

# 〔報告〕 低酸素濃度殺虫法 —25°C, 27.5°C, 30°Cにおける処理期間の検討—

小野寺 裕子・小峰 幸夫・木川 りか

## 1. はじめに

低酸素濃度殺虫法とは、薬剤を使用しない殺虫方法のひとつである。脱酸素剤等を使用して密閉空間の酸素濃度を0.3%未満にまで下げることにより低酸素濃度環境下で、害虫を酸欠・脱水状態にして死に至らせる。文化財の材質への影響がほとんどなく、人体に対して安全であるという利点がある。しかし、燻蒸剤による処理と比較すると処理に時間がかかることや、高度な気密性が要求されるので大空間での処理が難しいことがデメリットとしてあげられる。

また、低酸素濃度殺虫法は、処理する際の温度により殺虫効果に差が出るということが報告されており<sup>1)2)</sup>、処理は温度に依存することが知られている。温度が高くなると昆虫の呼吸速度の増加をもたらす、結果として殺虫効果が高まる<sup>3)</sup>。さらに相対湿度の低下は、昆虫を脱水状態にし、水分損失により短時間で死に至る要因とされる<sup>4)</sup>。20°C以下の温度では殺虫効果がかなり下がるとされ<sup>1)2)4)</sup>、20°Cでは完全に殺虫するのに10週間を要したという結果が出ている<sup>2)</sup>。主要な文化財害虫に対しては、30°C、50-60%RH、酸素濃度0.1%未満で3週間おくとという条件が提唱されている<sup>5)</sup>。しかし、博物館や美術館において処理のために展示収蔵環境を30°Cに設定することは難しく、温度を高く設定する、あるいは湿度を低く保つことは文化財の材質への影響も懸念される。そこで、文化財に対して許容できる程度の温度と湿度を保ちつつ、より短期間で処理の効果が得られる現実的な処理温度を検討するために、低酸素濃度環境に耐性が強いとされるコクゾウムシを用いて、25°C、27.5°C、30°Cにおける低酸素濃度処理の殺虫効果を調査したので報告する。

## 2. 実験方法

### 2-1. 供試虫

供試虫としては、(公財)文化財虫菌害研究所が燻蒸効果判定用テストサンプルに使用を規定しているコクゾウムシ *Sitophilus zeamais* Motschulsky<sup>6)</sup>を用いた。コクゾウムシは貯穀害虫であって文化財害虫ではないが、低酸素濃度環境に強い耐性を持つ<sup>7)</sup>ため殺虫効果の指標とした。

内容積15mlの広口ガラスビンにコクゾウムシの卵、幼虫、蛹を含む約3gの被害玄米を入れ、穴あきプラスチックのふたをして供試した(図1)。

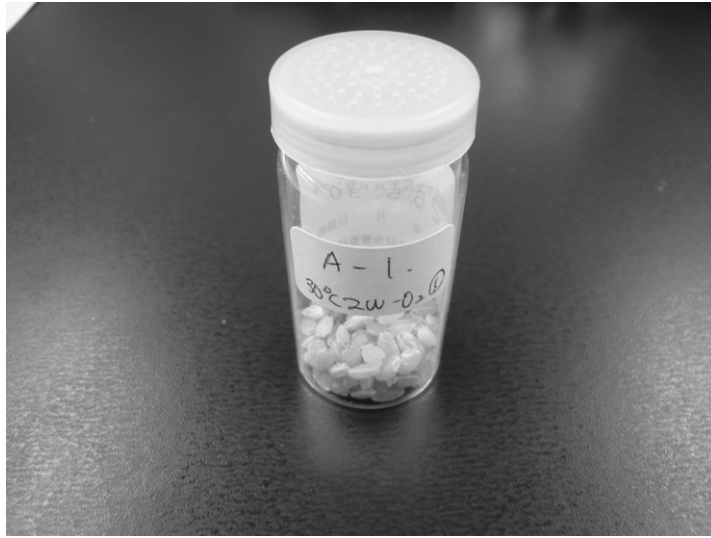


図1 供試虫の入ったビン

## 2-2. 処理温度および殺虫処理の方法

処理は、30℃、27.5℃、25℃の各々の温度に設定したインキュベーター内、または恒温恒湿槽内で行った。温湿度測定はデータロガー（Onaet社 HOB0 UX100-011）を使用した。データロガーは実験前に20℃の恒温恒湿槽内で、KCl（85%）、NaCl（75%）、NaBr（59%）、 $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ （54%）、 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ （33%）の飽和水溶液を使用して相対湿度の較正<sup>8)</sup>を行った。実験中に測定した温湿度条件を表1に示す。

