

水稻の出穂期における水温、気温ならびに遮光 などの処理が不稔歩合に及ぼす影響

和田 定† 国 広 泰 史† 本 間 昭†

EFFECT OF SOME ENVIRONMENTAL FACTORS DURING HEADING STAGE ON THE FERTILITY OF GRAINS IN RICE PLANT

Sadamu WADA, Yasufumi KUNIHRO & Akira HONMA

水温と気温が独立に変温できる人工気象箱を用いて、水稻の出穂期における障害不稔に影響すると思われる8つの要因をとりあげて実験を行ない、得られた結果について、統計的手法を用いて検討した。その結果、水稻の出穂期における不稔歩合には、気温、光などの効果が大きく認められた。交互作用は、夜気温×期間、光×昼気温で大きく、遮光は低温障害を助長すると考えられた。出穂期の冷害抵抗性の検定には、気温を制御すれば、特別な水温調節は不用で、かつ、昼・夜、変・恒温いずれでもよいなどのことを指摘した。

I 緒 言

水稻の障害型冷害は、減数分裂期ころの低温によって、最も大きな影響をうける⁶⁾¹²⁾。しかし、水稻では出穂前22~25日の幼穂形成期から開花期まで低温によって不稔を発生する⁷⁾¹²⁾。

北海道でも過去における障害型冷害は、多くの場合、減数分裂期ころの低温によって発生しているとされている。しかし、出穂開花期の低温による障害不稔の事例もみられる。例えば、1956年における本道の冷害は、出穂開花期の低温によるものとされている¹⁴⁾。また、田中¹²⁾は水稻の障害型冷害は、穂ばらみ期の冷害と出穂期ころの冷害の2つに区分することができるとしており、出穂開花期も穂ばらみ期に次いで、低温障害を受けやすいとしている。

以上のことから、寒冷地の稲作では、出穂開花期における冷害の対策も大切である。しかし、現在の肥培管理技術には適切な対応策がなく、この

ため出穂期における水稻の不稔発生に影響する主要な要因を究明しておくことが、重要であると考えられる。同時に、水稻の育種事業では、この種の耐冷性の付与が重要であり、そのためには検定方法が当然問題になる。従来、水稻品種の障害型冷害の耐冷性は、減数分裂期ころを中心にして究明されてきた。出穂開花期の低温による不稔発生の品種差については、明峰⁹⁾、寺尾ら¹⁰⁾ならびに大谷ら¹⁰⁾によって報告されているが、出穂期における耐冷性の検定方法は、現在のところ十分に究明されているとはいえない。

そこで、出穂期の障害不稔に影響すると思われる多数の要因をとりあげ、各々2水準として実験を行ない、得られた結果について考察を行なった。なお、本実験は多数の要因をとりあげ、水準を2つに限定したために、問題の指摘にとどまった点が少なくない。他日問題点については追試を行ないたい。

本実験の設計には、北海道農業試験場柴田和博稲第1研究室長のご教示を得た。厚くお礼申しあげる。

† 上川農業試験場

II 材料と方法

本実験には、水温と気温が独立に変温できる人工気象箱を4台用い、水稻の耐冷性に影響すると推定される8つの要因をとりあげた。各要因は2水準とした(第1表)。試験設計は、 2^8 の $\frac{1}{4}$ 実施(64区)とし、奥野ら⁹⁾の直交表によって、わりつけを行ない、1区は1ポットとした。この実験では所定の時刻に、ポットの移動を行なった。

第1表 処理要因と水準

要 因	水 準		備 考
	1	2	
光	自 然	遮 光	クレモナ寒冷紗を用いて75%遮光。
昼 気 温	26℃	18℃	昼間 9.00 → 17.00時
昼 水 温	26℃	18℃	昼間 9.00 → 17.00時
夜 気 温	18℃	10℃	夜間 17.00 → 9.00時
夜 水 温	18℃	10℃	夜間 17.00 → 9.00時
水 深	5 cm	20 cm	ポットの土面から水面までの距離。
処理期間	6日	12日	6日間処理区は、処理後6日間22℃の気象箱内においた。
品 種	栄 光	豊 光	出穂期同じ、障害型耐冷性、栄光一強、豊光一弱。

