

水稻의 幼苗期 冷害에 관한 研究

1. 幼苗期 葉齡別 冷害發現 및 恢復樣態

權容雄* · 金柱憲* · 安壽奉**

서울大學校 農科大學* · 忠南大學校 農科大學**

Studies on the Chilling Injury of Rice seedlings.

1. Characterization of Chilling Injury & Recovery of Rice Seedlings of Different Leaf Stages.

Y. W. Kwon, J. H. Kim*, and S. B. Ahn***

* *College of Agriculture, Seoul National University*

** *College of Agriculture, Choongnam National University*

ABSTRACT

To characterize elastic and plastic chilling injury, rice seedlings grown at 28/16°C day/night temp. under 20K lux (13hrs.) in a phytotron were subjected to a 11/6°C, 20K lux condition for 2, 4, 6 or 8 days at 1, 2, 3, 4 or 5th leaf-stage, respectively, followed by further growth under 28/16°C condition till 30th day after seeding.

Japonica variety Jinheung and Chulwon No. 1 survived almost 100% without any significant discoloration and death of leaves due to chilling even under the chilling of 8 days at all seedling ages tested. Tongil and Yushin, varieties from Indica x Japonica cross, showed increasing discoloration of leaves and death of plants with increase in chilling intensity. The longest chilling duration shown seedling death less than 5% was 4, 6, 1, 4, 8 days for Tongil, and 6, 6, 1, 2, 2, days for Yushin at 1, 2, 3, 5th leaf-stage, re-

spectively.

The degree of discoloration and death of leaves or suppression of height growth was not explicitly related to seedling death or the dry weight reduction. The degree of seedling death or dry weight reduction could differentiate chilling tolerance of varieties and seedling ages, but somewhat differently. Reduction in dry weight due to chilling occurred even without any visible injury or seedling death. These suggest that both the degree of seedling death and reduction in dry weight should be considered in the test of varieties for chilling tolerance.

Combined evaluation of seedling death and dry weight reduction indicated the most susceptible seedling age to chilling injury to be 1 to 2nd leaf-stage for Jinheung, 2 to 3rd leaf-stage for Chulwon No. 1, 3rd leaf-stage for Tongil and Yushin, respectively.

緒 言

作物의 冷害 (Chilling Injury)란 作物의 正常的인 生育에 필요한 適溫 이하 氷点溫度 이상의 溫度範圍에서 作物이 生育할 경우 일어나는 生長의 停滯 및 生育障害를 통틀어 말하는 것이며, 熱帶 및 亞熱帶에 起源한 作物들을 溫帶地方 또는 高地帶에서 栽培할 경우 주로 問題化된다 (Levitt 1972, Lyon 1973).

水稻는 氣溫 10~50°C, 水温 13~38°C 範圍에서 生存할 수 있지만 (Soomro & Mclean 1972, Vergara 1976), Chang · Oka (1976), Nishiyama (1976) 등의 廣範圍한 文獻調査에 의하면 水稻의 正常生育에 필요한 限界溫度範圍는 대체로 15~18°C 이상 30~33°C 이하이고, Indica 品種들은 大部分이 Japonica 品種들보다 發芽, 營養生長 및 生殖生長 모두에 있어서 限界溫度가 2~3°C 높으며, 따라서 Japonica 벼는 15°C 이하, Indica 벼는 18°C 이하의 溫度條件에서 生育할 경우에는 冷害를 받게 된다고 할 것이다. 水稻의 冷害에 관한 研究는 水稻栽培北限地域인 日本의 北海道에서는 1930年代, (寺尾 1934) Rocky 山脈의 冷水를 灌溉하여 湛水直播栽培하는 美國의 California에서는 1960年代以來 (Adir, 1968), 그리고 IRRI에서는 1970年代 (Kaneda 1972)에 이르러 活潑히 이루어지고 있다.

우리나라의 水稻栽培에 있어서 冷害問題는 Japonica 品種을 4月 下旬 以來에 播種하여 栽培하던 1960年代에는 山間高冷地帶 또는 中晚生種을 晚秧하였을 경우에만 때로 問題化되었을 뿐이나 (崔 · 李 1976), 1970年 以來 統一을 비롯한 Indica × Japonica 遠緣交雜品種들을 育成 普及하면서부터 時急히 解決하여야 할 가장 重要한 課題의 하나로 擡頭되었다. 그러나 冷害 및 그 對策에 관한 간간의 研究는 매우 不振하고, 安 · 李 · 尹 (1973)이 Japonica 品種과 統一 등 新品種의 苗生長 限界溫度 및 低溫과 養分吸收의 關係, 李 · 趙 · 林 · 許 (1974)는 日本型品種들을 主材料로 하여 幼苗期, 花粉母細胞 減數分裂期 및 出穗期의 品種別 耐冷性과 生育分期別 耐冷性의 相互關係, 趙 · 裴 (1976)는 苗生育 全期間 동안의 晝間 20~25°C/夜間 10~15°C 條件의 組合이 苗生長에 미치는 影響과 그 品種間 差異, 崔 · 李 (1976)는 主要品種들의 低溫發芽性과 水稲苗 1.5, 4.0, 6.0葉期, 減數分裂期 및 出穗期

의 低溫障害, 그리고 李 · 閔 · 李 · 崔 (1977)는 新品種들의 幼苗 2葉期, 4葉期 및 6葉期에 晝夜 10/s°C 低溫處理를 4日~5日間 한 후 10日間 發現 되는 枯死率에 관하여 研究報告하였으며, 그밖에 몇몇 報告가 있을 뿐이다. 한편 冷害誘發條件에 따른 作物의 冷害發現 및 恢復樣態는 多樣하고 品種 및 生育期別로 다르며, 冷害發現은 複合的인 生理現象으로써 그 作用機構도 아직 뚜렷이 밝혀지지 않았다.

한편 保溫折衷못자리로써 保溫을 하지만 播種期가 4月 上 · 中旬으로 앞당겨지고 冷害에 弱한 新品種들이 주로 栽培되는 現在의 우리나라에 있어서는 幼苗期의 冷害가 實質的으로 제일 問題되고 그 다음으로 基本營養生長성이 큰 新品種들을 晚秧할 경우의 低溫登熟性이 問題된다고 할 것이다. 따라서 筆者들은 이러한 觀點에서 水稻 幼苗期의 冷害와 低溫登熟性에 관한 一聯의 体系的인 研究를 試圖하고 있으며, 本報는 水稻幼苗期에 低溫處理期間을 달리하므로써 冷害誘發強度를 달리하였을 경우 苗齡別 品種別로 冷害의 徵狀인 葉身의 黃化 및 枯死, 生長抑制 및 個體枯死現象의 經時的 發現特性과 또한 低溫處理後 正常溫度條件에서 苗袋末期 까지 계속 生長시킬 경우 얻어지는 苗의 特性을 밝 어 耐冷性品種育成 및 安全育苗技術確立을 위한 基礎資料를 얻고자 한 結果이다.

本 試驗은 農村振興庁 人工氣象室에서 遂行되었으며 本 試驗研究에 協調를 주신 關係官에게 感謝를 드리는 바이다.

