

鯖魚實施氯化鈣鹽水浸漬式凍結之可行性

張士軒

Feasibility of Calcium Chloride Brine-Immersion Freezing for Mackerel

Shyh Shiuan Chang

45 and 2 samples of local marketed fresh iced mackerel and striped bonito, respectively, were immersed into $-18 \sim -45^{\circ}\text{C}$ calcium chloride (CaCl_2) brine. Freezing velocity, body breaking, and the permeant content of CaCl_2 in the dorsal muscle were used as indices of the feasibility for freezing mackerel, as compared to -42°C still air freezing. The results showed that the freezing velocity of mackerel in CaCl_2 brine was two times more faster than that in still air. Body breaking can be avoided when the fish was perfectly immersed into CaCl_2 brine. It seemed that there was no relationship between body breaking and either the temperature of CaCl_2 brine or the freshness, maturity, initial body temperature, freezing velocity, and freezing time of the fish. The permeant contents of CaCl_2 in the dorsal muscle of 36 samples were less than 0.5%, suggesting that those frozen mackerel were safe for human consumption. In order to prevent the permeance of CaCl_2 into the fish, it was necessary to wash the surface of the fish either after-freezing or before-thawing. Furthermore, the fish must be frozen immediately after catching without precooling or equalizing fish body temperature before freezing. According to the above results, it was concluded that CaCl_2 brine immersion-freezing method was feasible for mackerel.

前 言

遠洋和近海漁船上大多採用空冷式凍結法來處理漁獲物，但最近五年日本政府和民間業者積極地致力於改進鯖鯉的凍結方法，其目的在於節省能源、減輕作業成本並提高凍結品的品質，以減少石油危機和二百哩經濟海域設限之衝擊。

氯化鈣為一種無臭的白色結晶，呈塊狀、片狀、粒狀或粉末狀，極易吸濕，故易溶於水。含 29.9% 氯化鈣之水溶液之凍結點為 -55°C ，根據此一特性，以氯化鈣鹽水溶液對鯖鯉實施浸漬式凍結之技術，已為日本開發至實用性之階段。

一般採用 -40°C 或 -45°C 的氯化鈣鹽水實施鯖鯉之浸漬式凍結，較空冷式凍結法有如下之優點：凍結時間和作業設備動力均減少一半，能源消耗減少 60%，凍結品品質略優⁽¹⁾。

氯化鈣浸漬式凍結法在技術上必須克服的問題有冷卻機結冰、生成碳酸鈣沉澱、鹽水溢出、起泡、溫度維持等，在凍結品方面則有魚體破裂、氯化鈣滲入魚肉中、擦傷、變色、腹部隆起、魚體因漂浮轉動所致之變形和損傷等⁽¹⁾。技術性問題均已克服，而凍結品方面最重要的是魚體破裂和氯化鈣滲入魚肉量，前者會嚴重影響外觀，後者則可能發生食用上安全性之問題，故兩者為決定氯化鈣鹽水浸漬式凍結法成敗之關鍵。

本研究係以鯖魚為主要對象魚種，於 $-18 \sim -45^{\circ}\text{C}$ 氯化鈣鹽水中實施浸漬式凍結，以魚體破裂、氯化鈣滲透量及凍結速度為指標，並與 -42°C 空冷式凍結者比較，以探討其可行性。

材料與方法

一、原料魚：

從基隆市仁愛、和平兩市場購買鮮度良好型態完整的花腹鯖 (*Scomber australasicus*) 43尾、白腹鯖 (*Scomber japonicus*) 2尾以及東方條鯷 (striped bonito, *Sarda orientalis*) 2尾，其尾叉長、體重及肥滿度等列於表1中。

二、藥品：

- (一)氯化鈣：食品級。
- (二)分析用藥品：為特純級以上。

三、試驗方法：

市售新鮮原料魚→採樣→分組→ $-18 \sim -45^{\circ}\text{C}$ 氯化鈣鹽水中浸漬凍結→ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 解凍→測凍結或解凍時間、魚體破裂情形及魚肉中氯化鈣滲透量。

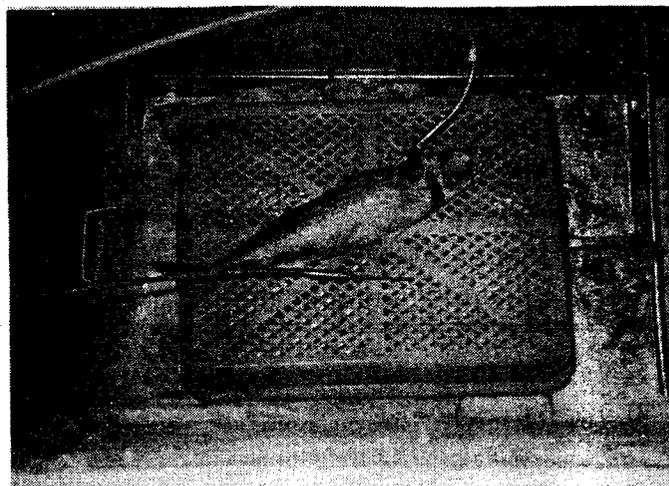
四、測定項目及方法：

- (一)凍結(解凍)速度：以多點式溫度自動記錄器(CHINO 產品)測定魚體中心溫度，繪成溫度和時間之關係曲線(圖1~13)，並比較魚體中心溫度通過 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 和 $0 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 所需之時間，作為速度之比較。
- (二)魚體破裂：就解凍後之魚體，檢視體表有無破裂，如有破裂，則測定其長度和寬度，並記錄其部位。
- (三)氯化鈣滲透量：參照AOAC 的方法測定魚體背肉中氯化鈣含量，方法如下：
 稱10g細碎背肉→加過量(A ml) 0.1N AgNO_3 (Merck) →加20 ml 濃 HNO_3 (Merck) →緩慢加熱沸騰約15min →放冷 →加50ml H_2O 、5 ml $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 飽和溶液 (Merck) →以0.1N NH_4SCN 滴定(B ml) 至呈永久的淡棕色 →另做空白試驗 →計算氯化鈣含量(%) = $(A - B) \times 0.05549\%$ 。

結果與討論

一、凍結(解凍)速度：

全部47個樣品的凍結方式、凍結庫(槽)初溫、凍結前後魚體中心溫度、凍結(解凍)時間等列於表1中。其中樣品1~4為以 $-42 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 靜止空氣(空冷式)凍結(照片1)，樣品5~15及38~47係在空冷式凍結庫中無攪拌器的氯化鈣鹽水中凍結(照片2)，樣品16~37則以有攪拌的冷卻槽中以氯化鈣鹽水凍結(照片3)。圖1~13為部份樣品的凍結(解凍)曲線和氯化鈣鹽水溫度之變動曲線。樣品16~37之氯化鈣鹽水溫度在凍結過程中均保持恆溫(圖6~8)，而樣品5~15及38~47係以冷空氣冷卻鹽水，故鹽水溫度在凍結過程中略有上昇(小於 5°C)之現象(圖2~5, 9~13)。



照片1 靜止空氣式凍結
Plate 1 Still air freezing



照片2 氯化鈣鹽水浸漬式凍結之一
Plate 2 CaCl₂ brine immersion-freezing (I).

表1 鯖魚和東方條鯉的成熟度、凍結條件、解凍時間、氯化鈣滲透量、浸漬狀況以及魚體破裂
 Table 1 The maturity, freezing conditions, thawing time, permeant CaCl₂ content