ハイガスバリア性能を持つエスカル<sup>®</sup>（三菱ガス化学(株)、セラミック蒸着系透明フィルム、平袋仕様幅220mm）を長さ400mmに切った中に、水分中立型脱酸素剤のRP-20K（三菱ガス化学(株)）、嫌気指示薬アネロバック<sup>®</sup>（三菱ガス化学(株)）、袋内の湿度を適正に保つためシーズニングしたキムタオル<sup>®</sup>（日本製紙クレシア(株)）10枚、供試虫のビンを入れて、袋の両端をヒートシーラーにより密封して低酸素濃度処理を行ったもの（図2）を処理区とした。また、供試虫のビンを封入せずに同じ恒温恒湿槽内に所定期間おいたものを対照区とした。

1回目の実験では、処理区および対照区につき各2本ずつ供試し、30℃で2、3週間、27.5℃で2、3、4、5、6、8週間、25℃で3、4、5、6、8週間の条件で処理した。

表1 各設定温度における温湿度の測定結果

設定温度	区分	温度(℃)	相対湿度(%)
30℃	処理区	30.3±0.1	49.3±0.3
	対照区	30.5±0.1	52.4±0.5
27.5℃	処理区	27.9±0.1	48.0±0.4
	対照区	27.8±0.1	52.5±3.8
25℃	処理区	25.1±0.5	47.4±0.7
	対照区	25.2±0.6	53.3±3.7

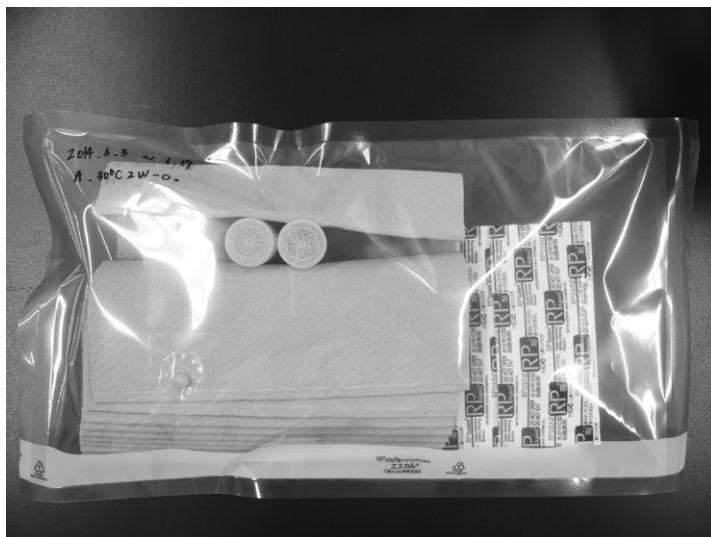


図2 処理区の例

### 2-3. 生存個体数の算出

コクゾウムシの卵、幼虫、蛹は直接的な生死の判定が困難なため、供試した被害玄米を処理後、所定期間観察し、羽化してきた成虫の数を卵、幼虫、蛹の生存数とした。処理区は各処理終了後、被害玄米の入ったピンを12週間にわたって約25°C、53%RHの環境で静置し、1週間ごとに羽化した成虫を取り除いて個体数を数え生存虫数とした。また対照区は処理開始から、1週間ごとに羽化した成虫を取り除いて生存虫を計数した。

### 2-4. 死亡率の算出

12週間の羽化数を合計し、以下の式を用いて死亡率(%)を算出した。

$$\frac{\text{対照区の総羽化数} - \text{処理区の総羽化数}}{\text{対照区の総羽化数}} \times 100 = \text{処理区の死亡率}(\%)$$

### 2-5. 再現実験

27.5°Cおよび25°Cで十分な殺虫効果が得られる処理期間を見極めるため、処理方法は同じままサンプル数を増やして処理を行った。27.5°C、25°Cの各々の温度に設定した恒温恒湿槽内の温湿度データロガーにより測定した温湿度条件を表2に示す。

表2 各設定温度における温湿度の測定結果(再現実験)

設定温度	区分	温度(°C)	相対湿度(%)
27.5°C	処理区	27.6±0	55.3±2.0
	対照区	27.5±0	53.4±2.1
25°C	処理区	25.3±0.1	52.6±1.7
	対照区	25.2±0.1	53.9±0.7