材料 및 方法

本 試驗은 1976年度에 農村振興庁 人工氣象室에서 Japonica 品種인 振興과 鉄原 1號, Indica × Japonica 遠緣 交配品種 統一과 維新을 供試品種 으로 하여 實施하였으며 直徑 20cm × 높이 7 cm의 円形 plastic pot에 催芽種子를 播種覆土한 후 晝間 26°C (12시간)/夜間 18°C (12시간), 晝間光度 20,000 Lux 條件에서 處理葉期까지 生育시키고 晝間 11°C (13시간)/夜間 6°C (11시간), 晝間光度 20,000 Lux의 低溫條件에 處理한 후 上記 晝夜間 26/18°C 條件에서 播種後 30日까지 生育시켰다.

處理葉期는 第 1, 2, 3, 4, 5 本葉期이었는데 第 1葉期는 第 1本葉이 完全展開되고 第 2本葉이 약간 抽出된 時期를 말하며 2, 3, 4, 5 葉

기도 같은 방법으로定하였고各品種들이 이들各葉期에到達하였을 때 2, 4, 6, 8日間處理期間을 달리하여低溫處理를 하였으며試驗設計는各品種別 苗齡別로区分하여處理期間을要因으로 하는3反覆亂塊法을適用하였다.

試驗調査로써草長은處理前과直後 및 그 후處理開始로부터12~16日間實施하였고生存苗比率, 葉位別冷害程度, 乾物重을 다음과 같은方法으로調査하였다. 生存苗比率과 葉位別冷害程度는低溫處理를完了하고3日間發現시킨後에各各調査하였으며, 葉位別冷害程度는各葉位別冷害로甚히黃化되었거나先端 및 周緣部로부터枯死한部分의面積이葉身全體의面積比率로볼 때 0, 20, 40, 60, 80, 100%(完全枯死) 되는 것을各各 0, 1, 2, 3, 4, 5等級으로정하여調査하였다. 乾物重은低溫處理後 26°/18°C에서 계속生育시키고播種後30日經過하였을 때生存苗들에限하여調査하고對照區乾物重에 대한百分率로 나타내었다.

結果 및 考索

作物의冷害問題를研究하는데 있어 어느研究者에게나 아직껏 제일 어려운 점은冷害의發現이複合的現象이고 그樣態가品種 및 生理的年齡에 따라 다르게 나타나므로低溫處理後의障害程度를定量化하여處理間에比較하기 어렵다는 점이다. 그러나低溫處理溫度要因과期間要因의條件에 따라서冷害는處理後에生理作用 및生育이正常으로恢復되는 경우(Elastic strain)와恢復되지 못하는 경우(Plastic strain)로区分될 수 있으며 이는實用的으로重要的意味를 갖는다. 近來에 Kaneda(1972)와 Kaneda·Beachell(1974)은耐冷性品種育成上 여러地域에서 나타나는外觀上冷害現象을大別하여 1) 發芽遲延 및 立毛障害, 2) 幼苗期 葉身變色, 3) 幼苗의矮性化(草長伸長抑制), 4) 幼苗枯死, 5) 分蘖抑制, 6) 分蘖期 葉身變色, 7) 出穗遲延, 8) 이삭의抽出不良, 9) 이삭先端退化, 10) 不稔率增加, 11) 登熟期 葉身變色, 12) 登熟障害를 들고 이들은 각각取量減少에影響할 수 있음을示唆하였는데 우리나라의育苗期間中實質的으로問題되는 것은葉身の變色枯死, 幼苗의枯死率, 그리고生存苗

의生長抑制程度라고 할 수 있을 것이다. 本研究에서는 苗垡期間中에 빈번히 遭遇할 수 있는低溫條件을 주고 幼苗의各葉期別로低溫處理期間을 달리할 경우 葉身の變色枯死, 幼苗의枯死率, 生存苗의草長伸長 및 乾物重增加에 미치는影響과 葉齡別로可逆耐冷限界(Tolerance Limit for Elastic Strain)을 밝히고자 意圖하였다.

1. 苗齡別低溫處理強도와 葉身の變色枯死率
그림 1은晝夜溫度 26/18°C에서生長하는 幼苗를各葉期에晝夜溫度 11/6°C, 光度 20,000Lux에서 2, 4, 6 또는 8日間處理한後晝夜溫度 26/18°C에서 3日間冷害를發現시켰을 때調査한 葉位別變色枯死한 葉面積比率(正常 0, 20% 미만 1, 40% 미만 2, 60% 미만 3, 80% 미만 4 完全枯死 5)을 나타낸다.

Japonica品種인 振興과 鐵原 1號는 1, 2, 3 葉期의 경우低溫處理期間 8日까지 葉身の變色을 거의 보이지 않고 常溫에 환원한 후에 葉身先端이 약간 말라 죽을 뿐이었으나 4, 5 葉期에는處理 또는冷害發現期間中에老葉인 1葉과 2葉의黃化枯死가促進되었고, 3葉은低溫期間이 4일以上으로 길어질 경우에 葉身先端이 약간枯死하며 葉身全面에 直徑 1~2mm의 아주 작은白斑이 몇개形成되었으나生長中에 있는 葉身은正常이었다. 그러나 Indica×Japonica 遠緣交配品種인 統一과 維新은各葉期에 있어서 모두 작은白斑形成보다는 葉身先端 및 周緣部位로부터主脈쪽으로 심히黃化되고枯死해들어가는發現徵狀을 보였는데 모든齡令에 있어서老葉은 물론 어린잎도 모두冷害를 받았다. 그러나 Japonica 品種에서의 경우와 같이 어린잎은老葉에 비해冷害를 덜 받는 傾向을 보였다. 그리고低溫處理 당시 完全展開한新葉이處理後 葉面積의 10% 以下程度로枯死하는範圍의耐冷限界를 살펴보면 振興과 鐵原 1號는 8日以上이었으나 統一과 維新은 4日 미만이었다.

冷害로 인한 葉身の黃化現象은一次的으로는 葉綠素의不足現象이며 이러한 葉綠素의不足은 既存葉綠素의分解와 N 및 그밖의營養分不足 또는 葉綠素合成代謝系의阻害에 의한 葉綠素生成量의不足에起因한다고 할 수 있을 것이며 正常葉面積의減少는光合成의減少를 招來하여生長을阻害

