr exposure	100% 1st day, LT ₅₀ 36.0 hr	
<i>Tribolium castaneum</i> (A, 14-d.-old)	26.7°C, 60% RH, RH of N ₂ 12%	LT ₅₀ 7.3 hr, LT ₉₅ 9.4 hr	54)
<i>Plodia interpunctella</i> (L, 2nd-instar)	26.7°C, 60% RH, RH of N ₂ 12%	LT ₅₀ 12.1 hr, LT ₉₅ 21.2 hr	
<i>Trogoderma glabrum</i> (L, 2nd-instar)	25.3°C, wheat, 200 cc/min, 7-day exposure	65% after 7 days	46)
<i>Periplaneta americana</i> (A, 3-w.-old)	22-23°C, 100% N ₂ , { 2-hr expos. 2-hr expos. 8-hr expos.	recover, no damage irreversible damage death	75)
<i>Tribolium castaneum</i> (A, 4-d.-old)	25.6°C, peanut, 200 cc/min, 24-hr expos., 99% N ₂ +1% O ₂	{ 0~5%, inshell 5~17%, shelled	55)
<i>Plodia interpunctella</i> (L, 9 or 10-11 d.)	ditto { 9-d.-old 10-11-d.-old	{ 56~87%, inshell 82~98%, shelled 7~32%, inshell 12~57%, shelled	
<i>Tribolium confusum</i> (A)	26.7°C, 38% RH, { 96% N ₂ +4% O ₂ 96-hr exposure { 98% N ₂ +2% O ₂	64 % 100 %	13)
<i>Tribolium castaneum</i> (A)	ditto { 96% N ₂ +4% O ₂ 98% N ₂ +2% O ₂	20 % 100 %	
<i>Tribolium confusum</i> (A)	26.7°C, 59% RH, { 2-d. expos. 99.7% N ₂ +0.3% O ₂ , { 3-d. expos.	98.9% 100 %	57)
<i>Tribolium castaneum</i> (A)	ditto { 1-d. expos. 12-d. expos.	58.9% 100 %	

* A; adult. L; larva.

剤抵抗性の品種が生じ防除を困難にする。したがって、薬剤に代る防除法が求められてきた。密封貯蔵は、安価で人間へ危害が及ばず、有害物が残留しないので、きわめて有望な代替法である。

しかし、密封貯蔵には次のような欠点もある。第1に、完全に気密な貯蔵庫を作ることが困難であり、高価につく。アメリカに既存の貯蔵庫はいずれも気密保持の点で不十分であった。また、たとえ、良好に気密が保持されたとしても、庫内の酸素を使い尽すのに害虫が殖える必要があり、虫が完全に死亡するには酸素を数週間2%以下に保たなければならない。その期間の長さは虫の密度により、虫がボンド当たり60匹だと10日ですむが、6匹だと30日必要である。これは厳格すぎる条件である。これらの欠点の無い方法として、二酸化炭素や窒

素によって庫内の空気を置き換える方法が脚光を浴びてきた。それには、酸素をわずか0.02%しか含まない不活性ガスを多量に安価に供給できるガス発生装置の開発が刺激となった⁴⁵⁾。1962年、アメリカのジョージア州サバナの貯蔵害虫研究所で、61.73 L 入りのサイロ型穀庫のビーナッツについて、庫内の空気を二酸化炭素および窒素で置き換えるこの種の研究が開始された⁴⁶⁾。ビーナッツでは、ガスを 200 ml/min の率で庫内を流すと、1日以内に内部の酸素濃度は0%になり、コクヌストモドキ成虫は、2日以内に全部死んだ⁴⁷⁾。これを、6.17 L 入りのサイロ型小麦倉でテストすると、100 ml/min の流入率で、1日で酸素濃度は1~2%以下に低下した。庫内の酸素を追い出す効率二酸化炭素より窒素の方がわずかに高かった。ガス導入を7日間行って導入を止

Table 2. Average Mortality of Adult Red Flour Beetles Exposed to Nitrogen Purging in Towers Containing Shelled and Inshell Peanuts at 25.6°C and 64% RH.

Flow rate* (ml/min)	Depth of beetles in peanuts (cm)	Percentage of mortality of beetles in:					
		shelled peanuts after:			inshell peanuts after:		
		2 days	4 days	7 days	2 days	4 days	7 days
50	11.4	0%	32%	63%	0%	25%	55%
	41.9	0	53	70	0	18	62
	72.4	5	60	72	2	27	66
	102.8	15	67	88	0	30	73
100	11.4	23	63	92	50	100	100
	41.9	32	68	97	63	100	100
	72.4	32	70	97	77	100	100
	102.8	37	70	98	97	100	100

* At a flow rate of 200 ml/min, all insects were killed.
After PRESS and HAREIN⁴⁷⁾.

