

第三章 開花期耐冷性に関する遺伝資源の評価

1. 北海道の品種における評価

北海道の品種について開花期耐冷性の育種を行う上で、北海道の新旧品種が有する耐冷性の変異を明らかにすることは重要である。

北海道品種の開花期耐冷性については、これまで刈屋(1992)と佐竹・小池(1982)がその評価を行っているほか、細井(1989b)と松永ら(1985a)によって、北海道品種を含む日本品種の比較が行われている。しかし、第Ⅱ章1節で指摘したように、12~16℃で6~8日間の冷温処理では、耐冷性の評価に必要な最低の稔実歩合となる処理開始日(出穂日からの日数)は品種により2~4日間にわたるが、それらの報告においては、出穂日など特定の生育期の処理開始日のみの稔実歩合により評価する例を含む。また、水耕栽培とポット栽培では栄養条件が異なり、同時に東北以南と北海道など試験地が異なると日長や温度などの気象条件が大きく異なるため、検定結果に差異が生じる可能性がある。さらに、これまでの試験では、供試品種数が20以下と遺伝変異を検討するには少ない場合が多く、また北海道農試や上川農試により近年育成された耐冷性品種・系統があまり供試されていない。

さらに、開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との間には、一定の関係が認められないとする報告(松永ら 1985a, 佐竹・小池 1982)がある一方、有意な正の相関関係が得られた例(櫛淵ら 1970a, 刈屋ら 1986a)も存在する。これら両時期の耐冷性における相関関係が強ければ、穂ばらみ期耐冷性を選抜することにより、間接的に開花期耐冷性を向上させることも可能である。このことから、今後の耐冷性育種を考える上で、両時期の耐冷性の関係を明らかにすることは極めて重要である。

そこで、本試験では、簡易検定法(第Ⅱ章1節)を用いて、北海道の新旧品種について開花期耐冷性の評価を行い、これまで明らかになっている穂ばらみ期耐冷性との関係について検討するとともに、近年育成された耐冷性品種・系統も供試し、開花期耐冷性の強い母本の探索を行った。

材料と方法

本試験は1998, 1999年に、上川農試において行った。供試品種は、北海道の新旧品種の52品種(第Ⅲ—1表)、および穂ばらみ期耐冷性が極強あるいは強~極強と評価

されている37育成系統(ただし、27系統は1カ年のみ供試)である(第Ⅲ—2表)。これらの穂ばらみ期耐冷性系統は、北海道農試により育成された耐冷性の中間母本7系統(中母農および北海PLの番号)、北見農試により育成された3系統(北育および北育糯の番号)、および上川農試により育成された27系統(道北、永系、上系、AC, 90DSW, 90DP, 92DSW および92JSの番号)である。なお、耐冷性系統の中で、耐冷性の中間母本の5系統と上川農試による育成の耐冷性15系統は、インドネシアや中国雲南省などの外国品種の持つ穂ばらみ期耐冷性の導入を図って育成された(農林水産省北海道農業試験場 1985, 1986, 1987, 注: 1991~1997年度 水稻新品種育成試験成績書 北海道立上川農業試験場)。

材料の養成および冷温処理の方法は、第Ⅱ章1節と同様である。冷温処理区では7~15穂、平均10.7穂を、対照区では6~11穂、平均9.8穂を調査した。

結 果

第Ⅲ—1表に、北海道の新旧品種についての開花期耐冷性の検定結果(2カ年平均)と、穂ばらみ期耐冷性(奨励品種決定試験における従来の評価、および上川農試における中期冷水処理による過去の検定結果)を示した。なお、冷温処理区の稔実歩合は52品種平均で、1998年で56.0%, 1999年で56.9%と両年次でほぼ同様であった。対照区の稔実歩合は、「早生錦」の78%, 「農林42号」の85%, および「伊達近成」と「農林20号」の89%を除くと、いずれも90%以上であり(平均96%), 第Ⅲ—2表の耐冷37系統においてもすべて90%より高く(平均98%), 出穂以前の冷温による供試材料の稔実歩合への影響は小さいと判断された。開花期耐冷性の評価については品種により年次間に差異が見られたが、2カ年平均では「はやゆき」と「はやこがね」が最も強く強~極強、「赤毛」、「ふくゆき」、「うりゅう」、「ほしのゆめ」および「初雫」の5品種が強、最も弱い「富国」、「早生錦」および「しまひかり」が弱~極弱と、品種間に大きな変異が認められた(52品種で平均4.7, 標準偏差1.23)。

これまでに報告されている開花期耐冷性の評価のための冷温処理をみると、北海道農試において、刈屋(1992)は最低の稔実歩合となる処理開始日より12℃で6日間、同じく佐竹・小池(1982)は出穂後2日目(開花期)から12℃で6日間と15℃で8日間、宮城県古川農試におい

第Ⅲ—1表 北海道の新旧品種における開花期耐冷性の検定結果.

品 種 名	奨励 品種 決定 年次	冷 温 処 理 区			対 照 区		開 花 期 耐 冷 性	穂 ば ら 米 耐 冷 性	同 左 評 価 由 来
		到穂 日数	稔実 歩合 (%)	調 査 個 体 数	稔実 歩合 (%)	調 査 個 体 数			
赤毛	1905	64±1	77±0	11	97±1	10	3	3	①
伊達近成	1924	66±1	41±23	11	89±5	10	5.5	3	①
栗柄糯	1927	63±0	59±11	8	95±2	10	4.5	5	①
富国	1935	65±2	13±4	10	93±3	10	7.5	6	①
農林20号	1941	60±1	53±14	10	89±2	10	5	6	②
栄光	1941	66±1	29±10	13	99±0	10	6.5	5	①
共和	1941	67±1	64±3	9	95±1	10	4	4	①
農林42号	1949	56±1	64±11	11	85±4	10	4.5	5	①
巴まさり	1951	74±1	59±13	10	98±0	8	4.5	4	②
新栄	1951	69±1	78±5	10	97±1	10	3.5	5	①
豊光	1953	70±2	57±20	12	95±0	10	4.5	7	②
照錦	1953	66±2	53±15	10	96±1	10	5	7	③
早生錦	1953	61±1	14±3	9	78±9	10	7.5	8	②
ふくゆき	1958	69±3	85±1	10	95±1	10	3	3	③
みまさり	1959	67±1	47±13	9	96±1	10	5.5	3	①
ささほなみ	1961	65±3	65±5	10	98±0	10	4	4	③
ユーカラ	1962	67±2	43±19	11	91±3	10	5.5	5	②
しおかり	1963	62±3	38±14	11	94±2	10	6	4	②
ほうりゅう	1964	65±1	60±2	13	96±0	10	4.5	5	②
うりゅう	1965	68±3	83±1	11	97±1	10	3	4	②
かむいもち	1965	65±2	55±1	14	98±1	10	5	4	④
ひめほなみ	1966	67±1	53±2	10	97±1	10	5	4	④
ほくせつ	1966	63±0	73±1	12	98±0	10	4	3	①
そらち	1967	67±1	63±12	10	96±1	10	4	3	②
はやゆき	1968	54±2	84±8	10	97±1	10	2.5	2	②
マツマエ	1970	66±2	51±26	10	96±1	10	5	4	②
おんねもち	1970	63±1	51±1	10	96±1	9	5	4	⑤
イシカリ	1971	68±1	70±5	9	96±0	10	3.5	4	②
ゆうなみ	1971	65±3	53±11	14	94±2	10	5	5	②
はやこがね	1977	62±1	89±7	12	96±3	9	2.5	3	⑤
ともゆたか	1977	64±3	50±11	10	98±1	10	5	4	⑤
しまひかり	1981	68±1	15±8	11	97±1	10	7.5	6	②
みちこがね	1982	66±0	63±6	11	94±0	10	4.5	3.5	⑤
キタアケ	1983	65±2	73±6	10	97±0	10	3.5	3	⑤
ともひかり	1983	63±1	45±15	12	97±1	10	5.5	4	⑤
たんねもち	1983	62±1	46±20	9	95±2	10	5.5	4	⑤
ゆきひかり	1984	65±1	60±1	11	97±1	10	4.5	3	⑤
上育393号	1987	66±3	59±1	12	97±1	11	5	3.5	⑤
空育125号	1987	64±1	47±6	12	96±1	10	5.5	3.5	⑤
きらら397	1988	69±3	63±6	12	98±1	10	4.5	4	⑤
はやまさり	1988	64±2	70±1	11	98±2	10	4	4	⑤
はくちょうもち	1989	64±1	46±12	10	97±1	10	5.5	3	⑤
ほのか224	1990	67±1	64±23	12	96±3	11	4.5	4	⑤
ハヤカゼ	1990	62±2	75±5	14	99±1	10	3.5	3	⑤
彩	1991	72±3	20±3	10	99±1	10	7	5	⑤
きたいぶき	1993	65±2	64±3	15	98±1	10	4	4	⑤
ゆきまる	1993	63±1	67±14	12	99±1	10	4	3.5	⑤
風の子もち	1995	65±1	43±3	11	97±2	10	5.5	3	⑤
あきほ	1996	66±3	67±2	9	98±0	10	4	3	⑤
ほしのゆめ	1996	67±3	81±3	10	98±1	9	3	3	⑤
はなぶさ	1998	65±1	30±12	12	97±1	10	6.5	3.5	⑥
初雫	1998	66±2	77±0	11	99±1	10	3	2	⑥