樣品 編號	樣品 名稱	尾叉長 (公分)	體重 (公克)	成熟度 (公斤/公尺 ³)	採樣時樣 品之狀態	凍結庫或 凍結方法	魚體最初 鹽水之初 溫(°C)	魚體最初 品溫(°C)
No. of sample	Name of sample	Fork length (cm)	Body weight (g)	Maturity (kg/m ³)	State when sampling	Freezing method	Initial temp. of freezer or brine (°C)	Initial temp. of fish body (°C)
1	Mackerel ^a	52.0	511.76	11.7	Iecd	Still air	-42±1.5	16.0
2	"	51.0	537.25	12.7	"	"	"	15.2
3	"	37.7	669.98	12.5	"	"	"	15.0
4	"	37.5	642.91	12.2	"	"	"	16.5
5	"	38.6	700.43	12.2	"	CaCl brine	-36.0	6.5
6	"	34.0	484.08	12.3	"	"	-35.5	12.2
7	"	34.0	525.25	13.4	"	"	-35.4	12.4
8	"	32.4	447.27	13.1	"	"	-35.4	13.6
9	"	35.1	514.81	11.9	"	"	-32.5	6.8
10	"	38.1	686.35	12.4	"	"	-28.8	11.5
11	"	36.6	678.86	14.3	"	"	-28.4	6.6
12	"	32.1	412.01	12.5	"	"	-45.7	10.0
13	"	31.6	407.74	12.9	"	"	-45.5	5.0
14	Bonito ^b	46.5	1593.63	15.8	"	"	-33.8	11.0
15	"	44.0	1223.95	14.4	"	"	-39.5	10.2
16	Mackerel ^c	30.1	331.28	12.2	"	"	-19.0	13.0
17	"	30.8	375.15	12.8	"	"	-19.0	14.0
18	Mackerel ^a	34.0	471.21	12.0	"	"	-18.0	8.0
19	"	34.7	480.10	11.5	"	"	-18.0	9.5
20	"	30.7	321.60	11.1	"	"	-18.0	—
21	"	29.9	311.19	11.6	"	"	-18.0	—
22	"	31.8	368.89	11.5	"	"	-18.0	—
23	"	30.8	312.93	10.7	"	"	-18.0	—
24	"	30.1	288.28	10.6	"	"	-18.0	—
25	"	31.0	336.18	11.3	"	"	-18.0	—
26	"	33.1	438.52	12.1	"	"	-18.0	—
27	"	33.2	437.73	12.0	"	"	-18.0	—
28	"	34.1	455.57	11.5	"	"	-18.0	—
29	"	32.5	421.31	12.3	"	"	-18.0	—
30	"	33.3	463.59	12.6	"	"	-18.0	—

情形

, immersing state, and body breaking of mackerel and striped bonito

魚體最後 品溫(°C)	全部凍結 時間(分) Final temp. of freezing fish body (°C)	魚體品溫自 0°C 至 -10 °C 所需 時間(分) Time for body temp. of fish from 0°C to -10°C (min)	魚體品溫自 0 °C 至 -20°C 所需時間(分) Time for body temp. of fish from 0°C to -20°C (min)	魚體品溫解凍 0 °C 所需時 間(分) Time for body temp. of fish thawing up to 0°C (min)	氯化鈣之 滲透量 (%) Permeant CaCl ₂ content (%)	魚體在塩 水中之浸 漬狀況 Immersing state	魚體破裂 情形 Body breaking 情形
-31.3	410	180	220	—	—	—	No
-31.1	410	200	235	—	0.094	—	No
-31.0	480	205	240	190	—	—	No
-31.8	480	210	255	190	—	—	No
-31.0	395	30	55	220	—	Imperfect	Two locations
-31.0	306	29	35	195	—	"	One location
-30.0	235	17	45	185	—	"	Five locations
-31.9	90	14	21	205	—	Perfect	No
-28.3	90	23	31	215	0.097	"	No
-23.7	100	29	45	178	0.228	"	No
-23.5	110	30	55	181	—	"	No
-38.0	82	10	16	157	0.119	"	No
-36.1	125	18	26	162	—	"	No
-27.2	250	67	85	321	—	Imperfect	Three locations
-30.5	180	48	66	290	—	"	Two locations
-19.0	90	42	80 ^d	—	0.003	Perfect	No
-19.0	135	49	116 ^d	—	0.054	"	No
-18.0	75	28	59 ^d	—	0.068	"	No
-18.0	75	31	61	—	0.069	"	No
-18.0	—	—	—	—	0.198 ^e	"	No
-18.0	—	—	—	—	0.127 ^e	"	No
-18.0	—	—	—	—	0.141 ^f	"	No
-18.0	—	—	—	—	0.209 ^f	"	No
-18.0	—	—	—	—	0.215 ^g	"	No
-18.0	—	—	—	—	0.119 ^g	"	No
-16.0	80	—	—	—	0.133 ^b	"	No
-16.0	80	—	—	—	0.138 ^h	"	No
-16.0	80	—	—	—	0.248 ⁱ	"	No
-16.0	80	—	—	—	0.193 ⁱ	"	No
-16.0	80	—	—	—	0.374 ^j	"	No

表1 鯖魚和東方條鯷的成熟度、凍結條件、解凍時間、氯化鈣滲透量、浸漬狀況以及魚體破裂
Table 1. The maturity, freezing conditions, thawing time, permeant CaCl₂ content

樣品 編號	樣品 名稱	尾叉長 (公分)	體重 (公克)	成熟度 (公斤/公尺 ³)	採樣時樣 品之狀態	凍結庫或 凍結方法	魚體最初 品溫(°C)	凍結庫或
								鹽水之初 溫(°C)
No. of sample	Name of sample	Fork length (cm)	Body weight (g)	Maturity (kg/m ³)	State when sampling	Freezing method	Initial temp. of freezer or brine(°C)	Initial temp. of fish body (°C)
31	Mackerel ^a	33.1	428.65	11.8	Iced	CaCl ₂ brine	-18.0	—
32	"	32.5	339.33	9.9	"	"	-18.0	24.0
33	"	32.0	357.45	10.9	"	"	-18.0	—
34	"	34.0	415.73	10.6	"	"	-18.0	18.0
35	"	32.5	417.45	12.2	"	"	-18.0	—
36	"	33.0	387.21	10.8	"	"	-18.0	5.0
37	"	32.0	373.51	11.4	"	"	-18.0	—
38	"	35.6	551.74	12.2	"	"	-38.0	18.0
39	"	34.4	485.24	11.9	"	"	-38.0	19.0
40	"	45.8	758.43	7.9	"	"	-33.0	12.0
41	"	45.5	699.80	7.4	"	"	-33.0	13.0
42	"	38.2	642.44	11.5	"	"	-28.5	13.0
43	"	39.5	769.32	12.5	"	"	-28.5	12.0
44	"	39.7	673.42	10.8	"	"	-39.0	11.7
45	"	38.5	615.50	10.8	"	"	-39.0	11.7
46	"	36.0	485.55	10.4	"	"	-24.0	19.5
47	"	35.0	458.82	10.7	"	"	-24.0	19.5

a: 花腹鯖。 *Scomber australasicus*.

b: 東方條鯷。 Striped bonito *Sarda orientalis*.

c: 白腹鯖。 *Scomber japonicus*.

d: 魚體最後品溫為-60°C。 the final body temperature was -16°C.

e: 魚體繼續浸在氯化鈣鹽水中2小時，冷凍機仍在作動。

the fish was further immersed in CaCl₂ brine for 2 hours after freezing and the freezer was still operating.

f: 魚體繼續浸在氯化鈣鹽水中4小時，冷凍機仍在作動。

the fish was further immersed in CaCl₂ brine for 4 hours after freezing and the freezer was still operating.

g: 魚體繼續浸在氯化鈣鹽水中6小時，冷凍機仍在作動。

the fish was further immersed in CaCl₂ brine for 6 hours after freezing and the freezer was still operating.

h: 冷凍機停止作動，魚體繼續在氯化鈣鹽水中浸漬2小時。

the freezer was stopped and the fish was further immersed in CaCl₂ brine for 2 hours.

i: 冷凍機停止作動，魚體繼續在氯化鈣鹽水中浸漬4小時。

the freezer was stopped and the fish was further immersed in CaCl₂ brine for 4 hours.

情形(續)

, immersing state, and body breaking of mackerel and striped bonito

魚體最後 品溫(°C)	全部凍結 時間(分)	魚體品溫自0°C 至-10°C所需 時間(分)	魚體品溫自 0°C至-20°C 所需時間(分)	魚體品溫解凍 至0°C所需時 間(分)	氯化鈣之 滲透量 (%)	魚體在鹽 水中之浸 漬狀況	魚體破裂 情形
Final temp. of fish body (°C)	Total freezing time (min)	Time for body temp. of fish from 0°C to -10°C (min)	Time for body temp. of fish from 0°C to -20°C (min)	Time for body temp. of fish thawing up to 0°C (min)	Permeant CaCl ₂ content (%)	Immersing state	Body breaking
-16.0	80	—	—	—	0.149 ^j	Perfect	No
-16.0	70	28	55	—	0.237 ^k	"	No
—	—	—	—	—	0.264 ^k	"	No
-16.0	68	28	52	—	0.133 ^l	"	No
—	—	—	—	—	0.171 ^l	"	No
-16.0	72	38	65	—	0.218 ^m	"	No
—	—	—	—	—	0.111 ^m	"	No
-30.5	130	23	38	—	0.100	"	No
-29.5	130	23	36	—	0.095	"	No
-25.5	120	39	58	—	0.102	"	No
-25.2	120	16	45	—	0.126	"	No
-21.5	130	23	71	—	0.056	"	No
-20.5	130	45	110	—	0.077	"	No
-30.5	75	13	28	—	0.069	"	No
-31.0	75	16	24	—	0.038	Imperfect	One location
-18.5	100	35	70	—	0.047	Perfect	No
-18.2	100	30	75	—	0.154	"	No

j: 冷凍機停止作動, 魚體繼續在氯化鈣鹽水中浸漬6小時。

the freezer was stopped and the fish was further immersed in CaCl₂ brine for 6 hours.