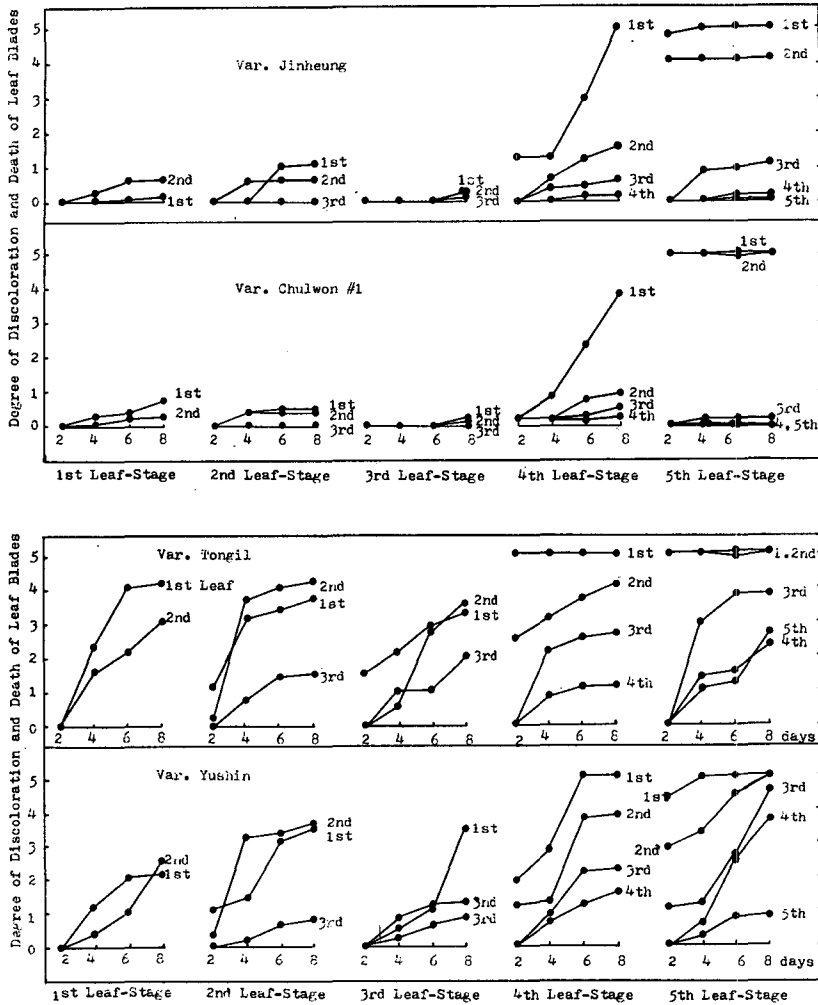


Fig. 1. Discoloration and Death of Leaf-blades of chilled Rice Seedlings as Affected by Duration of Chilling at Different Seedling Ages. (Degree 0 refers no discoloration, and 1 to 5 refers severe discoloration and death upto 20, 40, 60, 80, 100% of leaf area)

한다고 할 것이다.

Seible (1939)은 冷害로 인한 局小斑点은 原形質이 죽고 細胞間 間隙까지 浸透된 것이라고 하였고 Levitt(1972)은 이러한 局小斑点形成은 冷害의 因果關係類型中 直接的 被害(Direct Injury)에 該當할 것임을 지적하고 冷害의 mechanism으로써 첫째 原形質膜의 透過性 破壞와 같은 直接的 被害와 둘째 光合性 阻害 및 呼吸의 異常促進에 의한 饑餓現象, 酵素 不活性化 및 代謝阻害, 蛋白質 分解, 有毒物質의 蓄積等 外觀上 發現이 나타나기 까지 數日以上の 比較的 長期間을 필요로 하는 間

接의 被害(Indirect Injury)를 들었다.

本 研究에서 Japonica品種들의 白斑形成은 耐冷性이 적은 局所細胞의 原形質膜 破壞에 의한 것이며, Indica × Japonica 品種들의 黃赤變現象은 polyphenols 등의 有害物質生成에 의한 葉綠素破壞에 의한 것인지는 不分明하지만 冷害와 母生長과의 關係에서는 正常葉面積 減少 및 葉綠素의 不足과 生長과의 關係가 重要하다고 할 것이다. 한편 Millerd 등(1969)에 의하면 옥수수는 17°C 以下에서는 葉綠素 生成이 이루어지지 않고 葉綠體의 構造가 非正常化되며, 低溫強光條件에서는 既存葉綠

素 生成限界温度는 아직 밝혀지지 않았지만 水稻의 光合成適温은 Japonica品種들은 18~33°C, Indica品種들은 25~35°C (Osada 1964)인데 Tanaka Yoshitomi (1973)는 5°C에서 19時間 處理後에 生育適温에서 光合成恢復을 測定한 結果 外觀上 冷

害微狀이 없었음에도 不拘하고 光合成能力의 恢復程度에 있어서 品種間 差異가 있음을 報告하였다.

2. 苗齡別 低温處理期間과 生存率

그림 2는 앞에 說明한 바와 같이 處理하고 3日 間 冷害를 發現시킨 후 生存率을 調査한 成績이다.

