

## 水稻 冷害에 關聯된 生理的 特性 考察

石順鍾\* · 許一鳳\* · 任正男\*

### Physiological Characteristics Related to Cold Injury in Rice

Soon Jong Seok\*, Il Bong Hur\*, and Jeong Nam Im\*

**ABSTRACT** : Cold stress influence plant growth through a wide range of growth characters. Adverse effects of low temperature to plant growth come from results of colligative and complex physiological responses to cold stress. To evaluate more exactly cold tolerance of crop plant, it is needed to observe physiological changes induced by cold stress and to analyze relationships between intraspecific variations in physiological factors related to cold tolerance and the extent of cold tolerance in the field. Therefore, the composition and unsaturation ratio of fatty acids in phospholipid, a constituent of membrane, the transition-temperature in respiratory activity of mitochondria, the chlorophyll fluorescence as a factor related to photosynthesis were investigated in rice plant and data on these factors were compared with the degree of cold tolerance obtained in the field experiment. Also, effects of hardening and Mn<sup>++</sup> treatment were evaluated as a method to reduce chilling injuries.

The unsaturation ratio of fatty acids, whether rice plants were grown in a natural condition or under the chilling stress, was higher in the cold-tolerant varieties and was significantly correlated with the degree of cold tolerance(1-9) observed in the field experiment. And it was also increased by chilling treatment or hardening treatment, due to a reduction in palmitic acid content and an increase in linolenic acid content.

The transition-temperature of respiratory activity of mitochondria isolated from etiolated rice seedlings (25°C, two week-grown in the dark), was correlated with the degree of cold tolerance in the field, cold-tolerant varieties showing a lower transition-temperature. It was not influenced by growth stages. The intensity of chlorophyll fluorescence was highly correlated with the degree of cold tolerance, cold-tolerant varieties having a higher fluorescence intensity. By foliar application of Mn, the transition-temperature of respiratory activity was lowered as much as 0-2°C in all tested varieties. Soil application of Mn induced more significant effect in cold-susceptible varieties with a possibility of reducing chilling injuries.

On the whole, there were high correlations among the degree of cold tolerance, the unsaturation ratio of fatty acids in phospholipid, the transition-temperature of respiratory activity and chlorophyll fluorescence except for a few varieties. The transition-temperature of respiratory activity appeared to be negatively correlated with the unsaturation ratio of fatty acids, and the chlorophyll fluorescence to be positively correlated with the unsaturation ratio. This implies that these physical and physiological factors were very closely related to cold tolerance and can be used as an effective index of the evaluation of cold tolerance of crop plant. But other factors as well as three factors discussed above are needed to be considered colligatively and altogether with a systematic analysis for the more exact evaluation of cold tolerance in rice cultivars.

---

\* 農業技術研究所 (Agricultural Sciences Institute, RDA, Suwon 441-100, Korea)

作物의 生育條件 中에서 溫度는 가장 重要한 因子의 하나이다. 水稻는 熱帶原産이지만 熱帶에서 溫帶地方에 이르는 廣範圍한 地域에서 栽培되고 있으며, 이러한 栽培特性은 넓은 氣候地帶에 걸친 높은 適應性을 나타낸다고 볼 수 있다. 그러나 水稻는 그들의 成長에 적정한 溫度範圍를 가지며, 溫度가 너무 높거나 낮으면 生育에 適合하지 못하다. 特히 低溫에 의한 被害는 高緯度地方 뿐만 아니라 溫帶地方, 低緯度地方에서도 標高가 높은 地域에서 發生되기도 한다. 水稻生育에 대한 溫度의 影響은 아주 복잡하여 生理的 狀態와 植物體의 部位에 따라서 다르며, 生育段階, 品種, 栽培方法 등과 栽培環境에 따라서 큰 差異를 나타내는 것으로 알려져 있다.<sup>3,4,16,24,40)</sup>

水稻作을 中心으로 하는 우리 나라에서는 低溫에서도 冷害를 입지 않는 耐冷性 品種의 育成을 위한 신속하고 精確한 耐冷性 檢定方法이 要求된다. 水稻 耐冷性 品種 育成을 위한 品種選拔 試驗이 춘천, 진부, 운봉 등지에서 행하여지고 있으며 圃場에서 여러 形質을 對象으로 大量 檢定을 할 수 있는 잇점은 있으나 自然狀態의 氣溫에 依存하므로 年次變異, 季節變異 등을 克服할 수 없는 問題點을 가지고 있다. 이와 같이 耐冷性 品種을 選拔하기 위하여 圃場에서 水稻를 栽培할 環境, 環境의 調節이 어려울 뿐만 아니라 耕作, 栽培, 調査 등에 많은 時間과 勞力이 要求된다. 또한 栽培環境과 生育時期에 따라서 耐冷性的 發現程度가 相異하게 나타날 수도 있다.

圃場試驗에서 水稻 耐冷性을 調査하는 形質로서는 生育初期에는 低溫에 의한 生理現象의 變化로서 發芽性<sup>4,16,40)</sup> 苗變色程度<sup>21,40,41)</sup> 分蘖力<sup>4,40)</sup> 養分吸收力<sup>2,3,4,16)</sup> 등을 調査하고, 生育後期에는 出穗遲延程度<sup>4,21,24,39)</sup> 幼穗分化障害<sup>3,4,40)</sup> 開花受精障害<sup>16,24,38)</sup> 登熟障害<sup>4,16,24)</sup> 稈長短縮率<sup>24,40)</sup> 등 外形의 所以로 나타나는 冷害現象을 調査하게 된다. 冷害發現은 어느 한가지 因子만으로 發現되는 것이 아니고 여러가지 因子의 複合的인 發現으로 나타나기 때문에 耐冷性檢定에 어려움이 있다. 따라서 作物의 冷害 臨界溫度 附近의 細胞膜, 細胞內容物의 物理的, 化學的 變化를 定量的으로 檢定하여 耐冷性程度를 數值化한 基準을 定하는 것이 바람직하다.

이러한 觀點에서 本稿에서는 水稻體 生體膜의 構成物質로서 重要한 役割을 하는 磷脂質의 脂肪

酸組成과 脂肪酸의 不飽和比率, 生體의 가장 重要한 代謝過程의 하나인 呼吸에 關聯된 特性인 mitochondria의 呼吸活性 轉移溫度, 光合作用과 關聯된 葉綠素의 螢光強度 등 여러 生化學的인 因子들과 耐冷性과의 關係를 檢討하고 水稻 耐冷性 品種 選拔 및 冷害輕減에 對한 研究結果를 綜合하여 提示하고자 하는 바이다.

### 1. 磷脂質의 脂肪酸組成과 耐冷性과의 關係

溫度에 敏感한 植物이 冷害溫度에 露出될 때 일어나는 生理的 攪亂과 mitochondria膜의 構造와 機能사이에는 높은 相關이 있다는 것이 밝혀졌으며, 이것은 膜脂質의 liquid crystalline에서 solid gel狀態로 되는 分子構造에서 일어나는 溫度由來의 相轉移에 基因하며 冷害의 一次的 被害라는 假說을 갖게 되었다.<sup>27)</sup> 磷脂質은 生體膜을 構成하는 主成分으로 植物의 生理作用에 重要한 役割을 하는데 磷脂質의 脂肪酸組成과 耐冷性과의 關係에 대한 報告는 많으며, Tajima는 벼, 옥수수 등 南方型 作物들이 牧草, 보리 등 北方型 作物들보다 脂肪酸의 不飽和도가 낮고, 作物을 高溫에서 生育시키다가 低溫으로 溫度를 낮추어 주면 不飽和도가 增加한다고 하였다.<sup>53,54)</sup> Ichihara<sup>18)</sup>는 32°C와 10°C에서 자란 잇꽃의 飽和脂肪酸 含量은 29.4%, 9.3%로 顯著한 差異를 보였으며, St. John<sup>20)</sup>은 목화씨를 15, 20, 25, 30°C에서 發芽시킬 때 낮은 溫度에서 linolenic acid가 增加되었는데, 이는 幼苗의 耐冷性과 關聯이 있다고 하였고, Kleinschmidt<sup>22)</sup>는 藻類(algae)를 20°C와 55°C에서 培養하였을 때 不飽和脂肪酸의 比率는 3배의 差異를 보였으며, linolenic acid의 含量은 20°C 培養細胞에서는 30%나 되었으나 55°C에서 培養한 細胞에서는 檢出되지 않았다고 하였다.