穂ばらみ耐冷性を除き、いずれも1998、1999年の2カ年平均。到穂日数と稔実歩合は平均値±標準誤差で、標準誤差は2カ年のデータを反復として算出。耐冷性の表記は、2：極強（開花期耐冷性は稔実歩合90%以上）、3：強（89～75%）、4：やや強（74～60%）、5：中（59～45%）、6：やや弱（44～30%）、7：弱（29～15%）、8：極弱（14%以下）。開花期耐冷性の評価における年次間差異の平均は1.1（52品種）。穂ばらみ耐冷性は従来の中期冷水掛け流し耐冷性検定による評価で、以下に基づき、可能な限り新しい評価を用いた。①：1974、1998年度 中期冷水掛け流しによる耐冷性検定試験結果 北海道立上川農業試験場、②：北海道立上川農業試験場（1982）、③：大内（1994）、④：北海道立中央農業試験場（1979）、⑤：1982～1995年度 水稲育成系統の配布先における成績書 北海道立上川農業試験場、および⑥：1996～1999年度 水稲育成系統の配布先における成績書 北海道立上川・中央・道南農業試験場・農林水産省北海道農業試験場。

第Ⅲ—2表 北海道の穂ばらみ期耐冷性品種・系統における開花期耐冷性の検定結果.

品種名	耐冷性の由来	冷 温 処 理 区			対 照 区		開花期耐冷性	穂ばらみ期耐冷性
		到穂日数	稔実歩合(%)	調査個体数	稔実歩合(%)	調査個体数		
中母農 8	Si	72±0	55±4	12	98±1	8	5	2
中母農11	Pa	78±0	87±3	9	94±3	8	3	2
北海 PL 1	Do	64±0	49±4	11	97±1	10	5	2
北海 PL 2	Ha	64±0	59±3	11	98±1	10	5	2
北海 PL 4	Si	68±0	66±4	9	99±1	6	4	2
北海 PL 5	La	77±0	76±4	8	98±1	6	3	2
北海 PL 6	Mi	75±0	72±4	10	99±1	10	4	2
北育77号	Ha	60±0	86±2	13	97±1	10	3	2.5
北育糯87号	Ha	63±0*	94±2	10	97±1	10	2	2
北育糯88号	Do	63±0	81±3	12	98±1	10	3	2
道北50号	Do	65±0	50±4	12	100±0	10	5	2.5
永系86242	Ha	69±0	87±4	10	98±1	10	3	2
永系88223	Ha	67±0*	93±2	10	99±1	10	2	2
永系88304	Ha	60±0	83±3	9	98±1	10	3	2
上系91051	Si	69±0	73±6	12	100±0	10	4	2
上系91409	Xi	63±0	66±3	12	97±1	10	4	2
上系91411	Ku	67±0*	74±4	14	99±0	10	3.5	2
上系94178	Yu	61±0	71±5	10	98±1	10	4	2
上系94180	D50	65±0	73±5	9	98±1	10	4	2
上系94210	Do	65±0	68±5	13	98±1	10	4	2.5
上系94259	Do	64±0	72±3	9	99±1	10	4	2.5
上系95081	Yu, D50	62±0	73±3	12	99±1	10	4	2.5
上系95082	Yu, D50	65±0	54±3	12	97±1	10	5	2
上系95092	D50	63±0	55±4	11	99±1	10	5	2.5
AC93047	Do	65±0	76±4	9	100±0	10	3	2.5
AC93322	Do	63±0	59±5	10	98±1	10	5	2
90DSW6	Si	64±0*	83±3	10	97±2	10	3	2
90DSW26	Si	63±0*	54±7	11	98±1	10	5	2
90DSW91	Xi	61±0	56±5	9	90±1	10	5	2
90DP26-76	Ha, D50	63±0	56±6	9	99±1	10	5	2
90DP26-163	Ha, D50	61±0	75±5	10	99±1	10	4	2
92DSW1505	Si, D50	67±0*	80±3	11	97±1	10	3.5	2
92DSW1524	Si, D50	65±0*	80±5	9	98±3	9	3	2
92DSW1540	Si, D50	62±0	69±3	7	100±0	10	4	2
92DSW1606	Si, D50	67±0*	85±3	9	98±1	10	3	2
92DSW1637	Si, D50	68±0*	78±4	10	96±2	10	3.5	2
92JS31-2	Pa	63±0	77±3	14	100±0	10	3	2.5

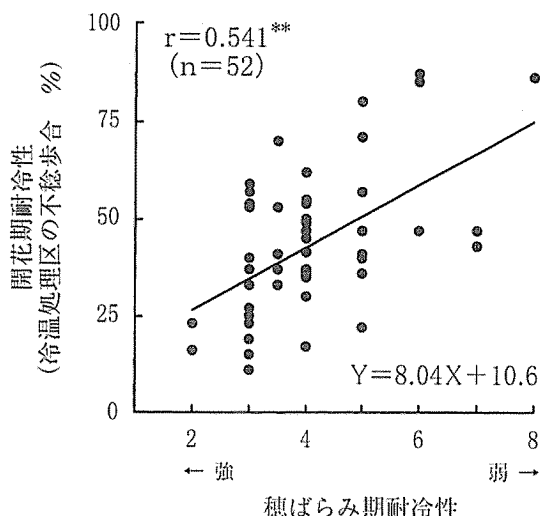
到穂日数の*は、供試年次が1998、1999年の2カ年であることを示し、他の品種は1998年のみ、穂ばらみ期耐冷性を除き、供試年次が2カ年の品種についてはその平均、到穂日数と稔実歩合は平均値±標準誤差。中母農と北海 PL 番号は農林水産省北海道農業試験場により育成された穂ばらみ期耐冷性の中間母本、北育番号は北海道立北見農業試験場、その他は北海道立上川農業試験場により育成された穂ばらみ期耐冷性系統。耐冷性の由来は、系譜からみて穂ばらみ期耐冷性が由来すると思われる品種で、以下の通り。① Ha: 「はやゆき」(北海道立北見農業試験場による育成)、② D50: 「道北50号」(北海道立上川農業試験場による育成、交配組合せ「永系78415/道北36号」)、および③ Do: 「はやゆき」と「道北50号」以外の北海道の品種、④ Si: 「Silewah」と⑤ Mi: 「Mitak」(いずれもインドネシア品種)、⑥ La: 「Lambayque 1」(ペルー品種)、⑦ Pa: 「Padi Labou Alumbis」(マレーシア品種)、⑧ Ku: 「昆明小白谷」、⑨ Yu: 「雲82-148」および⑩ Xi: 「Xiao Ma Gu」(いずれも中国雲南省の品種)。耐冷性の表記は、第Ⅲ—1表の脚注を参照。穂ばらみ期耐冷性の評価は、以下に基づく。1995~1998年度中期冷水掛け流しによる耐冷性検定試験結果 北海道立上川農業試験場、および農林水産省北海道農業試験場(1985, 1986, 1987)。