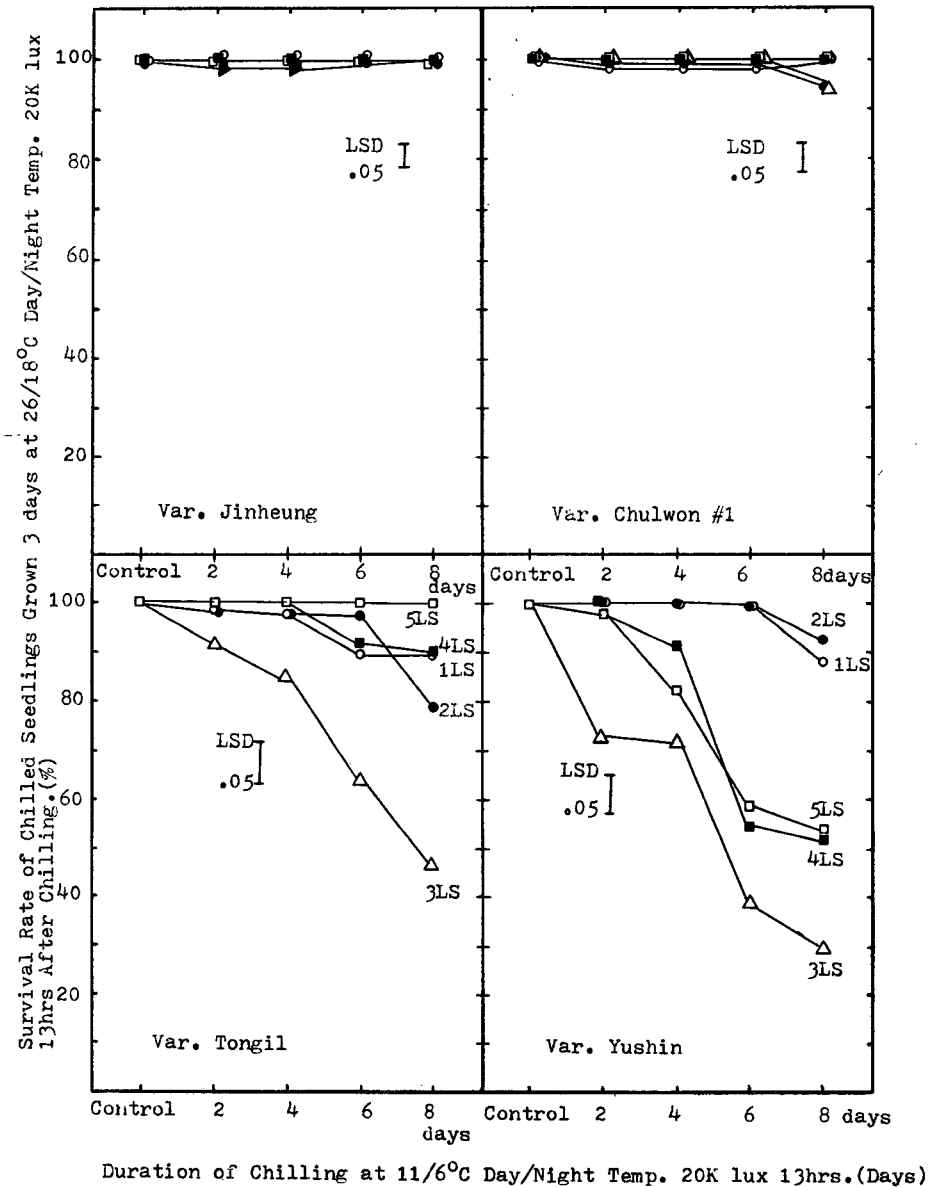


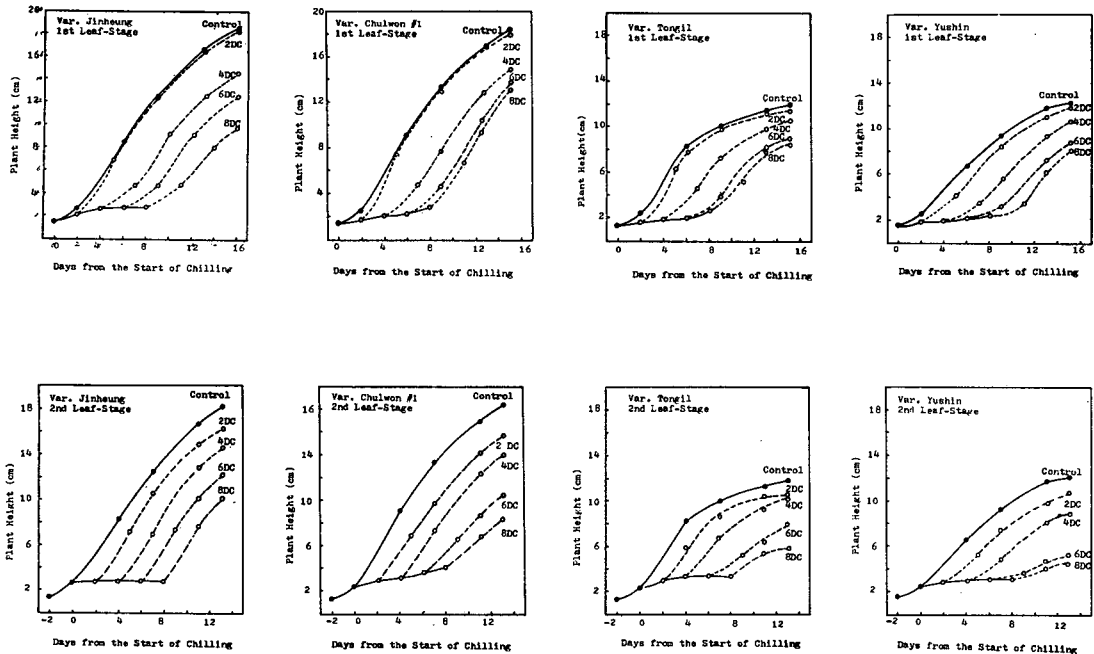
Fig. 2. Survival Rate of Chilled Rice Seedlings As Affected by Duration of Chilling at Different Seedling Ages (LS refers Leaf Stage of Seedlings)

低温處理에 의한 冷害는 一般적으로 高温條件에서 迅速히 發現되는데 本 試驗에서는 低温處理後 3日以内に 幼苗의 生存率이 決定되었고 더 增加하지 않았는데 이것은 李·閔·李·崔(1977)들이 *Indica*×*Japonica* 交配品種中 15品種을 苗令 2, 4, 6葉期에 晝夜間 10/5℃에 4~5日 處理後 晝夜間 25/15℃에서 枯死率의 變化를 10日間 經時的으로 調査한 結果 低温處理後 2日以後에는 枯死率이 더 增加하지 않았다는 報告와 一致한다. 本 試驗에서 低温處理期間에 따른 幼苗의 生存率은 品種別 苗令別로 달랐는데 振興은 1~5 葉期 모두에서 各各 8日間 低温處理를 하여도 枯死하지 않았으며 鉄原1号는 2葉期와 3葉期에 8日間 低温處理한 경우에만 5%程度 枯死하였다. *Indica*×*Japonica* 交配品種들은 3葉期에 枯死率이 뚜렷하게 가장 높았으며, 各 葉期別로 5%以下の 枯死率을 보이는 低温處理期間은 統一과 維新의 경우 1葉期에 各各 4日과 6日, 2葉期에 모두 6日, 3葉期에 모두 1日, 4葉期에 各各 4日과 2日, 5葉期에 各各 8日과 2日으로써 統一과 維新은 모두 振興, 鉄原1号에 比하여 耐冷性이 顯著히 弱하고 특히 第3葉期가 致命的으로 弱하지

만 維新은 統一에 比하여 1葉期에는 약간 強하고 4, 5葉期에는 오히려 弱하였다. 한편 崔·李(1976)는 統一을 1.5葉期에 4℃에서 2日間 處理한 경우에는 枯死苗가 없었으나 4葉期에 晝夜間 18/12℃에서 7日間 處理한 경우 26% 枯死하였다고 하였고 李·閔·李·崔(1977)는 晝夜間 10/5℃에 2葉期에 4日間, 4, 6葉期에 各各 5日間 處理하였을 때 統一은 2葉期 90%, 4葉期 40%, 6葉期 5%, 維新은 2葉期 90%, 4葉期 90% 枯死하였고 그외의 品種에 대한 成績과 함께 枯死率을 基準으로 判斷하여 第4葉期가 冷害에 가장 弱하다고 하였으나 本 試驗에서는 앞서의 研究들보다 苗令을 더 細分하고 低温期間을 段階的으로 길게 하여 살펴본 結果 統一과 維新 모두 冷害에 의한 苗枯死現象은 3葉期에 가장 심하였다.

3. 苗令別 低温處理期間과 草長伸長

그림 3의 1~4는 계속 晝夜間 26/18℃, 光度 20,000 Lux에서 生長하는 幼苗(對照區)의 草長增加와 第1~第5葉期에 葉期別로 各各 晝夜間 11/6℃에서 2, 4, 6, 8日間 處理한 直後 및 그 후 生存苗들의 草長을 處理開始로부터 12~16日間 調査한 成績이다. Kaneda·Beachell(1974)은 水稻의 主