Fig. 1. Mortality of larvae of red flour beetle and Indian-meal moth 7 days after 14-day exposures to binary atmospheric gas mixtures of nitrogen and oxygen. (Drawn from HAREIN and PRESS)

め、その後24時間経過した時、酸素がどれほど庫内に戻っていたかを調べた結果では、酸素追い出しに二酸化炭素を使った場合には平均18%, 窒素を使った場合には13%の酸素が戻っていた。この点でも窒素の方がより有効であった⁴⁸⁾。Harein らはコクヌストモドキの成虫と幼虫、ノシメマダラメイガ (*Plodia interpunctella*) の幼虫を使って実験を行い、温度が低い (26.7°以下) と、窒素で酸素を追いつ出した場合には、酸素が1%近くまで減じないと虫は死なないが、二酸化炭素で追いつ出した場合には酸素が15%残っていても虫は死亡することを発見し

た⁴⁸⁾。一般に、二酸化炭素や窒素で庫内の空気を追い出すと、気密でなくとも低酸素の状態が安価に作り出せ、害虫が防除できる。大抵の貯蔵害虫は、酸素が3%以下に減るか、二酸化炭素が40%以上に増えるかすると害を受ける。二酸化炭素・窒素の濃度がかかなり高いと酸素が13~15%含まれていても虫は死ぬ。この効果は温度が高いほど、暴露時間が長いほど増加する。これらのガスで2日間空気を追い出せば害虫防除には十分である。しかし、虫に対する致死効果では窒素は二酸化炭素に比べてかなり劣る。ここではこの問題全般ではなく窒素を用いた場合についてのみ論じた。

4. 窒素の致死効果

Table 1 に、これまでに得られた窒素の昆虫に対する致死効果についての研究結果を、対象になった昆虫の種名とその令、N₂ にさらした条件、死亡率ないしは昆虫に及ぼした効果、研究者名、を年代順に一覧にして示した。ただし、死亡に至らなかった資料や詳細な資料が整っていてそれを別に示したものは除いてある。

Gilmour はシロアリ (*Z. nevadensis*) 幼虫を100% N₂ にさらしたが (麻酔効果についてはすでに述べた)、5時間さらすとわずしか回復せず、6時間の暴露で大部分が死んだ²⁹⁾。以下、主に高気圧 N₂ にさらした試料について述べる。ショウジョウバエ (*Drosophila*) 成虫を1気圧の空気に5気圧の N₂ を加え、暴露してもなお活動していた。1気圧の空気に24気圧の N₂ を加え、これに7時間さらしても、正常の空気中へ戻ると生活力を損っていなかった⁴⁹⁾。Schneiderman らはシクロピアガ (*Hyalophora cecropia*) のタマゴから成虫までのすべての令を1気圧の空気に6.7気圧の N₂ を加えこれに長時間さらしたが、呼吸、発育、心臓の鼓動、行動、まゆ

Table 3. Average Emerging Number of Rice Weevil Adults and Per Cent Emergence of Indian-meal Moth Adults which were Exposed for Various Periods to Binary Atmospheric Gas Mixtures at their Larval or Pupal Stage*.

Species	Gas concn. (%)		Emergence after exposure of		
	N ₂	O ₂	3 days	7 days	14 days
<i>S. oryzae</i> 26.7°C 62% RH	79.0	21.0	73.2	61.1	60.8
	89.5	10.5	51.4	35.4	30.7
	93.9	6.1	30.8	1.6	0
	96.3	3.7	27.1	0	0
	99.3	0.7	10.8	0	0
<i>P. interpunctella</i> 27°C 61% RH	89.7	10.3	100%	100%	
	94.0	6.0	93	12	
	96.4	3.6	47	0	
	98.3	1.7	0	0	

* At the 1st- or 2nd-instar larva (or egg) for rice weevil.

At 1-day-old pupae for Indian-meal moth.

After MARZKE, PRESS and PEARMAN⁵⁶⁾.

Fig. 2. Susceptibility of red flour beetle eggs, larvae, pupae, and adults exposed to 100% nitrogen at 26.7°C and 38% RH. (Drawn from ALINIAZEE¹⁸⁾)

の形成に目立った抑制はみられなかった^{80), 81)}. Frankel らはキョウソウヤドリコバチのサナギを5気圧 N₂ にさらしたが、羽化率、発育日数に影響はみられなかった。10気圧 N₂ にさらすと発育は遅延した。この条件に連続してさらすと、この悪効果は蓄積した。また、いろいろな発育期のものを5気圧 N₂ にさらすと発育が遅れたが、この遅延ははっきりと終令幼虫、とくに成虫組織の増殖、およびサナギ形成の時期に起こる¹⁶⁾. Clark はスジコナマダラメイガ (*Ephestia kuehniella*), チャイロコメゴミムシ (*Tenebrio molitor*), ハチミツガ (*Galleria mellonella*) など8種の昆虫のサナギを75ポンド圧に5分間さらしたが、羽化率にその影響はみられ