て、松永ら (1985a) は35%以上の穂の出穂が認められた日から16℃で7日間を適用している。これらで得られた稔実歩合と本試験における開花期耐冷性評価との間には、それぞれ $r=0.663^{**}$ ($n=24$, ただし、刈屋 (1992) において2回以上調査された品種のみ), 0.756^{**} ($n=17$) および 0.815^{**} ($n=11$) の関係が認められた。さらに、細井 (1989b) が、人工光型人工気象室内で水耕栽培により養成した材料を供試して、17.5~22.5℃にわたる6水準の冷温条件で調査した稔実限界温度 (出穂日からの冷温処理で、胚や胚乳における形、大きさおよび表面の色が正常な玄米の比率80%以上の稔実が可能な最低温度) により検定した結果とは、 $r=0.781^*$ ($n=9$) の相関関係が得られた。すなわち、これら4報告での評価と本試験における評価とはおおむね一致していたといえる。

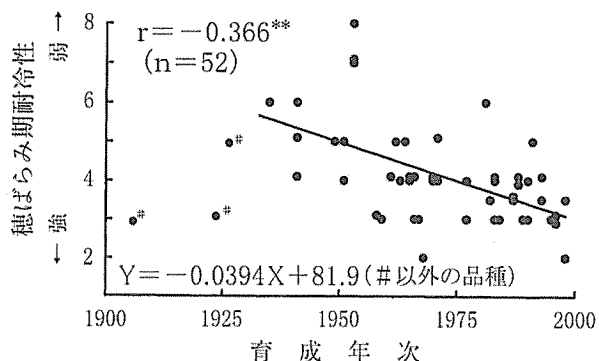
一方、穂ばらみ期耐冷性は、「はやゆき」と「初雫」が極強、「赤毛」のほか15品種が強、弱が4品種、極弱が「早生錦」の1品種であった (同平均4.1, 標準偏差1.23)。現在、北海道の梗の主要な栽培品種である「きらら397」、「ほしのゆめ」、「あきほ」および「ゆきまる」の4品種は、穂ばらみ期耐冷性がやや強から強と強く、開花期耐冷性も中~やや強から強と強い方であった。これに対し、糯の主要な栽培品種の「はくちょうもち」と「風の子もち」は、穂ばらみ期耐冷性がいずれも強と強いが、開花期耐冷性は中~やや弱とやや弱い傾向にあった。また、低アミロース品種である「彩」と「はなぶさ」は、穂ばらみ期耐冷性がそれぞれ中とやや強~強に対し、開花期耐冷性は弱とやや弱~弱であった。開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との間には、 $r=0.541^{**}$ ($n=52$, 以下同じ, 第Ⅲ-1図) の有意な正の相関関係が得られた。

育種により品種の耐冷性がこれまで向上してきたか否かを検証するため、第Ⅲ-1表に記した品種について、育成年次 (奨励品種として決定した年次) と耐冷性との関係を見ると、育成年次が新しい品種ほど穂ばらみ期耐冷性が強い傾向がみられたが (第Ⅲ-2図), 開花期耐冷性とは一定の関係が認められなかった (第Ⅲ-3図)。

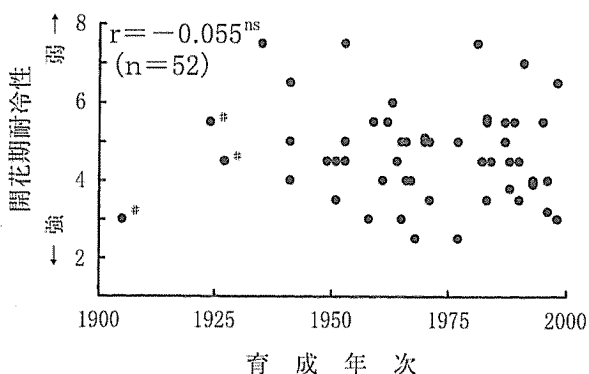
穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性との間に正の相関関係を認めた報告があり (楠測ら 1970a, 刈屋ら 1986a), 穂ばらみ期耐冷性の強い品種は開花期耐冷性も強い可能性がある。そこで、北海道で育成された穂ばらみ期の耐冷性系統, 37系統について、開花期耐冷性を調査し、開花期耐冷性の母本の探索を行った。これらの系統は、穂ばらみ期耐冷性がいずれも強~極強か、または極強である (37系統平均2.1, 標準偏差0.21) (第Ⅲ-2表)。開花期耐冷性については、2ヵ年とも極強に評価された「永系88223」と「北育糯87号」、強の11系統から中の10



第Ⅲ-1図 北海道の新旧品種における穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性 (冷温処理区の不稔歩合) との関係。穂ばらみ期耐冷性の表記は、第Ⅲ-1表の脚注を参照。開花期耐冷性は、図中の記号の重なりを避け、穂ばらみ期耐冷性と強弱が正の関係となるように冷温処理区の不稔歩合で示した。**：1%水準で有意。



第Ⅲ-2図 北海道の新旧品種における穂ばらみ期耐冷性と品種の育成年次との関係。育成年次は、北海道の奨励品種としての決定年次。穂ばらみ期耐冷性の表記は、第Ⅲ-1表の脚注を参照。育成年次が1935年以降の交雑育種法による育成品種 (#以外の品種) では $r=-0.552^{**}$ ($n=49$)。**：1%水準で有意。



第Ⅲ-3図 北海道の新旧品種における開花期耐冷性と品種の育成年次との関係。育成年次は、第Ⅲ-2図の脚注を参照。開花期耐冷性の表記は、第Ⅲ-2図と比較するため、同図の穂ばらみ期耐冷性の表記に同じとした。育成年次が1935年以降の交雑育種法による育成品種 (#以外の品種) では $r=-0.151^{ns}$ ($n=49$)。ns：有意性無し。

系統までやや大きい系統間変異がみられ、平均はやや強程度(37系統平均3.8, 標準偏差0.89)であった。その中で、外国品種の持つ穂ばらみ期耐冷性の導入を図って育成された20系統については、開花期耐冷性が極強の系統は認められず、6系統が強と評価された。