k: 凍結前魚體已在30°C放置1天。

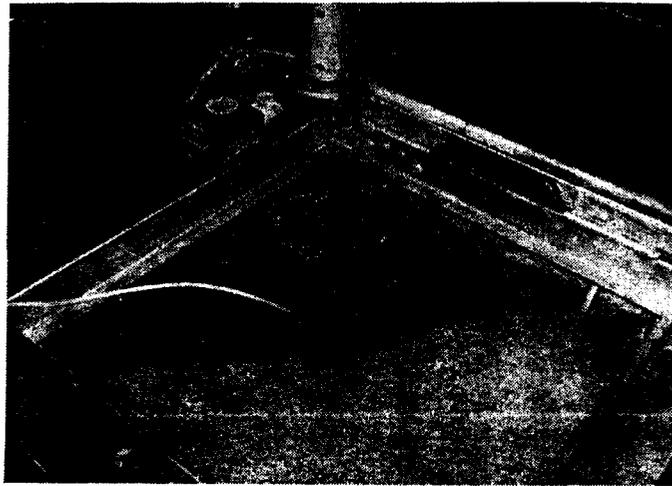
the fish has been placed at 30°C for 1 day before freezing.

l: 凍結前魚體已在20°C放置1天。

the fish has been placed at 20°C for 1 day before freezing.

m: 凍結前魚體已在5°C放置1天。

the fish has been placed at 5°C for 1 day before freezing.



照片3 氯化鈣鹽水浸漬式凍結之二
Plate 3 CaCl₂ brine immersion-freezing (II).

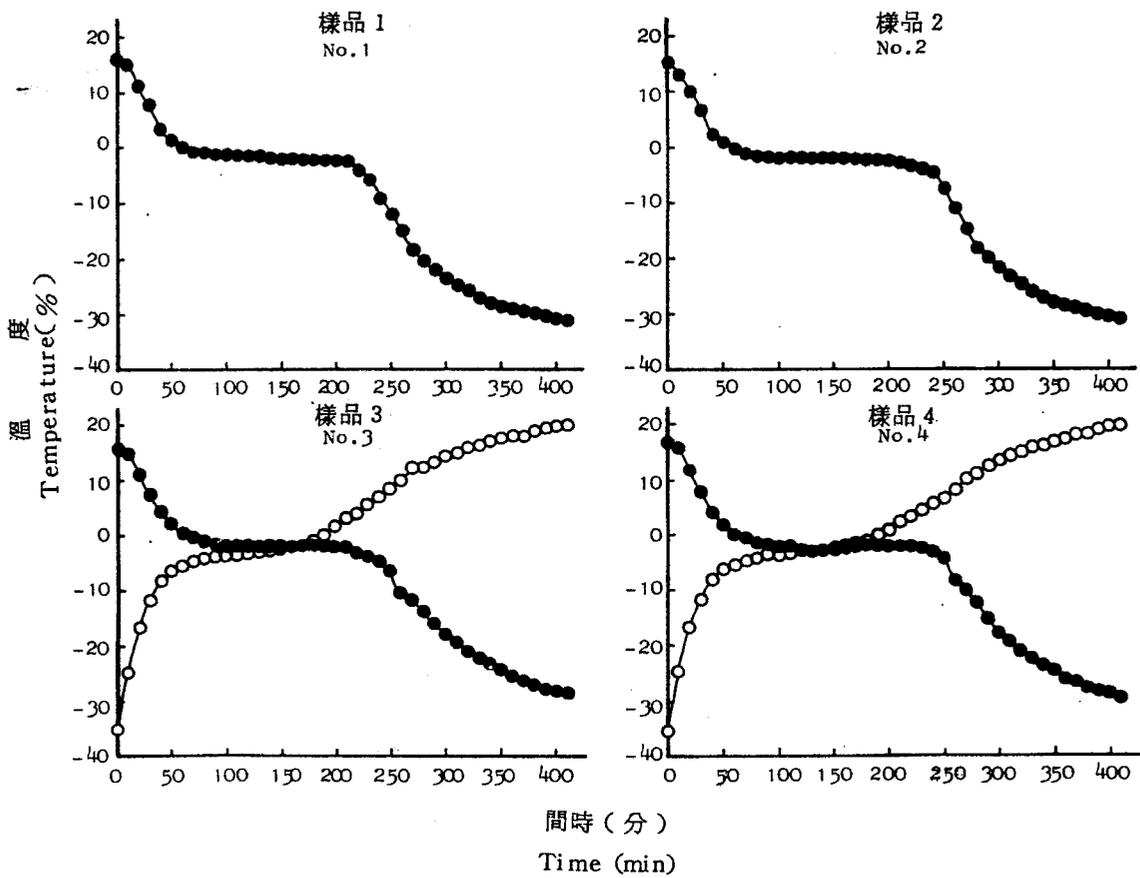


圖1 花腹鯖在-42°C靜止空氣中之凍結曲線及25°C室溫中之解凍曲線
Fig. 1 Freezing and thawing curve of mackerel (*Scomber australasicus*) in still air (-42°C) and at ambient temperature (25°C) respectively.
●—● : Freezing ; ○—○ : Thawing.

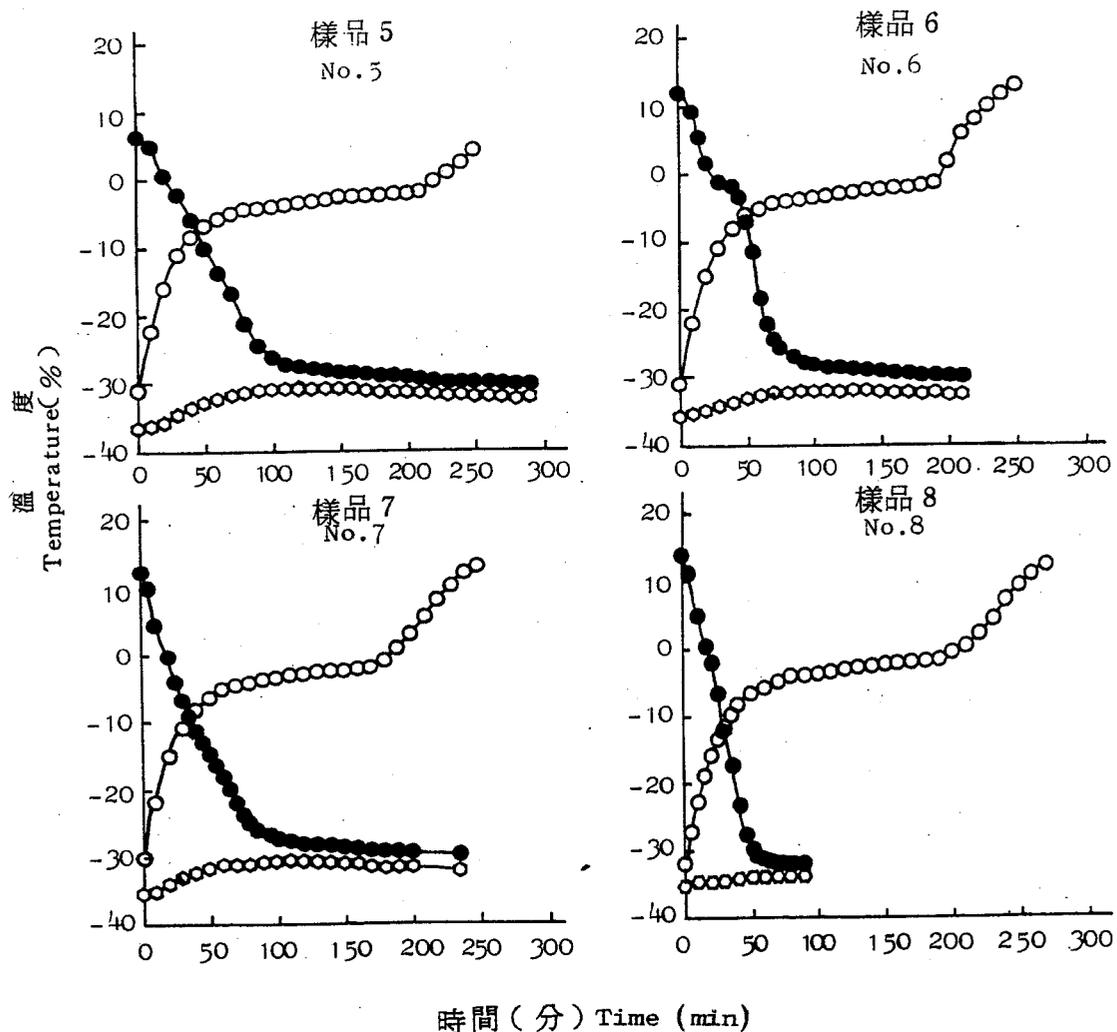


圖 2 花腹鯖在 -35°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線， 25°C 室溫中之解凍曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 2 Freezing curve and thawing curve of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl_2 brine (-35°C) and at ambient temperature (25°C) respectively, and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : Freezing ; ○—○ : Thawing ; ○—○ : Brine.