なかった²⁾. Bond はグラナリアコクゾウ (*Sitophilus granarius*) の成虫を酸素なしの N₂ に48時間さらしたが、有害な影響は認められなかった⁸²⁾. Clark らはスジコナマダラメイガのサナギを75 psi の N₂ に5分間さらしたが麻痺も起こらず、羽化率にも影響しなかった。老熟幼虫を90, 120 psi の N₂ にさらしても羽化率に影響がみられなかった。チャイロコメゴミムシ (*Tenebrio molitor*) の幼虫、サナギをそれぞれ120と135 psi の N₂ に5分間さらしても死亡率に影響はなかった⁶⁾. 以下、普通気圧での実験結果である。Table 2 に、二酸化炭素、窒素で庫内の空気を追い出す本格的な調査が始まって最初に得られた資料を示す。61.73 L 入りの殻のついたままと、殻を取り去ったピーナッツについての実験結果である。殻つきピーナッツで、100 ml/min 量の N₂ を4日通せばコクヌストモドキはすべて死亡する⁴⁷⁾. Harein らはコクヌストモドキ成虫、2令幼虫とノシメダラメイガ2令幼虫を使い、いろいろな温度条件下で、N₂, CO₂, O₂ 3者の種々の組合せが虫の死亡率にどう響くかを調べた。Fig. 1 に15.6°での調査結果を示してある。横軸は O₂ と N₂ の混合比を示し、左端は O₂ のまったく含まれない、純粋な N₂ ガスであることを示す。右へ移行するにつれ O₂ の含量が増し、その分だけ N₂ 濃度が減少することを示している。温度の影響については後で述べる。コクヌストモドキの幼虫はノシメダラメイガの幼虫に比して N₂ に対しかなり強い。死亡率は O₂ 濃度の低いほど高い。15.6~26.7°では O₂ を1%近くまで減らさないとコクヌストモドキは死なない。暴露時間(7日と14日で調べている)は長い方が死亡率は高い⁴⁰⁾. Marzke らはガスを通して空気を追い出す期間をどこま

Table 4. Temperature and Mortality of Red Flour Beetle Adults and Larvae and Indian-meal Moth Larva 7 Days after 14 day Exposures to Binary Atmospheric Gas Mixtures at 61% RH

Temperature (°C)	Gas concn (%)		Mortality percentage of		
			<i>T. castaneum</i>		<i>P. interpunctella</i>
	N ₂	O ₂	Adults	Larvae	Larvae
26.7	78.0	21.0*	1	1	8
	89.5	10.5	1	4	20
	94.4	5.6	22	22	93
	97.5	2.5	100	100	100
37.8	78.0	21.0*	50	25	100
	89.0	11.0	100	94	100
	94.0	6.0	100	100	100
	96.0	4.0	100	100	100
	99.0	1.0	100	100	100

* Compressed air containing all atmospheric gases; 1% concentration unaccounted for represents all gases other than N₂ and O₂.

After HAREIN and PRESS⁽⁴⁸⁾.

Fig. 3. Temperature and susceptibility of flat grain beetle and rice weevil exposed to gas mixture of 99.5% nitrogen and 0.5% oxygen. (Adapted from PERSON and SORENSON⁽⁵⁹⁾)

で短縮できるかを調べた。ピーナッツ内のコクヌストモドキ成虫は N₂ を 1 日通しただけではほとんど死なない (Table 1)。ノシメダラメイガの幼虫はコクヌストモドキより弱い、発育の進んだ幼虫 (10~11 日令) は若令

(9 日令) のものよりもさらに強い。虫は殻のついているピーナッツ内の方が抵抗性が強い。またピーナッツ内の深いところにいるものほど死亡率は大きい。ガスによる空気の追い出しはやはり 1 日では不十分である⁽⁶⁰⁾。Marzke らはコクゾウの 1~2 日令幼虫 (あるいは卵) を 26.7°, 62% RH 条件下でいろいろな N₂, O₂ 混合比の気体に 3~14 日さらし、その後 45 日間に羽化してくる成虫数を調べた。その結果を Table 3 に示す。表には小麦 124 粒当たりの平均羽化虫数を示してある。同じ様に 27°, 61% RH 条件下でノシメダラメイガの 1 日令のサナギを気体に 3, 7 日さらし、後 14 日間の羽化虫数を調べた (Table 3)。両種とも暴露期間が長いほど、酸素濃度の低いほど死亡率は高い⁽⁶⁰⁾。AliNiazee らは *Tribolium* 2 種の卵を CO₂, N₂, O₂ のいろいろな混合比の気体にさらし、その孵化率を調べた。二酸化炭素には卵期間を長びかせ、卵死亡率を高める作用があったが、N₂ 濃度を増しても (ただし最高 87% まで)、O₂ 濃度を減らしてもこの効果は現れなかった⁽¹²⁾。Lindgren らはコクゾウ、グラナリアコクゾウのいろいろな発育令のものを 99.99% の N₂ にさらし、その LT₅₀ の値を求めた⁽¹⁴⁾。その値はグラナリアコクゾウで卵 8.7 日、幼虫 4.7 日、サナギ 8.3 日、成虫 3.6 日、コクゾウで卵 9.6 日、幼虫 9.0 日、サナギ 18.8 日、成虫 4.0 日であった。両種の間ではコクゾウの方がより強い。発育令中ではコクゾウではサナギが、グラナリアコクゾウでは卵が最も強く、成虫が最も弱かった。AliNiazee が *Tribolium* 2 種で調査した結果を Table 1 に示す。酸素の混合比が 2% までだと両種とも 96 時間の暴露で 100% 死亡する