考 察

北海道品種の開花期耐冷性については、これまで12~15℃で6~8日間の冷温処理で評価した結果が報告されている(刈屋 1992, 佐竹・小池 1982)。一方、水耕栽培により養成された検定材料(細井 1989b)は、従来のポット栽培の検定材料に比べ生育条件が大きく異なる。また、北海道品種は、東北以南の品種に比べ基本栄養生長性と感光性がともに小さく出穂が早い(菅 1976, 篠田 1992)ため、東北以南の気象条件下で養成された検定材料(松永ら 1985a)は、北海道の気象条件下で養成された検定材料と生育が異なる。これらの冷温処理条件と生育条件の違いにより、開花期耐冷性の評価が変動する懸念があった。しかし、これらの報告と本試験で検定した結果とは、おおむね高い正の相関関係が得られた(それぞれ、 $r=0.663^{**}$, 0.756^{**} , 0.815^{**} および 0.781^{*} , $n=9\sim24$)。したがって、材料養成条件や冷温処理条件は、開花期耐冷性の評価に概して大きな変動をもたらさないと考えられ、本法による検定結果は、これまで報告された方法による評価と大差ないことが確認された。

本試験の結果、北海道の新旧品種で、開花期耐冷性が最も強い(極強~強)のは「はやゆき」と「はやこがね」であり、最も弱い(弱~極弱)のは「富国」、「早生錦」および「しまひかり」であると評価された。さらに、これまで穂ばらみ期耐冷性が極強と評価されている耐冷性育成系統の中で、「永系88223」と「北育糯87号」の開花期耐冷性は、「はやゆき」と「はやこがね」を上回り、2ヵ年とも極強であった。この2系統について開花期耐冷性が検定されたのは、本試験がはじめてである。したがって、北海道品種の開花期耐冷性には、極強から弱~極弱(冷温処理区の稔実歩合で94~14%, それぞれ2, 3品種の平均)の大きな品種間差異が存在すると考えられる。既報での北海道品種の開花期耐冷性の検定試験においては、近年育成された耐冷性系統が含まれていないなど、供試材料の範囲が不十分であった。本試験により、現在の北海道品種・系統における開花期耐冷性遺伝資源の変異は、ほぼ把握できたと考える。

また、現在の主要な栽培品種の開花期耐冷性についても、粳品種については強い傾向を示したが、糯品種は中~やや弱、低アミロース品種ではほぼ弱であったことか

ら、開花期耐冷性の強化が必要と考えられた。

開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との間には、従来一定の関係が認められないとする報告(松永ら 1985a, 佐竹・小池 1982)や有意な正の相関がみられたとする報告(榊原ら 1970a, 刈屋ら 1986a)があり、本試験においては両期耐冷性の間に有意な正の相関が得られた(第Ⅲ-1図)。本試験を含め、これまで開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との関係を報告した例はまだ少ないので、今後さらに多くの材料を用いて検討する必要がある。

一方、これまで穂ばらみ期耐冷性については、育成年次の新しい品種は古い品種に比べ強くなってきていることが報告されている(岩間ら 1998)。本試験の供試品種についても、育成年次が新しいほど穂ばらみ期耐冷性は強くなる傾向が認められた(第Ⅲ-2図)。これに対し、開花期耐冷性と育成年次との間には、一定の関係が認められなかった(第Ⅲ-3図)。すなわち、従来、障害型耐冷性の選抜は、穂ばらみ期についてのみ実施され、開花期については行われなかった。穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性との間には正の相関関係が認められたが、相関係数はそれほど大きくなかった。したがって、これまで行われてきた穂ばらみ期耐冷性についての選抜は、必ずしも開花期耐冷性を間接的に向上させる結果に結びつかなかったと思われる。

以上のことから、北海道品種には開花期耐冷性について大きな変異が存在し、北海道稲作の一層の安定のためには、栽培品種の開花期耐冷性の向上を図る必要がある。このためには育種の選抜過程で、開花期耐冷性について直接、選抜する必要がある。また、穂ばらみ期だけでなく開花期においても耐冷性が極強と評価された「永系88223」と「北育糯87号」は、障害型耐冷性の中間母本として有用である。

今後の開花期耐冷性の育種を考えるに当たり、本試験で開花期耐冷性が極強あるいは極強に近いと評価された4品種・系統の系譜上の関係を検討する。北海道の新旧品種の中で、最も開花期耐冷性が強いと評価された「はやこがね」と「はやゆき」の交配組合せは、それぞれ「北斗/上育272号」および「新栄/農林19号」であり、系譜上の関係性は認められない。しかし、耐冷性育成系統の「永系88223」は「中母42」(交配組合せ、「レイメイ//はやゆき/レイメイ」)を、「北育糯87号」は「北育77号」(同、「はやゆき/道北11号//ともゆたか」)を母本とする組合せから育成されており、いずれも「はやゆき」を系譜中に含んでいる。したがって、これら2系統は、「はやゆき」に由来する穂ばらみ期と開花期の両期の耐冷性を持つことが示唆される。

上記の4品種・系統の中で、「永系88223」（上川農試育成）を除く他の3品種は、いずれも北見農試で育成されている。北見農試のある網走支庁管内は、北海道の中でもとくに冷害による収量変動が大きい。たとえば、1970～1984年における収量の変動係数は、全道平均が17%であったのに対し、同支庁管内の10市町村の平均は55%であった（北海道米麦改良協会 1987）。さらに、北見農試での幼穂形成期、穂ばらみ期および開花期に当たる7月1日から8月10日の平均気温は19.4℃であり（1961～1990年の平均、注：1993年度 水稲試験成績書 北海道立北見農業試験場）、ほぼ同時期に行われる穂ばらみ期耐冷性の検定における中期冷水掛け流し処理（早生品種の穂ばらみ期から晩生品種の出穂期までの処理）の水温（約19℃、斉藤・堀末 1992）に比べてやや高い程度にすぎない。北見農試では、これまで開花期耐冷性の選抜を直接的には実施してこなかったが、このような厳しい気象条件下で品種育成を行うことによって、開花期耐冷性の強い品種が間接的に選抜されたと考えられる。

一方、外国品種の穂ばらみ期耐冷性の導入を図って育成された20系統において、6系統は開花期耐冷性が強と評価されたが、極強系統は認められなかった。開花期耐冷性が強と評価された6系統の中で、3系統がインドネシア品種「Silewah」、2系統がマレーシア品種「Padi Labou Alumbis」、および1系統がペルー品種「Lambayque 1」の有する穂ばらみ期耐冷性の導入を図り育成された。佐竹（1981b）および佐竹・小池（1982）によれば、これら耐冷性の母本となった外国由来の3品種は、穂ばらみ期耐冷性が日本の極強品種と同等に強いが、開花期耐冷性は強くなかった。したがって、本試験においてこれら外国品種の耐冷性を導入した系統の開花期耐冷性が強と評価されたのは、むしろ早生化のために交配親として用いた「キタアケ」（開花期耐冷性、やや強～強）、「はやゆき」（同、強～極強）および「北海241号」（未調査、交配組合せ「農林22号／はやゆき」）の北海道品種の特性に由来する可能性が高いと思われる。このことから、穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性とは同じ障害型耐冷性ではあるが、開花期耐冷性については、穂ばらみ期耐冷性とは別に遺伝資源を探索する必要がある。

以上のことから、今後の開花期耐冷性育成においては、遺伝資源を多様化するために、日本や外国の遺伝資源を広く探索して育種母本を選定することが重要である。また、開花期耐冷性の選抜のためには、人工気象室を用いた効率的選抜法を工夫するとともに、従来の冷水掛け流し検定法による穂ばらみ期耐冷性の選抜においても、北見農試のような厳しい自然条件を選抜の場として利用す