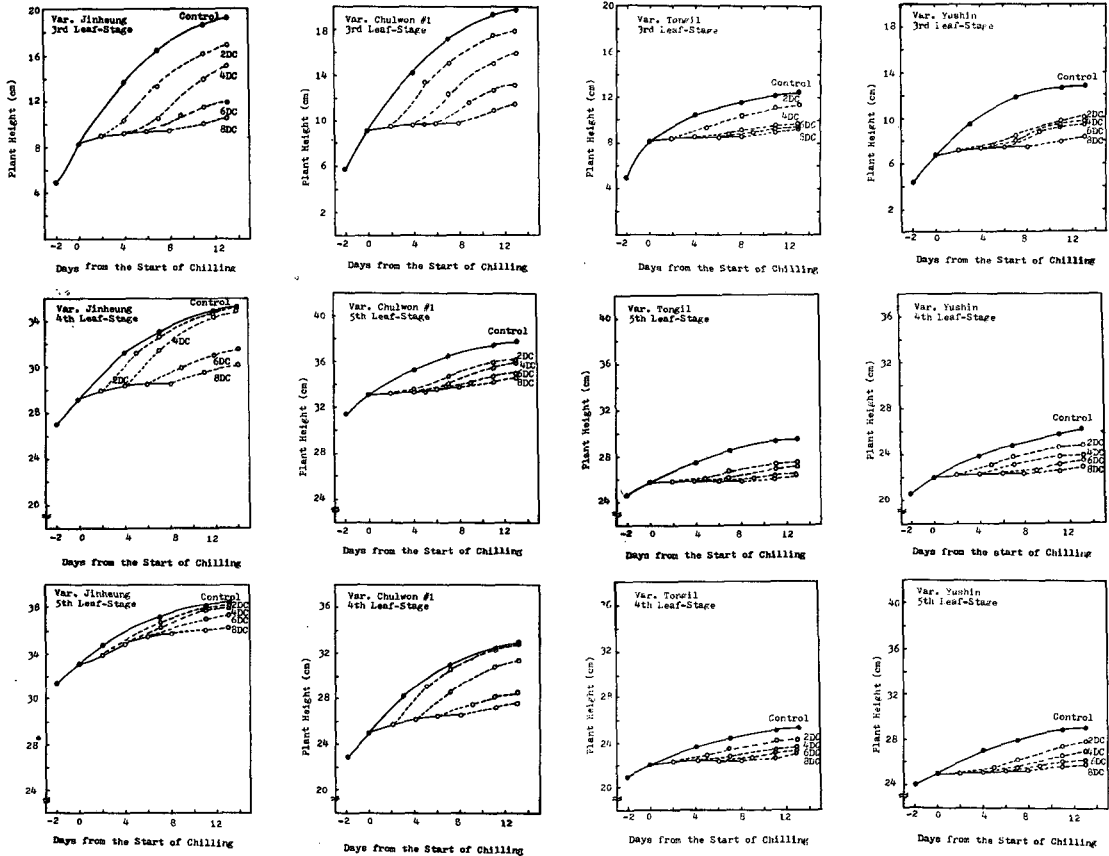


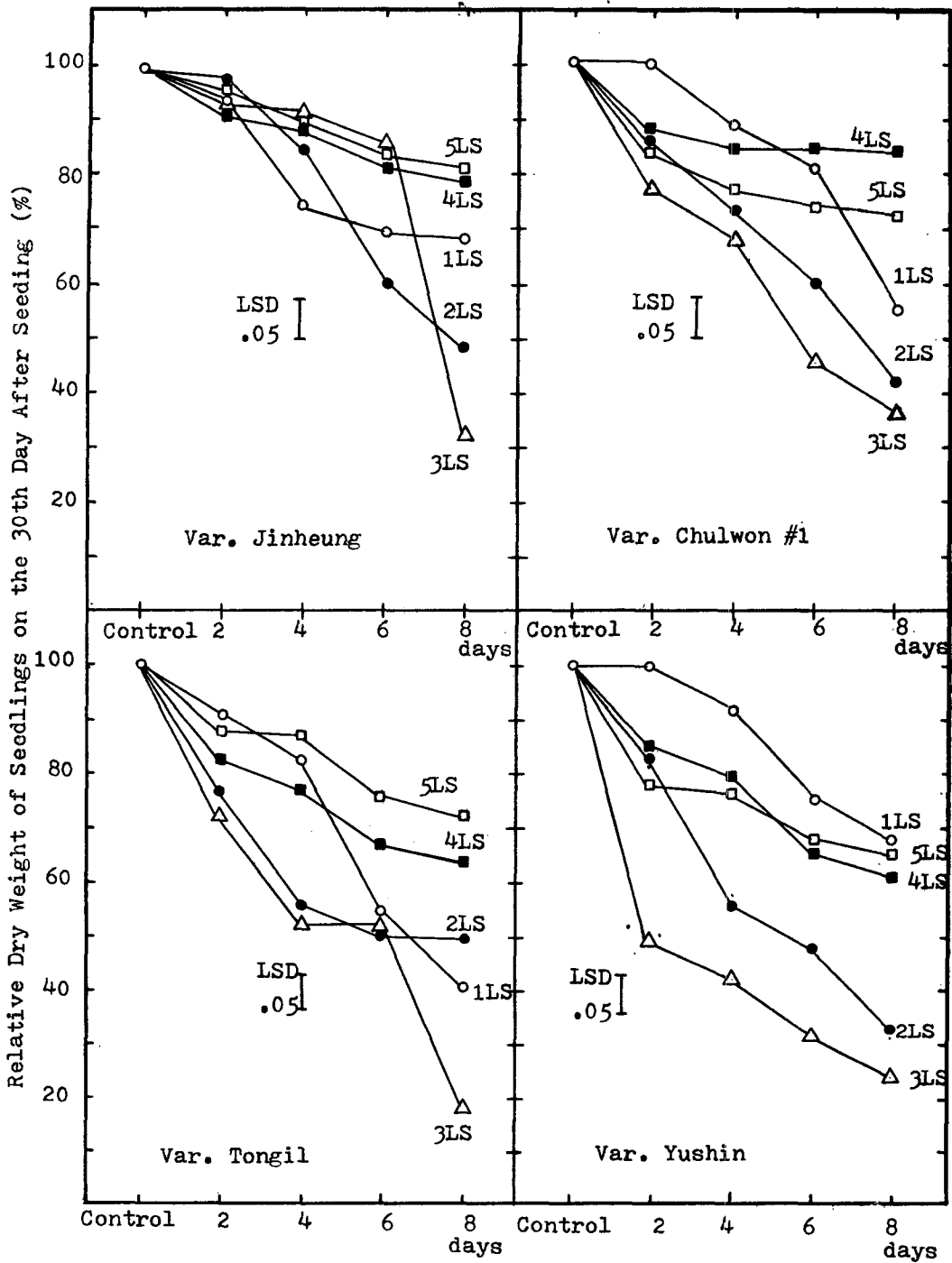
Fig. 3. Height Growth of Rice Seedlings at 26/18°C Day/Night Temp. 20K lux 13hrs. As Affected by Duration of Chilling at 11/6°C Day/Night Temp. 20K lux 13hrs. At Different Seedling Ages. (2, 4, 6, 8 DC refer Seedlings chilled for 2, 4, 6, 8 days)

要한 冷害徵狀의 하나로 矮性化(Stunting)를 報告 하였으며, 우리나라의 Indica×Japonica交配新品種 들은 大部分 準短稈種(Semidwarf)들로서 移秧作 業時 키가 작아 過去보다 多少 不便을 느끼고 있 다. 幼苗期의 草長은 出葉速度 및 葉의 伸長生育 에 支配되는데 水稻의 葉伸長 最低溫度는 7~8°C (Sasaki, 1927), 10°C (Aimi, 1965) 내지 12°C (Ta- naka·Munakata, 1974)이고, 根毛細胞의 原形質流動 은 15°C에서 거의 停止되며, 細胞分裂限界溫度 또 한 15°C로 알려져 있다. 한편 本 試驗에서는 晝夜 間 11/6°C에서 2~8日間 處理할 경우 振興은 4, 5葉期에, 그리고 鉄原 1號, 統一 및 維新은 1, 2 葉期에는 低溫에서도 약간의 草長增加를 보였다. 그러나 대체로 모든 品種이 各 葉期 모두 低溫에 서는 草長の 伸長이 거의 停止되었음이 注目되고 低溫處理 後 晝夜間 26/18°C에서의 草長增加樣相

에 있어서 生存苗들은 草長伸長이 곧 再開되지만 低溫期間이 길수록 生長速度가 떨어지고 振興은 1, 4, 5葉期, 鉄原 1號는 1, 4葉期, 維新은 1葉期에 2日 處理한 경우에만 对照區와 같은 程度로 恢復 되었고 그밖의 경우에는 低溫期間中 生長이 停止 되어 생긴 差異를 補償하지 못하였다. 이와같은 草 長變化는 葉色變化, 生存苗率 또는 乾物重 에서와 는 달리 耐冷性 指標形質로 利用하기에는 어려울 것으로 생각된다.

