

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

相馬 幸博・岸野 秀昭・後藤 睦郎
藪田 重樹・松岡 郁子・加藤 利之*

横浜植物防疫所調査研究部調査課

Response of Stored Grain Insects to Carbon Dioxide. 1. Effects of Temperature, Exposure Period and Oxygen on the Toxicity of Carbon Dioxide to *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY, *Sitophilus granarius* L. and *Tribolium confusum* JAQUELIN DU VAL. Yukihiro SOMA, Hideaki KISHINO, Mutsuro GOTO, Shigeki YABUTA, Ikuko MATSUOKA and Toshiyuki KATO. (Chemical & Physical Control Laboratory, Research Division, Yokohama Plant Protection Station). Res. Bull. Pl. Prot. Japan 31: 25-30 (1995)

Abstract : Response of eggs, larvae, pupae and adults of *S. zeamais* and *T. confusum* to 40~100% CO₂ for 5 days at 20°C or 25°C showed that the pupae was the most resistant stage of *S. zeamais* at 20°C and 25°C and the pupae and the larvae were the most resistant stage of *T. confusum*, respectively, for at 20°C and 25°C. The LT₅₀ value for the pupae of *S. granarius* was higher than that for the pupae or larvae of *S. zeamais* and *T. confusum* when they were fumigated with 50 or 80% CO₂ at 20°C or 25°C. The toxicity of CO₂ against *S. zeamais* pupae was enhanced by the presence of O₂. The relationship between CO₂ concentrations and mortality ratios indicated that high mortality of *T. confusum* and low mortality of *S. zeamais* were obtained from the condition of high concentration of CO₂. The larvae and the pupae which were the most resistant stage of *S. zeamais* and *T. confusum* were killed completely under the conditions of 40~80% CO₂ for 21 days at 20°C or for 14 days at 25°C.

Key Words : fumigation, carbon dioxide, oxygen, grain, susceptibility. *S. zeamais*, *S. granarius*, *T. confusum*.

はじめに

オーストラリアやカナダでは、液化炭酸やドライアイス、CA装置を使用した二酸化炭素（CO₂）による穀類害虫の駆除方法を開発し、サイロ等の貯蔵施設に実用化している（Wilsonら、1980；1984）。また、我が国においても食糧庁は残留毒性のないくん蒸剤として、倉庫、サイロ及び天幕を使用したくん蒸方法を開発し、米麦の消毒に推奨している（不活性ガス利用食糧保全協議会、1992）。

CO₂に対する貯穀害虫の感受性は、木村ら（1991）、REICHMUTH（1989）、TUNG（1983）、KRISHNAMURTHYら（1986）等によって調査されており、害虫の種類、態別感受性や殺虫効果に必要なガス濃度と処理期間等が報告されている。しかしながら、試験方法により感受性の程度に差がみられることや、温度、ガス濃度、処理期間等の関係が不明であり、必ずしも殺虫に必要な条件が明らかになっていない。

そこで、CO₂による処理方法を植物検疫くん蒸に導入した場合におけるくん蒸基準を検討するため、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3種害虫を用い、温度別にCO₂濃度に対して最も感受性の低い害虫の種類及び態を決定し、くん蒸日数別の殺虫率を調査した。また、コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキについては、くん蒸中の酸素（O₂）濃度の影響及び完全殺虫に要するくん蒸期間を調査したので、その結果を報告する。

材料及び方法

1. 供試虫

コクゾウ *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY、グラナリアコクゾウ *Sitophilus granarius* L. 及びヒラタコクヌストモドキ *Tribolium confusum* JAQUELIN DU VALの卵、幼虫、蛹及び成虫を使用した。

コクゾウは、小麦粒を飼料として、26°C、70% R. H. で累代飼育を行い、卵は2～3日令卵を、幼虫は産卵後21～25日経過したものを、成虫は羽化後7～14日経

*現在、横浜植物防疫所調査研究部害虫課

**農林水産省指令5横植第2258号

過したものを使用した。また、蛹は小麦を切開調査し、全体の60～90%が蛹化しているものを使用した。

グラナリアコクゾウは、オーストラリアから導入したものをコクゾウと同様の方法で飼育して調整した。

ヒラタコクヌストモドキは、小麦全粒粉を飼料として25℃、70% R. H. で累代飼育を行い、卵は2～3日令卵を、幼虫は6～7令を、蛹は蛹化後2～7日経過したものを、成虫は羽化後7～10日経過したものをそれぞれ使用した。