る必要がある。

2. 東北以南の品種における評価

東北以南の品種の開花期耐冷性については、これまで、松永ら（1985a）が宮城県古川農試において自然日長のポット栽培で養成した72品種を用いて、35%以上の穂の出穂が認められた日から7日間、16℃の冷温処理を行って評価している。また、細井（1989b）は、12時間日長の人工光型人工気象室内で、水耕栽培により養成した61品種を供試し、17.5～22.5℃の6段階の冷温条件で稔実限界温度（出穂日からの冷温処理で、胚や胚乳における形、大きさおよび表面の色が正常な玄米の比率80%以上の稔実が可能な最低温度）により調査している。しかし、両者においては、材料養成における日長と栽培方法、冷温処理条件および評価基準に差異があり、開花期耐冷性の品種間差異を明らかにするには、一定の条件でさらに比較し検討する必要がある。

本試験では、東北以南の主要品種の開花期耐冷性を、自然日長で養成した材料を供試して、簡易検定法（第Ⅱ章1節）により評価した。また、第Ⅲ章1節の北海道品種のデータも参照し、開花期耐冷性と育成地との関係、および開花期耐冷性とこれまで明らかになっている穂ばらみ期耐冷性との関係について検討した。

材料と方法

試験は1999年に、上川農試において行った。供試品種には、東北以南の品種の開花期耐冷性に関する細井（1989b）と松永ら（1985a）の報告から、開花期耐冷性と出穂の早晚性が大きく異なる39品種、東北地域と温暖地の水稲育種において穂ばらみ期耐冷性の検定に用いられている耐冷性検定の基準品種（上原 1996）から5品種、近年育成された9品種、および耐冷性が極強の在来1品種（櫛淵ら 1970b）、計54品種を選定した（第Ⅲ—3表）。なお、細井（1989b）と松永ら（1985a）の試験で、開花期耐冷性が最も強いと評価されている品種については、可能な限り網羅した。また、供試品種を育成地によって分類すると、東北で30品種、北陸で8品種、東海・近畿で7品種、および九州で9品種であった。

材料の養成および開花期耐冷性の検定法は、第Ⅱ章1節と同じである。冷温処理区では4～14穂、平均9.1穂を、対照区では7～12穂、平均10.8穂を調査した。

結 果

第Ⅲ—3表に、本試験における開花期耐冷性の検定結果および既報（櫛淵ら 1970b、松永・佐々木 1985b、

第Ⅲ—3表 東北以南の日本品種における開花期耐冷性の検定結果.

地域	育成 年次	育成 地	冷 温 処 理 区			対 照 区		開花 期耐 冷性	穂ば らみ 期耐 冷性	同左 評由	
			到穂 日数	稔実 歩合 (%)	調 査 個 体 数	稔実 歩合 (%)	調 査 個 体 数				
東北											
	中母42	—	青森	87±0	93±2	7	96±6	10	2	2	①
	はなの舞	1981	山形	87±0	87±4	9	99±1	10	3	2	①
	ハマアサヒ	1976	青森	72±0	82±3	11	99±1	12	3	4	①
	ヒデコモチ	1975	秋田	90±1	82±3	10	98±1	12	3	7	①
	オオトリ	1955	青森	99±1	78±6	8	100±0	10	3	3	①
	藤坂5号	1947	青森	86±0	77±5	9	100±1	10	3	5	②
	つがるおとめ	1983	青森	91±0	72±4	8	99±1	12	4	3	②
	ヒメノモチ	1969	秋田	89±1	66±5	9	98±1	12	4	5	①
	輝寿	—	青森	89±0	65±9	9	98±1	7	4	2	③
	ムツホナミ	1970	青森	87±1	64±8	9	98±1	10	4	6	①
	染分	—	福島	108±0	59±7	9	99±1	10	5	2	④
	レイメイ	1963	青森	87±0	52±7	8	99±1	10	5	5	①
	ヨネシロ	1959	青森	87±0	46±8	10	99±1	10	5	3	④
	はえぬき	1990	山形	104±0	45±4	9	98±1	10	5	2	②
	あきたこまち	1982	秋田	96±0	44±6	10	98±1	12	6	5	②
	フジミノリ	1958	青森	86±0	42±11	8	95±8	12	6	5	①
	陸羽132号	1921	秋田	95±0	40±9	10	96±1	10	6	4	②
	ササミノリ	1966	秋田	90±0	37±7	9	96±2	10	6	6	①
	シモキタ	1960	青森	78±1	36±15	8	96±8	12	6	6	④
	ササニシキ	1960	宮城	97±0	36±12	7	79±11	12	6	6	②
	アキヒカリ	1973	青森	91±0	35±5	9	98±1	10	6	6	①
	トワダ	1954	青森	86±0	33±7	7	99±1	12	6	6	④
	ひとめぼれ	1988	宮城	99±0	32±4	9	98±1	12	6	2	②
	コチミノリ	1980	青森	73±0	20±3	11	99±1	12	7	3	②
	農林24号	1938	宮城	98±0	17±7	8	97±1	12	7	2	①
	キヨニシキ	1966	秋田	93±0	15±6	9	98±1	12	7	6	①
	コガネヒカリ	1978	宮城	95±0	10±4	11	95±7	10	8	4	①
	トヨニシキ	1966	秋田	100±0	9±3	9	87±9	10	8	6	①
	亀の尾	—	山形	87±0	9±4	8	91±5	10	8	5	②
	ササシグレ	1949	宮城	99±1	4±3	5	97±2	12	8	7	②
	品種平均 (n=30)			91±1	46±5	8.8	97±1	10.8	5.3±0.3	4.3±0.3	
北陸											
	フクヒカリ	1970	福井	92±0	81±3	4	93±5	12	3	5	④
	農林1号	1930	新潟	86±0	66±6	9	95±5	12	4	5	②
	トドロキワセ	1965	新潟	86±2	49±13	5	92±2	12	5	2	①
	越路早生	1951	新潟	98±0	39±8	11	99±0	10	6	6	④
	コシヒカリ	1953	福井	115±0	39±9	10	90±1	10	6	2	①
	キヌヒカリ	1983	新潟	115±0	30±7	8	98±1	12	6	5	⑤
	アキニシキ	1969	新潟	122±0	23±10	9	85±10	10	7	5	⑤
	農林21号	1939	新潟	109±0	0±0	9	48±6	10	8	7	②
	品種平均 (n=8)			103±5	41±9	8.1	88±6	11.0	5.6±0.6	4.6±0.6	
東海・近畿											
	初星	1973	愛知	97±0	73±5	10	98±1	12	4	4	①
	イブキワセ	1981	愛知	86±0	67±11	6	97±8	11	4	3	①
	農林22号	1941	兵庫	127±0	66±3	8	99±0	8	4	4	⑥
	ハウレイ	1977	愛知	117±1	4±1	10	66±10	9	8	3	①
	金南風	1943	愛知	125±0	3±1	15	75±3	12	8	7	⑥
	日本晴	1961	愛知	121±0	1±1	10	94±3	10	8	6	⑥
	幸風	1957	愛知	132±0	0±0	10	80±9	10	8	5	⑥
	品種平均 (n=7)			115±6	31±14	9.9	87±5	10.3	6.3±0.8	4.6±0.6	

第Ⅲ—3表 続き.