Table 5. Mortality of Rice Weevil Adults 4 Days and *Trogoderma glabrum* Adults and Larvae 7 Days after 7-day Exposures to Binary Atmospheric Gas Mixtures at Various Temperatures and 64% RH

Temp. (°C)	Gas concn. (%)		Mortality percentage of		
			<i>S. oryzae</i>	<i>T. glabrum</i>	
	N ₂	O ₂	Adults	Adults	Larvae
4.4	89.8	10.2	10	6	2
	94.6	5.4	5	9	2
	96.6	3.4	32	9	3
	99.4	0.6	28	15	3
15.6	89.4	10.6	0	0	2
	94.4	5.6	0	0	2
	96.7	3.3	18	12	0
	99.4	0.6	78	97	29
26.7	89.5	10.5	26	8	1
	94.0	6.0	100	21	0
	96.5	3.5	100	83	31
	99.5	0.5	100	100	100
37.8	89.3	10.7	100	100	27
	94.3	5.7	100	100	94
	96.6	3.4	100	100	99
	99.1	0.9	100	100	100

After MARZKE, PRESS and PEARMAN⁵⁰).

Fig. 4. Importance of temperature to mortality of confused and red flour beetle adults exposed to 100% nitrogen at 38% RH. (Drawn from ALINIAZEE¹⁰)

が、酸素が4%混じると96時間さらしても20~64%しか死亡しない¹⁰。Jayらの調査結果 (Table 1) によれば O₂ が0.3%しか混じっていなければ両種とも2~3日の暴露で完全に死滅する⁵⁷。Aliniazeeは100% N₂に26.7°, 38% RH条件下で、*Tribolium* 2種の各令をいろいろな時間さらしてその死亡率を調べた。コクヌストモドキについての実験結果を図示したのが Fig. 2である。N₂に対し成虫が最も弱く、幼虫、サナギ・卵の順

Fig. 5. Importance of relative humidity to mortality of the three stored-product insects exposed to about 99% nitrogen gas; cs *Tribolium castaneum*, cf *Tribolium confusum*, os *Oryzaephilus surinamensis*. (Drawn from JAY, ARBOGAST and PEARMAN⁵¹)

Table 6. Importance of Relative Humidity to Mortality of Red and Confused Flour Beetle Adults Exposed to 100% Nitrogen at 26.7°C

Exposure (hr)	Average mortality percentage			
	<i>T. castaneum</i>		<i>T. confusum</i>	
	38% RH	100% RH	38% RH	100% RH
6	5	0	0	0
7	47		15	
8	82		38	
9	94	6	95	2
12	100	39	100	12
13.5	100		100	
15		89		46
18		97		91
24		100		100

After ALINIAZEE¹⁵⁾.

Fig. 6. Respiration of 2-week-old confused flour beetle adults in dry flowing N₂, then air. Air and N₂ flow was 100 cc/min at 30°C. (Modified from CARLSON⁶³⁾)

に強くなる。ヒラタコクヌストモドキはコクヌストモドキと比べて、わずかに強い¹⁵⁾。

4.1 窒素ガスの致死効果と温度

Carlson はヒラタコクヌストモドキの成虫を 20°, 30°, 40° の三つの温度条件下で半時間 N₂ にさらした。10日後の死亡率は 20° で 4.8%, 30° で 17.1%, 40° で 63.8% であった。温度が高いほど N₂ の効果は大きかった⁶⁰⁾。Hareln らはコクヌストモドキ幼・成虫とノシマダラメイガ幼虫を 15.6°, 26.7°, 37.8° の 3 温度条件下で N₂ にさらした。Table 4 にその調査結果を示す。15.6° の幼虫についての結果は、すでに Fig. 1 に示しておいた。温度が高いと (37.8°) 死亡率は著しく増加する。酸素が 6% 含まれていても 100% の死亡率が得られている。Person らは 21.1°, 26.7°, 32.2° の三つの異なる温度条件下でコクゾウとカクムネコクヌスト (*Cryptolestes pusillus*) をいろいろな時間 N₂ にさらし死亡率の変化を調べた。Fig. 3 にその結果を示して