#### 가. 水稻品種의 脂肪酸組成 變化

常溫에서 生育시킨 水稻苗의 磷脂質 脂肪酸組成을 表 1에서 보면 品種間 差異없이 palmitic acid(C<sub>16:0</sub>), linoleic acid(C<sub>18:2</sub>) 및 linolenic acid(C<sub>18:3</sub>)가 構成비가 높은 主 脂肪酸이고, 그 외에 palmitoleic acid(C<sub>16:1</sub>), stearic acid(C<sub>18:0</sub>)가 낮은 構成비를 나타낸다. 脂肪酸組成은 品種間에 뚜렷한 差異를 보이지 않고 있으며 자포니카品種과 統一型品種을 비교하여 보면 飽和脂肪酸인 palmitic acid의 含量은 자포니카品種

**Table 1.** Fatty acid composition of phospholipid and unsaturation ratio of the phospholipid in rice cultivars. (Natural condition)

Cultivar	Fatty acid composition						Unsat./** Sat. ratio	Cold tolerance (Seedling stage)
	Palmitic (16:0)	Palmitol. (16:1)	Stearic (18:0)	Oleic (18:1)	Linoleic (18:2)	Linolenic (18:3)		
Chucheong (J)**	23.9	3.7	1.6	4.8	33.6	32.4	2.78	2
Yeomyeong (//)	24.9	4.2	1.5	5.1	32.3	32.1	2.79	1
Odae (//)	26.2	3.7	1.9	6.3	33.1	28.7	2.56	1
Sobaek (//)	24.0	5.2	1.6	4.8	33.7	30.7	2.91	2
Namyang 3 (//)	23.9	6.0	1.5	4.3	30.4	33.9	2.94	1
Suweon 346 (//)	24.7	4.3	1.6	4.5	30.7	34.2	2.80	2
Suweon 345 (//)	24.3	6.0	1.9	4.6	30.5	32.6	2.82	1
Daegwan (//)	24.5	4.6	1.8	6.0	33.9	39.2	2.80	1
Hwaseong (//)	23.9	4.4	1.9	4.8	34.1	30.9	2.87	2
Mean	24.5	4.7	1.7	5.0	32.5	31.6	2.81	1.4
Yongmun (T)	25.7	3.5	1.5	5.3	34.4	29.6	2.68	7
Namyong (//)	26.4	4.1	1.5	5.1	33.9	28.9	2.58	6
Cheongcheong (//)	25.5	3.6	1.6	5.6	33.1	30.6	2.69	5
Hangangchal (//)	25.4	3.4	1.7	5.9	35.6	28.0	2.69	7
Samgang (//)	26.6	4.0	1.7	5.5	33.7	28.6	2.53	7
Yongju (//)	28.1	4.0	1.6	5.5	32.3	28.5	2.37	7
Milyang 23 (//)	27.0	4.4	1.6	6.1	32.6	28.3	2.50	6
Taebaek (//)	26.7	4.4	1.8	5.7	31.5	29.8	2.51	7
Nampung (//)	27.1	4.2	1.6	5.3	33.5	28.3	2.48	6
Gaya (//)	26.8	3.8	1.5	5.8	34.2	27.9	2.53	7
Suweon 339 (//)	26.1	4.9	1.5	5.5	33.4	28.7	2.62	5
Pungsan (//)	25.2	4.8	1.6	5.7	33.2	29.4	2.73	5
Mean	24.6	4.1	1.6	5.6	33.5	28.9	2.58	6.3

\* Ecotype : J (Japonica rice), T (Tongil type rice)

\*\* Unsaturated/saturated ratio = %16:1 + %18:1 + %18:2 + 18:3 / %16:0 + %18:0

은 24.5%, 統一型은 26.4%로서 약간 높고, 不飽和脂肪酸인 linolenic acid는 자포니카品種이 31.6%이고, 統一型品種은 28.9%로서 다소 낮은 경향이였다. 그리고 不飽和 脂肪酸에 對한 飽和 脂肪酸의 比率, 즉 脂肪酸의 不飽和比率는 자포니카品種이 2.81로서 統一型品種의 2.58에 比하여 약간 높다. 脂肪酸의 融點은 一般的으로 2重 結合數의 增加에 따라 낮아지는데 palmitic acid는 63°C인 반면에 linoleic acid나 linolenic acid는 -5°C와 -11°C로서 훨씬 낮은데, 이러한 脂肪酸들의 融點으로 볼때 不飽和度가 높은 脂肪酸를 많이 含有하는 磷脂質로 構成된 生體膜은 그 相轉移溫度도 낮은 것으로 推定된다.

한편, 15°C에서 3일간 低溫處理後의 結果를(表 2) 常溫區(表 1)와 比較하여 보면, 飽和脂肪酸인 palmitic acid의 組成비가 減少함에 따라 不飽和度가 높은 linoleic acid 및 linolenic acid의 組成비는 增加되고 다만, stearic acid의 量은 變化가 없다. 그러나 不飽和脂肪酸인 palmitoleic

acid의 組成비는 常溫生育區에서 자포니카品種은 4.7%이고, 統一型品種은 4.1%이지만 이들을 低溫處理를 하므로서 오히려 자포니카品種은 2.5%, 統一型品種은 2.5%로 減少되는 傾向을 보였다. 또한 低溫處理後 脂肪酸의 不飽和比率에서도 자포니카品種은 3.00, 統一型品種은 2.83으로서 常溫生育區에 比하여 增加되는 傾向이였다. 水稻品種의 磷脂質脂肪酸 不飽和比率와 作物試驗場 春川出張所에서 耐冷性程度를 1~9단계로 區分하여 調査한 成績<sup>47,57)</sup>과의 關係를 보면(表 1), 常溫에서 生育한 苗에 比하여 低溫處理를 한 苗에서 不飽和比率가 높고, 그 相關係數는 低溫處理區에서  $r = -0.8454^{**}$ , 常溫生育區에서  $r = -0.7368^{**}$ 로서 아주 높은 相關關係를 보여주고 있다. 이와 같은 結果는 生理的 物質인 磷脂質의 脂肪酸組成 및 不飽和比率와 圃場에서 調査한 耐冷性 程度가 잘 一致하는 傾向을 보여줌으로서 각 品種의 耐冷性 程度는 構成脂質의 不飽和比率와 密接한 關係가 있음을 보여주었다.

Table 2 Fatty acid composition of phospholipid and unsaturation ratio of the phospholipid in rice cultivars. (Chilling treatment)

Cultivar	Fatty acid composition						Unsat./** Sat. ratio	Cold tolerance (Seedling stage)
	Palmitic (16:0)	Palmitol. (16:1)	Stearic (18:0)	Oleic (18:1)	Linoleic (18:2)	Linolenic (18:3)		
Chucheong (J)*	23.8	3.0	1.7	4.9	34.6	32.2	2.92	2
Yeomyeong (//)	23.3	2.7	1.4	5.0	34.0	33.5	3.05	1
Odae (//)	23.7	2.6	1.6	4.8	33.7	33.8	2.95	1
Sobaek (//)	23.5	2.3	1.7	5.0	34.8	32.8	2.97	2
Namyang 3 (//)	23.2	2.8	1.7	4.4	33.5	34.5	3.02	1
Suweon 346 (//)	23.0	2.6	1.6	4.8	35.6	32.8	3.07	2
Suweon 345 (//)	23.5	2.5	1.6	4.8	33.4	34.2	2.98	1
Daegwan (//)	23.4	2.2	1.5	5.6	36.3	31.3	3.02	1
Hwaseong (//)	23.3	2.2	1.5	4.7	35.0	33.3	3.03	2
Mean	23.4	2.5	1.6	4.9	34.5	33.2	3.00	1.4
Yongmun (T)	24.5	2.6	1.6	4.0	33.7	33.7	2.83	7
Namyong (//)	24.8	2.7	1.4	4.8	34.4	31.3	2.82	6
Cheongcheong (//)	24.2	2.7	1.8	4.8	33.0	33.6	2.85	5
Hangangchal (//)	24.1	2.1	1.7	4.6	35.2	32.5	2.88	7
Samgang (//)	25.3	2.2	1.8	5.5	34.1	31.5	2.69	7
Yongju (//)	25.0	2.8	1.7	4.8	33.6	32.1	2.75	7
Milyang 23 (//)	24.9	2.4	1.4	5.0	34.5	32.0	2.80	6
Taebaek (//)	24.4	2.2	1.6	4.5	34.6	32.8	2.85	7
Nampung (//)	24.3	2.8	1.5	4.8	35.2	31.7	2.78	6
Gaya (//)	24.8	2.3	1.6	5.0	35.6	30.8	2.79	7
Suweon 339 (//)	23.7	2.4	1.6	5.2	36.2	31.1	2.95	5
Pungsan (//)	23.6	2.4	1.5	5.3	34.2	33.2	2.98	5
Mean	24.5	2.5	1.6	4.9	34.5	32.2	2.83	6.3

\* Ecotype : J(Japonica rice), T(Tongil type rice)

\*\* Unsaturated/saturated ratio=%16:1+%18:1+%18:2+18:3/%16:0+%18:0

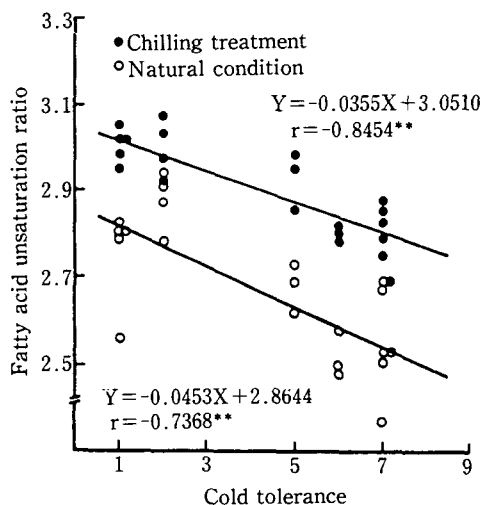


Fig. 1. Relationship between fatty acid unsaturation ratio of phospholipid isolated from rice leaves and cold tolerance (field data<sup>47,57</sup>), from Crop Experiment Station) of rice cultivars.