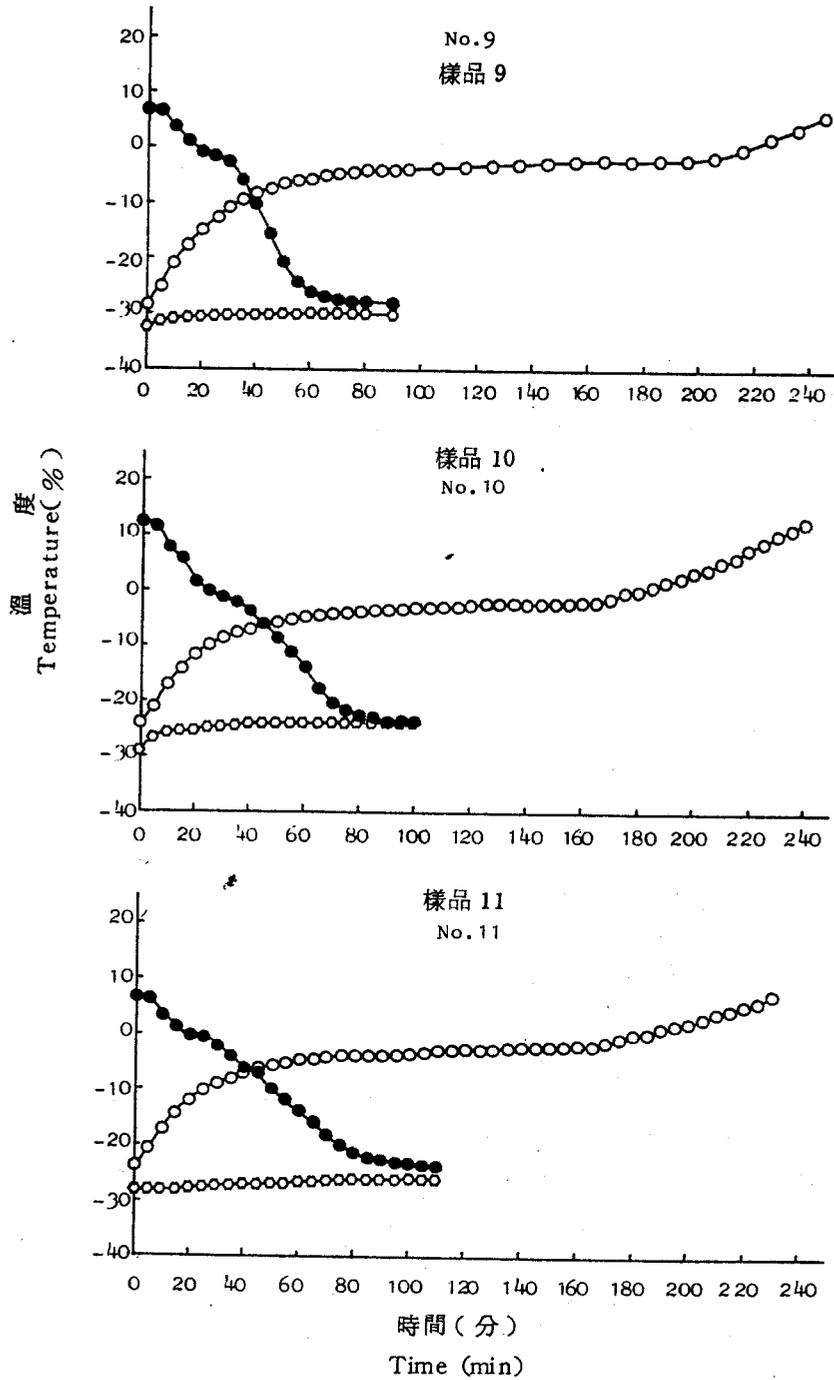


圖3 花腹鯖在 -30°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線， 25°C 室溫中之解凍曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 3 Freezing curve and thawing curve of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl_2 brine (-30°C) and at ambient temperature (25°C) respectively, and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.
 ●—● : Freezing ; ○—○ : Thawing ; ○—○ : Brine.

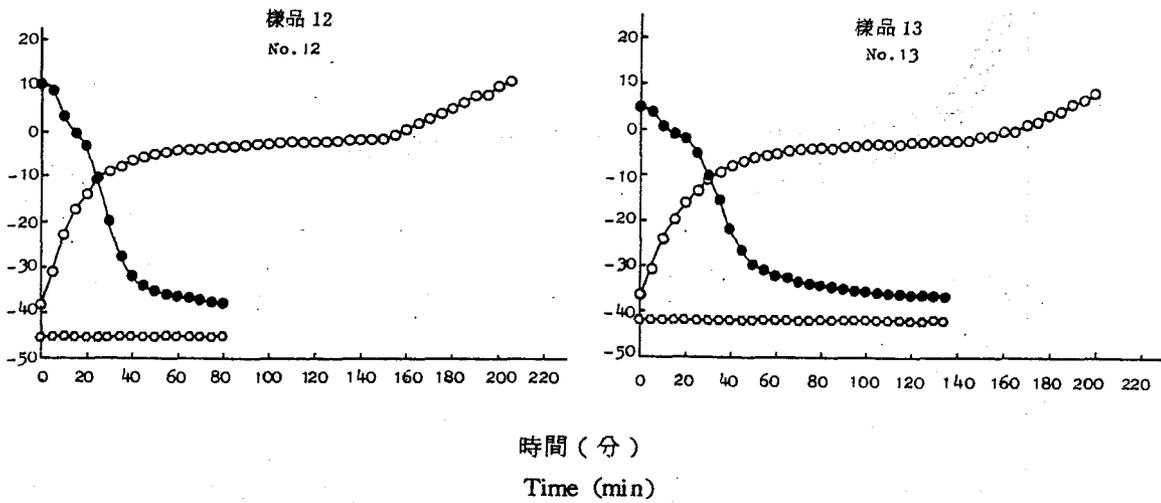


圖 4 花腹鯖在 -42°C 或 -45°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線，在 25°C 室溫中之解凍曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 4 Freezing curve and thawing curve of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl_2 brine (No.12: -45°C ; No.13: -42°C) and at ambient temperature (25°C) respectively, and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : Freezing ; ○—○ : Thawing ; ○—○ : Brine.

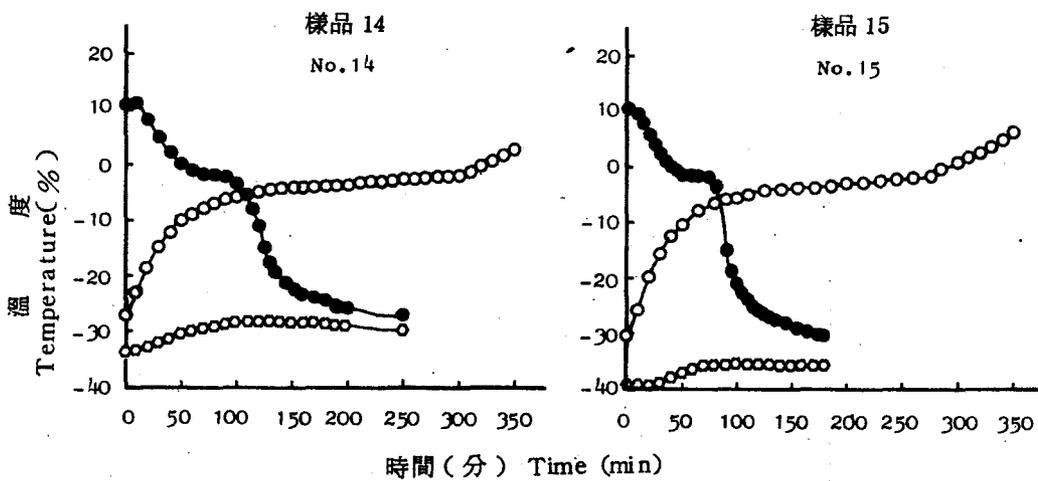


圖 5 東方條鯉在 -35°C 或 -40°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線，在 25°C 室溫中之解凍曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水中之溫度變動曲線

Fig. 5 Freezing curve and thawing curve of striped bonito (*Sarda orientalis*) in CaCl_2 brine (No.14: -35°C ; No.15: -40°C) and at ambient temperature (25°C) respectively, and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : Freezing ; ○—○ : Thawing ; ○—○ : Brine.