2. CO₂くん蒸

くん蒸容器は、ガス通気、ガス採取及び温度測定孔付きの約5～8ℓのガラス製くん蒸ビンを使用した。供試虫はくん蒸温度の20℃または25℃に約24時間順化させた後、飼料とともにゴース網袋に入れてくん蒸ビンの空間部に吊り下げた。CO₂の投薬は、ガス混合器(GB-2B, 小島製作所)を用いて、空気と混合した一定濃度のCO₂をくん蒸ビン内に通気させて行った。また、くん蒸中のO₂濃度の影響を調査するために、一部にCO₂と窒素を混合させた区を設定した。投薬後はくん蒸ビンを密封し、マグネットスターラーを用いて攪拌した後、試験の目的に応じてCO₂濃度、O₂濃度、温度及びくん蒸日数を変えてくん蒸した。ガス濃度は、CO₂・O₂同時測定装置(UR-126G, 光明理化学工業)により測定した。くん蒸中の温度は、自動温度記録計(熱電対型, チノ)で測定した。

3. 殺虫効果の確認

くん蒸終了後、供試虫を取り出し、飼育容器に入れて25℃、70% R. H. で保管した。殺虫効果は、成虫はくん蒸終了2日後に確認し、卵、幼虫及び蛹は羽化により判定した。また、くん蒸処理した供試虫は成育が遅れる傾向があったため、羽化予定日後からさらに30～60日間継続して約7日おきに調査し、調査終了日には、ヒラタコクヌストモドキは篩により、コクゾウ及びグラナリアコクゾウは小麦粒を切開調査し、生存虫を確認した。コクゾウ、グラナリアコクゾウ、ヒラタコクヌストモドキの卵及びコクゾウ、グラナリアコクゾウの幼虫、蛹の供試虫数は、対照区の羽化数から推定した。

結果及び考察

1. CO₂濃度と各態の殺虫率との関係

コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキの各態を用い、20℃及び25℃で5日間くん蒸した場合における

CO₂濃度別の殺虫率は、第1図(コクゾウ)及び第2図(ヒラタコクヌストモドキ)のとおりである。

CO₂濃度に対する感受性は、コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキともに卵及び成虫が高く、25℃ではCO₂濃度50%以上でいずれも100%殺虫された。これに対して、幼虫及び蛹は感受性が低く、コクゾウでは20℃及び25℃ともに蛹の感受性が低い傾向を示したが、ヒラタコクヌストモドキでは、20℃で蛹が、25℃では幼虫の感受性が低かった。また、コクゾウとヒラタコクヌストモドキではCO₂濃度による感受性が異なり、ヒラタコクヌストモドキの幼虫及び蛹はCO₂濃度が高くなるほど殺虫されやすく、コクゾウの蛹は濃度が高いほど殺虫され難かった。

2. CO₂濃度及びくん蒸日数と殺虫率との関係

CO₂くん蒸に対して感受性が低いと考えられるコクゾウ、グラナリアコクゾウの蛹及びヒラタコクヌストモドキの幼虫及び蛹を用いて、20及び25℃、CO₂濃度50%及び80%の条件でくん蒸日数別に殺虫効果を調査し、得られたデータをプロビット法により解析した結果は第1表のとおりである。

プロビット法による統計解析(POLO-PC R: Lera Software, 1987)は、薬剤の量や処理日数に対する害虫の感受性に適用されているが、この解析法により害虫の感受性を比較する場合は、信頼度の高いLD (T) 50値を用いるのが一般的である。しかし、本試験の結果では、感受性をLT₅₀とLT₉₅で比較した場合に逆転現象が認められること、高い殺虫率の確保が必要であることから、LT₉₅値によって害虫の感受性の比較を行った。