ある。温度が上昇するほど虫は短時間の暴露で死亡する。コクゾウよりカクムネヒラタムシの方が N₂ に対しかなり弱い⁶⁰⁾。Lindgren らは 3 温度条件下で *Sitophilus* 2 種の 99.99% N₂ に対する LT₅₀ を求めた。その値はグラナリアコクゾウで 15.6° 12.5 日, 21.1° 5.3 日, 26.7° 3.6 日, コクゾウで 15.6° 12.5 日, 21.1° 6.2 日, 26.7° 4.0 日であった。高温ほど致死効果は高い。2 種の内ではコクゾウの方がやや強い¹⁴⁾。Marzke らが四つの温度、2 種の昆虫について求めた死亡率を Table 5 に示す。コクゾウより *Trogoderma* の方が抵抗性がやや強い。後者では成虫に比べ幼虫は著しく強い⁶⁰⁾。AliNiazee が *Tribolium* 2 種について求めた、100% N₂ への暴露時間と死亡率との関係の温度による違いを Fig. 4 に示す。実験湿度は 38% RH であった。コクヌストモドキの方がわずかに弱い。温度は高いほど N₂ の致死効果は大きい。この傾向は卵幼虫、サナギでも同じである¹⁵⁾。

4.2 窒素ガスの致死効果と湿度

Pearman らは CO₂ 46%, O₂ 11%, N₂ 43% の混合気体を 26.7° でいろいろな湿度を使ってコクヌストモドキのついた殻つきピーナッツの中を通した。サナギを除いて、幼虫・成虫では湿度が低いほど死亡率は高かった。Jay らは N₂ 99.02~99.24%, O₂ 0.76~0.97% のわずかに酸素が残っている窒素ガスに、*Tribolium* 2 種の成虫を 24 時間、ノコギリコクヌスト (*Oryzaephilus surinamensis*) の成虫を 6 時間、26.3° の温度条件下で、9~68% RH と湿度をいろいろ変えて暴露した。この湿度を変えた N₂ ガスによる死亡率の違いを Fig. 5 に示す。いずれの種でも乾燥している方が死亡率が高い⁶¹⁾。AliNiazee は *Tribolium* 2 種の成虫を 38%, 100% の二つの関係湿度のもとで 100% N₂ にさらしてそ

の死亡率を調べた。その結果を Table 6 に示す。N₂ に対してはヒラタコクヌストモドキの方がやや強い。やはり乾燥条件下では著しく死亡率が高い⁴⁰⁾。昆虫は酸素濃度が1%以下になると気門を開きばなしにして呼吸困難に対処する。そのため水分消失率は正常の空気中での率の2~7倍も高くなる。こうして虫は高濃度 N₂ (低濃度 O₂) 乾燥下では多量の水分を失って早く死ぬ⁴¹⁾。

4.3 窒素ガスによる死亡のメカニズム

以上に述べてきたように、虫を高濃度の窒素ガスにさらすと死亡する。しかし、二酸化炭素の場合には二酸化炭素自体に有害作用のあることが明らかになっているが、窒素の場合にはその死亡が酸素欠乏によるものか窒素自体の何らかの生理作用がこれに関与するのか不明である。イエバエを N₂ にさらした時にみられる生化学的反応を無気呼吸ないしは酸素欠乏症の生理の研究という見地から取り扱った Heslop ら⁴²⁾、Ray ら⁴³⁾、Price⁶²⁾ の一連の研究については、麻酔の生理を述べたところですでにふれた。

Carlson はヒラタコクヌストモドキ成虫を乾いた N₂ にさらした時の呼吸率の変化を調べた。その結果を Fig. 6 に示してある。N₂ には2時間さらした。横軸には N₂ にさらしてから経過時間を分で示してある (N₂ にさらした期間はマイナスで示してある)。縦軸には O₂ の消費量と CO₂ の排出量を $\mu\text{moles} \times 10^{-2} / \text{mg} / \text{min}$ の単位で示してある。図中に横に引いた細い線は、上が空気中での平均 O₂ 消費量、下が平均 CO₂ 排出量を示す。CO₂ 排出量は N₂ にさらして30分後にはきわめて低い値にまで低下し、N₂ にさらしている間 (残りの1時間半) はこの低い値を保ち続ける。虫を空気中に戻すと45分で排出量は急速に増加し、平常の15%高い値にまで達する。次いで次の90分間に 0.15 μmoles にまで減少、次の30分間にわずかに増加、それから再びゆっくりと減少する。N₂ にさらされて後5時間半の回復期を経た虫の CO₂ 排出量は平常の26%減の値を示している。O₂ 消費量の方は、N₂ にさらされてから25分で 0.06 μmoles にまで低下する。それが、はっきりと再び 0.13 μmoles 近くまで増加して30分以上その値を保ち続ける。それからもう一度 0.08 μmoles まで減少する。空気中へ戻すと、急速にこの値を回復し、30分後には 0.25 μmoles 以上になる。1時間後には、これが 0.19 μmoles に下り、その後30分ほどはこの値を保って最後には 0.15 μmoles よりわずかに高い値にまで低下する。N₂ にさらしている間に O₂ の消費量が減少→増加→減少の傾向を示し、それが減少しばなしの CO₂ 排出量の変化の傾向と平行しない理由は不明である。回復に入ってから、N₂ にさらされていた間に吸入できなかった O₂ の借し分を完全にとり返していない。このことは、N₂ にさらされ酸素の欠乏していた間に低レベルの有毒代謝が行われたことを示している。この資料から、酸素の少ないこと