4. 苗令別 低溫處理期間과 苗乾物重

그림 4는 低溫處理 後 生存苗들을 晝夜間 26/18 °C (光度 20,000Lux)에서 계속 키운 後에 播種日로부터 30日에 地上部乾物重을 調査하고, 低溫處理를 하지 않은 对照區苗의 乾物重에 대한 百分率로써 整理한 成績이다. 따라서 이 成績은 育苗期間中 一時 冷害를 받은 苗들의 苗袋末期 乾物重으로



• Duration of Chilling at 11/6°C, Day-Night Temp. 20K lux 13hrs. (days)

Fig. 4. Dry Matter of 30 Days-old Rice Seedlings Grown at 26/18°C Day/Night Temp. 20K lux 13hrs As Affected by Duration of Chilling at Different Seedling Ages

볼 수 있을 것인데 試驗結果에서 나타난바 外觀上 冷害를 받지 않았던 条件, 즉 葉色变化나 葉身枯死가 極微하고 生存率도 95% 以上이었던 苗들도 对照区에 비하여 乾物重減少가 있었음은 그간의 報告들에서 言及되지 않았던바 注目할 점으로 생각된다. 이와같은 乾物重減少는 生理的 機能面에서 非可逆的 障害(plastic strain)는 받지 않았어도 低溫期間中에 生長이 停滯되었기 때문에 그후 그 差異를 恢復하지 못함으로써도 結果될 수 있을 것이다. 앞서의 文献들에서 나타나는 바 水稻의 正常 生理作用과 生長의 限界溫度는 15~18℃ 以上이고 그 以下에서는 모든 生理機能이 急激히 減少되는 점을 고려하면 本 試驗에서는 處理溫度가 晝夜間 11/6℃ 이었으므로 處理期間中에는 모든 生理機能 이 거의 停止되었을 것으로 생각된다. 그리고 實用的인 面을 고려하여 乾物重이 对照区의 90% 以下가 되지 않는 低溫限界期間, 즉 幼苗生長에 있어서 真意의 最大可逆障害期間(Period for Maximum Elastic strain)을 第1~5葉期의 各 苗齡別로 살펴 보면 振興은 2, 3, 4, 4, 4日間이었고, 鉄原1号는 4, 1, 1, 2, 1日間, 統一은 2, 0.5, 0.5, 1, 2日間, 그리고 維新은 4, 1, 0.5, 1, 1日間으로 品種과 葉齡에 따라 다소 다르지만 冷害에 가장 약한 苗齡은 振興(1葉期)을 除外하 3葉期이었고, 가장 弱한 時期의 耐冷限界期間의 長短으로 보면 品種別 耐冷性은 統一과 維新은 振興의 1/4, 鉄原1号는 振興의 1/2程度라고 할 것이다.

5. 綜合考察

以上の 試驗結果를 綜合考察하면 첫째로 幼苗期의 冷害發現樣態와 關聯하여 健苗를 確保하는데 實用的으로 가장 重要한 것은 冷害를 받은 後의 生存率과 生存苗의 乾物重이라고 할 수 있을 것이며, 耐冷性 品種育成上 葉身の 變色枯死는 冷害에 의한 枯死率, 草長 및 乾物重의 結果와는 直結되지 않았으므로 Japonica品種들과 Indica×Japonica 交配品種들의 耐冷性 差와 같이 耐冷性 差異가 比較的 寬 경우에는 耐冷性 指標로써 有用할 뿐이고 草長伸長抑制는 더욱 不分明하였으나 枯死率과 乾物重減少는 品種間 및 苗齡別로 充分히 耐冷性의 分化를 나타냈으므로 이는 幼苗期耐冷性檢定 및 安全育苗管理上 利用될 수 있는 特性으로 取扱되어야 할 것이다. 따라서 이제까지의 耐冷性檢定에서는 個體枯死率과 葉身枯死率 評点 에 주로 依存하여 왔으나 枯死率과 乾物重을 다루는 것이 合理的 일 것으로 생각된다. 그러나 Nishiyama(1979)는 光合成系의 耐冷性은 品種의 耐冷性을 決定하는 主要因의 하나일 것이라고 하였으며 一般的으로 Indica品種에서는 거의 모두 冷害에 關聯하여 広範圍하게 나타나는 葉身の 黃赤變現象은 그가 光合成 및 生長에 미치는 重要性이 크고 光合成의 溫度反應에 있어서 品種間 差異가 크므로 耐冷性品種育種上 반드시 重要하게 取扱되어야 할 것이며, 枯死率 또는 乾物重減少에 代置하여 取扱할 것이 아니라 光合成系의 耐冷性을 一次 選抜하고 그밖

Table 1. Maximum period of chilling shown survival rate above 95%(S95) and dry matter of 30 days old seedling greater than 90% of the unchilled (G90) at different seedling ages. Grown at 26/18℃, 20K lux 23hrs. day/night except chilling treatment at 11/6℃, 20K lux 13hrs day/night temperature.

Variety	Jinheung			Chulwon No.1			Tongil			Yushin		
	S 95 days	G 90 days	S×G Score	S 95 days	G 90 days	S×G Score	S 95 days	G 90 days	S×G Score	S 95 days	G 90 days	S×G Score
1	8	2	16	8	4	32	4	2	8	6	4	24
2	8	3	24	7	1	7	6	0.5	3	6	1	6
3	8	4	32	7	1	7	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5
4	8	4	32	8	2	16	4	1	4	2	1	2
5	8	4	32	8	1	8	8	2	16	2	1	2

의 生理作用阻害에 의한 枯死 또는 生長抑制面 을 2次的으로, 또는 分離하여 取扱하는 耐冷性의 多元的 模索이 効率的일 것으로 생각된다.

둘째로 苗令別 耐冷性의 限界와 그 差異를 冷害의 可逆障害의 實用的 限界로써 考察하고져 表1에서와 같이 品種別 苗令別로 95% 以上の 生存率을 보이는 最長處理期間과 生存苗들의 苗垡末期 乾物重이 無處理區의 90% 以下가 되지 않는 最長處理期間은 品種 및 苗令別로 각각 달랐으므로 이들 主要因값들을 곱하여 耐冷性綜合評点으로 表示하면 振興은 1, 2葉期에 弱하고 鉄原 1号는 2, 3葉期, 統一과 維新은 3葉期에 弱하며 育苗期間中 0℃ 以上 最高 15℃ 以下の 平均 8℃ 인 溫度條件에서 非

可逆的 生長阻害를 받을 危險이 큰 低溫期間은 振興의 경우 3日間 以上, 鉄原 1号는 2日間 以上, 統一과 維新은 1日間 以上일 것이다. 그리고 耐冷性檢定에 있어서 品種間 分化를 잘 나타내려면 苗令 2~3葉期에 11/6℃에서 6日間 處理하고 10日間 常溫에서 發現시킨 후에 枯死率과 乾物生長抑制率을 구하는 것이라고 하겠다.