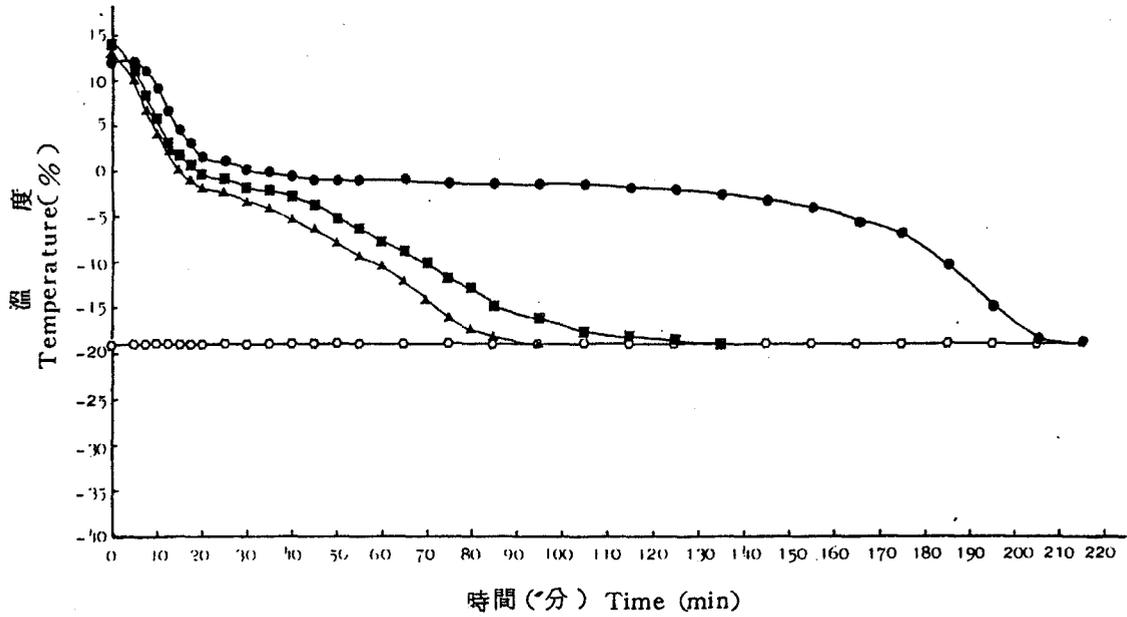


圖 6 白腹鯖在 -40°C 靜止空氣中(對照組)或 -19°C 氯化鈣鹽水中(試驗組)之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 6 Freezing curve of mackerel (*S. japonicus*) in still air (Blank: -40°C) and in CaCl_2 brine (Nos. 17 and 18: -19°C), and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : Blank ; ▲—▲ : No. 17 ; ■—■ : No. 18 ; ○—○ : Brine.

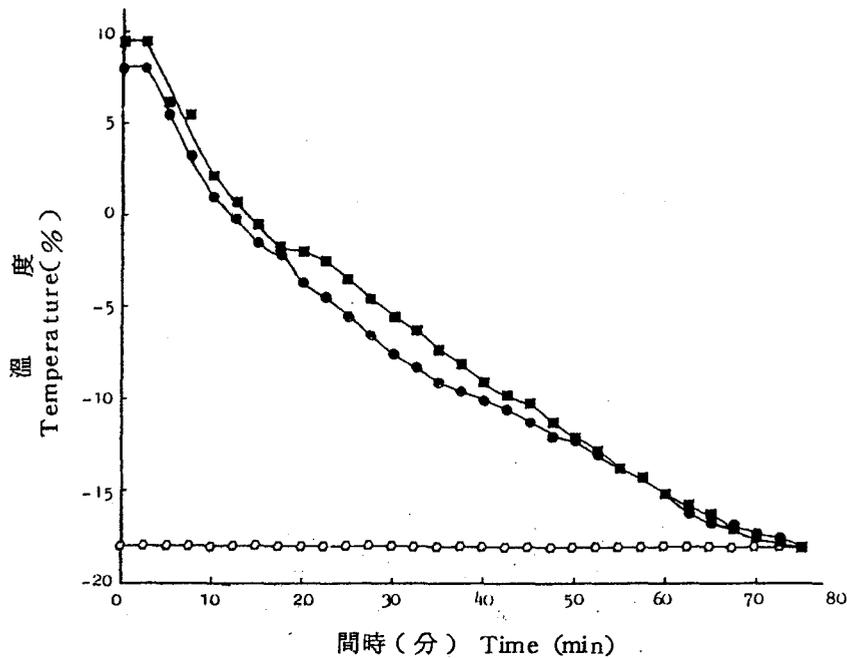


圖 7 花腹鯖在 -18°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 7 Freezing curve of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl_2 brine (-18°C) and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : No. 18 ; ▲—▲ : No. 19 ; ○—○ : Brine.

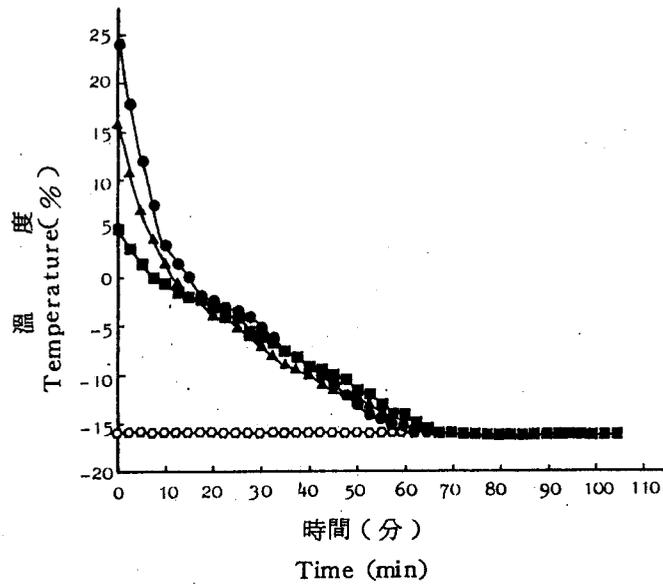


圖 8 花腹鯖先經30°C、20°C或5°C貯存1天後在-16°C氯化鈣鹽水中浸漬時之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 8 Freezing curve of mackerel (*S. australasicus*) with various pre-treatments (No.32: 30°C/1 day; No.34: 20°C/1 day; No.36: 5°C/1 day) before immersing into CaCl₂ brine (-16°C), and the temperature curve of CaCl₂ brine during freezing.

●—● : No.32 ; ▲—▲ : No.34 ; ■—■ : No.36 ; ○—○ : Brine.

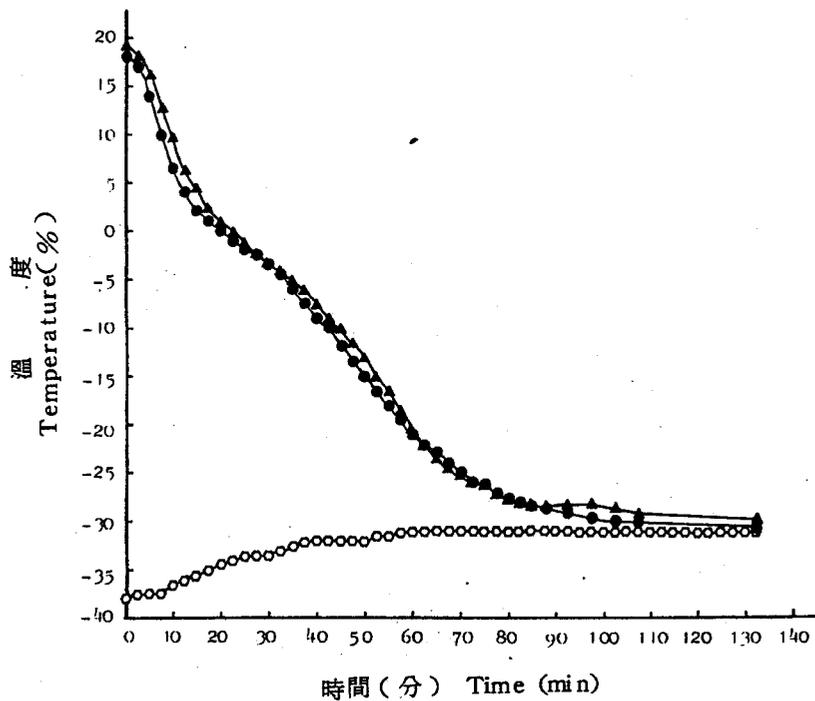


圖 9 花腹鯖在-38°C氯化鈣鹽水中之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig. 9 Freezing curves of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl₂ brine (-38°C) and the temperature curve of CaCl₂ brine during freezing.