と、N₂ とはそれぞれ違った生化学的な病変を引き起こしているものと考えられる⁶³⁾。AliNiazee も、N₂ の毒作用についてはほとんど分かっていないと述べ、N₂ にさらした結果起こる死亡は、酸素欠乏と窒素麻酔の相補作用によるものと考え、さらに、酸素欠乏と好氣的呼吸がまったくできず、老廃産物が多量に蓄積し、これが虫を死亡させる原因であろうと想定している¹⁶⁾。

5. 窒素ガスとくん蒸剤の致死効果

前に述べたように Cotton は昆虫の気管系へのくん蒸ガスの浸透性を増すために N₂ を混入することを示唆した⁴⁴⁾。その後、薬剤効果を高める連合作用を期待して N₂ 混用の研究が行われている。Bond はグラナリアコクゾウ成虫、オオコクヌスト (*Tenebroides mauritanicus*) 幼虫を7種のくん蒸剤でくん蒸し、そのくん蒸の前後を N₂ で処理してその効果を確認した。くん蒸後48時間 N₂ にさらした場合には、わずかの例外を除き、くん蒸効果はかえって空気中に置いたものより弱まった。シアン化水素によるくん蒸前に N₂ に48時間さらすと、薬効は著しく高まり、20分の1の薬量ですむ。N₂ にさらしてから2時間空気中で回復させて後くん蒸したのではこの効果はない⁴⁴⁾。Carlson はヒラタコクヌストモドキ成虫と四塩化炭素：二硫化炭素 (80:20) の混合剤を使い、N₂ での前処置の効果を調べた。N₂ で30分処置してからすぐくん蒸すると死亡率は著しく高まる。この場合その連合作用は CO₂ で前処置したものよりより大きかった⁶⁵⁾。Carlson はさらにメチルブロマイドでもテストした。呼吸の低下した時くん蒸すると薬効は著しく高まる。N₂ 処置ではヒラタコクヌストモドキの死亡率は44%増加した。前処置後回復に入り、呼吸が常より高まっている時くん蒸すると、薬効は逆に低下する⁴⁶⁾。Carlson はこの連合作用が温度でどう変わるかを調べた。テストした20°, 30°, 40°のうちで、30°で N₂ 前処理による薬効の増加率が最も高かった⁶⁵⁾。Bond らは O₂ と N₂ のいろいろな組合せのもとで6種類のくん蒸剤の効果が O₂ 濃度の違いでどう変わるかを調べた。1例を除いて実験はすべてグラナリアコクゾウで行った。大部分の薬剤で、O₂ の量が100%から1%へと減じるほど薬効は高まった。しかし、100%の N₂ (O₂ なし) 内でくん蒸すると薬効は極端に弱まった。リン化水素くん蒸の場合は O₂ が存在すると他のどの薬より少量で効果があるが、100% N₂ では薬量を空気中での場合の1000倍に増しても虫は死なない。

6. 窒素ガスと昆虫の分泌物

Chapman はコクヌストモドキ、ヒラタコクヌストモドキの成虫が鼻を刺すいやな臭のガスを出し、これで粉がピンクに変色することを指摘した^{47), 48)}。この分泌物が粉の粘性を悪くし、こねた小麦粉の弾性を損なう (Payne)⁶⁶⁾。この粉で作ったパンの質は悪く、味もよくない (Smith ら)⁷⁰⁾。

Laconti らはコクヌストモドキの分泌物を分析し、それに含まれている物質を同定した。それは80~90%の2-ethyl-1,4-benzoquinone, 10~20%の2-methyl-1,4-benzoquinone, わずかの2-methoxy-1,4-benzoquinoneの混合物であった⁷¹⁾。

Carlson はヒラタコクヌストモドキで CO₂, N₂ への暴露とこのパラキノン分泌との関係を調べた。虫は湿った N₂ にさらしている間はパラキノン分泌しない。乾いた N₂ にさらすと初めの1~2時間にわずかに分泌する。暴露後湿った空中で2時間回復させたがその間かなりの量を分泌した。N₂ にさらしている間は酸素欠乏でパラキノンの分泌が抑制されるらしい。虫は酸素欠乏で起きるストレスと、空気の急速な流れに反応して分泌を行うものと彼は考えた⁷²⁾。Irwin らはこの問題をさらに詳しく研究した。各4200匹のコクヌストモドキを使って、N₂ の濃度を変えて、それと分泌との関係を調べた。乾燥空気中の N₂ % を増していても、パラキロンは分泌されなかった。ただ、N₂ 98.8%にした時だけは例外で、1 mg 以下のキノンが得られた。100% N₂ にさらした後、乾いた空气中で回復させると、虫はかなりの量のパラベンゾキノンを分泌した。100% N₂ に2分間ずつ6回さらした後10分回復させると4200匹から15.8 mg のキノンが得られた。Irwin らはコクヌストモドキは空気の流れにさらしても分泌しないから、この N₂ 麻酔後の分泌はもっぱら麻酔ストレスの結果だといっている⁸¹⁾。