施肥量は、10a 当たり換算で、N・P・K 各々25 kg とし、このうち7.5 kg は追肥とした。追肥は、無処理区の出穂前約25日に当たる7月9日に行なった。ポットには、代かき前に施肥をしておいた水田土壌を用いた。処理時期は出穂期で、止葉の葉鞘より0.5~3.0 cm 出穂した開穎の認められない穂を処理の対象とした。これらの穂は、いずれも出穂後0~1日に当たる。不稔歩合の調査には、1ポット当たり、該当する5穂を用いた。不稔の判定は触手によった。

本実験では、統計的処理を行なうために、不稔歩合を arc sin 変換した。計算は、農林研究計算センターに依頼して行なった。

この実験を行なった1968年は、高温・多照で、稔実歩合が高く多収年であった。また、人工気象箱も正常(設定温度に対し $\pm 0.5^\circ\text{C}$)に運転され、実

験は支障なく遂行された。

III 結果と考察

分散分析の結果は第2表に、主効果の水準別平

第2表 分散分析表(不稔指数)

要 因	自 由 度	平 均 平 方	F
光	1	682.5	42.90***
昼 気 温	1	570.0	35.83***
昼 水 温	1	5.6	0.35
夜 気 温	1	6826.9	429.09***
夜 水 温	1	40.6	2.55
水 深	1	112.9	7.10*
処 理 期 間	1	2104.5	132.28***
品 種	1	301.9	18.97***
光 × 昼 気	1	268.1	16.85***
光 × 昼 水	1	9.8	0.61
光 × 夜 気	1	54.4	3.42
光 × 夜 水	1	8.3	0.52
光 × 水 深	1	34.5	2.17
光 × 期 間	1	15.0	0.94
光 × 品 種	1	83.3	5.23*
昼 気 × 昼 水	1	0.1	0.01
昼 気 × 夜 気	1	8.3	0.52
昼 気 × 夜 水	1	115.0	7.23*
昼 気 × 水 深	1	83.3	5.23*
昼 気 × 期 間	1	83.3	5.23*
昼 気 × 品 種	1	13.1	0.83
昼 水 × 夜 気	1	21.4	1.34
昼 水 × 夜 水	1	112.9	7.10*
昼 水 × 水 深	1	54.4	3.42
昼 水 × 期 間	1	40.6	2.55
昼 水 × 品 種	1	11.4	0.72
夜 気 × 夜 水	1	31.6	1.99
夜 気 × 水 深	1	37.5	2.36
夜 気 × 期 間	1	3234.8	203.32***
夜 気 × 品 種	1	6.9	0.43
夜 水 × 水 深	1	62.0	3.90
夜 水 × 期 間	1	5.6	0.35
夜 水 × 品 種	1	3.5	0.22
水 深 × 期 間	1	54.4	3.42
水 深 × 品 種	1	50.8	3.19
期 間 × 品 種	1	0.8	0.05
誤 差	27	15.9	—

均値は第3表に示した。

第2表によると、昼・夜水温以外の要因には、すべて有意な主効果が認められる。これらのうち、夜気温ならびに処理期間の効果が大きく、次いで、光ならびに昼気温に大きな効果が認められる。

交互作用が有意に認められる項は7つあるが、これらのうち、夜気温×処理期間の効果が大きい。また、光×品種ならびに昼気温×夜水温などの効果は、従来指摘されておらず興味があると考えられる。一方、出穂期処理に認められる、光×昼気温の効果は減数分裂期ころの処理¹⁸⁾では認められず注目される。第2表によると、不稔指数に認められる交互作用は、昼気温が関係している場合が多い。また、光、昼気温、夜気温、処理期間ならびに品種などの主効果が有意であるが、これらを含む他要因との交互作用も有意性があるので、以下交互作用について考察する。

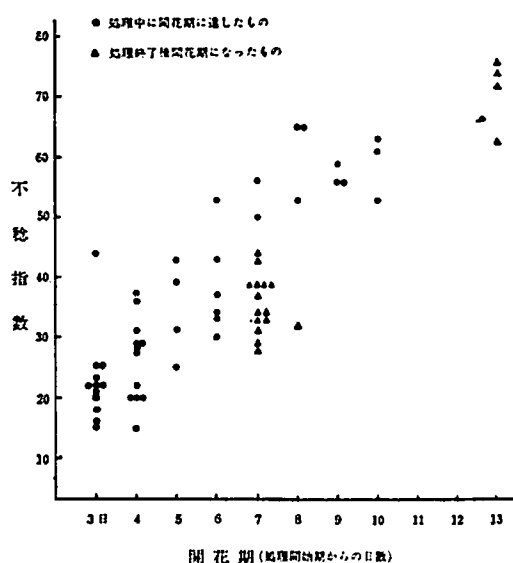
第3表 主効果の水準別平均値
(不稔指数)

