

벼 穗孕期耐冷性的 前歷條件에 따른 變動과 機構

李善龍* · 朴錫洪**

Changes of Cold Tolerance and its Mechanisms at Young Microspore Stage caused by Different Pre-growing Conditions in Rice

Seon Yong Lee* · Suk Hong Park**

ABSTRACT : It was proved that cold tolerance of rice plants at the young microspore stage was affected by water temperature and nitrogen application from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage, and this mechanism could be explained in the point of view of pollen developmental physiology. The cold tolerance of rice plants at the young microspore stage was severely affected by water temperature (Previous water temperature) and nitrogen application (Previous nitrogen application) from the spikelet differentiation stage to the spikelet differentiation stage. Although the duration is only 10 days or so from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage, these days are very important period to confirm the cold tolerance of rice plants at the young microspore stage. The higher previous water temperature up to 25°C and the deeper previous water depth up to 10cm caused the more cold tolerance of rice plants. Water irrigation of 10cm before the critical stage showed lower cool injury than that of water irrigation of 20cm during the critical stage. The preventive effect of cool injury by combined treatment of the deep water irrigation before and during the critical stage was not additive but synergistic. The cold tolerance of rice plants grown in previous heavy nitrogen level was rapidly decreased when nitrogen content of leaf blade at the young microspore stage was excessive over the critical nitrogen level. Nitrogen content of leaf blade at the changing point of cold tolerance was estimated as about 3.5% for Japonica cultivars and about 2.5% for Indica x Japonica cultivars. It is considered that these critical nitrogen contents of leaf blade can be used as a index of the safe critical nitrogen level for the preventive practices to cool injury. It was summarized that increase of engorged pollens per anther by high previous water temperature resulted from the increase of number of differentiated microspores per anther, otherwise, the increase of engorged pollens by the decrease of previous nitrogen level was caused by the decrease of the number of aborted microspores per anther.

Key words : Rice, Microspore stage, Cool injury, Water temperature, Water depth, Nitrogen, Phosphate, Potassium, Fertility, Engorged pollen, Aborted pollen.

벼는 원래 熱帶原産의 植物이나 人類의 重要한 食糧作物의 하나로 오랜 歲月동안 改良이 거듭되어 現在는 北緯50度로부터 南緯35度까지, 海拔0 m로 부터 2,600m의 高地帶까지 넓은 範圍에 걸쳐 栽培되고 있다. 그러나 栽培地域이 넓어짐에 따라 冷害, 高溫害, 風害, 水害, 旱害 등 各種

氣象災害를 입을 可能性이 큰데 특히 高緯度地域과 山間高冷地에서는 冷害가 가장 重要한 氣象災害임은 復言할 必要도 없다. Vergara 等³⁴⁾은 低緯度인 南 및 東南아시아의 水稻作地帶에서 冷害가 問題視되는 地域이 700萬ha에 達함을 推計하여 報告한 바 있다.

* 嶺南作物試驗場 (Honam Crop Experiment Station, RDA, Iri 570-080 Korea)

** 作物試驗場 (Crop Experiment station, RDA, Suwon 440-100, Korea)

이와같이 水稻의 冷害는 山間高冷地는 물론 熱帶로 부터 溫帶에 이르기까지 넓은 範圍에 發生하는 氣象災害로서 이들 地域에 있어서 水稻作의 安全性向上을 위한 冷害防止技術의 確立은 매우 重要한 課題이다.

農業技術의 進步에 따라 單位面積當 收量은 顯著하게 增加되기는 하였으나 冷害年에 있어서 單收의 低下가 解決되었다고는 볼수없다. 氣象災害는 被害範圍가 尙大하기 때문에 人爲的으로 그리고 積極的으로 克服하기는 어렵고 다만 消極的으로 迴避하는 程度에 不過한 實情이다.

最近 氣象學者들의 氣象의 長期展望은 溫室效果에 의하여 地球가 溫暖化되어 간다고한다. 우리나라는 1984 및 1988년에 部分的으로 輕微한 冷害는 있었으나 10年 連續豐年을 이루고 있어 冷害는 問題視되지 않는 氣象災害로 看過되고 있는것 같다. 그러나 氣象災害, 特히 低溫障害는 不時에 尙大하게 일어나므로 災害가 일어나지 않는 時點에서 보다 深度있게 研究 分析 檢討하여 必要가 있다고 본다.

本報告는 벼의 穗孕期 耐冷性의 前歷條件에 따른 變動과 그 機構를 檢討하여 冷害出現時 對策資料로 活用하고 未冷한 點은 檢討課題로 提起코자 하였다. 또한 障害型冷害를 耐冷성과 關聯시켜 穗孕期耐冷性으로 表記하였음을 附記한다.

우리나라 年度別 冷害現況과 冷害常習地分布

우리나라는 시베리아氣團, 오호츠크氣團, 北太平洋氣團의 影響을 크게 받는 地域에 위치하고 있어 水稻栽培期間에 이들 氣團의 活動에 따라 低溫被害를 받는 경우가 있다. 1965年以後 年度別로 우리나라 水稻의 冷害被害面積과 被害量을 보면 表1에서와 같이 1976年以前은 적게 또는 많게 거의 每年 被害가 있었으나 以後는 대체로 4年에 1回씩 被害를 입어왔다. 冷害는 심한 경우 被害가 莫大하여 1980年度의 冷害는 記錄에 나타난 被害로서는 類例없었던 큰 冷害로 7月부터 8月中旬까지 低溫이 長期間來襲하여 複合型冷害를 받아 全國平均 쌀 收量이 10a當 289kg이었으며 被害面積은 우리나라 논面積의 約 62%에 達하였고, 被害量도 1,583,381M/T에 達하였다.

한편 低溫被害는 地域的으로도 그 分布가 달라 中北部 및 南部山間高冷地, 東海岸冷潮風地帶에서는 頻繁한 冷害를 받고있다. 冷害常習地分布를 道別로 보면 表2에서와 같이 被害面積은 全北이 가장많고 慶北, 江原의 順으로 많으며 被害可能 個所數는 江原이 527個所로 가장많고 慶北, 慶南의 順으로 많으며 總 1,709個所, 15,522ha에 達하고 있다. 이들 地域은 被害危險이 常存하고 있

Table 1. Damage area and yield loss of rice due to cold injury in Korea.

Year	Area (ha)	Yield loss (M/T)	Year	Area (ha)	Yield loss (M/T)
'65	123	112	'78	-	-
'66	9,404	17,234	'79	-	-
'67	2,308	1,726	'80	782,107	1,583,381
'68	6,848	5,797	'81	-	-
'69	36,106	18,858	'82	-	-
'70	11	3	'83	-	-
'71	175,872	25,533	'84	1,196	788
'72	14,215	3,681	'85	-	-
'73	35	19	'86	-	-
'74	211	220	'87	-	-
'75	1,065	-	'88	11,810	28,365
'76	9,293	18,076	'89	-	-
'77	2	-	'90	-	-

* Statistical year book of agriculture, forestry and fisheries in 1990.

Table 2. Distribution of low temperature damage area in Korea.

Location Classification	Kyong-gi	Kang-won	Chun-buk	Chung-nam	Jun-buk	Jun-nam	Kyong-buk	Kyong-nam	Jeju	Total
Number	64	527	152	65	236	40	369	255	1	1,709
Area (ha)	1,641	2,684	459	538	7,050	264	2,772	1,156	30	15,522

다고 하겠다. 따라서 最近의 氣象豫報는 的中率이 높아 氣象豫報에 따라 適時適切한 對應策이 講究되고는 있으나 보다 深度있는 試驗研究가 이루어져 冷害對應技術의 많은 集積이 必要하다고 본다.