●—● : No.38 ; ▲—▲ : No.39 ; ○—○ : Brine.

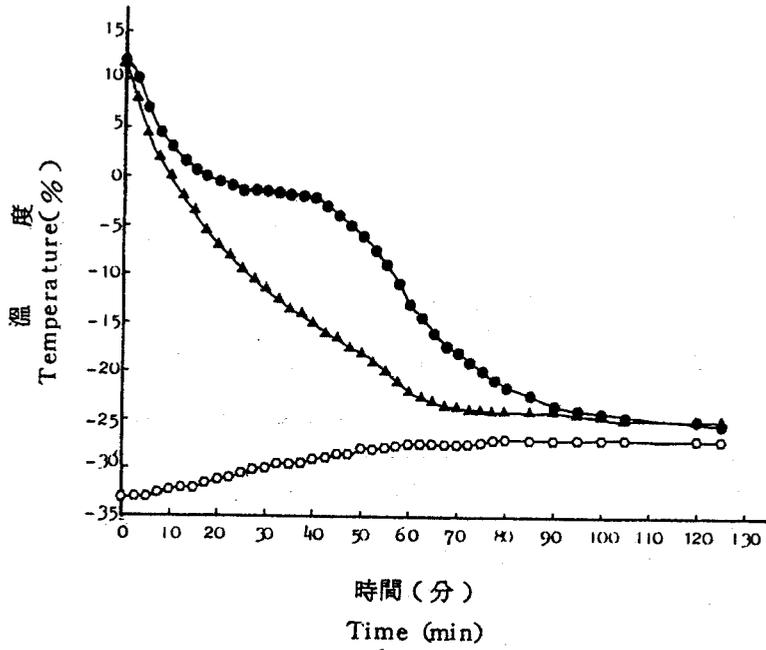


圖10 花腹鯖在-33°C氯化鈣鹽水中之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig.10 Freezing curves of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl₂ brine (-33°C) and the temperature curve of CaCl₂ brine during freezing.

●—● : No.40 ; ▲—▲ : No.41 ; ○—○ : Brine.

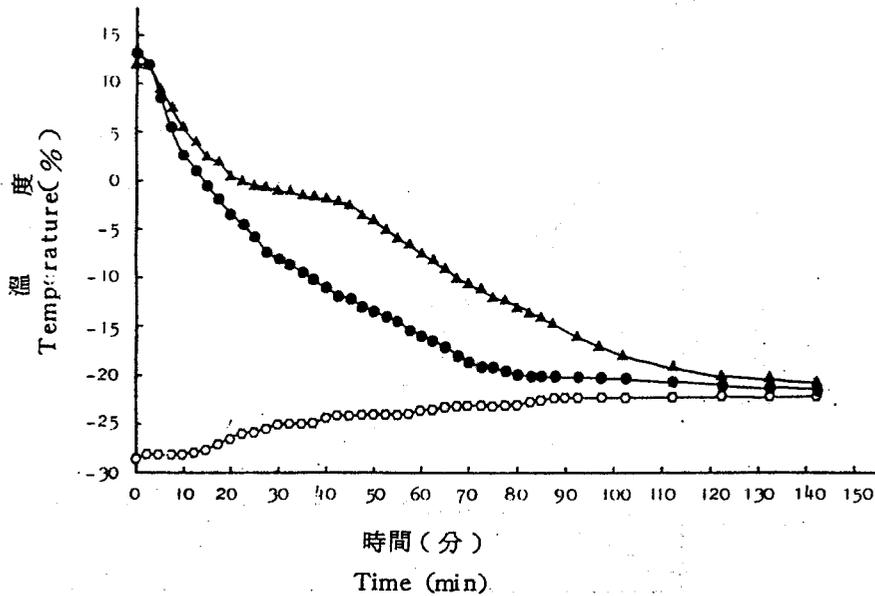


圖11 花腹鯖在-28.5°C氯化鈣鹽水中之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig.11 Freezing curves of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl₂ brine (-28.5°C) and the temperature curve of CaCl₂ brine during freezing.

●—● : No.42 ; ▲—▲ : No.43 ; ○—○ : Brine.

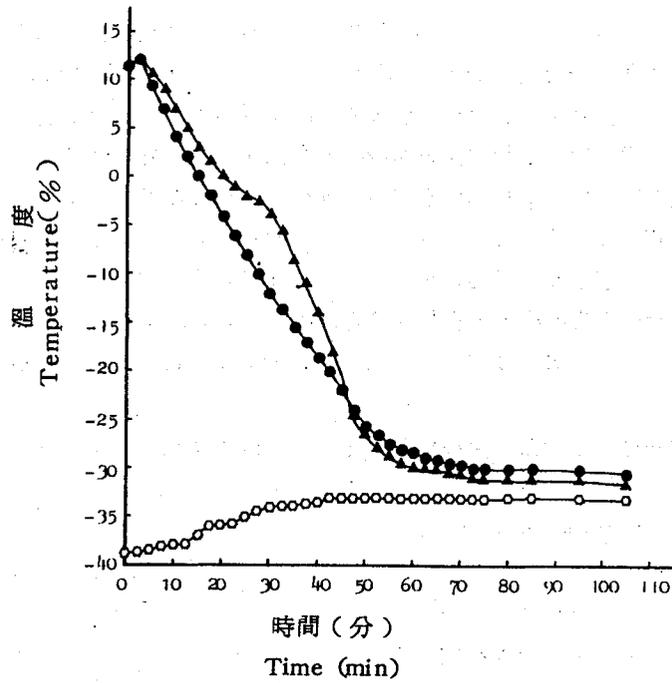


圖12 花腹鯖在 -39°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig.12 Freezing curves of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl_2 brine (-39°C) and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : No.44 ; ▲—▲ : No.45 ; ○—○ : Brine.

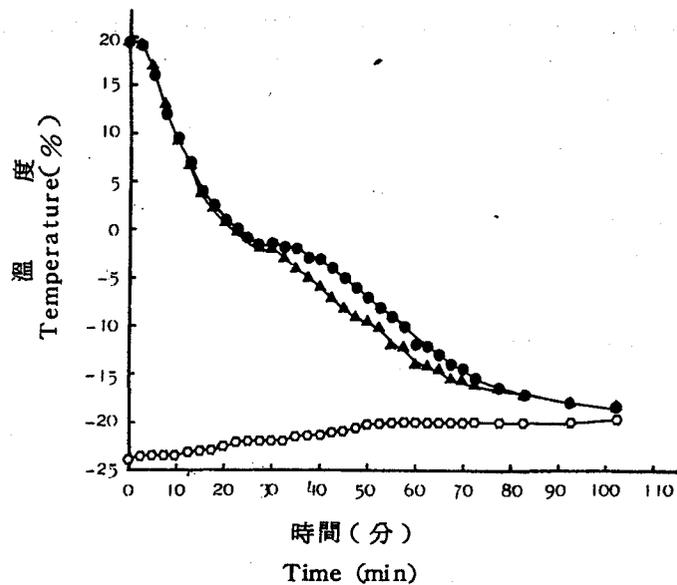


圖13 花腹鯖在 -24°C 氯化鈣鹽水中之凍結曲線及凍結過程中氯化鈣鹽水之溫度變動曲線

Fig.13 Freezing curves of mackerel (*S. australasicus*) in CaCl_2 brine (-24°C) and the temperature curve of CaCl_2 brine during freezing.

●—● : No.46 ; ▲—▲ : No.47 ; ○—○ : Brine.