要 因	水 準		要 因	水 準	
	1	2		1	2
光	34.31 (31.8)	40.84 (42.8)	夜 水 温	38.38 (38.6)	36.78 (35.9)
昼 気 温	34.59 (32.2)	40.56 (42.3)	水 深	38.91 (39.5)	36.25 (35.0)
昼 水 温	37.28 (36.7)	37.88 (37.7)	処理期間	31.84 (27.8)	43.31 (47.1)
夜 気 温	27.25 (21.0)	47.91 (55.1)	品 種	35.41 (33.6)	39.75 (40.9)

注1) () 内は計算後不稔指数からもとにもどした不稔歩合

2) l. s. d (5%)=2.0

水稻の出穂期における低温処理が、不稔歩合に及ぼす影響は、処理期間中に開穎したか否かによって影響され²⁾、処理中に開穎したものは不稔が多く¹⁾、処理終了後に開穎したものは不稔が少ないとされている³⁾。もっとも、寺尾ら¹⁹⁾によると冷室内における品種の開穎力と授精力は必ずしも平行的な関係にない。しかし、同一品種内では不稔歩合は早期開穎のもので低く、開穎期が遅れるにしたがって高くなっている¹⁸⁾。本実験における開花期と不稔歩合との関係を第1図に示した。こ



第1図 開花期と不稔指数との関係

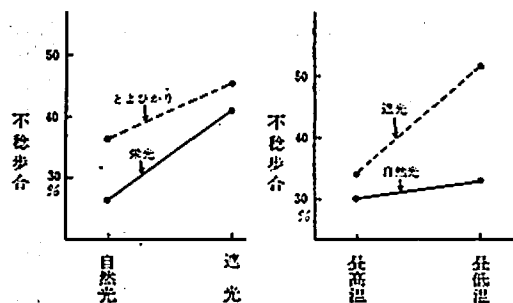
注：開花期は1穂中で上位から第3番目の1次枝梗に着生する2次枝梗着生頭花中弱勢頭花が3花以上開穎に達した日とした。

第4表 交互作用が有意な2因子の水準組合せ別平均値 (不稔指数)

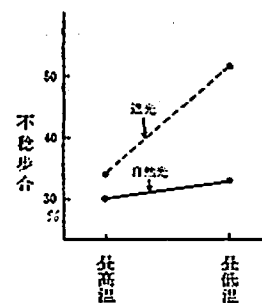
昼気 光	期		夜水 夜水	期	
	1	2		1	2
1	33.38 (30.3)	35.25 (33.3)	1	30.00 (25.0)	39.19 (39.9)
2	35.81 (34.2)	45.88 (51.5)	2	33.69 (30.7)	47.44 (54.3)
品 光	夜水		夜水 夜水	期	
	1	2		1	2
1	31.00 (26.5)	37.63 (37.3)	1	36.75 (35.8)	37.81 (37.6)
2	39.81 (41.0)	41.88 (44.6)	2	40.00 (41.3)	35.75 (34.1)
夜水 昼気	期		夜水 夜水	期	
	1	2		1	2
1	35.88 (34.4)	33.31 (30.2)	1	28.63 (23.0)	25.88 (19.1)
2	40.88 (42.8)	40.25 (41.8)	2	35.06 (33.7)	60.75 (76.1)
水深 昼気	期		夜水 夜水	期	
	1	2		1	2
1	37.06 (36.3)	32.13 (28.3)	注1) () 内は計算後不稔指数からもとにもどした不稔歩合 2) 1.2の数値は水準を示す。 3) l. s. d (5%)=2.9		
2	40.75 (42.6)	40.38 (42.0)			

の図では両者の間にはほぼ平行的な関係は認められるが、処理期間中に開花期に達したものと、処理終了後に開花期に達したものとの間には、一定の関係は認め難い。したがって、本報では処理期間中に開花期に達したものと、処理終了後に開花期に達したものとをコミにして、不稔歩合そのものについて考察する。