水稻穗孕期 耐冷性的 前歷條件에 다른 變動과 對策

水稻의 冷害는 減收要因에 따라 一般적으로 遲延型冷害와 障害型冷害로 大別하며 氣象經過에 따라서는 複合型冷害가 일어나기도한다. 遲延型冷害는 活着 및 初期生育不良, 幼穗分化, 出穗, 開花, 登熟 等の 遲延으로 屑米發生 및 粒重減少가 減收의 主因이며, 障害型冷害는 花粉發育, 受粉, 受精不良 等に 따른 不稔發生이 減收의 主因이다.

障害型冷害의 感受性이 가장 높은 時期는 減數分裂期보다 1~1.5日이 늦은 4分子期和 第1收縮期를 包含하는 小孢子初期이며^{6,25)} 이時期를 中心으로한 6~7日間을 一般적으로 冷害危險期라고 불려지고 있다. 冷害危險期의 穎花는 限界以下の 低溫에 2~3日 遭遇되어도 不稔이 일어나나 危險期보다 前 또는 後의 穎花는 低溫耐性이 比較的 強하기 때문에 不稔이 일어나지 않는다. 따라서 障害型冷害對策으로서는 品種 및 栽培法을 組合하여 冷害危險期가 同一時期에 오지않도록 하는 것이 栽培의 基本이라 하겠다.

本報告에서는 水稻本畚栽培의 中心技術인 물管理와 施肥管理를 中心으로 檢討하였다.

1. 水稻穗孕期耐冷性的 前歷水溫에 따른 變動과 對策

冷害危險期의 氣溫이 限界以下로 低下했을 때의 對策으로서는 예부터 深水灌漑가 實施되어왔다. 이는 이時期의 畚面水溫이 氣溫보다 높다는데 着眼한 것으로 危險期의 穎花가 低溫에 影響되는 것을 물로 保護하는 技術로서 冷害年에는 實效를 거두어왔다. 따라서 冷害對策으로서 물管理는 冷害危險期 以前的 물管理가 穗孕期耐冷性에 影響한다는 것은 重要視되지 않았다.

그림1은 2.5葉期로부터 開花期까지 20℃ 및 25℃의 水溫에서 栽培한 벼를 生育時期別로 低溫處理를 했을때의 稔實比率의 變動을 나타낸 그림

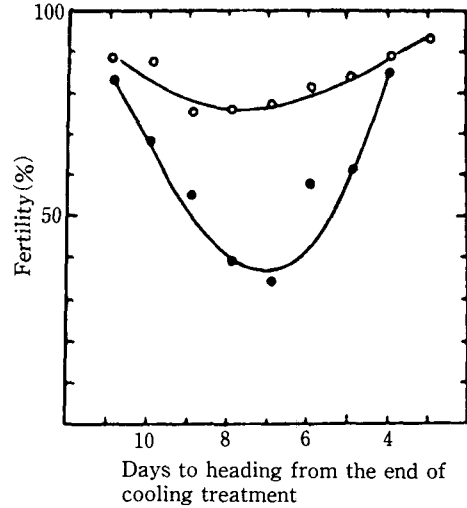


Fig. 1. Effect of cooling treatment (12°C, 4 days) applied at various periods during the booting stage on the fertility of plants grown under two different water temperatures.^{16,26)}

Air temperature : 24°C/19°C
Water temperature during the period from 2.5 leaf stage to the end of flowering ;
-○- : 25°C, -●- : 20°C

이다. 稔實比率이 水溫 25℃에서 栽培한 벼보다 20℃에서 栽培한 벼가 顯著히 낮았는데 이 結果는 健全한 生育을 한 벼는 低溫耐性이 強하다는 것을 의미하고 있다. 그림1은 全生育期間을 通한 水溫處理結果로서 低水溫 敏感期가 있음이 認定되는 生殖生長期인 穗首分化期로부터 開花期까지를 前期(穗首分化期~穎花分化期), 中期(穎花分化期~小孢子初期), 後期(小孢子初期~開花期)의 3期로 나누어 水溫을 달리하여 穗孕期耐冷性的 感受性을 檢討한 結果가 그림2이다. 그림에서 보는 바와 같이 3期中 中期인 穎英分化期로부터 小孢子初期까지 約10日間の 水溫에 의하여 稔實比率이 顯著히 減少하였고 穎花分化期以前이나 小孢子初期以後의 水溫은 稔實에 거의 影響하지 않았다. 따라서 中期인 穎花分化期로부터 小孢子初期까지의 水溫을 本報告에서는 前歷水溫이라 稱하였다. 이와같이 前歷水溫은 稔實에 크게 影響하고 있는데 이 前歷期間의 限界水溫은 그림3에서와 같이 25℃까지는 水溫이 上昇할수록 稔實指數($\frac{\text{arc sin(低溫處理區의 稔實比率)}}{\text{arc sin(對照區의 稔實比率)}} \times 100 = \text{耐冷性}$)가 높았으며, 25℃와 30℃ 사이에는 거의 差가 認定되지 않았는바 前歷물管理에 있어서 限界水溫은 25℃로

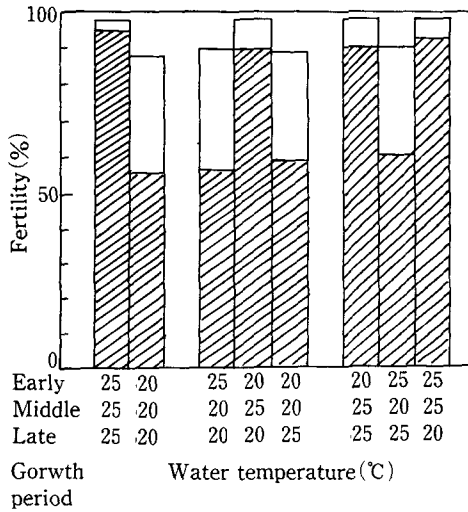


Fig. 2. Changes in cool tolerance of rice grown at different water temperatures during the three different growth periods.^{15,16,27)}

Growth period

Early period : from the neck-node differentiation stage to the spikelet differentiation stage

Middle period : from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage

Late period : from the young microspore stage to the end of flowering

Water depth was kept at 10cm

□ : Control (24/19°C)

▨ : Cooled (12°C, 3 days)

보였다. 齋藤²⁴⁾는 明峯¹⁾의 實驗成績으로부터 水稻의 各 氣溫階層마다의 比例係數는 25°C 부근에

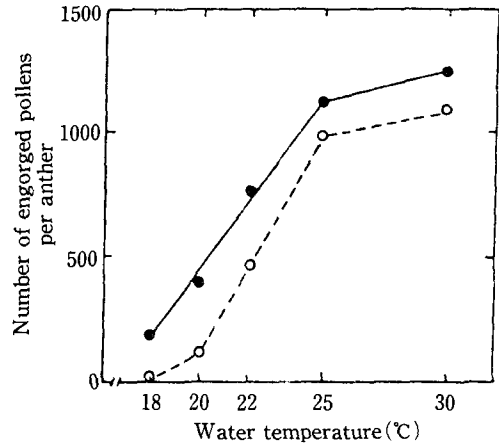


Fig. 3. Changes in cool tolerance (fertility index) at different water temperatures during the period from spikelet differentiation stage to the young microspore stage.^{16,27)}

● : Hayayuki

○ : Norin 20

Each dot in figure is an average of two determinations in 1983 and 1984.

$$* \text{Fertility index (\%)} = \frac{\text{arc sin } \sqrt{\text{fertility of cooled}}}{\text{arc sin } \sqrt{\text{fertility of control}}} \times 100$$

서 거의 飽和狀態가 된다고 指摘한 바 있다.

