

大型サイロにおける穀類の二酸化炭素くん蒸実用化試験

川上 房男・相馬 幸博・岸野 秀昭・後藤 睦郎

横浜植物防疫所調査研究部

町田 真生・井上 亨

日本くん蒸技術協会

Disinfestation Tests for Stored Grains in Commercial Silos by Carbon Dioxide. Fusao KAWAKAMI, Yukihiro SOMA, Hideaki KISHINO and Mutsuro GOTO (Chemical & Physical Control Laboratory, Research Division, Yokohama Plant Protection Station, MAFF, 16 - 10, Shinyamashita 1 - Chome, Naka - ku, Yokohama 231, Japan). Michio MACHIDA and Toru INOUE (Japan Fumigation Technology Association, 26 - 6, Taito 1 - Chome, Taito - Ku, Tokyo 110, Japan). *Res.Bull.Pl. Prot.Japan*32 : 51 - 55 (1966).

Abstract : Carbon dioxide fumigation was conducted with initial concentration of 74% carbon dioxide (CO₂) for 14 days at 25 °C in 1,886 m³ steel silo containing 1,422 t of US wheat and that of 80% CO₂ for 7 days at 33 °C in 2,698 m³ steel silo containing 2,100 t of US wheat to confirm the mortality against *Sitophilus zeamais* pupae and changes of pressure, gas concentration, temperature and gas absorption ratio during applying dose and fumigation. The results showed that (a) *S. zeamais* pupae were killed completely at both fumigation schedules. (b) same temperatures of 25 and 33 °C were maintained throughout the fumigation. (c) the initial concentration of 74% and 80% CO₂ decreased progressively and reached to 59% and 50% at the end of the fumigation. (d) the pressure in silo decreased rapidly in a few days after introducing CO₂ and vacuum state was maintained throughout the fumigation. (e) approximately 28% of initial dose of CO₂ was lost during the fumigation due to absorption by wheat. (f) no injury was observed on wheat.

Key words : quarantine treatment, fumigation, carbon dioxide, *Sitophilus zeamais* pupae, wheat, quality

はじめに

貯蔵穀類に寄生する害虫の消毒には、世界的に長年にわたり、臭化メチルや燐化アルミニウムによるくん蒸方法が採用されてきた。しかしその一方で、両剤はその使用に偏重をきたした結果として、臭化メチルでは、臭素の残留問題に加え、1992年のモントリオール議定書締約国会議においてオゾン層を破壊する物質として指定され、その生産量及び消費量は、検疫用及び出荷前処理用を除き1991年レベルに凍結されることになった。また、検疫用も使用量の削減に努力すべきとの強い意見が出された(楯谷, 1993)。燐化アルミニウムでは、33か国以上で抵抗性が発達している昆虫の存在が明らかにされており(Champ & Dyte, 1976; 中北, 1993)、深刻な状況に立ちいたっている。さらに、輸入検疫においてコクゾウムシやココクゾウムシが発見された場合、燐化アルミニウムは蛹の殺虫に難点があるため使用できず(森・川本, 1966)、臭化メチルを使用せざるを得

ない状況にある。

このような状況下にあつて、両剤の代替消毒法として、穀類害虫を対象に二酸化炭素を用いたくん蒸方法を確立するため、主要穀類害虫の感受性に関する基礎データを集積してきた。相馬ら(1995)は、二酸化炭素くん蒸に対する感受性が極端に低いヒメアカカツオブシムシを除き、次に感受性が低いコクゾウムシ及びコクヌストモドキに対する感受性を調査した結果、濃度80~40%の範囲で20及び25°Cではコクゾウムシの蛹が、また、濃度50%以上では、20°Cはヒラタコクヌストモドキの蛹、25°Cは同虫の幼虫であり、これらの態ではコクゾウムシの蛹が最も耐性であることを報告した。さらに、完全殺虫消毒基準として、コクゾウムシの蛹は、濃度80~40%で21日(20~25°C)、14日(25~30°C)、10日(30°C以上)、ヒラタコクヌストモドキの幼虫及び蛹は、14日(25~30°C)、10日(25°C以上)を提案した。