光×品種には、前報¹⁸⁾の減数分裂期ころの処理におけると同様に有意な交互作用が認められる。第4表ならびに第2図によると光の効果は、「栄光」が「豊光」より多少大きく認められる。すなわち、自然光下では「栄光」の不稔歩合は、「豊光」より明らかに低いが、遮光条件下では両品種の不稔歩合の差が小さくなっている。これは遮光が強度(75%)であることと関連があると考えられるが、「栄光」は光(自然光:遮光)によって不稔歩合が変動し易いことは注目される。実際の冷害年には、低温は寡照を伴うことを考えると、出穂期における耐冷性(不稔歩合)の検定には、遮光処理の併用を考慮する必要があるが、さらに、光(自然光:遮光)と品種との関係は、多数品種を用いて、検討されねばならない。



第2図 品種と光の関係



第3図 昼気温と光の関係

近藤⁵⁶⁾は、出穂期の低温処理による不稔歩合には品種差があり、「奥羽2号」は「陸羽132号」に比べて常に少ない値を示すとしている。また、「新イ号」は14°C-3日間の処理では「奥羽2号」よりも不稔歩合が少ないが、17°C-9.5日間の処理では、「陸羽132号」よりも不稔歩合が多くなっている。すなわち、近藤⁵⁶⁾の実験では「新イ号」は処理の期間が長くなるにしたがって、「陸羽132号」および「奥羽2号」よりも不稔歩合の増加度が、大であることが認められ、低温の

程度および処理期間の長短による低温障害の程度が、品種間において必ずしも一定の序列的な関係を示していない。これらのことは、品種と気温、品種と処理期間との間に交互作用があることを意味すると思われる。筆者らの実験では、品種と昼・夜気温ならびに処理期間などの間に、有意な交互作用は認められない(第2表)。もっとも、両者の実験とも品種数が少ないので、品種と処理方法の関係は今後に残されている。

次に、光×昼気温に認められる交互作用については、次のように考えられる。第4表ならびに第3図に、光と昼気温との関係を示した。これらによると、不稔歩合は自然光の場合には、昼気温の高低による差は少ないが、遮光では差が大きく、低温・遮光で不稔歩合は著しく多くなっている。松島⁹⁾によると、遮光による稔歩合の低下は出穂期ころから急に現われ、かつ、遮光の程度が大きいほどその低下の程度が大きくなるとしている。また、同氏⁹⁾は、それ以前の遮光処理では、稔歩合の低下は認められないと報告している。これらのことは、清沢³⁾によっても同様の指摘がなされている。また、筆者ら¹⁸⁾の本報と同じ設計で行なった、減数分裂期処理の実験では、光×昼気温に有意な交互作用が認められていない。

以上のことから、松島⁹⁾の報告と同じように、出穂期の低温による冷害(不稔歩合)は、遮光によって助長されるといえる。これらのことは、前報¹⁸⁾の減数分裂期の処理では、光×昼気温に有意な交互作用が認められないことと比べて興味ある事実と考えられる。

実際の冷害年次には、低温はほとんどの場合寡照を伴う。光×昼気温に認められる交互作用は、前述のように低温・遮光で不稔歩合は著しく多くなるといえるが、自然光の場合には低温と高温の不稔歩合の差はごく少ない(第3図、第4表)。これらのことは、出穂期における低温の際でも、寡照を伴わない場合には、被害は軽微であることを示している。一方、低温・寡照の際、補光によって、不稔歩合が少なくなりうることが推定され、冷害軽減の可能性が示唆されていると思われる。

る。もっとも、自然光と遮光では気温は同じでも、両区の葉温が異なり、これが作物に異なった効果を及ぼすことが推定される¹³⁾のでこれらの点は、今後の実験的な研究に待ちたい。

夜気温×処理期間には0.1%水準で、昼気温×処理期間には5%水準で有意な交互作用が認められ、昼・夜気温は長期処理の場合に効果が大きい(第4表)。すなわち、昼・夜の低温は長期間持続する際に、水稻の障害不稔に影響がみられる。近藤¹⁴⁾は、「陸羽132号」を供試した実験で、14℃-3日間の処理より17℃-6.5日間の処理で、不稔歩合が多くなることをみている。寺尾¹⁵⁾も「陸羽132号」を用いて、17℃で5、20、25日間の処理を行ない、花粉の発芽度指数を調査した結果、処理日数が長くなるとその値が低下することを報告している。また、寺尾¹⁶⁾は開花期における別の実験でも、処理期間が長くなると不稔歩合が多くなることを指摘している。田中¹³⁾¹⁴⁾は、障害型冷害は低温の持続時間によって、大きく影響されることを強調しているが、本実験もこれを裏付けするものと思われる。