27.5℃で3, 4, 5, 6週間, 25℃で4, 5, 6週間の条件で低酸素濃度処理を行い, 処理区として各6本ずつ供試した。対照区として27.5℃, および25℃で6週間の条件で各6本ずつ供試した。

### 3. 結果および考察

低酸素濃度処理を各々の条件で行った後, 密封したエスカルから取り出した供試虫を1週間ごとに計数した処理区の羽化数を表3-1に示す。30℃の2週間, 3週間の処理での羽化数は0匹で, 木川ら<sup>1)</sup>の結果と一致していた。しかし, 同じ処理期間でも2.5℃低い条件の27.5℃では2週間, 3週間の処理では羽化した成虫があった。さらに低い条件の25℃では, 3週間, 4週間の処理でも羽化した成虫があった。

低酸素濃度処理を行わず実験開始から, 各温度条件におかれた供試虫を1週間ごとに計数した対照区の羽化数を表3-2に示す。30℃, 27.5℃, 25℃の各温度条件下で1週目から成虫が計数され, 被害玄米内に生息していた卵, 幼虫, 蛹が順調に成長, 羽化していったと考えられる。

処理区各2本の12週間での総羽化数は, 27.5℃では2週間で9, 6匹, 3週間で1, 0匹であり, 25℃では3週間で11, 11匹, 4週間で0, 1匹であった(表3-1)。各条件下で12週間計数した対照区の総羽化数のサンプル1本あたりの平均94.9匹と比較すると, 処理区の羽化数は減少したが完全な殺虫には至らなかった。

1回目の実験では, 供試虫の各2本平均での処理区の死亡率を算出した結果, 27.5℃の2週間で92.5%, 3週間では99.5%, 4週間以降は100%となった。また, 25℃の3週間で84.1%, 4週間では99.5%, 5週間以降は100%となった。殺虫効果が得られる処理期間を見極めるため, サンプル数を増やした再現実験を行った。

再現実験で低酸素濃度処理を各々の条件で行った後, 同様に供試虫を1週間ごとに計数した処理区の羽化数を表4-1に示す。27.5℃での3週間の処理では羽化した成虫があったが, 4週間以降は0匹となった。また, 25℃の4週間の処理でも羽化した成虫が計数されたが, 5週間以降は0匹となった。

同じく再現実験での対照区の羽化数を表4-2に示す。1回目の実験と同様に未処理の場合は, 27.5℃, 25℃の各温度条件下で1週目から羽化した成虫が計数された。各条件下で12週間計数した対照区の総羽化数はサンプル1本あたり平均95.6匹で, 1回目の実験と同様の結果となった。

供試虫の各6本平均での処理区の死亡率は, 27.5℃の3週間で99.3%, 4週間以降では100%であり, 25℃の4週間で97.1%, 5週間以降では100%であった。本報告の実験条件では, 27.5℃では4週間, 25℃では5週間で十分な殺虫効果を得られると考えられる。

表3-1 処理区の羽化数

処理条件		試料名	処理後 1週目	処理後 2週目	処理後 3週目	処理後 4週目	処理後 5週目	処理後 6週目	処理後 7週目	処理後 8週目	処理後 9週目	処理後 10週目	処理後 11週目	処理後 12週目	羽化数 合計
30℃	2週間	A-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		A-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3週間	C-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.5℃	2週間	E-1	0	2	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	9
		E-2	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	3週間	G-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		G-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4週間	I-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		I-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5週間	K-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		K-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6週間	M-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8週間	O-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	O-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25℃	3週間	Q-1	0	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
		Q-2	0	3	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	11
	4週間	S-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S-2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	5週間	U-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		U-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6週間	W-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		W-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8週間	Y-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Y-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