한편 前歷水溫의 日平均值가 같은 경우 夜間의 水溫이 낮더라도 晝間의 水溫이 높으면 晝夜恒水溫의 경우보다 稔實障害가 적었다(表3). 卽 低溫障害를 줄이기 위한 目的으로 前歷水溫을 높이고 자 할때는 晝間의 水溫上昇에 留意해야 함을 알

Table 3. Effects of the different combinations of the day and night water temperature during the period from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage on the fertility index.^{15,16,26,27)}

Daily average water temp. (°C)	Daytime water temp. (°C (hrs))	Night water temp. (°C (hrs))	Fertility (%)		Fertility index (%)
			C	T	
26	26 (12)	26 (12)	88	88	100
	22 (12)	22 (12)	80	77	95
	24 (12)	20 (12)	80	77	97
22	26 (8)	20 (16)	75	76	101
	20 (12)	20 (12)	81	50	70
	22 (12)	18 (12)	79	57	78
20	24 (8)	18 (16)	78	67	89
	26 (6)	18 (18)	77	65	88
	24 (12)	16 (12)	81	65	84
	26 (9.6)	16 (14.4)	78	69	91
18	18 (12)	18 (12)	45	21	65
	24 (6)	16 (18)	70	34	63
	26 (4.8)	16 (19.2)	63	36	70

C : Control (24/19°C), T : Cooled (12°C, 3 days)

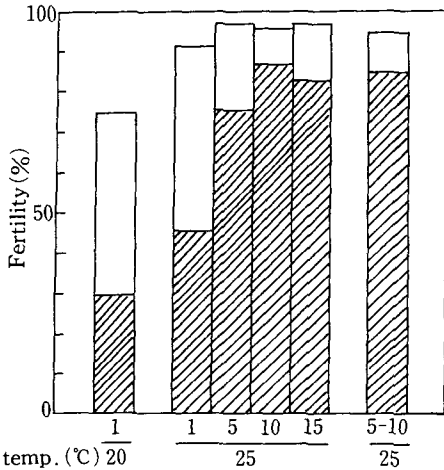


Fig. 4. Effect of water depth during the period from spikelet differentiation stage to the young microspore stage on cool tolerance of rice at the young microspore stage.^{16,27}
 □ : Control (20/20°C)
 ▨ : Cooled (12°C, 3 days)

Table 4. Effects of water depth on changes of cool tolerance caused by water temperature treatment during the period from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage^{16,27}

Water depth (cm)	Water temp. (°C)	Fertility (%)		Fertility Index (%)
		C	T	
1	20	89	71	81
	25	95	87	89
10	20	83	39	59
	25	93	89	95

The data in the table is an average of 2 determinations in 1983 and 1984.

C : Control (24/19°C)

T : Cooled (12°C, 3 days)

수 있다. 柴田 等²⁹⁾은 穗孕期の 低溫과 不稔發生과의 關係에 있어서 平均氣溫이 같은 경우 晝夜變溫區가 晝夜恒溫區보다 不稔이 적다고 報告한 바 있다. 한편 穗孕期耐冷性은 水深에 따라서도 달라지는데 그效果를 충분히 發揮시키기 위하여는 그림4 및 表4에서와 같이 10cm의 水深이 必要하며 深水의 效果는 水深增加에 따라 그림5에서와 같이 幼穗가 水面下에 위치하는 期間이 길어져 水温의 直接的인 影響을 오랫동안 받기 때문이다. 또한 前歷물管理에 있어 穎花分化期로부터 바로 10cm의 水深으로 深水灌溉의 必要가

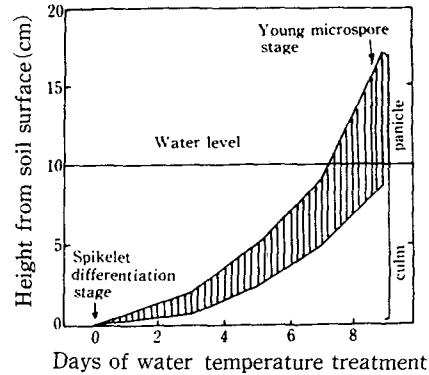


Fig. 5. Time course of the position of panicle above ground level during the water temperature treatment of 25°C with depth of 10 cm.^{16,27}

없고 幼穗의 發育에 따라 徐徐히 深水로 하여도 그結果는 크다고 본다. 實際에 있어서 深水灌溉를 위하여 利用되는 물은 限定된 경우가 많은 점으로 미루어 보아도 幼穗의 發育에 따라 徐徐히 深水로 灌溉하는 方法은 보다 現實的이며 實行可能한 方法이라 하겠다.

以上の 結果를 基礎로 前歷 및 危險期물管理에 의한 障害型冷害防止效果를 檢討하기 위하여 前歷期間의 氣溫을 晝夜18°C로 하고 水温을 氣溫보다 3°C 높은 21°C의 條件下에서 水深을 3cm와 10cm로 하고 危險期에는 氣溫을 晝夜 15°C로 내리고 水温은 氣溫보다 3°C 높은 18°C, 水深을 3, 20cm로 處理한 結果가 그림6인데 前歷 및 危險期 모두 水深 3cm에서는 對照區의 9%밖에 收量을 얻을 수 없는 低溫下에서도 前歷 10cm의 深水

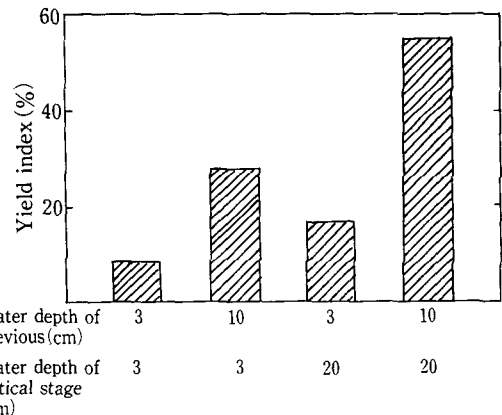


Fig. 6. The preventive effect of cool injury by combined treatment of the deep water irrigation before and during the critical stage.^{16,27}

灌漑에서는 28%의 收量을 얻었고 危險期 20cm의 深水灌漑에서도 17%의 收量을 얻었으며 두時期 모두 深水灌漑를 함으로서 收量指數가 55%로 增加하였다. 이와같이 冷害防止에 대한 前歷深水의 效果는 危險期深水의 效果보다 컸으며 두時期에 深水灌漑를 併行함으로서 冷害防止效果를 相乘的으로 높일 수 있었다. 卽 前歷10cm의 深水灌漑는 危險期20cm의 深水灌漑에 비하여 效果가 크다는 것과 附加해서 물의 確保가 容易하여 實施하기 쉽다는 점에서 效果의인 方法이라 하겠다.

따라서 危險期20cm深水灌漑에 附加해서 前歷卽 穎花分化期로부터 小孢子初期까지 10cm의 深水灌漑를 水稻作의 冷害對策을 위한 基本물管理技術로서 活用될 수 있다고 본다.