20℃におけるくん蒸

CO₂濃度50%におけるLT₉₅は、コクゾウの蛹が7.5日、グラナリアコクゾウの蛹が11.4日、ヒラタコクヌストモドキの蛹が6.4日で、グラナリアコクゾウの蛹が最も高かった。グラナリアコクゾウの蛹の殺虫には、コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキよりも、かなり長いくん蒸日数が必要である。

CO₂濃度80%におけるLT₉₅は、濃度50%に比較して、ヒラタコクヌストモドキの蛹では低かった(5.9日)が、コクゾウ及びグラナリアコクゾウの蛹では、反対に高かった(10.3日及び12.3日)。

これらの結果から、CO₂濃度に対する感受性は、害虫の種類によって異なり、ヒラタコクヌストモドキの蛹では、CO₂濃度80%の方が殺虫されやすいが、コクゾウ及びグラナリアコクゾウの蛹では、CO₂濃度50%

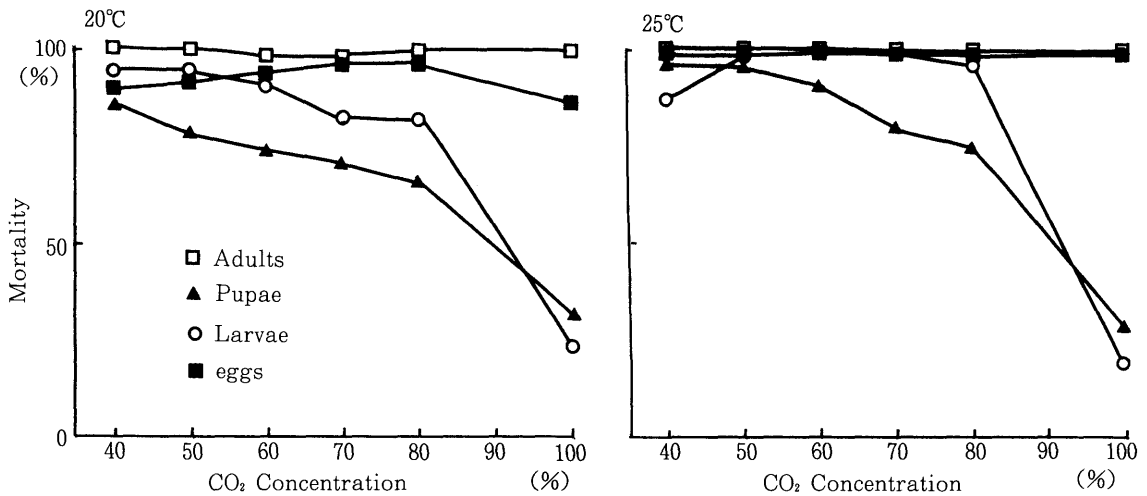


Fig. 1. Mortalities of eggs, larvae, pupae and adults of *S. zeamais* resulting from 40~100% carbon dioxide for 5 days at 20°C and 25°C.