#### 나. 硬化處理에 의한 脂肪酸組成 變化

低溫硬化란 低溫障害에 對한 生體의 抵抗性 또는 耐性을 말하며, 作物體를 生育適溫보다 溫度를 낮춘 條件에서 얼마간 經過시키므로써 硬化 또는 馴化되어 장차 冷害溫度에 露出되었을 때 生理的인 代謝의 變化에 의하여 耐冷性을 얻게 되는 것은 말한다.

水稻는 熱帶에서 亞熱帶에 이르는 地方에서는 인디카品種들이 栽培되고, 溫帶地方에서는 耐冷性이 큰 자포니카品種들이 주로 栽培되어 왔으므로 水稻의 耐冷性 增大를 위한 低溫硬化에 對한 研究는 많이 이루어지지 않고 있다. 低溫硬化에 關한 研究는 越冬作物의 耐凍性에 대하여 많이 이루어졌고<sup>7,52,55</sup> 硬化方法으로서 漸進的으로 溫度를 낮게 하므로써 硬化의 效果가 있음을 報告하였다. 水稻에 對한 硬化의 效果에 關한 研究로서 權 등<sup>23</sup>은 漸進的 硬化와 反復的 短時間 硬化處理를 하여 外形的으로 나타나는 苗 生存率, 葉身 變色程度, 乾物重 등을 調査하여 低溫硬化의 效果가 顯著히 增加되었음을 報告하였다.

**Table 3.** Fatty acid composition and unsaturation ratio of the phospholipid isolated from rice plant by hardening treatment.

Cultivar	Treatment	Fatty acid composition (Weight %)						Unsat./** Sat. ratio
		Palmitic (16:0)	Palmitol. (16:1)	Stearic (18:0)	Oleic (18:1)	Linoleic (18:2)	Linolenic (18:3)	
Yeomyeong	Control	25.5	1.1	2.1	6.8	34.8	29.7	2.64(100)
	Control	25.1	0.8	1.8	4.8	36.6	31.0	2.73(103)
	+C.T.* Hardening	23.0	1.6	1.2	6.6	34.4	33.0	3.12(118)
	Hardening +C.T.*	23.5	3.0	1.2	4.0	35.2	33.0	3.05(115)
Milyang23	Control	27.4	1.0	1.9	7.5	32.8	29.4	2.42(100)
	Control	25.7	2.5	1.7	5.3	35.1	29.7	2.65(109)
	+C.T.* Hardening	23.5	2.1	1.5	7.7	33.8	31.5	3.00(124)
	Hardening +C.T.*	26.5	2.6	1.3	4.3	35.2	30.1	2.60(107)

\* Chilling treatment

\*\* Same as Table 1. ( ) Index

硬化處理에 의한 脂肪酸의 組成과 不飽和比率의 變化를 보면(表 3), palmitic acid의 構成비는 여명벼가 對照區 25.5%에서 23%, 밀양 23호는 27.4%에서 23.5%로 減少하는 반면, linolenic acid는 여명벼가 29.7%에서 33.0%, 밀양 23호는 29.4%에서 31.5%로 增加하고 있다. 또한 脂肪酸의 不飽和比率는 對照區에 비하여 여명벼는 18%, 밀양 23호는 24% 增加되었으며 耐冷성이 弱한 밀양 23호에서 더욱 效果가 크다. 硬化處理를 한 苗를 低溫處理 (15℃ 3일) 하였을 때도 脂肪酸의 不飽和도가 對照區보다 높아서 冷害에 대한 抵抗性を 높일수 있을 것으로 생각되는데, 不飽和比率를 增加시키는 要因은 不飽和도가 높은 linoleic acid나 linolenic acid의 選擇的 蓄積에 의한 것이 原因이 되며<sup>7,28,30)</sup> 相對적으로 많은 量의 不飽和脂肪酸는 作物의 硬化에 重要한 役割을 하고, 低溫條件에서 作物의 細胞를 保護하므로써 脂肪酸의 不飽和도와 耐冷性과는 密接한 關係가 있을 것으로 判斷된다.

## 2. 呼吸活性 轉移溫度와 耐冷性과의 關係

熱帶 혹은 亞熱帶 原產의 많은 作物(벼, 옥수수, 토마토, 콩, 목화 등)은 0~20℃의 低溫에 敏感하다.<sup>31)</sup> 作物이 어떤 臨界溫度以下에 露出되면 發芽, 成長, 生育 등에 顯著히 制限을 받게

되는 것을, 冷害라고 하는데, 冷害에 敏感한 植物을 低溫에 露出し킬 때 일어나는 生理的 機能 低下는 여러가지 形態로 發現되며, 이는 冷溫露出期間, 植物의 種類, 露出될 당시의 生理生態의 狀態, 生育段階 등에 따라 다르게 나타난다. 冷害 溫度에서 일어나는 一次的 現象으로서 膜의 solid gel化는 膜脂質의 流動性を 減少시키고 二次的인 現象으로 膜에 存在하는 酵素의 機能을 發揮하는 데 障害를 주게 되는데, 特히 生體 energy代謝의 基本이 되는 呼吸作用과 冷害를 關聯시킨 研究가 많다. 또한 冷害敏感性 植物의 冷溫에서 일어나는 生理的 攪亂과 mitochondria膜의 機能간에는 높은 相關이 있다는 最近의 많은 研究結果가 나와 있다.<sup>17,29,32,43,44)</sup> 低溫敏感性 植物의 冷害處理에 의한 外觀의 現象의 變化를 記述하는 古典的인 調查方法외에 呼吸現象의 어떤 變化된 程度를 調查하는 方法이 오래전부터 많은 研究者에 의하여 試圖되었고,<sup>29,41,44,45)</sup> 이런 變化의 構造를 밝히기 위해 呼吸과 關聯하여 꾸준히 研究해온 理由는 呼吸에서 酸素消費나 CO<sub>2</sub>生成에 따른 代謝의 變化를 測定, 推定하기가 쉽기 때문으로 생각된다.

가. 白化苗, 幼苗 및 幼穗의 呼吸活性 轉移溫度 變異

呼吸活性 轉移溫度와 耐冷성에 관한 研究로서

**Table 4.** Transition temperature of the respiratory activity of mitochondria isolated from etiolated rice seedling, seedlings and young panicles at booting stage.

Cultivar	Transition temperature of respiratory activity		Seedling	Young panicle (booting stage)	Cold tolerance (seedling stage)
	Etiolated seedling				
	'88	'89			
Chucheong (J)*	16.0	16.0	16.3	-	2
Yeomyeong (//)	14.5	14.5	15.8	15.0	1
Odae (//)	13.0	13.0	14.7	17.0	1
Sobaek (//)	12.5	13.0	14.7	-	2
Namyang 3 (//)	13.0	-	16.0	13.0	1
Suweon 346 (//)	11.0	15.0	16.0	11.0	2
Suweon 345 (//)	14.0	-	15.3	-	1
Daegwan (//)	13.0	-	15.8	17.0	1
Hwaseong (//)	13.0	13.0	14.3	13.0	2
Mean	13.3	14.1	15.4	14.3	1.4
Yongmun (T)*	19.0	17.5	17.3	13.0	7
Namyeong (//)	19.0	-	18.3	-	6
Cheongcheong (//)	17.5	-	16.8	15.0	5
Hangangchal (//)	18.0	17.5	17.3	19.0	7
Samgang (//)	19.0	19.0	18.3	16.0	7
Youngju (//)	19.0	18.5	18.8	16.0	7
Milyang 23 (//)	15.0	15.5	14.8	13.0	6
Taebaek (//)	17.5	16.5	16.5	16.0	7
Nampung (//)	17.0	17.0	17.0	15.0	6
Gaya (//)	18.0	18.0	17.3	17.0	7
Suweon 339 (//)	16.0	-	16.5	-	5
Pungsan (//)	16.5	15.5	17.0	15.0	5
Mean	17.6	17.2	17.2	15.5	6.3