冷害危險期の 深水灌漑는 目前에 臨迫한 低溫으로 부터 벼를 保護하는 技術인데 비하여 前歷深水灌漑는 低溫에 遭遇하더라도 被害를 輕減시킬 수 있는 耐冷素質이 강한 벼를 栽培하는 技術이라 하겠다.

水溫을 높이는 技術로서는 비닐튜브利用, 防風網設置 等³⁹⁾이 實用化되고는 있으나 低cost로서 보다 效率的인 水溫上昇技術을 開發할 必要가 있다고 본다.

2. 多窒素, 磷酸 및 加里缺除에 따른 穗孕期 耐冷性的 變動

基肥로 窒素를 過多하게 施用하거나 過多한 窒素追肥는 穗孕期耐冷性を 助長한다는 많은 報告가 있다.^{2,3,5,11,14,17,22,31)} 그러나 土壤에 施用한 窒素는 土壤으로부터 放出되는 地力질소와 아울러 連續的으로 吸收되므로 어느時期에 吸收된 窒素가 穗孕期耐冷性에 關與하였는가를 밝히기는 어렵다. 아울러 窒素뿐만 아니라 穗孕期以前의 氣溫^{4,7,10,12,23)}, 水溫^{5,9,13)}, 遮光^{8,32)} 等도 耐冷性を 變動시키는 要因으로 作用하고 있다는 報告들이 많다. 따라서 關與要因을 單純化 시키기 위하여 人工氣象室이나 水耕栽培를 통한 試驗研究들이 이루어 졌는데 佐佐木와 和田²⁸⁾는 人工氣象室을 利用한 穗孕期 低溫處理 試驗에서 窒素의 多量施用과 磷酸의 不足이 不稔을 增加시킨다고 報告하였다. 松崎와 松島¹⁸⁾는 礫耕栽培에 의하여 葉令指數 70~90의 期間에 窒素制限處理를 하면 穗孕期耐冷性이 높아진다고 報告하였다. 志賀 等³¹⁾은 實用的인 面을 考慮하여 논에서의 窒素追肥試驗

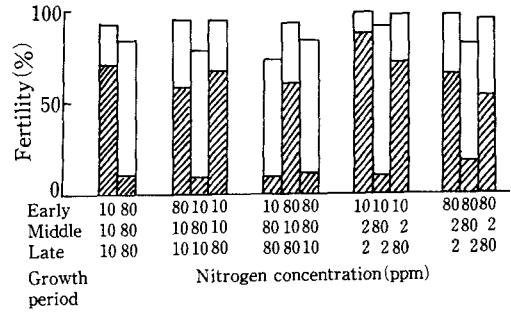


Fig. 7. Changes in cool tolerance of rice cultured under different nitrogen levels during the three different growth periods.^{16,26)}

Growth period : Division of growth period is the same as those in Fig. 2.

□ : Control (24/19°C)
 ▨ : Cooled (12°C, 3 days)

結果로 부터 幼穗形成期項의 窒素追肥는 低溫年에 不稔發生의 危險이 크나 止葉期追肥는 危險이 거의 없다고 하였다.

水稻生育에 있어서 無機營養中 影響이 가장 큰 窒素는 過多施用인 경우 各種災害誘發可能性이 크다. 特히 穗孕期 窒素施用量 過多는 低溫障害를 助長하기 쉬우므로 어느時期에 施用된 窒素가 穗孕期耐冷性에 影響하였는가를 明瞭하게 밝히는 것은 冷害憂慮時 施肥管理를 위하여 매우 重要하다고 본다. 그림7은 穗首分化期로부터 開花終期까지를 前歷물管理에서와 같이 前期, 中期, 後期로 區分하여 時期別로 窒素供給濃度を 달리한 水耕栽培 結果로 窒素多量 供給에 따른 耐冷性이 敏感하게 變動하는 時期는 中期인 穎花分化期로부터 小孢子初期까지의 期間이었다. 이 期間은 葉令指數 90~99에 該當하는 時期로서 松崎와 松島¹⁸⁾가 窒素制限處理를 한 有效分蘖終止期로부터 穎花分化期까지인 葉令指數 70~90의 期間直後에 該當되며 止葉期追肥는 耐冷성과 關係가 없다는 志賀 等³¹⁾의 報告와 비슷한 時期이다. 窒素, 多量施用에 따라 耐冷性を 크게 變動시키는 期間은 前述한 水溫에 의하여 耐冷性を 變動시키는 期間과 一致되고 있는데 이 穎花分化期로부터 小孢子初期까지는 障害型冷害對策을 講究하기 위한 重要한 時期라 하겠다.

天野²⁾는 全莖의 穗孕期葉身窒素含有率과 窒素含有率이 가장 낮은 區의 稔實比率를 100%로 한 各區의 稔實比率의 比인 株當稔實比率의 相對值와의 關係는 그림8에서와 같이 “시오가리”는 3.

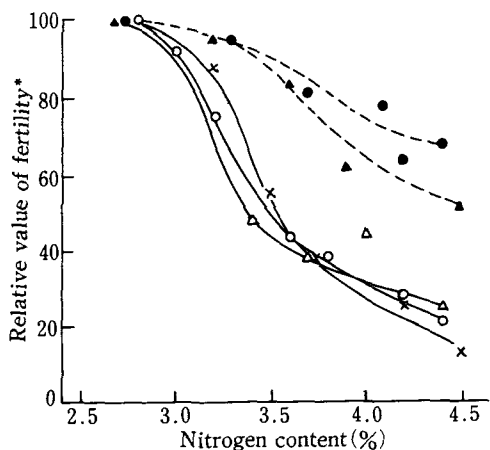


Fig. 8. Relation between nitrogen content in leaf blade at the booting stage and sterility induced by cooling at the booting stage.²⁾

Nitrogen content and sterility were measured for all culms from two hills.

Shiokari : -○-1976, -□-1977,

-△-1980

Ishikari : -●-1978, -▲-1979.

* Relative value of fertility: Ratio of fertility percent in each plot to that in minimum nitrogen content plot.

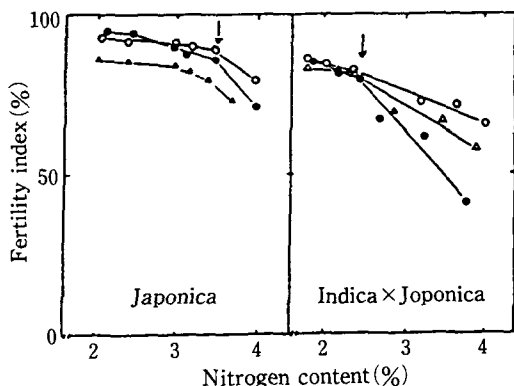


Fig. 9. Relationship between fertility index and nitrogen content in leaf blade at the young microspore stage^{16,17)}

Japonica Indica x Japonica

-○- : Sobaekbyeo -○- : Taebaekbyeo

-●- : Akihikari -●- : Milyang 23

-△- : Sangpungbyeo -△- : Pungsanbyeo

↓ : Changing point of fertility index

0~3.2%, “이시가리”는 3.4~3.6%에서 급격히低下하여 이葉身窒素含有率을穗孕期限界葉身窒素含有率임을報告한 바 있다.統一型品種은日本型品種에 비하여窒素要求도가 높아溫暖한氣象條件下에서는多窒素栽培에 따른增收效果는 크나耐冷性이弱한缺點이 있다^{4,7,12,13,14,16,23)} 이

들品種들의障害型冷害에 미치는限界葉身窒素含有率을 밝히기 위하여日本型3品種과統一型3品種을供試檢討한結果는그림10에서와같이日本型品種은葉身窒素含有率約3.5%,統一型品種은約2.5%까지는穗孕期低溫處理에 의한稔實指數의差가 적었으나 이以上の葉身窒素含有率에 있어서는急激한減少를 보여日本型은約3.5%,統一型은約2.5%가穗孕期에 있어서,障害冷害誘發限界葉身窒素含有率로推定되었다.이限界葉身窒素含有率은障害型冷害對策으로서安全施肥를 위한施肥法改善資料로活用될수 있다고 본다.