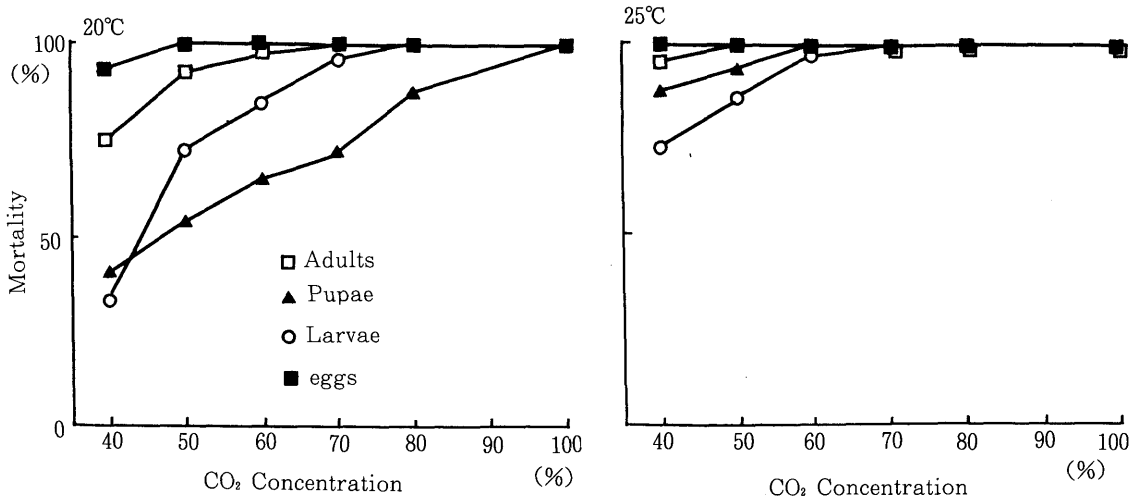


Fig. 2. Mortalities of eggs, larvae, pupae and adults of *T. confusum* resulting from 40~100% carbon dioxide for 5 days at 20°C and 25°C.

の方が殺虫されやすかった。CO₂濃度50~80%の範囲ではグラナリアコクゾウの蛹、コクゾウの蛹、ヒラタコクヌストモドキの蛹の順に感受性が低いと考えられる。

25°Cにおけるくん蒸

CO₂濃度50%におけるLT₉₅は、コクゾウの蛹が5.3日、グラナリアコクゾウの蛹が7.7日、ヒラタコクヌストモドキの幼虫が5.5日、ヒラタコクヌストモドキの蛹が4.3日で、グラナリアコクゾウの蛹が最も高かった。また、ヒラタコクヌストモドキの幼虫と蛹では、幼虫の方が感受性が低かった。

CO₂濃度80%におけるLT₉₅は、コクゾウの蛹が6.6日、グラナリアコクゾウの蛹が9.4日であった。ヒラタコクヌストモドキの幼虫及び蛹は5日間のくん蒸ですべて殺虫されたため、解析できなかったが、ヒラタコクヌストモドキの幼虫及び蛹のLT₉₅は5日未満であることから、グラナリアコクゾウの蛹が最も感受性が低いといえる。これらの結果から、CO₂濃度に対する感受性は、20°Cくん蒸と同様の傾向を示し、CO₂濃度50~80%の範囲ではグラナリアコクゾウの蛹が最も低く、次いでコクゾウの蛹、ヒラタコクヌストモドキの幼虫、ヒラタコクヌストモドキの蛹の順に低いと考えられる。

Table 1. Estimated LT₅₀ and LT₉₅ values for the pupae and the larvae of *S. zeamais*, *S. granarius* and *T. confusum* fumigated with 50% or 80% carbon dioxide at 20°C or 25°C.

Temperature	CO ₂ concentration	Insect	Stage	LT ₅₀ (95%FL)	LT ₉₅ (95%FL)
				day	day
20°C	50%	<i>S. zeamais</i>	pupae	3.6 (3.5-3.8)	7.5 (7.2- 7.9)
		<i>S. granarius</i>	pupae	4.0 (2.5-5.0)	11.4 (8.1-32.2)
		<i>T. confusum</i>	pupae	4.2 (3.7-4.6)	6.4 (5.8- 7.3)
	80%	<i>S. zeamais</i>	pupae	3.6 (2.9-4.2)	10.3 (8.0-15.7)
		<i>S. granarius</i>	pupae	2.3 (1.3-3.2)	12.3 (8.0-30.8)
		<i>T. confusum</i>	pupae	3.1 (2.8-3.4)	5.9 (5.1- 7.4)
25°C	50%	<i>S. zeamais</i>	pupae	2.4 (2.0-2.7)	5.3 (4.5- 6.9)
		<i>S. granarius</i>	pupae	2.7 (2.1-3.3)	7.7 (6.2-11.0)
		<i>T. confusum</i>	larvea	2.9 (2.6-3.1)	5.5 (4.8- 6.8)
			pupae	2.8 (2.4-3.2)	4.3 (3.6- 6.6)
	80%	<i>S. zeamais</i>	pupae	2.8 (2.7-2.9)	6.6 (6.1- 7.1)
		<i>S. granarius</i>	pupae	2.5 (1.6-3.1)	9.4 (6.9-18.7)
		<i>T. confusum</i>	larvea	—	<5*
			pupae	—	<5*

* Data for pupae and larvae of *T. confusum* not available because of the high mortalities observed at relatively short exposure periods.

Table 2. Effects of O₂ concentration to the mortality for the pupae of *S. zeamais* and *T. confusum* exposed to mixture of 50% or 100% carbon dioxide and 0% or 10% oxygen at 20°C and 25°C.