表 2 係比較 -42°C 空冷式和 $-18 \sim -45^{\circ}\text{C}$ 氯化鈣鹽水浸漬式凍結之凍結速度。魚體中心溫度通過 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 所需之時間，空冷式為 $180 \sim 210 \text{ min}$ ，鹽水浸漬式為 $10 \sim 49 \text{ min}$ ，前者為後者之 $4.3 \sim 21$ 倍。 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 溫度帶一般稱為「最大冰晶生成帶」，通過此溫度帶之時間越短，生成的冰晶細小且多，對魚肉組織之物理性破壞較小，魚肉復元性較好，凍結品品質亦較好，此即急速凍結優於緩慢凍結之點。由於氯化鈣鹽水浸漬式凍結之凍結速度較空冷式為快速，為急速凍結法之一種，其凍結品品質應優於空冷式者。以魚體中心溫度通過 $0 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 之時間比較凍結速度，空冷式為 $220 \sim 225 \text{ min}$ ，鹽水浸漬式為 $16 \sim 116 \text{ min}$ ，前者較後者慢 $2.2 \sim 15.9$ 倍。如以魚體中心溫度達 -20°C 為凍結完成之溫度，則在相同的時間內，氯化鈣鹽水浸漬式凍結法較空冷式凍結法可以處理 2 倍以上的漁獲物。表 2 亦顯示：氯化鈣鹽水的溫度越低時凍結速度越快，例如 -45°C 者比 -18°C 者快 2 倍以上。

表 2 鯖魚實施靜止空氣（空冷）式凍結和氯化鈣鹽水浸漬凍結之凍結速度比較

Table 2. Comparisons on the freezing velocity* of fish frozen by still air and by CaCl_2 brine immersion

魚體品溫 Body temperature of fish	靜止空氣式凍結 Still air freezing -42°C	氯化鈣鹽水浸漬式凍結 CaCl_2 immersion-freezing					
		-45°C	-40°C	-35°C	-30°C	-25°C	-18°C
$0 \sim -10^{\circ}\text{C}$	$180-210^b \text{ min}$	$10-18^c$	$13-23^d$	$14-39^e$	$23-45^f$	$30-35^g$	$28-49^h$
$0 \sim -20^{\circ}\text{C}$	$220-235^b \text{ min}$	$16-26^c$	$24-38^d$	$21-58^e$	$31-110^f$	$70-75^{g1}$	$52-116^{h1}$

a：凍結速度是以魚體品溫通過 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 或 -20°C 所需之時間來判定。

the freezing velocity was estimated by the time of fish body temperature passing through 0°C to -10°C or -20°C .

b：樣品編號 1、2、3 和 4。

sample nos. 1, 2, 3, and 4.

c：樣品編號 12 和 13。

sample nos. 12 and 13.

d：樣品編號 38、39、44 和 45。

sample nos. 38, 39, 44, and 45.

e：樣品編號 5、6、7、8、40 和 41。

sample nos. 5, 6, 7, 8, 40, and 41.

f：樣品編號 9、10、11、42 和 43。

sample nos. 9, 10, 11, 42, and 43.

g：樣品編號 46 和 47。

sample nos. 46 and 47.

h：樣品編號 16、17、18、19、32、34 和 36。

sample nos. 16, 17, 18, 19, 32, 34, and 36.

gi：樣品同 g，但魚體最後品溫為 -18°C 。

samples were the same as in g but the final body temperature of fish was -18°C .

hj：樣品同 h，但魚體最後品溫為 -16°C 。

samples were the same as in h but the final body temperature of fish was -16°C .

將凍結後之魚體置於 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 靜止空氣中，解凍至中心溫度達 0°C 所需之時間，空冷式和氯化鈣鹽水浸漬式凍結者（樣品3~4及5~13）都大致相同（表1）。

三魚體破裂：

如前述可知，氯化鈣鹽水浸漬式凍結法為一種急速凍結的方法。鯖鯉如未預冷或均溫處理而直接以 -45°C 氯化鈣鹽水浸漬凍結，在背部側線附近和腹部很容易發生破裂，嚴重影響外觀，降低商品價值⁽³⁾⁽⁶⁾。

再浸漬於3~5%氯化鈣溶液中，此時由於鈉和鈣的交換作用，乃產生一層褐藻酸鈣之保護膜，而阻止了凍結過程中氯化鈣的滲透。

表1中47個樣品經測定其中36個樣品的氯化鈣滲透量，發現都低於0.5%，比1%的允許添加量為低，故可認為這些樣品均無食用上安全性之問題。

表3是以樣品20~25在 -18°C 氯化鈣鹽水中浸漬凍結後，冷凍機繼續運轉，於2、4、6小時後取出測定背肉中氯化鈣的滲透量，分別為0.162%、0.175%及0.167%，顯然其量並不會隨時間而增加。但若將這些樣品未經水洗裝入塑膠袋，在 5°C 放置1天，結果氯化鈣滲透量分別增加至0.450%（平均值）。此一結果顯示：附着在魚體表面上的氯化鈣在魚體回溫或解凍過程中會滲入魚肉中，故在凍結完成後或在解凍前應先用水洗淨魚體表面以防氯化鈣滲入魚肉中。

表3 鯖魚在 -18°C 氯化鈣鹽水中浸漬凍結並繼續置於鹽水中2~6小時，以及其後未經水洗而在 5°C 放置1天後背肉中氯化鈣之滲透量

Table 3 Permeant CaCl_2 contents in the dorsal muscle of mackerel after immersion-freezing in -18°C CaCl_2 brine and further standing in the brine for 2-6 hours, and thereafter putting them without washing at 5°C for 1 day

凍結後之處理 Treatment after freezing	氯化鈣滲透量 Permeant CaCl_2 content (%)						平均值 Average
	No.20	No.21	No.22	No.23	No.24	No.25	
1 ^a	0.198	0.127					0.162
2 ^b			0.141	0.209			0.175
3 ^c					0.215	0.119	0.167
4 ^d	0.450	0.448	0.446	0.451	0.451	0.451	0.450
平均值 Average (%)	0.449		0.449		0.451		

a：再浸漬於氯化鈣鹽水中2小時。

immersed further in CaCl_2 brine for 2 hours.

b：再浸漬於氯化鈣鹽水中4小時。

immersed further in CaCl_2 brine for 4 hours.

c：再浸漬於氯化鈣鹽水中6小時。

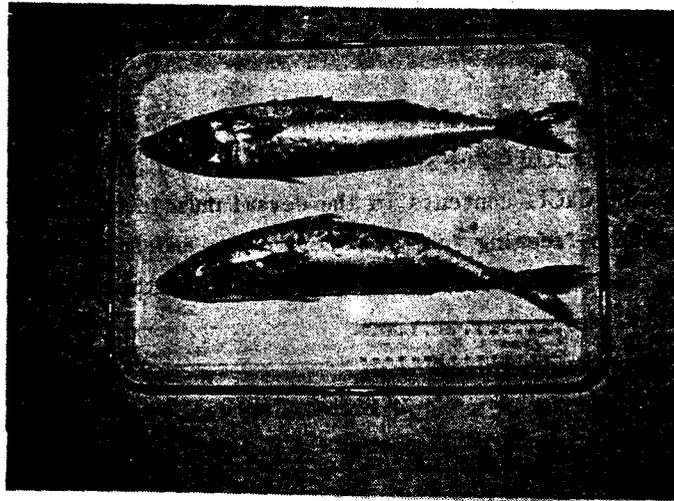
immersed further in CaCl_2 brine for 6 hours.

d：與1、2、3同樣處理後，不經水洗而在 5°C 放置1天。

same treatment as in 1,2 and 3, and put them without washing at 5°C for 1 day.

魚體破裂之原因，乃由於急速凍結的關係，魚體表層肉的水分先形成冰結晶，顆粒極細又堅硬，其後內層肉的水分亦成爲冰結晶，產生膨脹壓，此一膨脹壓累積到某一程度時，便向魚體最脆弱之部位（側線和腹部）移動，像火山爆發似的衝出魚體外面，導致魚體破裂。

從表 1 可知，以 -42°C 靜止空氣（空冷式）凍結者，魚體均不發生破裂，但以氯化鈣鹽水凍結者有 6 個樣品（5、6、7、14、15、45）則發生破裂（照片 4），其他 37 個樣品則否。造成此等差異之原因，乃空冷式之凍結速度較氯化鈣鹽水式慢（表 2），而氯化鈣鹽水式樣品間之差異則與魚體是否完全浸入鹽水中有很密切的關係。由於比重的不同，凍結時魚體易漂浮在鹽水中，露出或靠近液面的魚肉溫度較其他部位稍高，成爲較慢凍結之部位。如前所述，冰結晶生成時會產生膨脹壓，這些部位（恰好都在側線附近）便容易被衝破而使魚體破裂。但是魚體如果完全浸入鹽水中，各部位便沒有溫度梯度存在，凍結速度較一致，而且鯖魚之體型較鮭魚爲小，故不會發生破裂，亦不必像鮭魚在凍結前必需實施預冷或均溫處理⁽⁶⁾，故操作亦較簡單，容易進行。



照片 4 魚體破裂情形。上：無破裂；下：有破裂。

Plate 4 Body breaking of fish.