한편最近에는各種化學肥料의開發普及으로特殊한土壤을除外하고는無機成分缺乏障害는 거의 일어나지 않고 있으며前述한窒素와 같이 오히려過剩의害가問題視되는 경우가 많다. 그러나無機成分의缺除에 따라耐冷性이變動된다면 그現象은耐冷性의生理機構解明과施肥技術改善에參考가 될 것이다. 따라서無機成分의任意調整이 가능한水耕栽培로서無機成分缺除處理試驗結果를 보면表5에서와같이秋光벼나太白벼 모두磷酸과加里缺除區에서만이顯著的稔實低下를 가져왔고其他의無機成分들은缺除處理를 하여도稔實에 큰差異를 보이지 않았다.柴田等³⁰⁾은低溫年에窒素를多量施用하고磷酸과加里를施用하지 않거나窒素와加里만을多量施用한 경우에不稔이發生되기 쉽다고報告한 바 있으며佐佐木과和田²⁸⁾는磷酸施用量の減少는多窒素施用에 따라耐冷性의低下를助長하였으나加里施用量の多少는明確한影響이 없었다고 하였다. 그러나山下³⁵⁾는加里도耐冷性變動의主要因이라고報告하였다. 따라서磷酸과加

Table 5. Fertility in rice grown in a nutrient solution lacking only one specific element^{16,17)}

Treatment	Akihikari			Taebaekbyeo		
	C	T	Index	C	T	Index
Complete	90.4	74.2	82.7	79.2	48.1	69.8
N	90.0	75.8	84.6	76.6	39.1	63.4
P	61.1	33.1	68.3	65.8	22.8	52.6
K	77.7	45.4	68.5	67.1	23.5	52.7
Ca	82.3	69.8	87.0	77.4	36.0	59.8
Mg	87.8	70.8	82.4	78.2	36.0	59.3
Fe	88.9	70.5	80.9	77.9	40.7	64.0
Mn	89.9	71.7	81.0	78.5	36.0	59.1
Mean	83.5	63.9	79.4	75.1	35.3	60.1

C : Control, T : Cooled

로도 穗孕期耐冷性에 크게 關與하므로 窒素와 같이 限界含有率 및 他營養과의 相互作用 등에 대하여 더욱 많은 檢討가 要求된다.

以上에서와 같이 冷害對策을 위한 施肥에 있어 窒素의 多量施用을 避하고 磷酸과 加里의 均衡施肥는 冷害輕減을 위하여 매우 重要하다는 것을 示唆하고 있다.

花粉 發育生理로 본 穗孕期耐冷性 發現 機構

穗孕期 水稻의 氣溫, 水溫 및 水深과 不稔과의 關係를 論한 모든 研究結果를 綜合하여 보면 低溫 感受性 器官은 穎花이다. 穎花中에서도 藥의 感受性은 特히 强하여 低溫에 따른 不稔은 藥 및 그 内部에 含有되어있는 花粉의 發育不良에 起因한다. 따라서 前述한 前歷水溫과 窒素의 穗孕期耐冷性 發現機構를 花粉의 發育生理로부터 살펴보면 다음과 같다.

前歷水溫에 따른 柱頭長과 藥長의 變化는 그림 10과 같다. 柱頭長은 前歷水溫에 따라 變化하지 않았는데 雌藥의 機能은 低溫에 影響하지 않는 것으로 推察되었으며 藥長은 前歷水溫 25°C를 限界

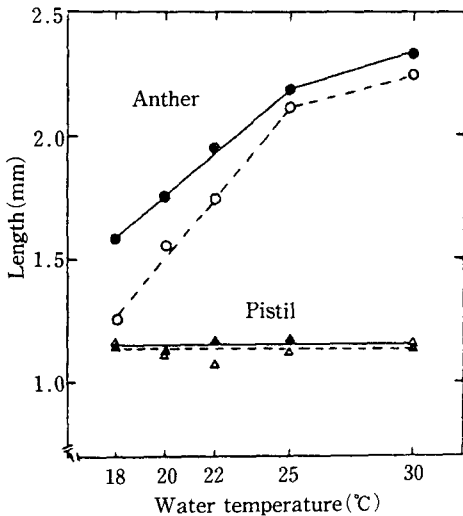


Fig. 10. Changes in the length of anther and pistil caused by the water temperature treatment during the period from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage.^{16,27)}

●-▲- : Control
○-△- : Cooled (12°C, 3 days)

Each dot in figure is an average of two determinations in 1983 and 1984.

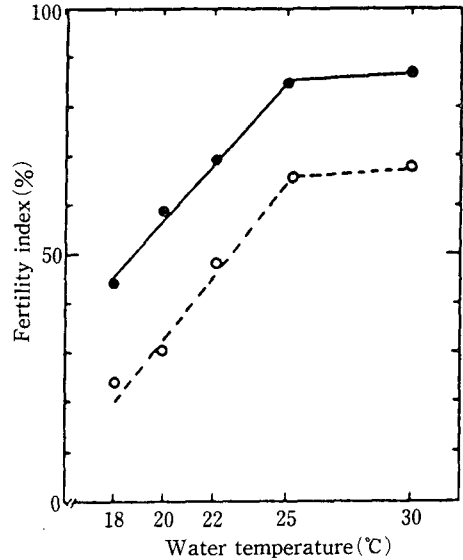


Fig. 11. Changes in the number of engorged pollens per anther caused by the water temperature treatment during the period from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage.^{16,27)}

●- : Control
○- : Cooled (12°C, 3 days)

Each dot in figure is an average of two determinations in 1983 and 1984.

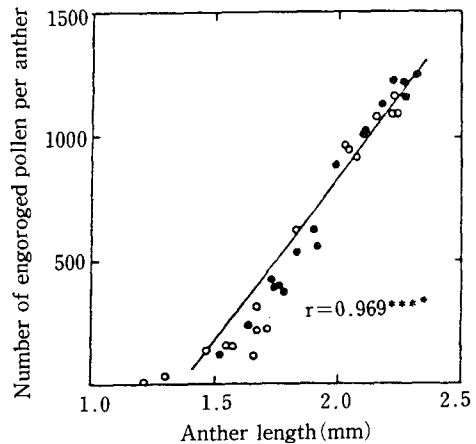


Fig. 12. Relationship between number of engorged pollen per anther and anther length.¹⁶⁾

● : Control
○ : Cooled (12°C, 3 days)

로 이 以下의 水溫에서는 水溫이 낮을 수록 짧아졌으며 藥當充實花粉數는 그림11에서와 같이 前歷水溫 25°C를 限界로 그 以下의 水溫에서는 水溫이 낮아질수록 顯著히 적어졌다. 藥長과 藥當充實花粉數는 그림12에서와 같이 高度의 正의 有