多くのゴミムシダマシ科 (*Tenebrionidae*) の穀物害虫がキノンを分泌する。Ladisch らはガイマイゴミムシダマシ (*Alphitobius diaperinus*), (*A. laevigatus*), フタスジゴミムシダマシ (*Alphitophagus bifasciatus*), オオツノコクヌストモドキ (*Gnathocerus cornutus*), コツノコクヌストモドキ (*G. maxillosus*), コゴメゴミムシダマシ (*Latheticus oryzae*), ヒメコクヌストモドキ (*Palorus ratzebugii*), ヒラタヒメコクヌストモドキ (*P. subdepressus*), チャイロコメゴミムシダマシ (*Tenebrio molitor*), コメノゴミムシダマシ (*T. obscurus*), コクヌストモドキの類 (*Tribolium castaneum*, *T. confusum*, *T. anaphe*, *T. brevicornis*, *T. destructor*, *T. madens*) の16種で、それを確認している。この分泌物は有毒で、アレルギーを起こし、胚子奇形が発生するものともなる⁷³⁾。また、Ladisch らはキノンに発癌性があり、ハツカネズミで汗腺癌の発生することを確かめている^{74)~76)}。ユーゴスラビアで食用油をとる主要作物であるヒマワリの種子に害虫が大発生した。95,390トンの種子について調べたところ、これに400億匹の虫がついていると推定された。この内180億匹はコクヌストモドキであった⁷⁷⁾。この場合1匹が55 µg のキノンを分泌するとして総計2,200ポンドの発癌性物質が混じっている計算になる。さらに290トンのヒドロキノンも混在すると推定されると警告している⁷⁸⁾。

文 献

- 1) Goldsmith, M. H., Schneiderman, H. A.: Anat. Rec., 125, 560 (1956).
- 2) Clark, A. M.: Ann. ent. Soc. Amer., 52, 637 (1959).
- 3) Goldsmith, M. H., Schneiderman, H. A.: Biol. Bull., 118, 269 (1960).
- 4) Corriden, F. E.: *ibid.*, 119, 312 (1960).
- 5) Clark, A. M., Cristofalo, V. J.: Physiol. Zool., 34, 55 (1961).
- 6) AliNiazee, M. T.: Env. Ent., 2, 293 (1973).
- 7) Beard, R. L.: Ann. ent. Soc. Amer., 58, 404 (1965).
- 8) Levy, R., Chiu, Y. J., Cromroy, H. L.: Env. Ent., 1, 608 (1972).
- 9) Levy, R., Jouvenaz, D. P., Cromroy, H. L.: *ibid.*, 3, 184 (1974).
- 10) Yoshida, T.: Sci. Rep. Fac. Agr. Okayama Univ., 45, 10 (1975).
- 11) Brooks, M. A.: J. Insect Physiol., 1, 76 (1957).
- 12) AliNiazee, M. T., Lindgren, D. L.: Ann. ent. Soc. Amer., 63, 1010 (1970).
- 13) AliNiazee, M. T.: J. stored Prod. Res., 7, 243 (1971).
- 14) Lindgren, D. L., Vincent, L. E.: J. econ. Ent., 63, 1926 (1970).
- 15) AliNiazee, M. T.: *ibid.*, 65, 60 (1972).
- 16) Frankel, J., Schneiderman, H. A.: J. Cell. Comp. Physiol., 52, 431 (1958).
- 17) 吉田敏治: 植物防疫, 26, 80 (1972).
- 18) Young, S. Y. III, McDonald, L. L.: Ann. ent. Soc. Amer., 62, 381 (1970).
- 19) Lum, P. T. M., Flaherty, B. R.: *ibid.*, 65, 976 (1972).
- 20) Brooks, M. A.: Ent. Exp. Appl., 8, 39 (1965).
- 21) Behnke, A. R., Yarbrough, O. D.: Amer. J. Physiol., 126, 409 (1939).
- 22) Carpenter, F. G.: *ibid.*, 172, 471 (1953).
- 23) Fenn, W. O.: Physiol. Zool., 42, 129 (1969).
- 24) Harris, R. L., Frazar, E. D., Hoffman, R. A.: J. econ. Ent., 58, 379 (1965).
- 25) Hooper, G. H. S.: *ibid.*, 63, 1962 (1970).
- 26) Meyer, K. H., Hopff, H.: Ztschr. Physiol. Chem., 126, 281 (1923).
- 27) Cook, S. F.: Biol. Bull., 63, 246 (1932).
- 28) Gilmour, D.: J. Cell. Comp. Physiol., 15, 331 (1940).