そこで、実用化された場合に最も耐性のコクゾウムシの蛹が完全殺虫されるか、くん蒸中におけるガス濃

度、圧力、温度、被くん蒸物への二酸化炭素吸着はどのように変化するか、くん蒸された小麦及び米は品質が変化しないかなどについて調査したので、その結果を報告する。

本試験を実施するにあたり、試験施設のサイロを提供いただいた国際埠頭株式会社、くん蒸用の小麦を提供いただいた農林水産省神奈川食糧事務所、くん蒸作業にご協力いただいた関東港業株式会社、くん蒸作業及びくん蒸された穀類の品質試験を担当していただいた不活性ガス利用食糧保全協議会の皆様に厚くお礼申し上げます。

材料及び方法

くん蒸施設及び被くん蒸物

国際埠頭株式会社（横浜市）所有の鋼板製の円筒形サイロ2基（内容積1,886m³サイロ；直径8.2 m、高さ39 m、循環装置40m³/分・1,800 mm Aq、圧力調整弁は負圧が100 mm Aq及び加圧600 mm Aqで作動及び内容積2,698m³サイロ；直径9.7 m、高さ42 m、循環装置80m³/分・2,200 mm Aq×2台、圧力調整弁は負圧が150 mm Aq及び加圧600 mm Aqで作動）を使用した。これらのサイロにアメリカ産小麦を1,886m³サイロでは1,422t（収容比0.75t/m³）及び2,698m³では2,100t（収容比0.78t/m³）をそれぞれ収容し、品質調査用の小麦及び米は布袋に入れて穀層最上部に配置した。また、これらのサイロは、あらかじめ圧力降下法

及び二酸化炭素ガス保有力による気密度調査を行った。

温度、ガス濃度、圧力測定用パイプ及び供試虫の配置

両サイロには第1図に示したとおり、温度測定センサーを4か所（空間部、穀層表面から8、22及び32 m下）、ガス濃度及び圧力測定パイプを6か所（穀層表面、穀層表面から2、17及び34 m下、サイロ上、下部ピーコック）、供試虫のクコゾウムシの蛹を入れた容器を4か所（穀層表面、穀層表面から3、17及び33 m下）にそれぞれ配置した。

くん蒸

サイロ下配管（直径200 mm）フランジ部分に気化器から通ずる投薬用耐圧ホース（内径25 mm）を接続した。フランジ接続部分の上部及び下部にリボンヒーターを巻いて凍結防止を図った。投薬は、液化炭酸ガスを大型の気化器（CRV-500、株式会社千代田精機）を通してサイロ下部から空気と置換（サイロ上部配管の排気口を開放）しながら穀層上部まで3～5時間かけ、1,866m³サイロでは1.4t（内容積の37%相当量）及び2,698m³サイロでは1.8t（内容積の34%相当量）を投薬した。次いで、循環系統に切り換えてガスを均一化し、14日間くん蒸した。投薬及びくん蒸中にガス濃度、圧力、温度を経時的に測定した。圧力及び温度はサイロに設備されたマンメーター及び自動温度測定装置で、二酸化炭素濃度は赤外線ガス測定器（RI-500A、理研計器株式会社）及びポータブル型気体熱