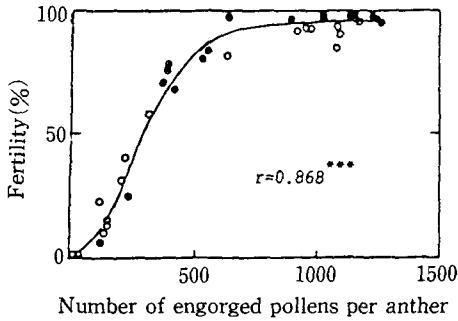


Fig. 13. Relationship between fertility and number of engorged pollen per anther.¹⁶⁾

● : Control
○ : Cooled (12°C, 3 days)

意相關關係를 나타내고 있다. 한편 葯當充實花粉數와 稔實比率과의 關係는 그림13에서와 같이 高度의 正의 有意相關關係를 나타내고 있어 充實花粉은 稔實과 크게 關聯되고 있음을 알 수 있다. 아울러 90% 이상의 높은 稔實을 얻기 위하여는 600個 이상의 葯當充實花粉數가 必要하였으며 이 以下에서는 充實花粉數가 적어질수록 稔實比率이 낮아졌는데 이는 葯當充實花粉數가 600個以下로 적어지면 柱頭上的 受粉不良 또는 發芽花粉數가 不足하여 受精率의 低下로 稔實比率이 낮아진 것으로 推定되었다.

充實花粉數는 分化小胞子와 發育不完全小胞子와의 差이다. 表6은 前歷水溫에 따른 分化小胞子數와 發育不完全小胞子數를 나타낸 것인데 表에서 보는 바와 같이 前歷水溫이 높은 區보다 낮은 區에서 分化小胞子數가 顯著히 적었으나 發育不完全小胞子數는 큰 差異가 없었다. 따라서 前歷水溫處理에 따른 充實花粉數의 差는 主로 分化小胞子數의 差에 由來하는 것으로 前歷水溫上昇에 따라 小胞子の 分化數가 增加하여 結果적으로 充實花粉數가 增加하여 受精率을 높여주므로써 稔

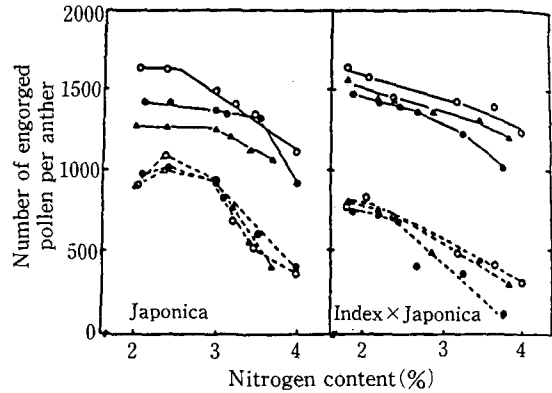


Fig. 14. Relationship between number of engorged pollen per anther and nitrogen content in leaf blade at the young microspore stage.¹⁶⁾

— : Control (24/19°C)
..... : Cooled (12°C, 3 days)
Japonica Indica x Japonica
○-○ : Sobaekbyeo ○-○ : Taebaekbyeo
●-● : Akihikari ●-● : Milyang 23
△-△ : Sangpungbyeo △-△ : Pungsanbyeo

實比率이 높아졌다고 생각되었다.

한편 窒素供給量增加에 따라 葉身窒素含有率이 높아졌는데 그림14는 穗孕期の 葉身窒素含有率에 따른 對照區와 小胞子初期에 12°C에서 3日間低溫處理를 했을때 品種生態型別 葯當充實花粉數를 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 對照區의 充實花粉數는 葉身窒素含有率增加에 따라 적어지는 傾向이었고 品種間差는 있었으나 品種生態型間에는 特定한 傾向이 없었다. 그러나 小胞子初期에 低溫處理를 함으로서 葯當充實花粉數가 顯著히 낮아졌으며 葉身窒素含有率增加에 따라 그리고 統一型品種에서는 品種에 따라 크게 減少하였다. 充實花粉數와 稔實比率과의 關係는 그림15에서와 같이 葯當充實花粉數의 減少에 따라 低下하였는데 低下程度가 急激하게 커지는 變換點은 日本型

Table 6. Differences in the number of differentiated microspore and of aborted microspore in rice grown at different water temperatures during the period from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage¹⁶⁾

Water temperature (°C)	Number of differentiated microspore per anther (I)	Number of engorged pollen per anther (II)		Number of aborted microspore per anther (I - II)	
		C	T	C	T
25	1261	1250	1025	11	236
20	514	494	230	20	274
difference	747	756	795	9	42

C : Control T : Cooled (12°C, 3 days)

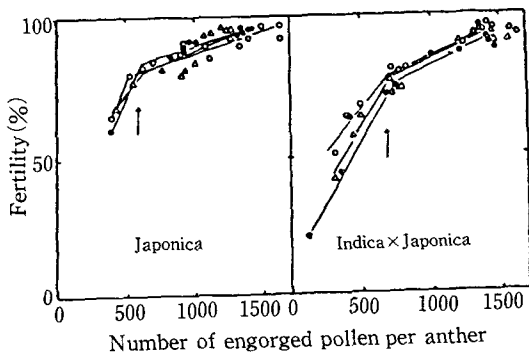


Fig. 15. Relationship between fertility and number of engorged pollen per anther.¹⁶⁾

Japonica
 ○ : Sobaekbyeo
 ● : Akihikari
 △ : Sangpungyeo
 ↓ : changing point of fertility

Indica x Japonica
 ○ : Taebaekbyeo
 ● : Millyang 23
 △ : Pungsanbyeo

에서는 약600個, 統一型에서는 약700個였다. 充實花粉數와 稔實比率과의 因果關係는 그림16, 17, 18에서와 같이 葯當充實花粉數의 增加는 柱頭上 受粉數의 增加, 柱頭上 發芽花粉數의 增加, 受精率의 增加에 따른, 稔實比率의 增加等 花粉의 發育으로 부터 受精에 이르기까지 一連의 經路를 거쳐 稔實에 影響하는 것으로 推定되었다.

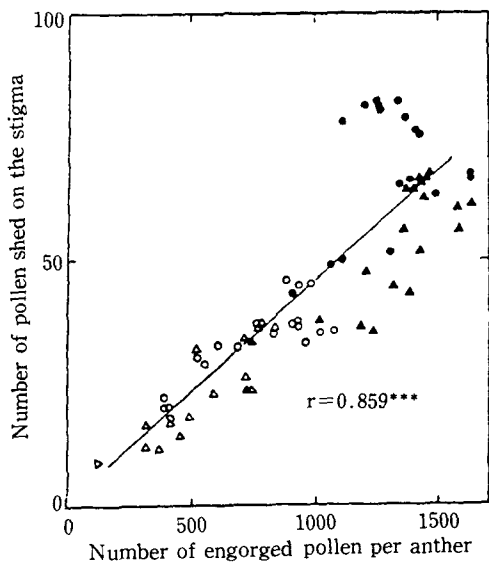


Fig. 16. Correlation of the number of pollen shed on the stigma with the number of engorged pollen per anther.¹⁶⁾