地域 品 種 名	育 成 年 次	育 成 地	冷 温 処 理 区			対 照 区		開 花 期 耐 冷 性	穂 ば ら み 期 耐 冷 性	同 左 評 価 由 来
			到 穂 日 数	稔 実 歩 合 (%)	調 査 個 体 数	稔 実 歩 合 (%)	調 査 個 体 数			
九州										
みやにしき	—	宮崎	83±0	68±5	14	99±0	12	4	4	①
ヒノヒカリ	1986	宮崎	127±0	19±6	13	94±3	10	7	—	—
ミナミニシキ	1972	宮崎	132±0	12±3	9	96±1	10	8	6	⑥
シンレイ	1974	宮崎	126±0	8±3	12	79±5	10	8	8	①
ユメヒカリ	1987	福岡	130±1	6±3	8	97±1	10	8	—	—
ニシホマレ	1975	宮崎	127±0	6±4	10	84±6	10	8	7	⑥
レイホウ	1966	福岡	132±0	5±2	10	91±2	10	8	8	⑥
コガネマサリ	1973	宮崎	128±0	2±1	12	69±8	12	8	6	⑥
瑞豊	—	宮崎	134±0	2±1	9	85±6	12	8	—	—
品種平均 (n=9)			124±5	14±7	10.8	88±3	10.7	7.4±0.4	(6.5±0.6)	
北海道										
品種平均 (n=52)			65±0	57±3	10.9	96±1	9.9	4.7±0.2	4.1±0.2	⑦

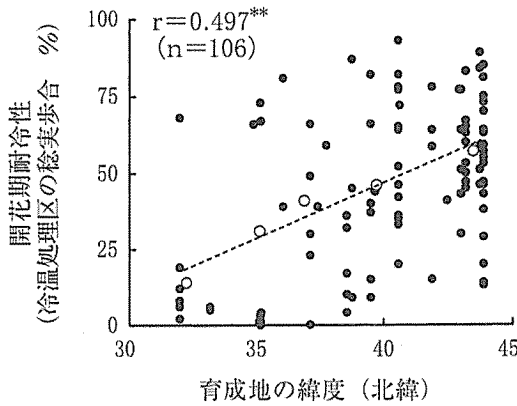
到穂日数と稔実歩合は平均値±標準誤差。耐冷性の表記は、第Ⅲ—1表の脚注を参照。穂ばらみ期耐冷性の評価は、以下に基づく。①：上原ら(1996)、②：佐々木(1996)、③：櫛淵ら(1970b)、④：松永・佐々木(1985b)、⑤：上原ら(2000)、⑥：愛知県農業総合試験場山間技術実験農場(1986, 1990, 1992)、および⑦：第Ⅲ—1表。比較のために、第Ⅲ—1表から北海道の新旧52品種の平均値を示した。

佐々木 1996, 愛知県農業総合試験場山間技術実験農場 1986, 1990, 1992, 上原 1996, 上原ら 2000) の穂ばらみ期耐冷性の検定結果を示した。対照区の稔実歩合において、7品種が48~80%と低く、それらの冷温処理区の稔実歩合も、東北育成(以下、育成を略す)の「ササニシキ」で36%、その他の6品種で0~8%と極めて低かった。そこで、これら7品種に関して、対照区における不稔発生を考慮して、冷温処理区の稔実歩合を対照区の稔実歩合で除した稔実指数で評価した。その結果、稔実歩合での評価結果とほぼ変わらなかった。冷温処理区の稔実歩合で評価しても、対照区での不稔発生による開花期耐冷性の検定結果への大きな影響はないと考えた。その他の47品種については、対照区の稔実歩合が84~100%、平均して96%と高く、出穂以前の冷温による供試材料への影響は小さいと判断された。なお、九州の3品種の穂ばらみ期耐冷性は、既報の評価結果がなく、不明であった。

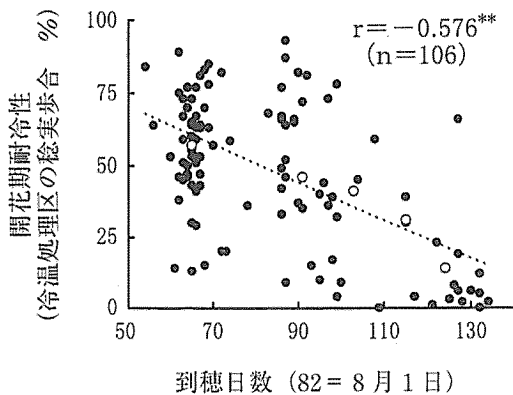
本試験による検定の結果、開花期耐冷性が極強と評価されたのは東北の「中母42」のみで、強と評価されたのは、「はなの舞」を含めた東北の5品種および北陸の1品種であった。東海・近畿および九州地域で、最も強い品種のランクはやや強で、それぞれ4および1品種あった。一方、最も弱い極弱と評価された品種数は、東北で4、北陸で1、東海・近畿で4、および九州で7の計16であった。すなわち、東北以南の品種には、全体的にみると極強から極弱まで大きな品種間変異がみられた。ま

た、現在の東北以南の主要な栽培品種である「コシヒカリ」、「ひとめぼれ」および「あきたこまち」の開花期耐冷性は、いずれもやや弱で、最も温暖な九州地域で育成された「ヒノヒカリ」は弱であった。

第Ⅲ章1節で示した北海道品種における開花期耐冷性の検定結果も参照して、品種の育成地と開花期耐冷性との関係を検討した。開花期耐冷性は北海道が最も強く(供試品種平均値±標準誤差, 4.7±0.2, 以下同じ)、次いで東北(5.3±0.3)、北陸(5.6±0.6)、東海・近畿(6.3±0.8)、および九州(7.4±0.4)の順となり、緯度が下がるほど耐冷性が弱くなる傾向を示した。すなわち、各地域においては、開花期耐冷性に大きな品種間変異が存在するが、各品種の開花期耐冷性(冷温処理区の稔実歩合)と育成地の緯度との間には有意な正の相関関係があった(第Ⅲ—4図)。さらに、冷温処理区における到穂日数は、各地域の平均で北海道が65日、東北が91日、北陸が103日、東海・近畿が115日、および九州が124日と、緯度の高い育成地ほど短かく、全品種でみると到穂日数と育成地の緯度との間に、 $r = -0.920^{**}$ ($n = 106$)の有意な負の相関関係が認められた。そのため、到穂日数と開花期耐冷性との間には有意な負の相関関係が認められ、とくに到穂日数が100日を越えると耐冷性が弱くなる傾向を示した(第Ⅲ—5図)。一方、穂ばらみ期耐冷性についてみると、育成地の緯度とは $r = -0.285^{**}$ ($n = 103$)、到穂日数とは $r = 0.312^{**}$ ($n = 103$)であり、その相関関係は、いずれも開花期耐冷性との相関関係に



第Ⅲ—4図 日本品種における育成地の緯度(北緯)と開花期耐冷性(冷温処理区の稔実歩合)との関係。開花期耐冷性の表記は、図中の記号の重なりを避けるため、冷温処理区の稔実歩合とした。○…………○：地域別の平均緯度と平均稔実歩合との関係 ($r=0.971^{**}$, $n=5$, $Y=3.675X-100.0$)。 **：1%水準で有意。

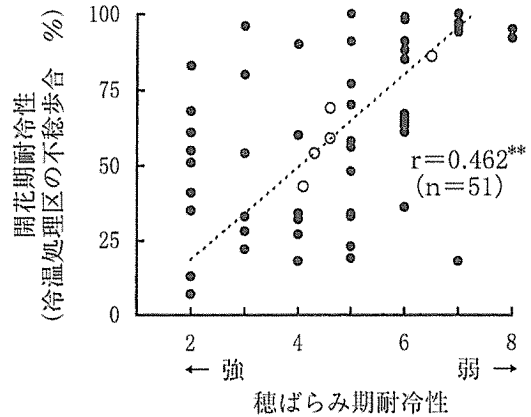


第Ⅲ—5図 日本品種における到穂日数と開花期耐冷性(冷温処理区の稔実歩合)との関係。開花期耐冷性の表記については、第Ⅲ—4図の脚注を参照。○…………○：地域別の平均到穂日数と平均稔実歩合との関係 ($r=-0.942^{**}$, $n=5$, $Y=-0.666X+104.2$)。 **：1%水準で有意。