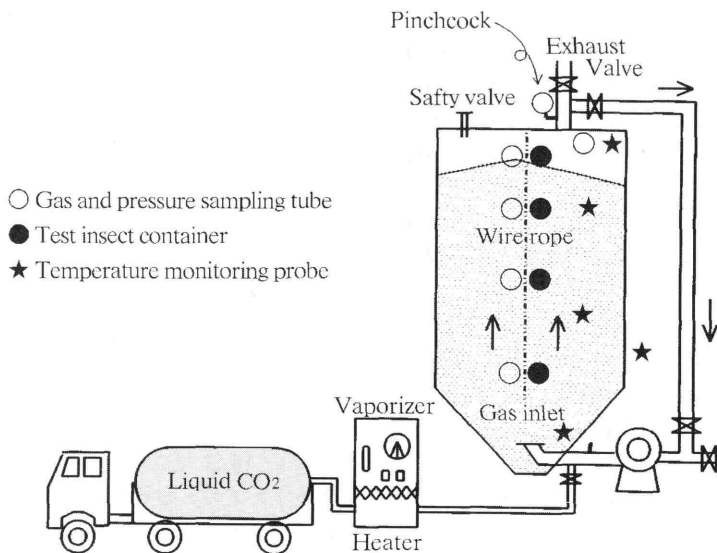


Fig. 1. The experimental silo and accessory equipments.

伝導式二酸化炭素ガス濃度計 (XP-314B, 新コスモス電気株式会社) を使用し、酸素濃度は酸素分析計 (LF-700, 東レエンジニアリング株式会社) を使用してそれぞれ測定した。

くん蒸終了後、供試虫のコクゾウムシの蛹を飼育条件下 (25℃, 70% R. H.) に保管し、3～5日毎に羽化の有無を確認した。この調査は40日間継続して行い、最終日には穀粒を割って生死の有無を調査した。品質調査用の小麦及び米は、回収後直ちに分析場所へ送付した。

結果及び考察

施設の気密度

圧力降下法による気密度試験では、空サイロ内を500 mm Aq に加圧して20分後の圧力を測定したところ、438～453 mm Aq で気密度はきわめて良好であった。また、空サイロ内容積の50%に相当する量の二酸化炭素を投薬し、48時間後の濃度を測定した結果、濃度の低下は認められなかった。二酸化炭素くん蒸に使用される施設は、臭化メチルによるガス保有力審査において、48時間後の濃度が投薬量の85%以上 (特A級) (農林水産省, 1996) であることが条件になっ

ているが、本施設はこれと同等のガス保有力があると認められた。

サイロ内圧力、二酸化炭素濃度、二酸化炭素収着量及び温度の推移

2,698m³のサイロでくん蒸した場合のサイロ内圧力、二酸化炭素濃度及び二酸化炭素収着量の推移を示すと第2図のとおりである。

ガス濃度は、ガス循環終了後の濃度が約80%であったが、その後は穀類へのガスの収着により濃度が低下し、7日後には72～52%、14日後には64～52%に低下した。穀層表面の濃度は穀層下部よりも低く推移しているが、これは、ガスの収着にともなってサイロ内が減圧状態になり、サイロ上部の安全弁を通して外気が流入し、希釈されたことによるものである。

サイロ内の圧力は、投薬及び循環が終了した時点では+180 mm Aq となったが、数時間後には収着により圧力が下がりはじめ、負圧になった。穀物へのガスの収着は投薬と同時に始まり、2～3日間は急激に進み、以後は緩慢になったが、14日間のくん蒸中は減圧状態が継続した。収着が進んでいる間はサイロ内が減圧状態になるので、減圧による施設の破壊防止対策とし