Japonica
 Control ●
 Cooled ○

Indica x Japonica
 Control ▲
 Cooled △

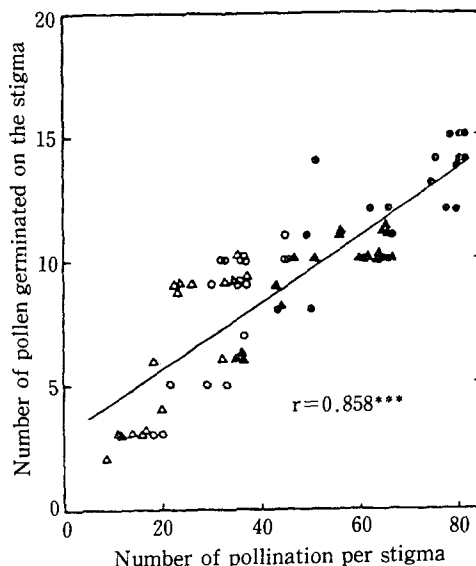


Fig. 17. Correlation of the number of pollen germinated on the stigma with the number of pollen shed on the stigma.¹⁶⁾

Japonica
 Control ●
 Cooled ○

Indica x Japonica
 Control ▲
 Cooled △

窒素供給濃度에 따른 充實花粉數의 變動을 小胞子の 分化數와 發育不完全小胞子數와의 關係로

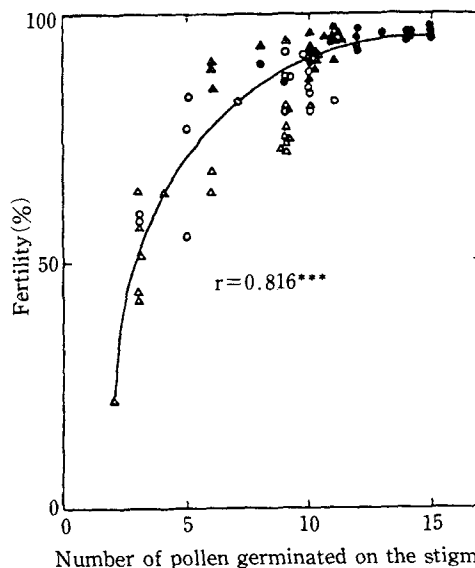


Fig. 18. Correlation of the fertility with the number of pollen germinated on the stigma.¹⁶⁾

Japonica
 Control ●
 Cooled ○

Indica x Japonica
 Control ▲
 Cooled △

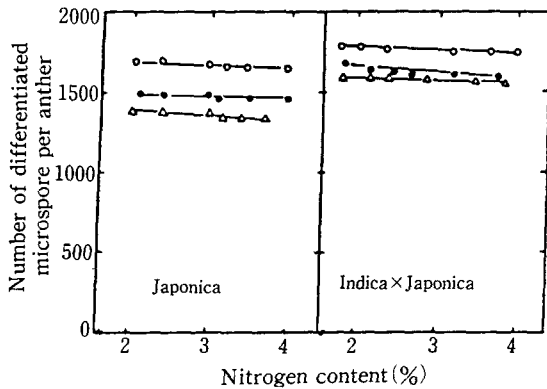


Fig. 19. Relationship between number of differentiated microspore per anther and nitrogen content in leaf blade at the young microspore stage.¹⁶⁾

Japonica Indica x Japonica
 ○ : Sobaekbyeo ○ : Taebaekbyeo
 ● : Akihihikari ● : Milyang 23
 △ : Sangpungbyeo △ : Pungsangbyeo

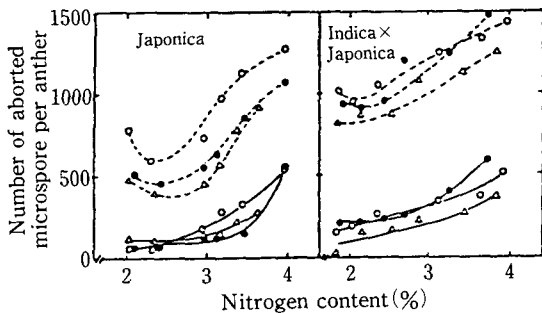


Fig. 20. Relationship between number of aborted microspore and nitrogen content in leaf blade at the young microspore stage.¹⁶⁾

Japonica Indica x Japonica
 ○ : Sobaekbyeo ○ : Taebaekbyeo
 ● : Akihihikari ● : Milyang 23
 △ : Sangpungbyeo △ : Pungsangbyeo
 — : Control : Cooled

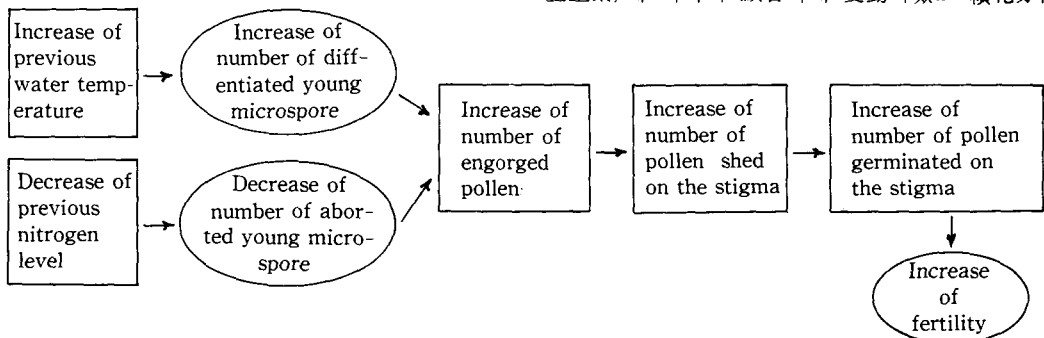


Fig. 21. The mechanism of increase in cool tolerance by previous treatment. Previous treatment : water temperature treatment and nitrogen treatment during the period from spikelet differentiation stage to the young microspore stage.¹⁶⁾

부터 檢討하여 보면 그림19에서의와 같이 小胞子の分化數는 葉身窒素含有率에 따른 變化는 거의 없었고 品種間의 差만이 認定되었다. 그러나 分化小胞子數와 充實花粉數의 差인 發育不完全小胞子數는 葉身窒素含有率 增加 및 低溫處理에 따라 增加하였다(그림20). 卽 窒素含有率增加에 따른 充實花粉數의 減少는 前歷水溫管理와는 달리 發育不完全小胞子數의 增加에 基因되었다.

西山¹⁹⁾는 穗上位置에 따른 充實花粉數와 稔實比率과의 關係를 檢討하여 葯當充實花粉數가 640個以下인 경우 充實花粉數의 減少에 따라 稔實比率이 低下하였다고 報告하였으며 戶世와 柏倉²²⁾은 多窒素施用과 遮光에 따른 不受精의 增加는 葯의 裂開不良으로 受精阻害가 그 原因이며 柱頭上의 發芽花粉數가 10個以下로 減少하면 不受精率急激히 높아진다고 報告하였다.

以上の 結果를 通하여 前歷水溫上昇 및 前歷窒素의 減少로부터 受精率向上에 이르기까지의 因果關係는 그림21에서의와 같이 前歷水溫上昇은 分化小胞子數의 增加, 前歷窒素의 減少는 退化小胞子數의 減少로 充實花粉數의 增加를 通하여 受粉數 및 發芽花粉數의 增加로 稔實比率이 增加되었다고 推定되었다.

摘 要

小胞子初期의 耐冷性이 前歷水溫管理와 施肥方法에 따라 變動됨을 實證하고 耐冷性의 變動機構를 花粉發育生理로 부터 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 小胞子初期의 벼의 耐冷性은 穎花分化期로부터 小胞子初期까지의 水溫(前歷水溫) 및 窒素(前歷窒素)에 의하여 顯著하게 變動하였고 穎花分化

期以前과 小孢子初期以後의 水溫 및 窒素에 따른 變動은 거의 없거나 僅少하였다. 穎花分化期로부터 小孢子初期까지는 10日餘에 不過하나 벼의 耐冷性素質을 決定하는 重要한 時期였다.