- 29) Brooks, M. A.: J. Ins. Physiol., 1, 76 (1957).
- 30) Knipling, G. D., Sullivan, W. N., Fulton, R. A.: J. econ. Ent., 54, 1054 (1961).
- 31) Irwin, D. G., Smith, L. W., Jr., Pratt, J. J., Jr.: J. stored. Prod. Res., 8, 213 (1972).
- 32) Goldacre, R. J.: Symp. Soc. Exptl. Biol., 6, 128 (1952).
- 33) Mullins, L. J.: Chem. Rev., 54, 289 (1954).
- 34) Pauling, Linus: Science, 134, 15 (1961).
- 35) Fenn, W. O.: Ann. N. Y. Acad. Sci., 117, 760 (1965).
- 36) von Brand, T.: "Anaerobiosis in Invertebrates", p. 143 (1946). Biodynamica Press, Normandy, Mo. U. S. A.
- 37) Heslop, J. P., Price, G. M., Ray, J. W.: Biochem. J., 87, 35 (1963).
- 38) Ray, J. W., Heslop, J. P.: *ibid.*, 87, 39 (1963).
- 39) Bennett, D. B.: Amer. J. Physiol., 205, 1013 (1963).
- 40) Carlson, S. D.: J. econ. Ent., 60, 684 (1967).
- 41) Golumbic, C., Laudani, H.: "1966 Yearbook of Agriculture", 139 (1966) U. S. Dept. Agric. Wash. U. S. A.
- 42) Storey, C. L.: J. econ. Ent., 66, 511 (1973).
- 43) Cotton, R. T., Young, H. D.: Proc. Ent. Soc. Washington, 31, 97 (1929).
- 44) Cotton, R. T.: J. econ. Ent., 25, 1088 (1932).
- 45) Kruger, A. H.: Pacific Coast Gas Ass. Bull., 181, 4 (1960).
- 46) Press, A. F., Jr., Marzke, F. O., Pearman, G. C., Jr.: J. econ. Ent., 60, 415 (1967).
- 47) Press, A. F., Jr., Harein, P. K.: J. stored Prod. Res., 3, 91 (1967).
- 48) Harein, P. K., Press, A. F., Jr.: *ibid.*, 4, 77 (1968).
- 49) Chadwick, L., Williams, C. M.: Biol. Bull., 97, 115 (1949).
- 50) Schneiderman, H. A., Williams, C. M.: *ibid.*, 106, 210 (1954).
- 51) Schneiderman, H. A., Williams, C. M.: *ibid.*, 106, 238 (1954).
- 52) Bond, E. J.: Can. J. Zool., 39, 437 (1961).
- 53) Sullivan, W. N., Schechter, M. S., Fulton, R. A., Keller, J. C., Dutky, S. R.: J. econ. Ent., 54, 661 (1961).
- 54) Press, A. F., Jr., Harein, P. K.: J. Georgia Ent. Soc., 1, 15 (1966).
- 55) Marzke, F. O., Pearman, G. C., Jr.: J. econ. Ent., 63, 817 (1970).
- 56) Marzke, F. O., Press, A. F., Jr., Pearman, G. C., Jr.: *ibid.*, 63, 570 (1970).
- 57) Jay, E. G., Pearman, G. C.: J. stored Prod. Res., 7, 181 (1971).
- 58) Carlson, S. D.: J. econ. Ent., 60, 1248 (1967).
- 59) Person, N. K., Jr., Sorenson, J. W., Jr.: Cereal Chem., 47, 679 (1970).
- 60) Pearman, G. C., Jay, E. G.: J. Georgia Ent. Soc., 5, 61 (1970).
- 61) Jay, E. G., Arbogast, R. T., Pearman, G. C., Jr.: J. stored Prod. Res., 6, 325 (1971).
- 62) Price, G. M.: Biochem. J., 86, 372 (1963).
- 63) Carlson, S. D.: J. econ. Ent., 61, 125 (1968).
- 64) Bond, E. J.: Canad. J. Biochem. Physiol., 41, 993 (1963).
- 65) Carlson, S. D.: J. econ. Ent., 59, 870 (1966).
- 66) Bond, E. J., Monro, H. A. U., Buckland, C. T.: J. stored Prod. Res., 3, 289 (1967).
- 67) Chapman, R. N.: Bull. Minn. agric. Exp. Stn., 198, 47 (1921).
- 68) Chapman, R. N.: J. exp. Zool., 45, 293 (1926).
- 69) Payne, N. M.: J. econ. Ent., 18, 737 (1925).
- 70) Smith, L. W., Pratt, J. J., Nii, I., Umina, A. P.: J. stored Prod. Res., 6, 307 (1971).
- 71) Laconti, J. D., Roth, L. M.: Ann. ent. Soc. Amer., 46, 281 (1953).
- 72) Carlson, S. D.: J. econ. Ent., 60, 878 (1967).
- 73) Ladisch, R. K., Ladisch, S. K., Howe, P. M.: Science, 215, 939 (1967).
- 74) Ladisch, R. K.: Pion. Res. Lab., U. S. Army Quar. Corps., Biochem. Ser., 2, p. 6 (1953).
- 75) Ladisch, R. K.: Proc. Penn. Acad. Sci., 38, 144 (1964).
- 76) Ladisch, R. K., Suter, M. St. A.: *ibid.*, 42, 87 (1968).
- 77) Yukasović, P., Stojanović, T., Kosovac, V.: J. stored Prod. Res., 1, 69 (1966).
- 78) Bond, E. J., Robinson, J. R., Buckland, C. T.: *ibid.*, 5, 289 (1969).