網掛け部分は羽化した成虫が確認されたことを示す。

表3-2 対照区の羽化数

処理条件		試料名	処理後 1週目	処理後 2週目	処理後 3週目	処理後 4週目	処理後 5週目	処理後 6週目	処理後 7週目	処理後 8週目	処理後 9週目	処理後 10週目	処理後 11週目	処理後 12週目	羽化数 合計
30℃	2週間	B-1	10	25	30	5	0	0	13	12	3	3	0	0	101
		B-2	10	24	20	2	0	0	10	9	0	0	0	0	75
	3週間	D-1	5	26	26	2	0	0	6	5	0	0	0	0	70
		D-2	5	32	26	2	0	0	4	11	3	1	0	0	84
27.5℃	2週間	F-1	6	26	25	9	0	0	5	9	3	1	0	0	84
		F-2	13	36	21	11	2	1	28	6	11	8	0	0	137
	3週間	H-1	7	39	23	4	0	0	23	6	5	3	0	0	110
		H-2	6	34	29	4	3	7	7	17	5	0	1	1	114
	4週間	J-1	7	32	24	5	0	1	20	8	6	1	1	0	105
		J-2	8	31	24	4	0	0	15	9	2	0	0	3	96
	5週間	L-1	11	35	23	9	0	4	13	17	13	2	0	1	128
		L-2	11	34	31	3	1	1	17	21	3	0	0	0	122
	6週間	N-1	4	26	15	10	1	4	9	0	3	17	5	0	94
		N-2	6	19	22	9	1	11	9	6	6	0	1	5	95
	8週間	P-1	3	31	28	7	0	4	7	10	7	2	0	2	101
		P-2	12	23	18	6	1	2	11	10	6	0	2	5	96
25℃	3週間	R-1	4	13	25	20	2	0	0	1	0	0	2	1	68
		R-2	5	24	25	10	1	0	1	2	2	0	0	0	70
	4週間	T-1	4	23	25	18	0	1	3	2	5	2	0	0	83
		T-2	4	32	33	9	0	0	1	10	1	2	0	0	92
	5週間	V-1	6	24	25	19	1	0	1	11	7	1	0	0	95
		V-2	7	21	17	26	1	0	6	5	13	12	0	1	109
	6週間	X-1	9	19	24	12	3	0	3	3	10	2	0	0	85
		X-2	9	23	20	16	0	0	4	3	1	6	0	0	82
	8週間	Z-1	3	30	22	18	0	0	0	9	13	5	0	0	100
		Z-2	4	18	22	9	0	0	0	5	12	0	0	0	70

網掛け部分は羽化した成虫が確認されたことを示す。

表4-1 処理区の羽化数（再現実験）

処理条件	試料名	処理後 1週目	処理後 2週目	処理後 3週目	処理後 4週目	処理後 5週目	処理後 6週目	処理後 7週目	処理後 8週目	処理後 9週目	処理後 10週目	処理後 11週目	処理後 12週目	羽化数 合計	
27.5℃	3週間	a-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		a-2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		a-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		a-4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		a-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		a-6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	4週間	b-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		b-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		b-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		b-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		b-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		b-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5週間	c-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		c-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		c-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		c-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		c-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		c-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6週間	d-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		d-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		d-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		d-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		d-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		d-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25℃	4週間	f-1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		f-2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		f-3	0	0	1	2	0	0	0	0	3	2	0	0	8
		f-4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		f-5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		f-6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	5週間	g-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		g-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		g-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		g-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		g-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		g-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6週間	h-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		h-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		h-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		h-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		h-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		h-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

網掛け部分は羽化した成虫が確認されたことを示す。

表4-2 対照区の羽化数（再現実験）

処理条件	試料名	処理後 1週目	処理後 2週目	処理後 3週目	処理後 4週目	処理後 5週目	処理後 6週目	処理後 7週目	処理後 8週目	処理後 9週目	処理後 10週目	処理後 11週目	処理後 12週目	羽化数 合計	
27.5℃	6週間	e-1	13	36	14	7	0	1	10	0	14	2	0	0	97
		e-2	10	37	21	5	0	4	2	1	5	0	0	0	85
		e-3	10	37	23	7	1	7	6	2	8	0	0	3	104
		e-4	14	39	29	8	4	5	5	2	8	3	0	0	117
		e-5	10	43	19	3	2	5	6	5	1	1	0	2	97
		e-6	22	34	12	6	0	10	9	0	0	0	0	0	93
25℃	6週間	i-1	17	40	14	12	0	0	6	2	1	0	0	0	92
		i-2	13	40	24	7	1	0	6	0	7	0	0	0	98
		i-3	8	36	19	12	1	0	1	2	7	6	0	0	92
		i-4	15	32	24	14	0	0	3	3	6	0	1	0	98
		i-5	12	36	21	9	0	0	6	0	2	0	0	0	86
		i-6	10	44	18	8	1	0	4	0	2	1	0	0	88