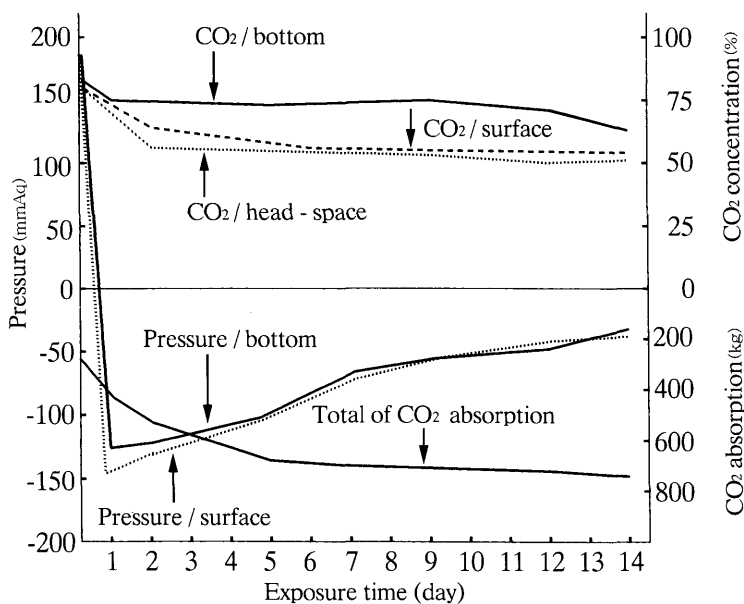


Fig.2. Changes of gas concentration, pressure and gas absorption ratio during carbon dioxide fumigation in 2,698 m³ steel silo containing 2,100 t of U.S. wheat for 14 day at 25 °C.

Table 1. Mortality for *Sitophilus Zeamais* pupae exposed to 74 ~ 59 % carbon dioxide for 14 days at 25 °C in 1,886m³ silo containing 1,422 t of US wheat and to 80 ~ 50 % for 7 days at 33 °C in 2,698m³ silo containing 2,100 t of US wheat.

Silo	sample sites	Pupae tested	Pupae survived	Percent mortality
1,886 m ³	Surface on grain	93	0	100
	Upper site in grain	27	0	100
	Middle site in grain	29	0	100
	Bottom site in grain	25	0	100
	Total	174	0	100
	Control	20	20	0
2,890 m ³	surface on grain	523	0	100
	Control	29	29	0

S. Zeamais pupae were held for 36 days at 25 °C, 70% R.H. and then their mortalities were assessed.

て、安全弁の設備が不可欠である。ガス濃度、小麦の収容率及び比重から計算したガス収着によるくん蒸中のガス損失率は、投薬量の約 28 % であった。

くん蒸中の温度については、投薬終了、ガス循環後の温度が 1,886m³ サイロでは 25 °C 及び 2,698m³ サイロでは 33 °C であったが、14 日間のくん蒸中に外気温との差が 20 °C を超えることがしばしば認められたにもかかわらず、穀層温度は外気温の影響をまったく受けることなく、同じ温度で 14 日間推移した。

くん蒸終了後、排気装置を用いて上部排気ダクトから排気した。2,698m³ サイロではくん蒸終了時のガス濃度が 52 % であったが、0.6 % に低下するまでに約 40 分を要した。

殺虫効果

くん蒸 36 日後に穀粒を割ってコクゾウムシの蛹の生死を調査した結果は第 1 表のとおりである。

1,886m³ サイロは、濃度 74 ~ 59 %、25 °C、14 日間で、サイロ内各層に配置した供試虫合計 523 頭は完全に殺虫された。2,698m³ サイロでは、濃度 80 ~ 50 %、33 °C、14 日間くん蒸を行った。しかし、当初 30 °C、10 日間を設定していたが、実際のくん蒸では温度が 33 °C に達したため、7 日後に穀層表面に配置した供試虫のみを取り出して、調査した結果、620 頭は完全に殺虫された。

穀類の品質

実用化試験時にくん蒸された小麦及び米の品質については、小麦では原麦、製粉及びテストミル 60 % の段階を含めて 21 項目、米では玄米及び精米段階を含

めて 14 項目について調査した結果、両品目ともに各項目において、未くん蒸物との間には特に差が認められなかった。その他の品目については多くの文献を調査したところ、くん蒸によって品質が低下するとの報告はみられなかった。逆に、トウモロコシ、コメ、麦類、野菜種子の発芽力保持に効果的である（近藤、1936；WHITE & JAYAS, 1992）、蛋白質の変質、カビの発生、マイコトキシンの生成などを抑制するとの報告（QIANYU, 1984；WHITE & JAYAS, 1992；SABIO, 1992）があり、二酸化炭素くん蒸は穀類の品質の維持を図る上で好ましいことが確認された。