Up: No breaking; Down: Serious breaking.

此外，從表 1 亦可得知：魚體破裂跟魚的鮮度、肥滿度、初溫、凍結速度、凍結時間或氯化鈣鹽水的溫度無關。

氯化鈣滲透量：

純的氯化鈣具有特殊的苦味，口服時會產生厭惡感或嘔吐，但毒性很弱，食品中允許的添加量爲 1% 以下⁽¹⁾⁽⁷⁾，生魚片中氯化鈣含量低於 1% 時感覺不出其苦味⁽⁷⁾。

以氯化鈣鹽水實施鮭魚之浸漬式凍結時，爲阻止氯化鈣附着在魚體表面或滲入魚肉，首先應防止魚體發生破裂（預冷、均溫處理法或肛門切開法），其次在凍結後應將魚體洗淨。對鯉魚亦有使用一種含有褐藻酸的被覆劑之水溶液，先將魚體浸入此液中，使其附着在魚體表面上，然後取出

在凍結完成後，關掉冷凍機，令氯化鈣鹽水回溫，於 2、4、6 小時後魚體中心溫度分別為 -16、-15 及 -14°C，雖然溫度差異很小，但氯化鈣滲透量却有增加之傾向，分別為 0.136%、0.220% 及 0.262% (表 4)。又將這些樣品 (26~31) 如前述一樣處理後，在 5°C 放置 1 天，結果氯化鈣滲透量分別增加到 0.397%、0.461% 及 0.559%，此一結果亦證明前述之推論，即在凍結完成後或解凍前應先用水洗淨魚體表面，但 Ogawa⁹⁾ 則只指出在凍結後用水洗淨魚體表面之必要性。此外，凍結後之魚體不可任其回溫，應在水洗後迅速移至較低溫之冷凍庫中凍藏。

表 4 鯖魚在 -18°C 氯化鈣鹽水中浸漬凍結完成後關掉冷凍機而魚體仍在鹽水中繼續浸漬 2~6 小時，以及其後未經水洗而在 5°C 放置 1 天，魚體背肉中氯化鈣之滲透量

Table 4 Permeant CaCl₂ contents in the dorsal muscle of mackerel after freezing in -18°C CaCl₂ brine and stopping freezing while the fish still immersing in the brine for 2-6 hours, and thereafter putting them without washing at 5°C for 1 day

凍結後之處理 Treatment after freezing	氯化鈣滲透量 Permeant CaCl ₂ content (%)						平均值 Average
	No.26	No.27	No.28	No.29	No.30	No.31	
1 ^a	0.133	0.138					0.136
2 ^b			0.248	0.139			0.220
3 ^c					0.374	0.149	0.262
4 ^d	0.453	0.340	0.461	0.461	0.672	0.445	0.472
平均值 Average	0.397		0.461		0.559		

- a : 凍結完成後關掉冷凍機，魚體仍浸在氯化鈣鹽水中 2 小時，此時魚體品溫為 -16°C。
turned off the freezer after freezing and the fish were further immersed in CaCl₂ brine for 2 hours. Body temperature of fish were -16°C.
- b : 凍結完成後關掉冷凍機，魚體仍浸在氯化鈣鹽水中 4 小時，此時魚體品溫為 -15°C。
turned off the freezer after freezing and the fish were further immersed in CaCl₂ brine for 4 hours. Body temperature of fish were -15°C.
- c : 凍結完成後關掉冷凍機，魚體仍浸在氯化鈣鹽水中 6 小時，此時魚體品溫為 -14°C。
Turned off the freezer after freezing and the fish were further immersed in CaCl₂ brine for 6 hours. Body temperature of fish were -14°C.
- d : 與 1、2、3 同樣處理後，不經水洗而在 5°C 放置 1 天。
same treatments as in 1,2 and 3 and further put them without washing at 5°C for 1 day.

為瞭解鮮度不同的原料魚以相同方法凍結後，魚肉中氯化鈣滲透量是否有差異，乃將樣品32~37分別在30°C、20°C及5°C中放置一天，官能判定分別為腐敗（樣品32、33）、初期腐敗（樣品34、35）及新鮮（樣品36、37），然後以-18°C氯化鈣鹽水浸漬凍結。當魚體中心溫度達-16°C時取出，測定背肉中氯化鈣之滲透量，結果示於表5，分別為0.250%、0.152%及0.164%，顯然腐敗時氯化鈣滲透量較多，但初期腐敗前並無明顯的差異。此一結果並不表示魚體只要未腐敗便不會增加氯化鈣的滲透量，相反地，應該在漁獲後儘快實施凍結處理，以免鮮度降低而影響產品品質。

表5 鯖魚在-18°C氯化鈣鹽水中浸漬凍結前，不同的處理對其背肉中氯化鈣滲透量之影響
Table 5 Effect of different treatment on the permeant CaCl₂ content in the dorsal muscle of mackerel before immersion-freezing in -18°C CaCl₂ brine

凍結前之處理 Treatment before freezing	氯化鈣滲透量 permeant CaCl ₂ brine (%)						平均值 Average
	No.32	No.33	No.34	No.35	No.36	No.37	
1 ^a	0.237	0.264					0.250
2 ^b			0.133	0.171			0.152
3 ^c					0.218	0.111	0.164

a：樣品32和33係在30°C放置1天，以官能判定為腐敗。

the samples were put at 30°C for 1 day and were estimated as putrid by organoleptic test.

b：樣品34和35係在20°C放置1天，以官能判定為初期腐敗。

the samples were put at 20°C for 1 day and were estimated as initially putrid by organoleptic test.

c：樣品36和37係在5°C放置1天，以官能判定為新鮮。

the samples were put at 5°C for 1 day and were estimated as fresh by organoleptic test.

摘 要

將市售新鮮的鯖魚浸漬於-18~-45°C氯化鈣鹽水中凍結，以凍結速度、魚體破裂及氯化鈣滲透量作為其可行性判定之指標，並與空冷式凍結法比較。結果如下：魚體中心溫度通過0~-10°C及0~-20°C之時間，氯化鈣鹽水浸漬式凍結者分別為空冷式（-42°C）凍結者之1/4.3~1/21及1/2.2~1/15.9，故凍結速度較空冷式快2倍以上。氯化鈣鹽水溫度較低者凍結速度較快，如-45°C者較-18°C者快2倍以上。魚體只要完全浸入氯化鈣鹽水中，即可避免破裂。魚體之破裂與魚

的鮮度、肥滿度、初溫、凍結速度、凍結時間及氯化鈣鹽水之溫度都無關。背肉中氯化鈣之滲透量都低於 0.5%，故無食用上安全性之顧慮。為防止氯化鈣滲透量之增加，在凍結完成後或解凍前應用水洗淨魚體表面，漁獲後應立刻實施凍結處理，不必預冷或均溫處理。綜合上述結果可知：鯖魚以氯化鈣鹽水實施浸漬式凍結具有可行性。

謝 辭

本試驗進行中，承蒙李所長燦然博士和陳秘書茂松之關懷，前加工系主任賴永順先生之指導和鼓勵，以及陳登和、熊文俊兩位先生之協助，得以完成，謹致謝意。

參考文獻

1. Ogawa, Y. (1981). On the calcium chloride brine-freezing system aboard tuna fishing boats (I). Refrigeration, Tokyo, **56(649)**, 89-100.
2. William Horwitz (1980). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 289-290.
3. Ogawa, Y., Konagawa, T. and Tsuge, K. (1983). On the CaCl₂ brine-immersion freezing system aboard tuna fishing boats (II). Refrigeration, Tokyo, **58(663)**, 45-56.
4. Ogawa, Y., Konagaya, T., Nishikawa, M., and Hasegawa, K. (1983). On the CaCl₂ brine-immersion freezing system aboard tuna fishing boats (III). Refrigeration, Tokyo, **58(673)**, 53-67.
5. Ogawa, Y., Konagawa, T., Nishikawa, M., and Hasegawa, K. (1984). On the CaCl₂ brine-immersion freezing system aboard tuna fishing boats (IV). Refrigeration, Tokyo, **59(684)**, 21-36.
6. Ogawa, Y. (1986). On the CaCl₂ brine-immersion freezing system aboard tuna fishing boats (V). add: Studies on application of freezing to food processing. Refrigeration, Tokyo, **61(199)**, 3-17.
7. Kuwano, K. (1984). Effect of sodium alginate coating on CaCl₂ brine-immersion freezing of fish. Refrigeration, **59(685)**, 25-36.