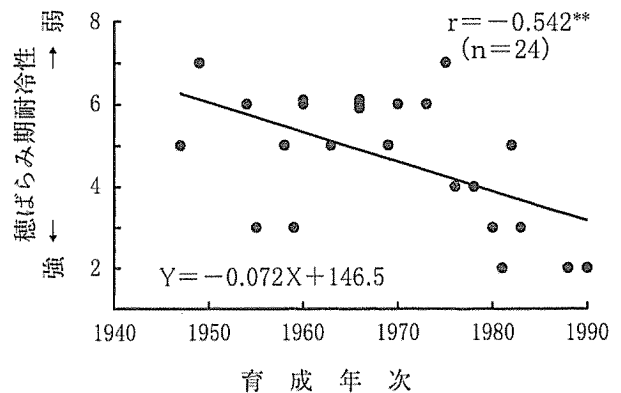
比べ不明確であった。

本試験における開花期耐冷性の評価と松永ら(1985a)の結果との間には、 $r=0.453^{**}$ ($n=39$)の有意な正の相関関係があった。また、細井(1989b)の結果とは、 $r=0.710^{**}$ ($n=26$)の有意な正の相関関係があり、おおむね一致していた。

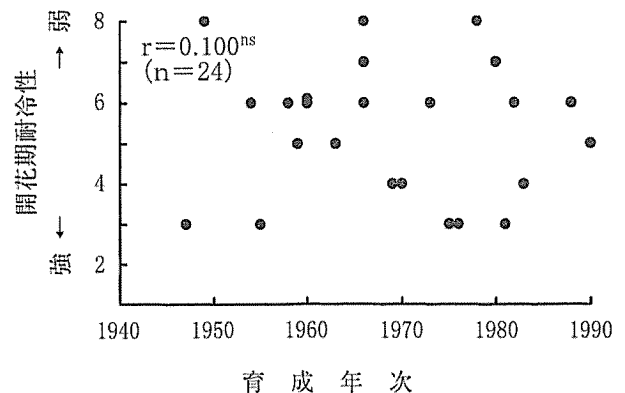
これまでに穂ばらみ期耐冷性が評価されている51品種について、穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性との関係を検討したところ、両形質間には有意な正の相関関係があった(第Ⅲ—6図)。また、これまでの育種によって品種の耐冷性が向上してきたか否かを明らかにするため、冷害が問題となる東北地域で1945年以降(戦後)に育成された24品種について、育成年次(地方番号系統として命名された年次)と耐冷性との関係について検討した。穂ばらみ期耐冷性は育成年次が新しくなるに伴って強くな



第Ⅲ—6図 東北以南の日本品種における穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性(冷温処理区の不稔歩合)との関係。穂ばらみ期耐冷性の表記は、第Ⅲ—1表の脚注を参照。開花期耐冷性の表記については、第Ⅲ—1図の脚注を参照。○…………○：地域別の穂ばらみ期耐冷性の平均値と開花期耐冷性の平均値(平均不稔歩合)との関係 ($r=0.914^{**}$, $n=5$, $Y=15.45X-12.3$)。 **：1%水準で有意。



第Ⅲ—7図 1945年以降に育成された東北品種における穂ばらみ期耐冷性と品種の育成年次との関係。育成年次は、農林水産省農業研究センター編(1995)による。穂ばらみ期耐冷性の表記は、第Ⅲ—1表の脚注を参照。 **：1%水準で有意。



第Ⅲ—8図 1945年以降に育成された東北品種における開花期耐冷性と品種の育成年次との関係。育成年次は、第Ⅲ—7図の脚注を参照。開花期耐冷性の表記は、第Ⅲ—7図と比較するため、同図での穂ばらみ期耐冷性の表記に同じとした。 ns：有意性無し

る傾向を示したのに対し（第Ⅲ—7図）、開花期耐冷性と育成年次との間では一定の関係が認められなかった（第Ⅲ—8図）。

考 察

細井（1989b）が報告した12時間日長の水耕栽培による材料と、従来の自然日長でのポット栽培による材料とでは、開花期耐冷性の評価が異なる懸念があった。しかし、本試験の評価と細井の評価とはほぼ一致していた（ $r=0.710^{**}$, $n=26$ ）。一方、松永ら（1985a）は、宮城県古川農試の自然日長下のポット栽培による材料で、35%出穂日を処理開始日として7日間、16℃の冷温処理をした。この試験の評価と本試験の評価とは有意な正の相関関係（ $r=0.453^{**}$, $n=39$ ）を示したが、その相関係数は、前述の細井の評価と本試験の評価との関係における相関係数に比べるとそれほど大きくなかった。本試験と松永らの試験とは、材料養成時における両地域の自然日長条件の違いや処理開始日の設定が異なる。一方、第Ⅲ章1節で述べたように、北海道品種については、著者と松永らの評価の間には大きな差異がなかった。したがって、東北以南の品種では、北海道品種に比べて感光性が大きいので、材料養成時の日長条件が出穂期とそれに伴う生育相を変化させ、検定結果の差異を生じさせたとも考えられる。しかし、材料養成時の日長条件が開花期耐冷性の評価に及ぼす影響については、さらに検討の必要がある。

細井（1989b）は、日本品種の開花期耐冷性の地域的特徴について、強い品種の多くは東北地域に、弱い品種の多くは西南暖地に分布し、また北海道品種についてはやや強からやや弱の範囲であり、品種間変異が特異的に小さいと報告している。さらに、松永ら（1985a）は、開花期耐冷性の強い品種は東北地方の中生品種に多く、関東以西の晩生品種は劣っていると報告した。本試験の結果では、育成地の緯度が高く出穂の早い品種ほど、開花期耐冷性が強い傾向を示し（それぞれ第Ⅲ—4図および第Ⅲ—5図）、北海道品種については東北品種よりもさらに強い傾向を示した（第Ⅲ—3表）。また、北海道品種においても、東北以南の品種と同様に、極強から極弱まで大きな変異があった（第Ⅲ章1節参照）。

本試験では、開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との間に有意な相関関係が認められたが（第Ⅲ—6図）、相関係数は $r=0.462$ とそれほど大きくなかった。両時期の耐冷性には一定の関係が認められないとする既報をみると、松永ら（1985a）は相関係数を示さず、佐竹・小池（1982）は $r=0.14^{ns}$ （ $n=33$ ）とした。これらに対し、

正の相関関係があったとする既報をみると、櫛渕ら（1970a）は相関係数を示していないが、刈屋ら（1986a）は $r=0.44^{**}$ （ $n=42$ ）と報告しており、第Ⅲ章1節の北海道品種での $r=0.541^{**}$ （ $n=52$ ）や本試験の相関係数とほぼ類似していた。