2. 前歷물管理에 있어 水溫은 25℃까지 될 수 있는 限 높게, 水深은 10cm까지 될 수 있는 限 깊게 할수록 耐冷性이 向上되었으며 이 以上으로 水溫 上昇 및 水深을 깊게하여도 耐冷性은 變하지 않았다. 前歷水溫上昇에 따른 耐冷性의 向上은 幼穗가 물로 保護되기 때문이었다. 前歷10cm의 深水灌溉의 單獨效果는 危險期 20cm의 單獨效果보다 컸으며 兩時期의 深水灌溉에 따른 冷害防止效果는 相乘의이었다.

3. 前歷窒素의 多量施用에 따른 耐冷性의 低下는 葉身の 窒素含有率이 어느 限界値를 넘으면 急激히 커졌는데 이 耐冷性低下의 變換點에 있어서의 葉身窒素 含有率은 日本型에서는 約3.5%, 統一型에서는 約2.5%로 推定되었다. 이 限界葉身窒素含有率은 冷害常習地 또는 低溫年에 있어서 安全限界施肥量을 決定하는 한 指標로 活用될 수 있을 것으로 본다.

4. 前歷水溫上昇에 따른 葯當充實花粉數의 增加는 小孢子分化數의 增加에 의한 것이었고 前歷窒素의 減少에 따른 葯當充實花粉數의 增加는 小孢子的 退化에 基因된 것이었으며 充實花粉數가 많을수록 稔實比率이 높았다.

引 用 文 獻

1. 明峯正明. 1910. 稻種子의 發芽について. 札幌農林學會報 6 : 1-12.
2. 天野高久. 1984. 水稻冷害に關する作物學的研究. 上川農試報 : 1-65.
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(1) : 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(2) : 203-210.
5. Choi S. I. 1986. Studies on the growth characters and nutrients uptake related to source and sink by cold water temperature at reproductive growth stage. Won Kwang University (Iri Korea) : 1-66.
6. Hayase H., T. Satake, I. Nishiyama and N. Ito 1969. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. II. The most sensitive stage to cooling and the fertilizing ability of pistils. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 38(4) : 706-711.
7. 許 輝. 1978. 水稻 Indica×Japonica遠緣交雜品種의 生理生態의 特性에 關한 研究. - 特히 溫度反應을 中心으로 -. 農試研報 20(作物編) : 1-47.
8. 清澤茂久. 1960. 水稻の冷害における寡照の意義. 農業技術 15 : 306-309.
9. 小林正男·佐竹徹夫. 1979. イネの穗孕期冷溫による不稔を防止するために有效な灌溉水の深さ. 日作紀 48(2) : 243-248.
10. 近藤頼己. 1952. 水稻品種の冷害抵抗性に關する生理學的研究. 農技研報 D3 : 113-128.
11. 李春秀·申哲兩·郭漢剛·李康萬·安允洙·朴俊奎. 1985. 水稻에 대한 窒素施肥反應의 品種間差異. 韓土肥誌 18(2) : 208-214.
12. 李弘祐·趙亨烈·林炳琦·許 輝. 1984. 水稻의 障害型冷害에 關한 研究. 韓作誌 15 : 85-97.
13. Lee J.H. 1979. Screening methods for cold tolerance at crop experiment station phytotron and at the Chuncheon. Report of Rice Cold Tolerance Workshop. IRRI : 77-90.
14. 李文熙·朴南奎·朴錫洪. 1989. 벼冷害發生機作과 被害輕減對策. 韓作誌(災害生理研究 1號) : 34-44.
15. 李善龍·申鉉卓·田炳泰·朴錫洪·李萬相. 1989. 南部山間高冷地 벼 冷害發生樣相과 對策. 農振廳심포지엄 10 : 21-43.
16. Lee Seon Yong 1990. Studies on the Changes of Cold Tolerance at the Young Microspore Stage Caused by the Different Previous Conditions in Rice. Hokkaido university (Sapporo 060 Japan) : 1-72.
17. 李善龍. 1990. 窒素多量施用과 磷酸 및 加里의 缺除處理가 水稻의 穗孕期 耐冷性에 미치는 影響. 農試論文集 32(3) : 31-43.
18. 松崎昭夫·松島省三. 1971. 水稻收量の成立原理とその應用に關する作物學的研究. 第105報. V字理論稻作と減數分裂期の低溫抵抗性との關係. 日作紀 40 : 519-524.

19. Nishiyama I. 1983. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIV. The number of ripened pollen grains and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. Japan Jour. Crop Sci. 52(3) : 307-313.
20. 西山岩男. 1983. イネの温度障害 -とくに不受精について- 日作紀 52(1) : 108-117.
21. 西山岩男. 1985. イネの冷害生理學. 北海道大學圖書刊行會, 札幌 日本.
22. 吳潤鎮. 1981. 水稻低温障害에 관한 生理生態學的研究. 韓作誌 26(1) : 1-31.
23. 柳寅秀・李鍾薰・權容雄. 1982. 氣象災害와 水稻栽培上의 對策. 韓作誌 27(4) : 385-397.
24. 齋藤武雄. 1965. 寒冷地帯の直播水稻に對する氣温の作用性に關する研究. 東北農業研究. 32 : 1-26.
25. Satake T. 1976. Determination of the most sensitive stage to sterile type cool injury in rice plant. Res. Bull. Hokkaido Natl. Exp. Stn. 113 : 1-44.
26. Satake T., S. Y. Lee, S. Koike and K. Kariya 1987. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVII. Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Japan Jour. Crop Sci. 56(3) : 404-410.
27. Satake T., S. Y. Lee and S. Koike 1988. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVIII. Prevention of cool injury with the newly devised water management practices-effects of the temperature and depth of water before the critical stage. Japan Jour. Crop Sci. 57(1) : 234-241.
28. 佐佐木一男・和田 定. 1975. イネの冷害不稔發生に及ぼす窒素, 燐酸および加里の影響. 日作紀 44(3) : 250-254.
29. 柴田和博・佐佐木一男・島崎佳郎. 1970. 時期別の氣温, 水溫處理が水稻生育に及ぼす影響, 第 1報, 晝夜別氣温, 水溫および處理日數と不稔歩合との關係, 日作紀 39 : 401-408.
30. 柴田和博・佐佐木一男・本間 昭. 1969. 水稻品種の肥料 3窒素 反應の一例 -その品種間差と年次差- 育雜 19(1) : 28-38.
31. 志賀一一・宮崎眞美・遠藤和雄. 1977. 寒地における高收水稻のための窒素供給法 第 2報, 幼穗形成期及び止葉期の追肥について, 北海道農試研報 117 : 31-44.
32. 戸刈義次・柏倉康光. 1957. 水稻における不稔發生の一機構, 日作紀 27 : 3-5.
33. 泊 功・藤遠 忠・石黒忠之. 1980. 防風施設による冷害氣象改善に關する研究. 北海道農試研報 127 : 31-76.
34. Vergara B.S., Visperas R.M., Coffman W. P., Villreal R.L. and Bacalangco E. 1976. Screening of the rice germ plasm for low temperature tolerance at different stage of growth. SABRAO J. 8 : 97-104.
35. 山下鏡一. 1956. 水稻の出穂に及ぼす肥料の影響. 第 2 報 冷害年次における肥料(肥料 3要素, 堆肥及び硫安の施用量)と出穂ならびに稔實歩合との關係. 青森縣農試研報 3 : 11-19.