\* Ecotype : J(Japonica rice), T(Tongil type rice)

Lyons<sup>29)</sup>는 冷害에 敏感한 植物組織으로 부터 抽出한 mitochondria의 呼吸率은 25°C로 부터 9~12°C까지는 比例的으로 減少하다가 갑자기 줄어드는 活性轉移를 보였으며, 冷害에 抵抗性인 植物은 25°C에서 부터 1.5°C에 이르기까지 구부러짐이 없는 일정한 減少를 나타낸다고 하였으며, 이러한 結果로부터 膜脂質과 같은 構成物質에서 溫度의 物理的 影響의 結果로 mitochondria膜에서 相轉移가 일어난다는 假設을 導出하였다. Pomeroy<sup>42)</sup>는 밀 3品種과 호밀에서 呼吸活性을 調査한 結果, 呼吸은 呼吸活性 energy의 增加에 의하여 轉移溫度 밑에서 갑자기 減少하였는데 組織節片의 呼吸活性 轉移溫度는 6~10°C, mitochondria는 10~14°C 였다고 하였다. Miller<sup>36)</sup>는 밀 4品種에 대한 膜脂質構造, 機能을 調査하여 磷脂質의 脂肪酸不飽和度는 呼吸活性變化와 相關이 있다고 하였으나, Raison<sup>44)</sup>은 mitochondria의 酸化活性和 膜脂質 構造와의 關

係를 溫度에 關聯시켜 調査하고 耐冷性程度와 相關없이 비슷한 相轉移를 보였다고 하였다.

水稻 21品種에 대한 mitochondria의 呼吸活性 轉移溫度를 白化苗, 自然狀態에서 자란 幼苗 및 穗孕期 幼穗에서 調査한 成績을 表 4에 나타내었다. 추청벼, 여명벼등 대부분의 品種은 白化苗와 幼苗의 活性轉移溫度에서 큰 差異를 보이지 않고 있으나, 남양 3호, 수원 346호 등은 差異가 있었으며 出穗期 幼穗의 轉移溫度와는 수원 346호와 같이 顯著的 差異를 보이는 品種도 있었다. 統一型品種에 있어서는 白化苗와 幼苗의 轉移溫度가 자포니카 品種과 같이 큰 差異를 보이는 品種은 없었으나 幼穗의 呼吸活性 轉移溫度에서 용문벼는 큰 差異가 있었다. 呼吸活性 轉移溫도의 全體 平均에 있어서 자포니카品種의 白化苗는 1988, 1989년에 各各 13.3°C 및 14.1°C였고, 自然狀態에서 生育한 幼苗는 15.4°C, 圃場에서 生育한 穗孕期 幼穗는 14.3°C였다. 또한 耐冷性이 弱한 統



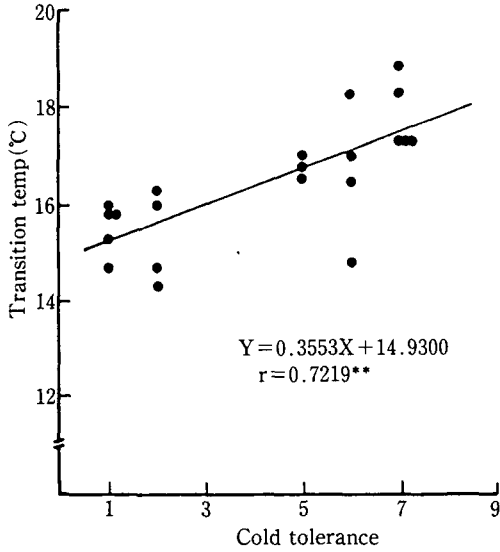


Fig. 4. Relationship between transition temperature of respiratory activity of mitochondria isolated from rice seedling and cold tolerance of rice cultivars.

수 있으며, 品種固有의 生化學的인 特性을 調査할 수 있다는 잇점이 있다.

野外에서 生育시킨 幼苗에서 抽出한 mitochondria의 呼吸活性 轉移溫도와 耐冷性 程度와의 關係를 보았을때(그림 4), 相關係數는  $r=0.7219^{**}$ 로 높은 相關關係를 보였다. 幼苗에서나 白化苗에서 모두 높은 相關關係를 보여주고 있으므로 白化苗를 使用하는 것이 栽培方法이나 期間이 짧아서 便利할 뿐만 아니라 品種自體의 遺傳的 因子를 環境要因의 影響없이 調査할 수 있다는 점에서는 좋은 方法으로 생각된다.

#### 나. 呼吸活性 轉移溫도의 時期別 變化

벼농사에서 機械移秧이 擴大普及되고 있는 趨勢인데, 이에 따라 中苗 뿐만 아니라 어린모(7~8일 묘)를 本畝에 移秧하는 栽培法도 農家에서 실시되고 있는 실정이다. 水稻幼苗의 生育時

Table 5. Changes in transition temperature of respiratory activity of mitochondria in seedling age of the rice cultivar grown in the growth cabinet.

Yeomyeong	Seedling age (week)				
	1	2	3	4	5
Transition temperature (°C)	12.5	14.5	15.5	15.5	16.5

기에 따른 耐冷性程度의 變化調査로서 室内生育箱에서 幼苗를 生育시키면서 1주일 間隔으로 試料를 採取하여 各 時期別 呼吸活性 轉移溫도를 調査한 結果를 보면(表 5), 1주일된 어린모에서는 12.5°C, 2주모는 14.5°C, 3주 및 4주모는 15.5°C, 5주모는 16.5°C로서 어린모의 轉移溫度는 5주일된 成苗보다 낮아서 耐冷性이 클 것으로 판단된다. 이와같이 苗齡이 적을수록 轉移溫度가 낮은 理由는 어린모는 種子의 胚乳에 依存하므로 養分吸收에 따른 어떤 障害도 받지 않고, 環境의 인 要因에 敏感하지 않기 때문인 것으로 볼 수 있다.

耐冷性의 圃場 檢定을 위하여 耐冷性 强, 中, 弱의 判別品種으로 利用하는 上풍벼, 풍산벼, 셋별벼의 時期, 部位別 呼吸活性 轉移溫도를 調査한 結果를 보면(表 6), 耐冷性이 강한 上풍벼는 白化苗에서 12.0°C로 時期別로 큰 差異를 보이지 않았고, 耐冷性이 中間인 풍산벼는 15.0~16.5°C, 耐冷性 弱의 셋별벼는 17.0~18.0°C로서 耐冷性程度間에 뚜렷한 差異를 나타내고 있다. 앞서 言及한 여명벼의 苗莖時期別 呼吸活性 轉移溫度와 比較해 보면, 上풍벼 및 여명벼는 耐冷性程度 1의 강한 品種으로서 白化苗 및 幼苗는 같은 程度의 12.5°C를 보였다. 그러나 圃場에서 生育한 上풍벼의 穗孕期 葉身과 幼穗에서 11.5°C인데 비하여 20~35°C의 調節된 生育箱내에서 자란 여명벼 幼苗는 14.5~16.5°C로 높았는데, 이는 어느 정도 高溫의 環境下에서 자랐기 때문에 轉移

Table 6. Transition temperature of respiratory activity in mitochondria from rice cultivars.

Cultivar	Leaf blade				Young panicle	Cold* tolerance
	Etiolated seedling	Seedling stage	Booting stage	Heading stage		
Sangpung	12.0	12.5	11.5	-	11.5	R
Pungsan	16.0	16.0	15.0	16.0	16.5	M
Saetbyeol	17.5	18.0	17.5	17.0	18.0	S

\* R : Resistant ; M : Medium ; S : Susceptible



溫도가 높게 나타난 것으로 생각된다. 이와 같이 작물의 耐冷性은 生育環境, 調査當時의 生態의 狀態, 生育段階 등에 영향을 받아 發現症狀이 다르게 나타나므로 耐冷性을 判別하기 위하여 여러 側面에서 作物冷害에 대한 調査, 研究를 하여 綜合的인 檢討가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

### 3. 葉綠素 螢光強度와 耐冷性과의 關係

一般的으로 野生植物은 그들의 環境條件에 잘 適應되어 있다. 食糧作物과 biomass生産에 대한 人間의 欲求增加에 의하여 여러가지 環境障害에 抵抗性이 있는 效率的인 植物의 育成이 要求된다. 環境이 다른 地域에서 자란 高等植物이나 藻類는 溫度障害에 相異한 反應을 보인다는 것은

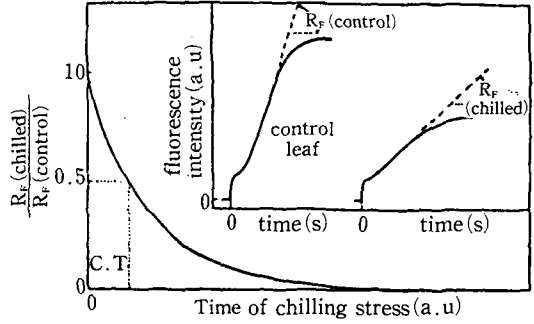


Fig. 5. Schematic representation of the relative maximum rate of fluorescence rise.