CO ₂ concentration (%)	O ₂ concentration (%)	Temperature (°C)	Period (day)	Mortality of pupae (%)	
				<i>S. zeamais</i>	<i>T. confusum</i>
50	10	20	21	100	100
		25	14	100	100
50	0	20	21	23.0	100
		25	14	49.3	100
100	0	20	21	32.5	100
		25	14	68.4	100

3. O₂濃度と殺虫率の関係

CO₂くん蒸におけるO₂濃度の影響を調査するため、コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキの蛹を用い、O₂濃度0%（CO₂濃度50%及び100%）で、20°C、21日及び25°C、14日間くん蒸した場合の結果は、第2表のとおりである。

ヒラタコクヌストモドキの蛹はO₂濃度にかかわらず、CO₂濃度50%及び100%で完全殺虫されたのに対し、コクゾウの蛹はO₂濃度0%（無酸素状態）での殺虫率が極めて低く、CO₂くん蒸によりコクゾウの蛹を効率的に殺虫するためには、ある程度のO₂濃度を必要とした。

Table 3. Mortality of the pupae and the larvae of *S. zeamais* and *T. confusum* exposed to 30~100% carbon dioxide for 14 days or 21 days at 20°C.

Insect	CO ₂	Mean % mortality		
	concentration	14 days exposure		21 days exposure
	%	larvae	pupae	pupae
<i>S. zeamais</i>	30	96.9	95.8	98.0
	40	100	99.8	100
	50	100	100	100
	60	100	97.3	100
	70	100	99.5	100
	80	100	97.1	100
	100	—	—	32.5
<i>T. confusum</i>	30	—	—	—
	40	100	100	100
	50	100	100	100
	60	100	100	100
	70	100	100	100
	80	100	100	100
	100	100	100	100

1. Mean of two replicates.
2. 200~500 pupae or larvae in each concentration were used.
3. Percent mortalities were estimated from survivors of *S. zeamais* in untreated control.

4. コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキの殺虫基準

コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキの完全殺虫に必要な日数を決定するため、CO₂に対して感受性が低いと考えられる幼虫または蛹を用いて、CO₂濃度別に殺虫試験を実施した結果は、第3表（20℃）及び第4表（25℃）のとおりである。

20℃、21日及び25℃、14日では、CO₂濃度40~80%の範囲でコクゾウ及びヒラタコクヌストモドキは完全殺虫された。しかし、20℃、14日では、コクゾウの蛹がCO₂濃度50%以外で完全殺虫されなかった。25℃、10日では、ヒラタコクヌストモドキの幼虫がCO₂濃度30及び40%で、また、コクゾウの幼虫又は蛹がCO₂濃度30~80%で完全殺虫されなかった。これらの結果は、害虫の種類及び態によりCO₂くん蒸に対する感受性が異なり、コクゾウの幼虫及び蛹はCO₂濃度が高すぎても低すぎても殺虫されず、一定の範囲で濃度が維持される必要があることを示している。

以上の結果から、ヒラタコクヌストモドキはCO₂濃

度が高いほど殺虫率が高く、70~100%でくん蒸することが最も効果的であり、25℃では5日間のくん蒸で完全殺虫することも可能であると考ええる。

コクゾウは、濃度が高過ぎると蛹の殺虫率が低下することから、50%でくん蒸することが最も効果的である。しかし、実際のくん蒸においては、被くん蒸物によるガスの収着、くん蒸施設の気密性からCO₂濃度を50%または70~100%で長時間維持することは困難であると考ええる。したがって、コクゾウ及びヒラタコクヌストモドキ両害虫の殺虫方法として、CO₂濃度40~80%で、20℃の場合は21日間、25℃の場合は14日間、また、ヒラタコクヌストモドキの殺虫方法として、CO₂濃度50%以上で、20℃の場合は14日間、25℃の場合は10日間の基準が考えられる。

また、CO₂のくん蒸方法は、初期段階で80%程度投薬し、くん蒸終了時に40%又は50%以上が残存するような方法が現実的であろう。今回、グラナリアコクゾウについては、消毒基準確立に関する試験を実施しなかったが、感受性試験の結果から、コクゾウの蛹よりも多くの日数が必要となることが推察される。

Table 4. Mortality of the pupae and the larvae of *S. zeamais* and *T. confusum* exposed to 30~100% carbon dioxide for 10 days or 14 days at 25°C.