本実験では、夜気温×処理期間の平均平方の値は、昼気温×処理期間のそれより、はるかに大きな値を示し、夜間における気温の低下が、不稔歩合に大きく影響しているように思われる。もっとも本実験では昼間8時間、夜間16時間として処理を行っており、このため、夜間の効果が大きく現われたものと推定される。しかし、本実験では昼気温×夜気温には、有意な交互作用は認められない。このことは、昼・夜の変・恒温に関係なく、低温の持続が障害不稔に影響するものと思われる。

第2表によると、夜気温は処理期間以外の要因との間には、有意な交互作用が認められない。一方、昼気温は処理期間の他に、夜水温ならびに水深などの要因との間に有意な交互作用が認められ、夜気温と多少異なった傾向にある点が注目される。

出穂期における冷害抵抗性(不稔歩合)の検定方法は、本実験の範囲内では、次のように考えられる。

昼・夜気温と昼・夜水温との間には、交互作用が認められないか、認められる場合でもその平均平方の値は大きくない。したがって、気温を設定すれば水温の制御は行なわなくてよいといえる。これらのことと、昼・夜水温の主効果が有意でないことから、出穂期の耐冷性検定は、水温では行ない難いことを示しているものと思われる。また、昼気温×夜気温、昼気温×品種、夜気温×品種の交互作用はすべて有意でない。したがって、人工気象箱の気温の設定は、昼・夜、変・恒温いずれでもよいと考えられる。光×品種には、有意な交互作用が認められ、かつ、実際の冷害年次には低温は多くの場合寡照を伴う。第4表によると遮光条件下では、自然条件下に比べて不稔歩合が高くなりやすい品種があり、このため不稔歩合の品種差が少なくなることもある。したがって、低温・遮光下の検定も併用し、このような条件下でも不稔歩合の増大しない品種を育成することが必要である。また、期間×品種、ならびに昼・夜気温×品種の交互作用が有意でないことから、処理条件(温度と日数)は、暫定的に既往の結果に基づき育成地の実状で決めればよいと思われるが、詳細は今後の実験的な研究に待ちたい。

IV 摘 要

水稻の出穂期における障害不稔に及ぼす要因の影響を究明するために、人工気象箱を用いて実験を行なった。要因は、光、昼・夜気温、昼・夜水温、水深、処理期間ならびに品種などを取りあげ、各要因は各々2水準とした。試験設計は、2⁸、1/4実施とし、奥野⁹⁾の直交表によって設定した。処理の対象には、止葉の葉鞘より0.5~3.0 cm 出穂した未開穎の穂を用いた。調査には、1ポットにつき該当する5穂を用いた。試験結果の要約は次のとおりである。

1. 分散分析の結果、昼・夜水温以外の要因には、すべて有意な主効果が認められた。
2. 低温と遮光が出穂期の障害不稔に及ぼす影響

注) 農林省北海道農業試験場、作物第1部 昭和46年度
水田作栽培関係試験成績書摘録集

は、遮光は低温障害を助長すると考えられた。一方、自然光の場合には低温でも不稔歩合は少ない値を示した。

3. 自然光と遮光区の不稔歩合の差は、供試 2 品種のうちでは、「豊光」に比べて「栄光」が大きな値を示した。
4. 夜気温×処理期間には大きな交互作用が認められ、長期間夜気温の低い場合、著しく高い不稔歩合を示した。
5. 出穂期における冷害抵抗性（不稔歩合）の検定方法については、本試験の範囲内では次のことがいえる。a. 気温を設定すれば水温の調節は必要でない。b. 気温は昼・夜変・恒温のいずれでもよい。c. 検定には遮光処理を併用することが望ましい。d. 水温のみによる検定は不可能である。