오래 전부터 알려진 事實이다. 그리하여 이러한 植物들이 不適合한 條件에서도 자랄 수 있도록 높은 抵抗性을 가지면서 높은 生産性을 가지는

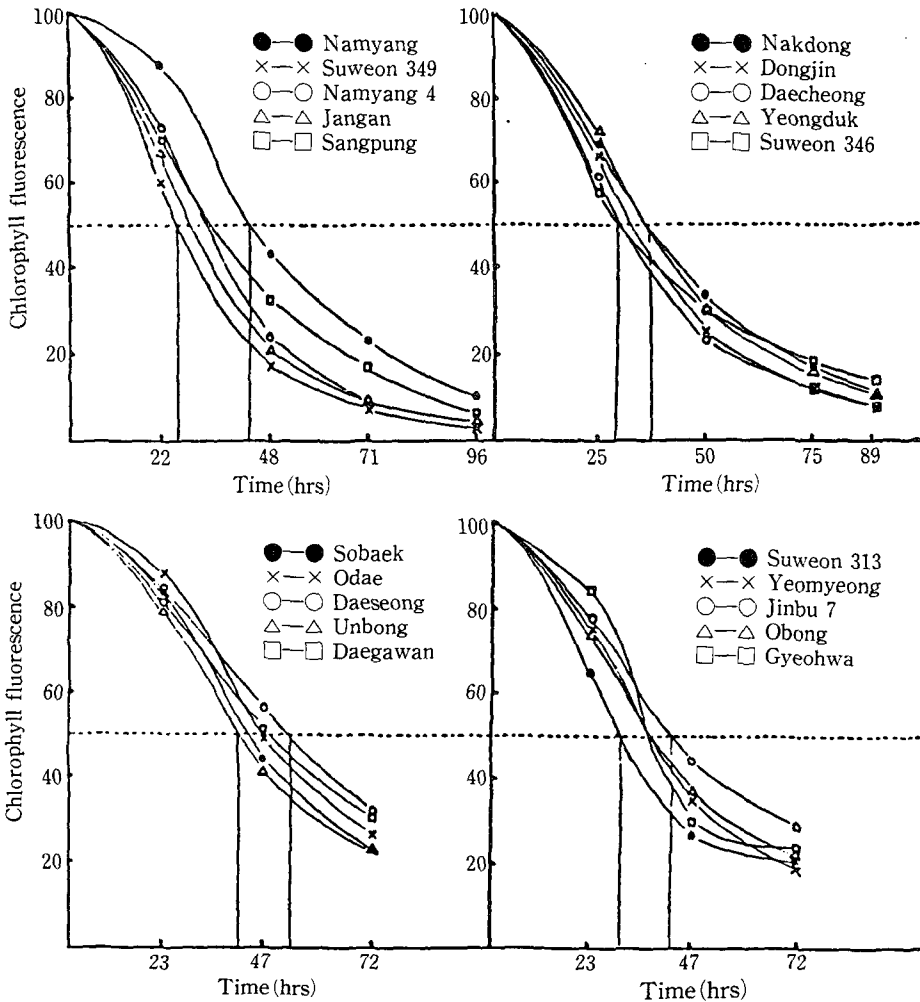


Fig. 6. Changes in the maximal rate of chlorophyll fluorescence of leaves with time in the dark at 0°C for rice cultivars.

因자를 조합하려는 노력을 하여 왔다. 이러한性質을 갖는 植物을 選拔하는 데는 可能한 限 簡單하고 迅速하여야 하는데, 螢光測定 方法이 이러한 問題를 解決하는데 아주 有用한 分析方法인 것으로 알려지고 있으며, 生體의 光合成 器官인 chloroplast에 關聯지워서 葉綠素 螢光強度를 溫度 stress에 대한 反應을 表現하는데 많이 利用하고 있다.<sup>14,46,50)</sup> 이는 葉綠素 螢光強度가 Chloroplast의 electron transport system을 통한 photosystem에 대한 stress의 影響을 나타내는 因子이기 때문에 環境障害에 따른 變化를 調査하므로써 實用的인 面에서 應用되어지고 있다. 螢光分析 方法을 實際로 適用한 것은 100年 以上 오래 전부터이고, 現在는 高溫<sup>8,49)</sup> 및 低溫<sup>15,51)</sup>障害뿐만 아니라 旱魃<sup>12)</sup>, 光<sup>5,11,15)</sup> 등의 障害에 대한 研究에도 適用되고 있다. 그림 5는 Hetherington<sup>14)</sup> 등에 의하여 發表된 耐冷性 檢定에 대한 適用을 나타낸 것으로, 低溫被害를 받았을 때 誘導 螢光強度, FR(Maximal rate of rise of the induced fluorescence)은 減少하였으며, 이러한 變化를 經時的으로 調査하여 처음 測定值의 절반으로 減少하는데 걸리는 時間을 臨界時間(critical time)으로 하여 이 時間의 長, 短에 의하여 耐冷性을 區別하였다.

水稻葉身の 0℃, 暗狀態에서 1時間후에 測定한 葉綠素螢光(FR)을 基準으로 하여 時間의 經過에

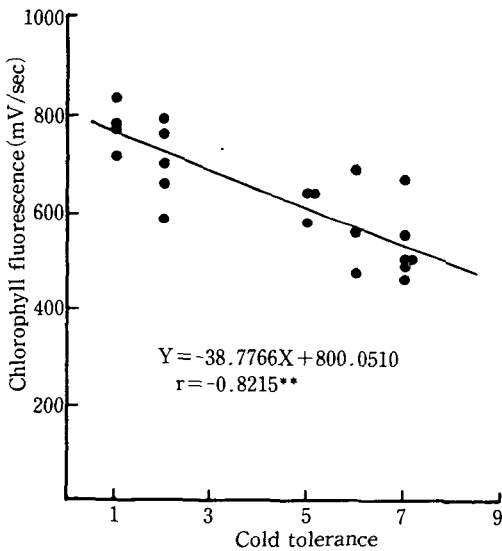


Fig. 7. Relationship between maximal rate of chlorophyll fluorescence of rice leaves and cold tolerance of rice cultivars('88).

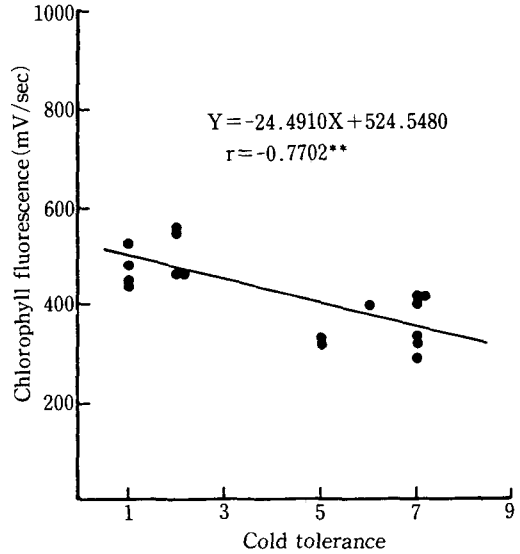


Fig. 8. Relationship between maximal rate of chlorophyll fluorescence of rice leaves and cold tolerance of rice cultivars('90).

따라 變化된 傾向을 調査한 것을 보면(그림 6), 全 品種 公히 一定한 傾向으로 減少하였으며 소백벼, 오대벼 등 耐冷性이 아주 강한 品種은 41~53 時間, 수원 313호, 여명벼 등은 30~42時間, 남양벼, 수원 349등은 26~43 時間, 낙동벼, 동진벼 등은 29~37 時間에 葉綠素螢光이 절반으로 減少하였다. 各 品種의 葉綠素螢光 減少時間과 耐冷性과의 相關을 調査하여 보았으나 調査된 品種모두가 대체로 耐冷性이 강한 자포니카品種으로서 相關關係를 調査할 수가 없었지만, 0℃, 暗狀態에서 1時間 後에 測定한 基準 葉綠素螢光(FR)과 耐冷性程度와의 關係를 보면(그림 7, 그림 8), 耐冷性이 강한 品種에서 葉綠素 螢光이 높고 弱한 品種에서 낮은 傾向을 보였으며, 相關係數는 1988년에는  $r = -0.8215^{**}$ , 1990年후에는  $r = -0.7702^{**}$ 로서 高度의 有意性이 있었다. 冷害 機構가 光合成能力의 低下에 어떻게 關聯되어 있는지 아직 확실히 밝혀지지 않는지만 대체로 炭素同化器官의 損傷은 noncyclic electron flow 나 光 利用效率의 低下와 關聯이 있다는 報告가 있다.<sup>13)</sup> 이러한 光合成器官의 損傷과 耐冷性과의 關係에서 chlorophyll fluorescence가 適用될 수 있고 *in vivo* 狀態에서 간단히 調査할 수 있다는 점을 本 實驗結果에서 提示하여 주고있어 앞으로의 利用性이 期待되고 있다.