셋째로 現在의 育苗期間의 溫度條件을 苗令別耐冷性和 관련하여 檢討하고져 水原地方을 一例로 하여 4月 1일부터 5月 15일까지의 日平均氣溫과 日最低氣溫의 最近 20年間의 平均値와 日最低氣溫의 標準偏差를 求하여 그림 5에 提示하였다. 現在 水原地方은 一般的으로 4月 10日~4月 15日에 保溫

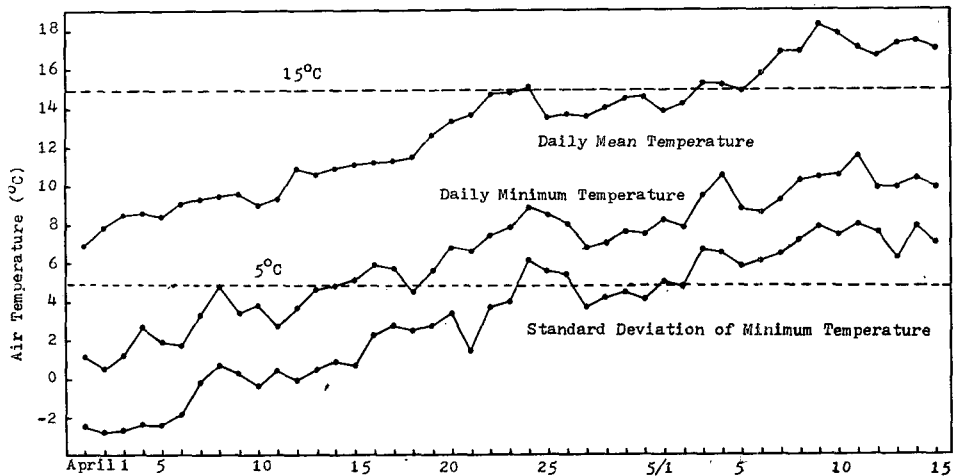


Fig. 5. Temperature Regime During the First Month Period of Rice Nursery in Suweon. (Average of 1957~1975 data : Farmers sow pre-germinated seeds on polyethylene-film covered seed bed during April 10th to 20th.)

折衷苗垡에 播種하고 있는데 이 時期의 平均日平均氣溫은 4月 10日 : 9.5℃, 4月 15日 : 11℃, 4月 20日 : 13.4℃이고 平均 最低氣溫은 3.6℃, 5℃, 6.8℃이며 日最低氣溫은 그 變異의 標準偏差를 고려하면 3년에 1회는 4月 10日 0℃, 4月 15日에 1℃, 4月 20日에 3℃ 以下로 떨어지며 특히 注目할 것은 4月 23日頃부터 5月 2日까지는 氣溫이 거의 上昇되지 않는 期間으로써 日平均 14℃, 日最低 8 ± 3℃인 점이다. 따라서 本 試驗에서 處理한 晝夜間 11/6℃의 溫度條件은 育苗期間中 實際溫度條件과 비슷한 範圍인데 保溫苗垡의 保溫效果

를 夜間最低溫度에 있어 3℃ 差異로 보면 4月 10日에 播種한 것은 夜間溫度 3~8℃에서 6~12℃ 範圍까지의 條件에서 育苗의 初期 10日間을 經過하게 되며 4月 20日에 播種하면 育苗의 初期 10日間이 夜間溫度 6~12℃에서 9~14℃ 範圍에 處하게 될 確率이 68%에 달하므로 播種日字가 4月 20日보다 앞당겨진다면 어느 해이건 적어도 乾物重이 減少될뿐만 아니라 해에 따라서는 多少間의 非可逆的 障害를 받게 될 危險이 크다고 할 것이다.

摘 要

水稻 幼苗의 苗令別 冷害發現의 特性을 求明 하 고자 品種 振興, 鉄原1号, 統一, 維新을 材料로 晝間 26℃ 13時間(光度 20,000 lux)/夜間 18℃ 11 時間의 人工氣象室에서 生長한 幼苗를 苗令 1, 2, 3, 4, 5 葉期에 各々 處理期間을 2, 4, 6, 8 日間 으로 달리하여 晝間 11℃ 13時間(光度 20,000lux) /夜間 6℃ 11時間의 低溫處理를 한後 晝間 26℃/ 夜間 18℃ 照明室로 옮겨 播種日로부터 30日間 生長시킨 結果는 다음과 같다.

1. 低溫處理後 冷害에 의한 幼苗의 枯死 現象은 處理後 3日間에 終了되었으며 苗令別 幼苗生存率은 Japonica 品種 振興은 모두 100%, 鉄原1号는 2葉期와 3葉期에 各々 8日間 低溫處理區에서 95% 程度이었고 그 밖에는 100%이었으며, Indica×Japonica 交配品種들은 品種, 苗令, 期間別로 耐冷性이 달랐는데 第1, 2, 3, 4, 5 葉期別로 95% 以上の 生存率을 보이는 低溫處理 最長期間은 統一의 경우 4, 6, 1, 4, 8日이었고 維新은 6, 6, 1, 4, 2日이었다.

2. 低溫處理 終了後 適溫에 3日間 冷害를 發現시켰을 때 振興과 鉄原1号는 1~5 葉期 모두에서 8日間 處理를 하여도 冷害로 인해 葉身이 枯死하지 않고 6~8日間 處理할 경우 極微한 白斑이 多少 形成될 뿐이었으나 統一과 維新은 葉身의 黃赤變枯死現象이 심하였는데 處理期間이 길수록, 老葉일수록 심하였고 完全展開한 新葉이 處理後 葉面積의 10% 以下 枯死하는 範圍의 耐冷限界는 4日 미만의 低溫이었다.

3. 低溫處理期間中에는 모든 品種이 各葉期 모두 草長의 伸長이 거의 停滯되었으며 處理終了後에는 伸張을 再開하였으나 各葉期 모두 低溫期間이 길수록 伸張速度가 減少되었으며, 振興은 1, 4, 5 葉期, 鉄原1号는 1, 4 葉期, 維新은 1 葉期에 2日間 處理할 경우에만 無處理區와 같은 程度로 恢復되었고, 그밖에는 低溫期間中 生長이 停滯된 差異를 補償하지 못하였다.

4. 播種後 30日間 生長한 苗의 乾物重은 低溫處理後 葉身이 正常이었고 苗生存率도 95% 以上이었던 處理區의 苗에서도 減少가 있었으며 乾物重이 無處理區苗의 90% 以下가 되지 않는 低溫處

理限界期間(最大可逆障害期間)은 第1, 2, 3, 4, 5 葉期別로 振興 2, 3, 4, 4, 4日間, 鉄原1号 4, 1, 1, 2, 1日間, 統一 2, 0.5, 0.5, 1, 2日間, 維新 4, 1, 0.5, 1, 1日間이었다.

5. 冷害에 의한 葉身變色枯死와 草長伸張抑制는 實用上 重要な 苗枯死率 및 苗乾物重과의 關係가 뚜렷하지 않았고 品種 및 苗令別 耐冷性의 差異를 分化시키지 못하였으나 苗枯死率은 品種間 耐冷性의 差異를 充分히 分化시켰으며 苗乾物重은 外觀上 冷害徵狀이 없을 경우에도 減少되고 品種間 差異를 보였으므로 幼苗耐冷性檢定은 枯死率과 乾物重增加抑制率 두 要因을 함께 고려하여야 할 것이다.