Insect	CO ₂		Mean % mortality			
	concentration	%	10 days exposure		14 days exposure	
			larvae	pupae	larvae	pupae
<i>S. zeamais</i>	30		90.8	86.7	96.2	96.9
	40		97.3	94.2	100	100
	50		100	98.7	100	100
	60		100	97.3	100	100
	70		99.5	95.9	100	100
	80		98.5	94.2	100	100
	100		—	—	—	68.4
<i>T. confusum</i>	30		50.7	—	88.3	99.6
	40		94.0	100	100	100
	50		100	100	100	100
	60		100	100	100	100
	70		100	100	100	100
	80		100	100	100	100
	100		100	100	100	100

1. Mean of two replicates.
2. 200~500 pupae or larvae in each concentration were used.
3. Percent mortalities were estimated from survivors of *S. zeamais* in untreated control.

引用文献

- 秋山博志・佃由美子・安友純・川本登 (1980) : 貯穀害虫の臭化メチル感受性に関する研究 1. ヒラタコクヌストモドキ, コクゾウの臭化メチル感受性に関するくん蒸温度及びくん蒸時間の影響. 植防研報 16: 77-84.
- CALDERON M. and S. NAVARRO (1979) : Increased Toxicity of low Oxygen Atmospheres Supplemented with Carbon Dioxide on *Tribolium castaneum* Adults. Ent. Exp. & Appl. 25: 19-44.
- CALDERON, M. and S. NAVARRO, (1980): Synergistic Effect of CO₂ and O₂ Mixtures on Two Stored Grain Insect Pests. Controlled Atmosphere Storages of Grains. 79-84.
- CHILDS D. P. and J. E. OVERBY (1983) : Mortality of the Cigarette Beetle in High-Carbon Dioxide Atmospheres. J. Econ. Entomol. 76(3): 544-546.
- DESMARCHELIER J. M., R. WOHLGEMUTH (1984) : Response of Species of Insects to Mixtures of Phosphine and Carbon Dioxide. Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages. 75-81.
- EDWARD J. (1980): Low Temperatures : Effects on Control of *Sitophilus oryzae* (L.) with Modified Atmospheres. Controlled Atmosphere Storages of Grains. 65-71.
- 不活性ガス利用食糧保全協議会編 (1992) : 炭酸ガスによる害虫駆除取扱テキスト. 1-25.

- 木村広 井上市郎 鶴田理 桑原雅彦 (1991) : 貯穀害虫に対する二酸化炭素の殺虫効果. 環動昆 Vol.3 No.3: 136-139.
- KRISHNAMURTHY T.S., E. C. SPRATT and C. H. BELL (1986) : The Toxicity of Carbon Dioxide to Adults Beetles in Low Oxygen Atmospheres. J. Stored Prod. Res. 22(3): 145-151.
- LE ORA Software (1987) : POLO-PC, a user's guide to probit or logit analysis. Berkeley CA.
- 中北宏 (1986) : 貯蔵食品の害虫防除技術とIPM. 植物防疫 Vol.40 No.7: 307-315.
- REICHMUTH Ch. (1989): Toxic Gas Treatment Responses of Insect Pests of Stored Products and Impact on the Environment, Fumigation and Controlled Atmosphere Storages of Grain. 56-69.
- TUNG I. (1983) : Mortality of *Tribolium confusum* Adults in Various Atmospheric Gas Compositions. Zeit. Ang. Ent. 95: 263-267.
- WILSON A. D., H. J. BANKS, P. C. ANNIS and V. GUIFFRE (1980) : Pilot commercial treatment of bulk wheat with CO₂ for insect control, the need for gas recirculation. Aust. J. Exp. agric. Anim. Husb., 20 : 618-624.
- WILSON A. D., S. A. BUCHANAN and A. G. SHARP (1984) : The use in and recirculation of carbon dioxide in welded steel bin in Victoria. Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages. 257-268.