引用文献

- 1) 明峰正夫・星加賀美, 1939; 水稻不稔性の品種間差異及びその環境との関係, 北大農場 特別報告, 7: 1-151.
- 2) 榎本中衛, 1933; 水稻における開花前後の低温と稔実との関係について (第 1 報), 日作紀, 5: 216-223.
- 3) 清沢茂久, 1960; 水稻の冷害における寡照の意義, 農業技術, 15: 306-309.
- 4) 近藤頼己・鈴木俊彦, 1941; 水稻の冷害現象に関する実験的研究 [第 2 報], 開花期の寡照低温による稔実障害について, 農及園, 16: 1887-1893.
- 5) ———, 1943; 同上 [第 3 報], 開花期の寡照低温に因る稔実障害の品種間差異, 農及園, 18: 605-608.
- 6) ———, 1952; 水稻品種の冷害抵抗性に関する生理学的研究, 農技研報 D 3: 113-228.
- 7) KONDO, Y. 1954; Studies on cool tolerance of paddy rice varieties, The Japanese Society of Breeding, Studies on Rice Breeding, Tokyo, 199-224.
- 8) 松島省三・山口俊二・岡部 俊・小松展之, 1953; 稲作には何時の日射が大切か—収量の成立経過特に玄米粒大の決定機構—, 農及園, 28: 1157-1162.
- 9) 奥野忠一・塩見政衛, 1965, 直交表による多因子計画のわりつけ, 農技研報, A 12: 23-75.
- 10) 大谷義雄・土井弥太郎・泉 清一, 1946; 水稻冷害の生理学的研究 (予報) [XII], 出穂期前後における連続及び断続的低温の稔実に及ぼす影響, 日作紀, 17: 11-12.
- 11) 島崎佳郎, 1965; 冷害の現状 (特に北海道における冷害) と今後の問題点, 日本作物学会第 140 回講演会シンポジウム要旨, 1-18.
- 12) 田中 稔, 1962; 水稻の冷水並びに出穂遅延障害に関する研究, 青森県農試報告, 7: 1-107.
- 13) ———, 1964; 水稻冷害とその防ぎ方, 農及園, 39: 1063-1066.
- 14) ———, 1965; 水稻冷害の診断とその防ぎ方, 農及園, 40: 1073-1076.
- 15) 寺尾 博・大谷義雄・土井弥太郎・趙 重九, 1940; 水稻冷害の生理学的研究 (予報) [III], 花粉並びに雌蕊の機能に関する低温の影響, 日作紀, 12: 196-202.
- 16) ———・近藤頼己・———・泉 清一, 1940; 同上 [IV], 開穎及び授精作用に関する低温障害の品種間差異, 日作紀, 12: 203-208.
- 17) ———・大谷義雄・———, 1940; 同上 [V], 出穂期における低温の開花並びに授精に及ぼす影響, 日作紀, 12: 209-215.
- 18) 和田 定・国広泰史・本間 昭, 1972, 水稻の減数分裂期における水温, 気温ならびに遮光などの処理が不稔歩合に及ぼす影響, 日作紀, 41: 340-347.

Summary

This investigation was carried out to clear the effect of some environmental factors during the stage of heading on the fertility of grain in rice plant.

In this study, two levels of each factor, that is, light intensity, air temperature during day time, water temperature during day time, air temperature during night, water temperature during night, depth of water treated, number of days treated and varieties, were used in a 2⁸ factorial arrangement of treatment fractional to one block of four growth cabinets controlled environmental factors as described above.

The main effects and two-factors interactions were tested by means of single degree of freedom "F" test at p=0.05. The temper-

ature of air and water were changed at 9.00 a. m. and 5.00 p. m.

The materials employed in this investigation were those of 0.5—3.0 cm headed panicles from last leaf sheath which had not bloomed glumous flowers. Sampling was done with 5 panicles in each plot.

The results obtained in this investigation were summarized as follows;

(1) As the results of the variance analysis, the significance of the main effects were found in many factors except water temperature during day and night time.

(2) The interactions were found between light intensity and air temperature during day time, this suggested that the damage to the fertility of grains was increased by shading treatment when the air temperature during heading time was low. On the other hand, there was no decrease of the fertility of grains by low air temperature when the light intensity was not decreased.

(3) The difference of the fertility index of grains between shading and non-shading treatment varied with the varieties, Eiko having a large value of difference than Toyohikari.

(4) The interactions between air temperature during night and the number of days of treatment were significant, this suggested that the damage to the fertility of grains was increased by low air temperature during the night, when the number of days of treatment was prolonged.

(5) The main findings obtained in this study for testing the cold resistance of cool-summer damage due to floral impotency in heading stage of rice plant were; (A) It could not test by water temperature. (B) If air temperature could be controlled, water temperature was negligible. (C) The air temperature may be controlled constant or alternate in the day and night. (D) The test should preferably be done under shading conditions.