検疫処理法への導入

本試験において、コクゾウムシの蛹が完全殺虫されたことから、穀類害虫（ヒメアカカツオブシムシ、コクジツセンチュウ及びグラナリアコクゾウムシを除く）の二酸化炭素くん蒸感受性の程度（相馬ら、1995）によりコクゾウムシ及びココクゾウムシまたはこれらを含む全ての害虫を対象に濃度 80 ~ 40 % の範囲で、また、コクゾウムシ及びココクゾウムシを除く全ての害虫を対象に濃度 100 ~ 50 % の範囲でコクゾウムシ及びココクゾウムシよりも短い日数で殺虫する基準の作成が可能になった。

検疫現場への適用については、①最初に濃度 100 ~ 80 % 投薬すれば、穀物への収着量を考慮しても、くん蒸期間中に再循環や追加投薬を行うことなくくん蒸が可能である。仮にガス濃度が維持できなくなった場合は追加投薬により対応が可能であり、さらに、ガス濃度により殺虫効果を確認するための“テスター虫”は不要であること、②くん蒸中の穀温は変化しないの

で、ガス循環後の温度を基準に処理日数を決定できること。また、気化器の温度及び循環熱によってある程度くん蒸温度を調節できること、③収着による減圧対策として安全弁が必要であること。さらに、二酸化炭素は浸透性が優れているため、くん蒸施設は高い気密性が要求されるが、わが国のサイロはこれらの条件を満足させる施設が多いことなど、検疫処理への導入にはそれほど大きな問題はないと考えられる。

二酸化炭素は昆虫に対する毒性が低いため、高濃度で長時間のくん蒸を必要とするが、一方では、発火性や引火性がない、浸透性が強い、被くん蒸物への残留毒性がない、被くん蒸物の品質の保持効果が高いなどの長所を持ち合わせている。二酸化炭素くん蒸は、倉庫やサイロに一定期間保管が可能な米、小麦、とうもろこしなどには適した消毒方法であると思われる。今後、二酸化炭素単独くん蒸の欠点を改善するため、他のくん蒸剤との併用により、投薬量の大幅な減少及び処理期間の大幅な短縮を図ることが課題である。

引用文献

- CHAMP, B. R. and C. E. DYTE (1976) Report of the FAO Global Survey for Pesticide Susceptibility of Stored Grain Pests. FAO Plant Prot. and Prot. Ser. No.5, Rome, P. 297.
- 近藤萬太郎 (1936) 瓦斯と種子の寿命, 日本農林種子学, 東京: 養賢堂, pp. 208-214.
- 森 武雄・川本 登 (1966) 燐化水素に対するコクゾウ蛹の感受性. 植防研報 3: 24-35.
- 中北 宏 (1993) ポストハーベスト農産物と農薬. 化学と生物, 31: 665-673.
- 農林水産省 (1996) 輸入植物検疫規程別表第5.
- QIANYU, LU. (1984) An overview of the present state of controlled atmosphere storage of grain in China. Controlled atmosphere and fumigation in grain storage. Proceeding of International Symposium, 11-12 April 1983, Perth, Australia.
- SABIO, G. C. (1992) Current status of controlled atmosphere storage in the Philippines. Proceeding of International Symposium, 11-13 June 1992, Winnipeg, Canada.
- 相馬幸博・岸野秀昭・後藤陸郎・藪田重樹・松岡郁子・加藤利之 (1995) 貯穀害虫の二酸化炭素くん蒸に対する感受性 1. コクゾウ, グラナリアコクゾウ及びヒラタコクヌストモドキの二酸化炭素くん蒸における温度, 時間及び酸素濃度の影響. 植防研報 31: 25-30.
- 楯谷昭夫 (1993) 臭化メチルとオゾン層について. 植物防疫 47: 193-195.
- WHITE, N. D. G. and D. S. JAYAS (1992) Quality changes in grain under controlled atmosphere storage. Proceeding of International Symposium, 11-13 June 1992, Winnipeg, Canada.