#### 4. Mn 處理에 의한 冷害輕減 效果

植物的 冷害에 關聯된 機構를 밝히기 위하여 많은 研究가 이루어지고 있고 또한 많은 研究結果가 發表되어 있지만 아직도 풀리지 않은 많은 問題點이 남아 있다. 이러한 冷害機構의 進一步된 理解를 위해 低溫에 感應된 初期反應의 物理的 現象과 場所를 밝히고, 低溫感應의 結果로 生成되는 生理的 生成物 變化를 調查하는 것이 重要하다. 溫度에 銳敏하게 反應하는 生體器官은 membrane이 가장 代表的인 곳이라 할 수 있으며, 앞서 言及했던 바와 같이 membrane을 構成하는 phospholipid, protein의 變化와 關聯지어 植物的 冷害機構로서 가장 많이 普遍的으로 받아들여지는 假設인 相轉移說을 Lyons와 Raison은 提示하였다.<sup>27,29)</sup>

冷害溫度에 임하였을 때 生體膜에서 일어나는 生化學的 變化를 調查하기 위하여 mitochondria의 呼吸의 最終 電子傳達系 酵素인 cytochrome C oxidase(Complex IV)의 酵素活性를 測定하여 그림 9)에 나타내었다. 10°C 및 25°C로 3일동안 溫度處理를 하였을 때 耐冷性이 弱한 淸성벼는 對照區에 비하여 10°C 低溫處理區에서 酵素活性이 50%程度, 耐冷性이 강한 상풍벼, 풍산벼, 낙동벼 등은 60~70% 程度로 減少하는 傾向을 보이고 있다.

Cytochrome C oxidase는 呼吸連鎖反應의 最終 段階에서 重要的 역할을 하는데 Waring<sup>30)</sup>등에 의하면 tomato seedling에서 抽出한 mitochondria

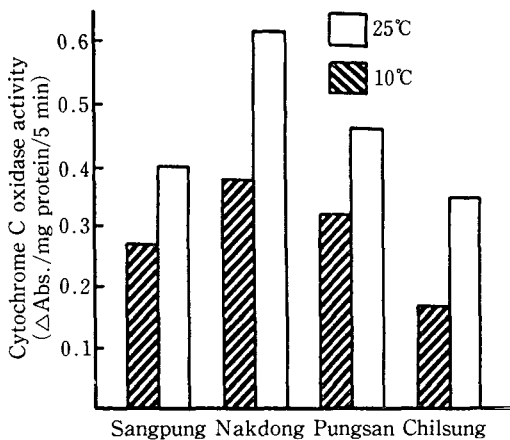


Fig. 9. Changes in the cytochrome C oxidase activity of mitochondria isolated from rice seedlings subjected to the different temperature for 3 days.

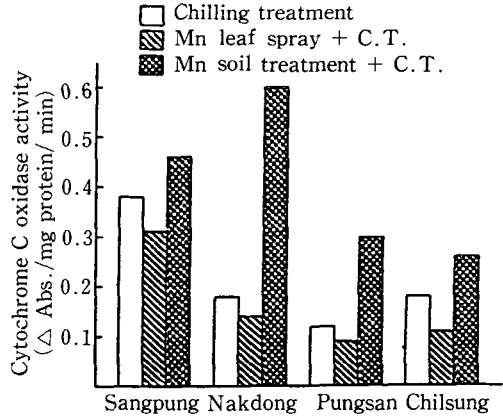


Fig. 10. Changes in the cytochrome C oxidase activity of mitochondria isolated from rice seedlings by the application of Mn SO<sub>4</sub> one day before chilling treatment.

dria membrane의 cytochrome C oxidase는 16~14°C에서 活性轉移가 일어나지만 磷脂質(dimyristoylphosphatidylcholine)과 再構成 되었을 때는 影響을 덜 받는다고 하였다. 따라서 cytochrome C oxidase는 membrane의 主構成物質이 磷脂質이고, 이 磷脂質이 相轉移에 큰 影響을 미친다고 보는 것이다. 한편 Mn處理에 의한 cytochrome C oxidase 酵素活性의 變化를 그림 10에서 보면 Mn을 葉面施用하였을 때는 오히려 對照區보다 낮은 活性를 보여주고 있다. 이는 Mn을 葉面施用하였을 때 Mn의 被害로서 葉面に 갈색 반점이 생긴다는 報告<sup>35)</sup>와 같이 Mn의 毒作用에 의한 生體의 被害때문에 일어난 것으로 생각된다. Mn은 주로 Mn<sup>2+</sup>의 形態로 吸收되고 때로는 Mg<sup>2+</sup>와 置換되기도 한다.<sup>33)</sup> 綠色植物에서 Mn의 機能은 光合成의 酸素放出에 關與한다고 널리 알려져 있는데<sup>34)</sup> Mn을 包含하는 SOD (superoxide dismutase)는 生體內에서 重要的 役割을 하는 酵素의 하나로서 대체로 酵素 1分子當 1原子의 Mn을 包含하고 있으며, 이 Mn-SOD의 分離方法에 대하여 많은 報告가 있다.<sup>19,48)</sup>

Lipid의 代謝에서 Mn의 機能은 아직 分明히 밝혀지지 않았지만 Mn缺乏細胞는 chlorophyll 含量 뿐만 아니라 chloroplast膜의 構成物質인 不飽和脂肪酸의 含量이 減少된다고 하였다.<sup>6)</sup> 또한 lamella의 色素 構成物質로서 chloroplast에 間接的 役割을 하며 Mn-SOD의 形態로 不飽和

**Table 7.** Changes in transition temperture of respiratory activity by Mn treatment.

Cultivar	Transition temperature(°C)			
	Control	Chilling treatment	Mn leaf spray +chilling treatment	Mn soil application +chilling treatment
Sangpung	13.0	15.0	13.0	15.0
Nakdong	15.0	17.0	13.0	17.0
Pungsan	15.0	13.0	15.0	15.0
Chilsung	19.0	17.0	17.0	13.0

지방산같은 膜 構成物質의 光 酸化(photo-oxidation)防止 役割을 한다고도 알려져 있다.<sup>6)</sup>

Mn處理에 의한 呼吸活性 轉移濃度の 變化를 보면(表 7) Mn을 葉面施用하므로써 呼吸活性 轉移溫度를 0~2°C 낮추었으며, 土壤處理를 하였을 때 耐冷性이 弱한 稈性에서 현저히 낮아졌다. 植物體는 環境障害에 의하여 細胞內에 生成되는 superoxide나 peroxide를 防禦機作的 하나로 SOD나 peroxidase에 의하여 이들을 除去시키는데, Mn은 SOD의 cofactor로 作用하고 SOD의 活性에 重要한 役割을 한다는<sup>1,34,58)</sup> 것으로 미루어 보아 低溫에 의하여 生成된 이러한 毒性物質을 除去하여 冷害輕減效果를 나타낸 것으로 생각

된다.

**5. 脂肪酸 不飽和度, 呼吸活性 轉移溫度, 葉綠素 螢光과 耐冷性과의 相互關係**

水稻品種의 耐冷性을 室內에서, 生育初期에, 보다 簡便한 方法으로 檢定하기 위하여 여러가지 耐冷性의 關聯因子로서 磷脂質이 脂肪酸不飽和度, mitochondria의 呼吸活性 轉移溫度 및 葉綠素螢光을 調査하여 耐冷性程度와 關聯시켜 檢討하여 보았다. 이들 3가지 因子가 共通으로 調査된 品種은 자포니카品種으로는 추청벼 등 9品種, 統一型 品種에서는 용문벼 등 12개 品種으로 總 21品種을 表 8에 간추려 나타냈는데, 대체로 耐

**Table 8.** Transition temperature of the respiratory activity of mitochondria isolated from rice plant, chlorophyll fluorescence of leaf blade and fatty acid unsaturation ratio of rice seedling.