6. 低溫處理 및 冷害發現 後에 95% 以上の 生存率을 보이는 最長處理期間과 生存苗의 苗垜末期 乾物重이 無處理區의 90% 以下가 되지 않는 最長處理期間은 品種別 苗令別로 各々 달랐으므로 이들 두 要因의 값을 곱하여 耐冷性綜合評點으로 表示하면 振興은 1, 2 葉期, 鉄原1号는 2, 3 葉期 統一과 維新은 3 葉期에 弱하였고 最低氣溫 0℃, 最高氣溫 15℃, 平均氣溫 8℃의 溫度條件下에서 育苗할 경우 非可逆的 生長阻害를 받을 위험이 없는 最長低溫期間은 대체로 보아 振興 3日, 鉄原1号 2日, 統一과 維新 各々 1日이었다.

7. 주간 11℃ / 야간 6℃의 低溫條件下에서 幼苗期耐冷性의 品種間 差異를 가장 잘 分化시키는 方法은 苗令 2~3 葉期에 6日間 低溫處理한 후 10日間 常溫에서 發現시키고 枯死率과 乾物生長抑制率을 調査하는 것으로 생각된다.

引 用 文 獻

1. Adir, C.R. 1968. Testing rice seedlings for water tolerance. *Crop sci.* 8:264-65.
2. 安壽奉, 이석순, 윤성호. 1973. 벼의 種子發芽 및 苗生育에 對한 溫度反應의 品種間差異와 保溫育苗 및 催芽播種의 效果에 關한 研究. *農事試驗報告.* 15: 15-24.
3. Aimi, R. 1965. Growth-temperature relation and the critical temperature for growth in rice plants. *proc. crop sci. soc. Japan.* 34:82.

4. Chang, T. T. and H. I. Oka. 1976. Genetic variousness in the climatic adaptation of rice cultivars. In: *Climate and Rice. proceedings of the symposium.* PP. 87—111.
5. 趙正翼, 裴成國. 1976. 水稻 幼苗期 耐冷性의 品種間 差異에 關한 研究. 韓作誌 21(1): 35—42.
6. 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(2): 203—10.
70. 寺尾博. 1934. 水稻の冷害耐抗性に就この推考 並江稻熱病發生に關する假説. 農及団 9: 2567—582.
8. Kaneda, C. 1972. Terminal report on studies on the breeding for cold resistance, IRRI.
9. _____, and H. M. Beachell. 1974. Responses of indica-Japonica rice hybrids to low temperatures. *SABRAO J.* 6(1): 17—32.
10. 李文熙, 閔泰基, 李鍾薰, 崔鉉玉. 1977. 水稻 新品種의 幼苗期 低溫障害에 關한 研究. 韓作誌 22(2): 23—26.
11. 李弘祐, 趙亨烈, 林炳瑋, 許 燁. 1974. 水稻 의 障害形冷害에 關한 研究. 韓作誌 15: 85—98.
12. 李鍾薰, 姜在哲. 1978. 地域生態別 水稻品種 의 低溫發芽性. 韓作誌 23(2): 54—60.
13. Levitt, J. 1972. Responses of plants to Environmental Stresses. PP. 27—43.
14. Lyons, J. M. 1973. Chilling injury in plants. In: *Ann. Rev. plant physiol.* vol. 24: 245—66.
15. Millerd, A. D., Good child, J., Spencer, D. 1969. Studies on a maize mutant sensitive to low temperature. II. Chloroplast structure, development, and physiology. *Plant physiol.* 44: 567—83.
16. Nishiyama, I. 1976. Effects of temperature on the vegetative growth of rice plants. In: *Climate and Rice. Proceedings of symposium.* PP. 155—85.
17. Osada, A. 1964. Studies on the photosynthesis of indica varieties. *proc. crop sci. soc. Japan.* 33: 69—76.
18. Sasaki, T. 1927. On the relation of temperature to the longitudinal growth of leaves of rice plant. *proc. crop sci. soc. Japan.* 1: 23—42.
19. Seible, D. 1939. Ein Beitrag Zur Frage der kälteschäden an pflanzen bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt. *Beitr. Biol. pflanz.* 26: 289—330.
20. Soomro, A. A., and G. W. McLean. 1972. High yielding rice varieties in West Pakistan. In: *International Rice Research Institute, Rice breeding.* PP. 157—59. Los Banos, Philippines.
21. Tanaka, I., and K. Munakata. 1974. The influence of seasons on the growth of leaves and roots. *proc. crop sci. soc. Japan.* 43: 59—60.
22. _____, and S. Yoshitomi. 1973. Influence of low temperature on photosynthesis, photorespiration and transpiration of rice plant. *proc. crop sci. soc. Japan.* 42: 109—110.
23. Vergara, B. S. 1976. Physiological and morphological adaptability of rice varieties to climate. In: *Climate and Rice. Proceedings of the symposium.* PP. 67—86.

SUMMARY

To characterize development of elastic and plastic chilling injury at different seedling ages, rice seedlings grown at a 26°C day and 18°C night temperature with 13 hours photoperiod of 20,000 lux in a phytotron were subjected to a 11°C day and 6°C night temperature (20,000 lux lit for 13hrs.) condition for 2, 4, 6 or 8 days at 1st, 2nd, 3rd, 4th or 5th leaf-stage, respectively, followed by further growth under the 26/18°C condition till 30th day after seedling. The results are as follows:

1. Death of seedlings injured by chilling was expressed fully within 3 days at 26/18°C after chilling. Japonica variety Jinheung and Chulwon

No. 1 survived almost 100% even under the chilling of 8 days at all seedling ages tested. Tongil and Yushin, varieties from Indica × Japonica cross, showed varietal, age and chilling duration differences in survival rate. The longest chilling duration shown seedling death less than 5% was 4, 6, 1, 4, 8 days for Tongil, and 6, 6, 1, 2, 2 days for Yushin at 1, 2, 3, 4, 5th leaf-stage, respectively.

2. Japonica varieties did not develop any significant discoloration and death of leaves due to chilling even under a chilling intensity of 8 days except development of a few, whitish specks with prolonged chilling. Indica × Japonica varieties showed increasing discoloration and death of leaves with increase in chilling intensity. Younger leaves showed lesser discoloration.

3. Leaf elongation was arrested during chilling and resumed soon after chilling, but the rate of height growth decreased with increase in chilling intensity. The longest period of elastic strain for height growth was 2 days for, 1, 4, 5th leaf-stage of Jinheung, 1, 4th leaf-stage of Chulwon No. 1, 1st leaf-stage of Yushin. The other conditions of chilling did not allow the chilled plants to catch up the height of untreated plants.

4. Dry weight of 30 days old seedling once chilled was significantly lighter than that of the untreated, even with chilling intensity not shown any visible chilling injury. The maximal elastic strain for dry weight increase was 2, 3, 4, 4, 4 days for Jinheung, 4, 1, 1, 2, 1 days for Chulwon No. 1, 2, 0.5, 0.5, 1, 2 days for Tongil, and 4, 1, 0.5, 1, 1 days for Yushin at the 1st to 5th leaf-stages, respectively.

5. The degree of discoloration and death of leaves, or suppression of height growth was not explicitly related to the seedling death or dry weight reduction, and could not differentiate fully varietal and age differences in chilling tolerance while the degree of seedling death and dry weight reduction could but somewhat differently each other. These suggest that both the degree of seedling death and reduction in dry weight should be considered for chilling tolerance test in breeding.

6. Combined evaluation of seedling death and dry weight reduction indicated the most susceptible seedling age to chilling injury to be 1st to 2nd leaf-stage for Jinheung, 2nd to 3rd leaf-stage for Chulwon No. 1, 3rd leaf-stage for Tongil and Yushin, respectively.