網掛け部分は羽化した成虫が確認されたことを示す。

#### 4. まとめ

低酸素濃度殺虫法は、温度は高くなるほど、相対湿度は低くなるほど殺虫効果が高まり、短時間で処理できるとされる。しかし、実際に博物館や美術館での処理を考えた場合は、短時間で処理できることは望ましいが、文化財への影響を考慮すると、高い温度や低い湿度に環境を保つことは難しい。

本報告では相対湿度を約50%に保ちつつ、27.5℃および25℃において十分な殺虫効果が得られる期間を調査した。その結果、本報告の実験条件では、27.5℃では4週間、25℃では5週間で十分な殺虫効果が得られた。温度が2.5℃異なることにより、処理期間に1週間の差が出た。限られた期間での殺虫処理を求められる場合においては、処理する文化財の材質を考慮しつつ温度を設定することが望ましいと考える。

#### 謝辞

塩類の飽和水溶液を使用したデータロガーの較正について、ご指導とご助言を頂きました東京文化財研究所の犬塚将英主任研究員に記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 木川りか, 永山あい, 山野勝次: 低酸素濃度殺虫法—処理温度と殺虫効果の検討, 保存科学, **38**, 9-14 (1999)
- 2) 木川りか, 宮澤淑子, 山野勝次, 三浦定俊, 後出秀聡, 木村広, 富田文四郎: 低酸素濃度および二酸化炭素による殺虫法—日本の文化財害虫についての実用的処理条件の策定—, 文化財保存修復学会誌, **45**, 73-86 (2001)
- 3) 川上裕司, 杉山真紀子: 博物館・美術館の生物学—カビ・害虫対策のためのIPMの実践—, 雄山閣 (2009)
- 4) Valentin, N., Comparative Analysis of Insect Control by Nitrogen, Argon and Carbon Dioxide in Museum, Archive and Herbarium Collections International Biodeterioration &



Biodegradation, **32**, 263-278 (1993)

- 5) Gilberg, M., Inter Atmosphere Disinfestation Using AGELESS Oxygen Scavenger in ICOM Committee for Conservation 9th Triennial Meeting, Dresden, 812-816 (1990)
- 6) 山野勝次：燻蒸効果判定用昆虫テストサンプルについて，文化財の虫菌害，**26**，33-36 (1993)
- 7) 大口嘉子，鈴木秀明，田付貞洋，深見順一：貯穀害虫および衣類害虫に対する脱酸素剤エージレス®の殺虫効果，日本応用動物昆虫学会誌，**27**(4)，270-275 (1983)
- 8) 三浦定俊，佐野千絵，木川りか：文化財保存環境学，39-46，朝倉書店 (2004)

キーワード：低酸素濃度処理 (low oxygen treatment)；脱酸素剤 (oxygen absorber, oxygen scavenger)；コクゾウムシ *Sitophilus zeamais* Motschulsky (maize weevil)；死亡率 (mortality)；温度依存 (temperature dependence)

## Required Period of Low Oxygen Treatment at 25°C, 27.5°C and 30°C for the Low Oxygen Treatment of Cultural Objects: A Case Study with *Sitophilus zeamais* as a Tolerant Species

Yuko ONODERA, Yukio KOMINE and Rika KIGAWA

The efficacy of low oxygen treatment depends on temperature and relative humidity. Several reports have shown that higher temperature and lower relative humidity usually decrease exposure period of low oxygen treatment for complete insect mortality. For example, at 30°C, it was reported that 3 weeks was sufficient for complete mortality of common museum insects by low oxygen treatment. However, sometimes it is considered difficult to maintain higher temperature such as 30°C, and too low relative humidity cannot be applied to museum objects. Also at 20°C, 10 weeks was required for complete mortality in previous experiments. But in some cases, shorter periods are preferred for such treatments. Therefore, treatment periods of 25°C, 27.5°C and 30°C were studied while maintaining the relative humidity at approximately 50%RH.

In the present study, rice grains containing eggs, larvae and pupae of *Sitophilus zeamais*, one of the most tolerant insect species for low oxygen atmosphere, were used. Low oxygen atmosphere was attained with RP-20K oxygen absorber. Temperature was maintained at 25°C, 27.5°C and 30°C respectively, and relative humidity was maintained at approximately 50%RH. After treatments, numbers of adult emergence were counted.

As a result, 4-week treatment at 27.5°C was required to achieve 100% mortality while 5-week treatment at 25°C was required to achieve 100% mortality. These data suggest that a treatment of at least 4 weeks at 27.5°C or 5 weeks at 25°C are recommended to treat insect species which are tolerant to low oxygen atmosphere.