Cultivar	Transition temp. of respiratory activity		Chlorophyll fluorescence	Fatty acid unsat. ratio		Cold tolerance (seedling stage)
	Etiolated seedling	Seedling		Natural	Chilling	
Chucheong (J)*	16.0	16.3	656	2.78	2.92	2
Yeomyeong (//)	14.5	15.8	712	2.79	3.05	1
Odae (//)	13.0	14.7	768	2.56	2.95	1
Sobaek (//)	12.5	14.7	594	2.91	2.97	2
Namyang 3 (//)	13.0	16.0	758	2.80	3.02	1
Suweon 346 (//)	11.0	16.0	792	2.94	3.07	2
Suweon 345 (//)	14.0	15.3	782	2.82	2.98	1
Daegwan (//)	13.0	15.8	826	2.80	3.02	1
Hwaseong (//)	13.0	14.3	696	2.87	3.03	2
Mean	13.3	15.4	732	2.81	3.00	1.4
Yongmun (T)*	19.0	17.3	460	2.68	2.83	7
Namyong (//)	19.0	18.3	473	2.58	2.82	6
Oheongcheong (//)	17.5	16.8	638	2.69	2.85	5
Hangangchal (//)	18.0	17.3	551	2.69	2.88	7
Samgang (//)	19.0	18.3	499	2.53	2.69	7
Yongju (//)	19.0	18.8	498	2.37	2.75	7
Milyang 23 (//)	15.0	14.8	555	2.50	2.80	6
Taebaek (//)	17.5	16.5	660	2.51	2.85	7
Nampung (//)	17.0	17.0	689	2.48	2.78	6
Gaya (//)	18.0	17.3	489	2.53	2.79	7
Suweon 339 (//)	16.0	16.5	582	2.62	2.95	5
Pungsan (//)	16.5	17.0	640	2.73	2.98	5
Mean	17.6	17.2	561	2.58	2.83	6.3

\* Ecotype : J(Japonica rice), T(Tongil type rice)

Table 9. Correlation coefficient matrix.

	X	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>
X	-				
Y <sub>1</sub>	0.8731**	-			
Y <sub>2</sub>	-0.8215**	-0.8049**	-		
Y <sub>3</sub>	-0.8454**	-0.8340**	0.7565**	-	
Y <sub>4</sub>	0.7219	0.8438**	-0.6342**	-0.6649**	-

X : Cold tolerance, Y<sub>1</sub> : Transition temperature of etiolated seedling Y<sub>2</sub> : Chlorophyll fluorescence, Y<sub>3</sub> : Fatty acid unsaturation ratio of phospholipid, Y<sub>4</sub> : Transition temperature of seedling.

냉성 정도와 각 調査因子와는 相關이 높은 傾向을 보이지만 3가지 因子 모두가 一律의인 傾向을 보이지 않았고, 어떤 要因에는 獨特한 反應을 보인 品種들도 있다. 例로서 수원 346호같은 品種은 自化苗의 呼吸活性 轉移溫度는 다른 品種에 비하여 낮은 反面, 幼苗에서는 높은 傾向을 보였으며, 태백씨는 耐冷性 程度는 낮았지만 幼苗에서의 轉移溫度는 크게 낮지 않는 反應을 보였다.

耐冷性 關聯因子들의 各 項目들과 耐冷性 程度와의 關係를 各各 前述한 바와 같이 項目別로 檢討하여 보았으며 表 9에서는 각 調査因子들 간의 相關關係를 나타낸 것으로서 圃場耐冷性 程度와 各 因子들 모두가 高度의 有意性 있는 相關關係를 보이고 있다. 各 因子들 간의 相互關係에서 呼吸活性 轉移溫度는 葉綠素螢光 및 脂肪酸 不飽和比率과는 負의 關係를, 葉綠素螢光과 脂肪酸 不飽和比率과는 正의 相關關係를 보였다. 따라서 耐冷性檢定圖에서 實施하는 方法에 의하지 않고 實驗室 안에서 여러가지 生化學的 特性을 調査하여 그 結果를 耐冷性 檢定の 指標로 利用될 수 있다는 點에서 앞으로 各 因子들을 相互關聯시켜 補充하면 耐冷性檢定 및 判定에 有用하게 利用될 수 있는 可能性을 提示하여 주고 있다.

### 摘 要

水稻品種의 耐冷性 關聯因子로서, 生體膜 構成物質로서 重要한 役割을 하는 phospholipid의 脂肪酸組成과 脂肪酸 不飽和比率, 生體의 重要한 代謝過程의 하나인 呼吸에 關聯된 特性인 mitochondria의 呼吸活性 轉移溫度, 光合成과 關聯된 葉綠素의 螢光強度 등 여러가지 生理的 因子들과 耐冷性과의 關係를 檢討하고 耐冷性 品種選拔과 冷害를 輕減시킬 수 있는 方法을 모색하

고자 關聯資料를 綜合整理하였다.

1. 脂肪酸의 不飽和比率은 低溫處理를 함으로써 높아지는 傾向을 보였으며, 耐冷性 程度와 比較하여 볼 때 耐冷性이 강한 品種에서 不飽和比率이 높고 弱한 品種에서 낮아 耐冷性 程度와 一致하는 傾向이었다.

2. 硬化處理에 의하여 磷脂質의 脂肪酸組成中 palmitic acid는 減少하고 linolenic acid의 含量은 增加되었으며 脂肪酸 不飽和比率이 對照區에 비하여 19~24% 增加되어 耐冷성을 增加시킨 것으로 생각되었다.

3. 水稻 自化苗(25°C 暗狀態 2週間 生育) 및 野外에서 生育시킨 幼苗에서 分離한 mitochondria의 呼吸活性 轉移溫度와 耐冷性 程度와의 關係를 보면 耐冷性이 강한 品種에서 轉移溫度가 낮았고, 弱한 品種에서는 높은 傾向이었다.

4. 生育時期別 mitochondria의 呼吸活性 轉移溫度는 상품벼 11.5~12.5°C, 풍산벼 15.0~16.0°C, 셋별벼 17.0~18.0°C로서 큰 差異가 없었으나 耐冷性 强, 中, 弱 程度間에는 뚜렷한 差異를 보였다.

5. 葉綠素 螢光強度와 耐冷性 程度와의 關係는 耐冷性이 강한 품종에서 螢光強度가 높고 弱한 品種에서 낮은 傾向을 보였으며 높은 相關關係를 보였다.

6. Mn을 葉面施用하므로써 呼吸活性 轉移溫度를 0~2°C 낮추었으며 土壤處理를 하였을 때 耐冷性이 弱한 品種에서 효과가 컸다.

7. 耐冷性 程度와 磷脂質 脂肪酸不飽和度, 呼吸活性 轉移溫度 및 葉綠素 螢光과의 關係에서 대체적으로 이들 세 因子와는 높은 相關을 보였으나 그중에는 獨特한 反應을 보인 品種들도 있었으며, 呼吸活性 轉移溫度는 脂肪酸 不飽和比率과는 負의 關係를, 葉綠素螢光과 脂肪酸 不飽和比率과는 正의 相關關係를 보였다.

## 引用文獻

1. Berlett B.S., P.B. Chock, M.B. Yim, and E. R. Stadman 1990. Manganese(II) catalyzes the bicarbonate-dependent oxidation of amino acids by hydrogen peroxide and amino acid-facilitated dismutation of hydrogen peroxide. Proc. Nat'l Acad. Sci. USA 87 : 389-393.
2. 蔡濟天·李鍾薰·吳潤鎮·咸永秀. 1979. 窒素 및 燐酸施用이 水稻의 根呼吸 및 生育에 미치는 影響. 韓作誌 24 : 1-11.
3. 蔡濟天·許輝·李鍾薰. 1980. 氣溫 및 水溫의 差異가 水稻品種의 生育 및 養分吸收에 미치는 影響. 韓作誌 25 : 14-19.
4. 崔鉉玉·李鍾薰. 1976. 水稻 生育過程別 低溫障害에 關한 研究. 韓作誌 21 : 203-210.
5. Critchley C. and R. M. Smillie 1981. Leaf chlorophyll fluorescence and indicator of high light stress (Photoinhibition) in *cucumis sativus* L. Aust. J. Plant Physiol. 8 : 133-141.
6. Constantopoulos, G. 1970. Lipid Metabolism of manganese-deficient algae. Plant physiol. 45 : 76-80.
7. De La Roche I.A., C.J. Andrews, and M.K. Pomeroy 1972. Lipid changes in winter wheat seedlings(*Triticum aestivum*) at temperatures inducing cold hardiness. Can. J. Bot. 50 : 2401-2409.
8. Gibbon G.C. and R. M. Smillie 1980. Chlorophyll fluorescence photography to detect mutants, chilling injury and heat stress. Carlsberg Res. Commun. 45 : 269-282.
9. Graham D. 1981. Chilling injury in plants. Postharvest Horticulture Workshop. Brisbane, 1981. Proceedings.
10. Graham D. and B.D. Patterson 1982. Responses of plants to low, nonfreezing temperatures : proteins metabolism, and acclimation. Ann. Rev. Plant Physiol. 33 : 347-372.
11. Hetherington S.E. and R. M. Smillie 1982. Tolerance of *Borya nitida*. a poikilohydrous angiosperm, to heat, cold and high-light stress in the hydrated state. Planta 155 : 76-81.
12. Hetherington S.E., R. M. Smillie and N.D. Hallam 1982. *In vivo* changes in chloroplast thylakoid membrane activity during viable and non-viable dehydration of a drought tolerant plant, *Borya nitida*. Aust. J. Plant Physiol. 9 : 611-621.
13. Hetherington S.E., R.M. Smillie, A.K. Hardacre and H.A. Eagles 1983. Using chlorophyll fluorescence *in vivo* to measure the chilling tolerance of different populations of maize. Aust. J. Plant Physiol. 10 : 247-256.
14. Hetherington S.E. and R.M. Smillie 1984. Practical applications of chlorophyll fluorescence in ecophysiology, physiology and plant breeding. Advances in Photosynthesis Research 4 : 447-450.
15. Hetherington S.E., J. He, and R.M. Smillie 1989. Photoinhibition at low temperature in chilling-sensitive and resistant plants. Plant Physiol. 90 : 1609-1615.
16. 許輝. 1978. 水稻 Indica X Japonica 遠緣交雜品種의 生理 生態의 特性에 關한 研究. 農試研報 (作物編) 20 : 1-47.
17. Huner N.P.A. 1988. Low temperature-induced alterations in photosynthetic membranes. CRC Critical Reviews in Plant Sciences 7(4) : 257-278.
18. Ichihara K. and M. Noda 1980. Fatty acid composition and lipid synthesis in developing safflower seeds. Phytochem. 19 : 49-54.
20. St. John J.B. and M.N. Christiansen 1975. Inhibition of linolenic acid synthesis and modification of chilling resistant in cotton seedlings. Plant Physiol. 57 : 257-259.
21. 金起植·史種九·許範亮·石川哲也·石倉敦光. 1989. 中北部 地方 벼獎勵品種의 活着期 低溫反應의 差異. 韓作誌 34 : 170-176.
22. Kleinschmidt M.G., V.A. McMahon 1970. Effect of growth temperature on the lipid composition of *Cyanidium caldarium*. I. Class separation of lipids. Plant Physiol. 46 : 286-289.
23. 權容雄·安壽鳳·吳潤鎮. 1979. 水稻의 幼苗期 冷害에 關한 研究. III. 幼苗의 低溫硬化 可能性 檢討. 韓作誌 24 : 21-25.
24. 李弘祐·趙亨烈·林炳琦·許輝. 1974. 水稻의 障害型 冷害에 關한 研究. 韓作誌 15 : 85-97.
25. Levitt J. 1941. Frost killing and hardiness of plant. -A Critical Review. Burgess Publishing

- Co. pp 54-211.
26. Levitt J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, Inc.
  27. Lyons J.M. 1973. Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24 : 445-466.
  28. Lyons J.M. and C.M. Asmundson 1965. Solidification of unsaturated/saturated fatty acid mixtures and its relationship to chilling sensitivity in plants. *J. American Oil Chemists' Society* 42 : 1056-1058.
  29. Lyons J.M. and J. K. Raison 1970. Oxidative activity of mitochondria isolated from plant tissues sensitive and resistant to chilling injury. *Plant Physiol.* 45 : 386-389.
  30. Lyons J.M., T.A. wheaton, and Harlan K. Pratt 1963. Relationship between the physical nature of mitochondrial membranes and chilling sensitivity in plants. *Plant Physiol.* 38 : 262-268.
  31. Lyons J. M., J.K. Raison and P.L. Steponkus 1979. The plant membrane in response to low temperature : An over view. *Low temperature stress in crop plant.* Academic Press Inc. pp 1-24.
  32. Martin C.E., K. Hiramitsu, U.Kitajima, Y. Nozawa, L. Skriver, and G. A. Thompson, Jr 1976. Molecular control of membrane properties during temperature acclimation. Fatty acid desaturase regulation of membrane fluidity in acclimating *Tetrahymena* cells. *Biochem.* 15(24) : 5218-5227.
  33. Marschner H. 1986. Functions of mineral nutrients : Micronutrients. In *Mineral Nutrient of Higher Plants.* Academic Press, pp. 279-287.
  34. McCain D.C. and J.L. Markley 1989. More Manganese accumulates in maple sun leaves than in shade leaves. *Plant Physiol.* 90 : 1417-1421.
  35. Mengel K. and E. A. Kirby 1982. Principles of plant nutrition. *International Potash Institute* pp. 491-524.
  36. Miller R.W., I. De La Roche, and M.K. Pomeroy 1974. Structural and functional responses of wheat mitochondrial membranes to growth at low temperatures. *Plant Physiol.* 53 : 426-433.
  37. Nishiyama I. 1976. Effects of temperature on the vegetative growth of rice plants. *Proceedings of the Symposium on Climate & Rice, IRRI* pp. 159-183.
  38. 西山岩男. 1983. イネの低温障害. *日作紀.* 52 : 108-117.
  39. 西山岩男. 1985. イネの冷害とその生理. *日本農學會 Symposium 講演要旨* pp. 26-31.
  40. 吳潤鎮. 1981. 水稻의 低温障害에 관한 生理 生態學的 研究. *韓作誌.* 26 : 1-31.
  41. 朴慶培 · 田中孝幸 · 原田二郎. 1978. 低温에 의한 水稻의 Discoloration 發生에 관한 研究. *韓作誌.* 32 : 1-4.
  42. Pomeroy K.M. and C.J. Andrew 1975. Effects of temperature on respiration of mitochondria and shoot segments from cold-hardened and non-hardened wheat and rye seedlings. *Plant Physiol.* 56 : 703-706.
  43. Raison J.K. 1984. Alterations in the physical properties and thermal response of membrane lipids. -Correlations with acclimation to chilling and high temperature. *Frontiers of Membrane Res. in Agriculture.* (Eds) J.B. St. John, E. Berlin and D.C. Jackson. Rowman and Allanheld, Ottawa pp. 383-401.
  44. Raison J.K., E.A. Champman, and P.Y. White 1977. Wheat mitochondria- oxidative activity and membrane lipid structure as a function of temperature. *Plant Physiol.* 59 : 623-629.
  45. Raison J.K. and J.M. Lyons 1970. The influence of mitochondrial concentration and storage on the respiratory control of isolated plant mitochondria. *Plant physiol.* 45 : 382-385.
  46. Renger G. and U. Schreiber 1986. Practical applications of fluorometric methods to algae and higher plant research. *Light Emission by Plants and Bacteria.* Academic Press. pp. 587-619.
  47. 徐商明 · 柳昌溱 · 田炳泰 · 芮鍾斗. 1986. 벼 耐冷性 品種育成 試驗. *農事試驗 研究報告書(作物試驗場).* pp. 532-533.
  48. Sevilla F., J. Lopez-Gorge, M. Gomez, and L. A. del Rio 1980. Manganese superoxide dismutase from a higher plant. -Purification of a new Mn- containing enzyme. *Planta.* 150 :

- 153-157.
49. Smillie R.M. 1979. Coloured components of chloroplast membranes as intrinsic membrane probes for monitoring the development of heat injury in intact tissues. *Aust. J. Plant Physiol.* 6 : 121-133.
  50. Smillie R.M. and S.E. Hetherington 1983. Stress tolerance and stress-induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence *in vivo*. *Plant Physiol.* 72 : 1043-1050.
  51. Smillie R.M., R. Nott, S.E. Hetherington and G. Öuist 1987. Chilling injury and recovery in detached and attached leaves measured by chlorophyll fluorescence. *Physiol. Plantarum* 69 : 419-428.
  52. Steponkus P.L. 1984. Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35 : 543-584.
  53. Tajima K. 1971. Fatty acid composition of lipids in the leaves of the crops from tropical and temperate areas. I. Isolation of lipids by silicic acid column chromatography and preliminary results on the fatty acid composition. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 40 : 247-254.
  54. Tajima K. 1971. Fatty acid composition of lipids in the leaves of the crops from tropical and temperate areas. II. Specific and varietal differences in fatty acid composition of lipids and their alteration by growing temperature. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan.* 44 : 255-260
  55. Uemura M. and S. Yoshida 1984. Involvement of plasma membrane alterations in cold acclimation of winter rye seedlings (*Secale cereale* L. cv Puma). *Plant Physiol.* 75 : 818-826.
  56. Waring A. and P. Glatz. 1979. In vitro membrane lipid reconstitution and enzyme function. *Low Temperature Stress in Crop Plants.* Acad. Press. pp 365-374.
  57. 芮鍾斗・柳昌溱・文憲八・趙守衍・崔鉉玉・朴來敬. 1986. 耐寒性品種育成試驗. 農事試驗 研究報告書 作物試驗場. pp. 619-639.
  58. Yim M.B., B.S. Berlett, P.B. Chock, and E. R. Stadtman 1990. Manganese(II)-bicarbonate-mediated catalytic activity for hydrogen peroxide dismutation and amino acid oxidation: Detection of free radical intermediates. *Proc. Nat'l Acad. Sci. USA* 87 : 394-398.