本試験での供試品種のうち、「ヒデコモチ」は、穂ばらみ期耐冷性が弱であるのに対して開花期耐冷性は強であり、逆に、「コチミノリ」、「農林24号」および「ホウレイ」は、穂ばらみ期耐冷性が強あるいは極強であるのに対して開花期耐冷性は弱あるいは極弱であり、両時期の耐冷性が大きく異なっていた。このような品種は、両時期の耐冷性の機作を比較する上で貴重な材料といえる。一方、開花期耐冷性は、青森県農試藤坂支場により育成された「中母42」が極強、山形県立農試庄内支場により育成された「はなの舞」が強であった。これら両品種は、穂ばらみ期耐冷性がいずれも極強であり、穂ばらみ期と開花期の両生育期に対応できる耐冷性品種の育種において、有用な母本と考える。なお、「中母42」は「レイメイ/はやゆき/レイメイ」の組合せから育成された品種であり、開花期耐冷性は「レイメイ」が中、「はやゆき」が強～極強（それぞれ第Ⅲ—3表および第Ⅲ—1表）であることから、「中母42」の開花期耐冷性は北海道品種の「はやゆき」に由来すると推察した。

穂ばらみ期のみならず開花期でも冷温による障害型不稔が問題となる東北地域（鳥山 1980）での1945年以降の育成品種については、育成年次が新しい品種ほど穂ばらみ期耐冷性が強い傾向を示したが、育成年次と開花期耐冷性との間には一定の関係がみられなかった。このことは、第Ⅲ章1節で北海道の新旧品種についても認められているように、これまでの育種において障害型耐冷性については穂ばらみ期耐冷性のみを選抜対象としており、穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性とは正の相関関係があるがその相関係数はそれほど大きくないため、穂ばらみ期耐冷性を強くすることが、間接的にせよ開花期耐冷性を向上させる結果には至らなかったことを示唆する。

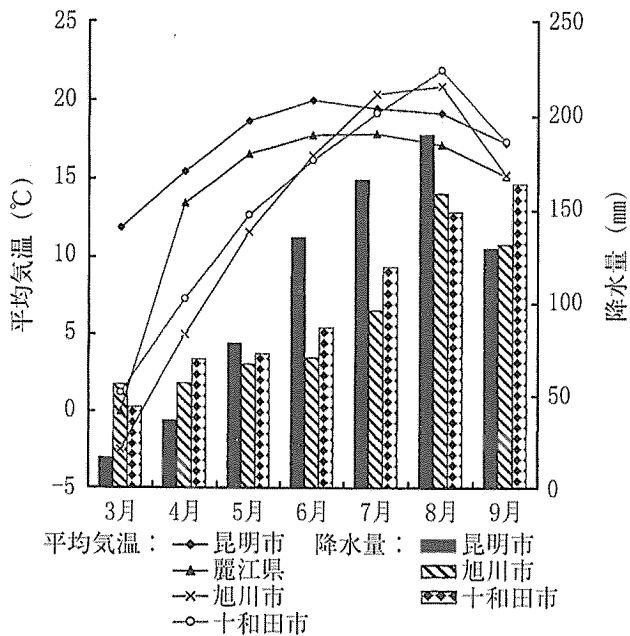
また、東北地域で育成された品種の開花期耐冷性には、極強から極弱までの大きな品種間差異が認められた。しかし、現在の同地域での主要な栽培品種となっている「あきたこまち」と「ひとめぼれ」の開花期耐冷性は、いずれもやや弱であった。東北地域の稲作安定のためには、開花期耐冷性の向上が不可欠であり、そのためには、開花期耐冷性を直接の選抜指標にする必要がある。

3. 中国雲南省の品種における評価

雲南省は中国の西南端に位置し、省都の昆明市は北緯

(N) 25.08 (度), 東経 (E) 102.67 (度) と, 日本の沖繩県那覇市 (N26.22, E127.67) よりもさらに緯度が低い. 稲の作付けは1993年で約93万 ha あり, その内訳は, ジャポニカ型水稻が52%, インディカ型水稻が36%, および陸稲が12%である (伊勢 1995). 平均籾収量は5.15 t ha⁻¹, 玄米換算 (籾の80%) で4.12 t ha⁻¹である. 同省の農業は立体農業と称され, 標高により作物, 品種が大きく異なるのが特徴である. 水稻についても, 標高1500~1800mはインディカ型とジャポニカ型が共存栽培される「交錯稲区」であり, それより低く76mまでの地帯にインディカ型が, それより高く2700m前後までの地帯にジャポニカ型が栽培される.

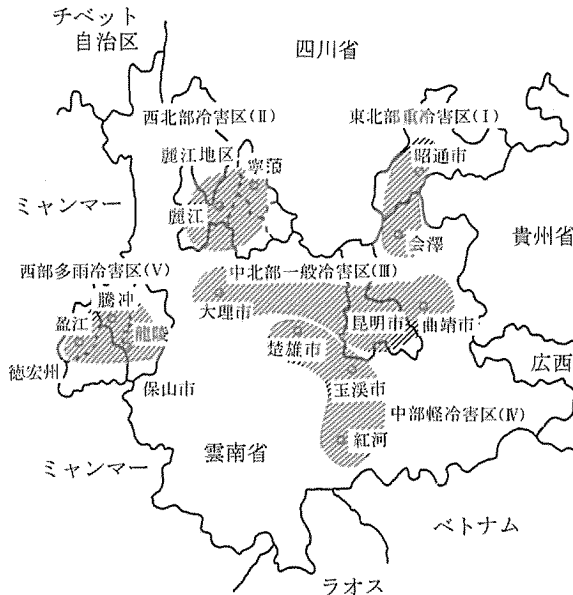
このように, 雲南省のジャポニカ型水稻は極めて標高の高い地帯まで作付けられ, さらに水稻の障害型冷害の危険期である穂ばらみ期から出穂開花期に当たる7, 8月は, 雨期に当たり日照が少ない. また, 7~8月の月平均気温は, 昆明市 (標高1893m) では19.5~19.2°Cであり, 北海道旭川市と青森県十和田市でのそれぞれ20.4~20.9, 19.2~21.9°Cに比べてやや低く (第III-9図), 障害型冷害の発生しやすい条件下にある. さらに, 同省



第III-9図 中国雲南省の昆明市と麗江地区麗江県, および北海道旭川市と青森県十和田市における稲作期間中の月平均の気温と降水量. 各地において, 気温と降水量の平年値を算出するのに用いた年次, 緯度, 経度, 標高および一般栽培の出穂期: 昆明市; 気温が1983~1993年および降水量が1983~1992年, 北緯 (N) 25.08 (度) 東経 (E) 102.67 (度), 1893m, 7月下旬~8月上旬, 麗江県; 1957~1979年, N26.86 E100.25, 2393m, 8月20日頃, 旭川市; 1961~1990年, N43.77 E142.37, 111m, 8月上旬, 十和田市; 1979~1990年, N40.60 E114.25, 42m, 8月上旬. 麗江地区麗江県は, 2003年より麗江市玉龍県.

の代表的な冷害発生地帯である標高2393mの麗江地区麗江県 (現, 麗江市玉龍県, 第III-10図) での8月の月平均気温は, 17.2°Cと著しく低く, 稲作にとって極めて厳しい条件下にある.

雲南省の稲遺伝資源について耐冷性の評価と利用技術の開発を行う目的で, 1982~1997年に, 農林水産省熱帯農業研究センターと雲南省農業科学院との日中共同研究 (以下, 共同研究と略す) が行われた. この結果, 雲南省には, 障害型の穂ばらみ期耐冷性が日本品種よりもさらに強い在来品種があること, 開花期耐冷性についても, 日本品種と同等かそれ以上に強い在来品種があり, それらは日本品種に比べ葯長が長いことが明らかにされた (熱帯農業研究センター 1985, 藤村ら 1991a). これらの耐冷性が極強の在来品種は昆明市や麗江地区麗江県の由来であるが, 雲南省には主要な冷害発生地区が5地区あり (第III-10図), それらの地区の在来品種には多様な耐冷性の遺伝資源が存在する可能性がある. とくに, 雲南省の気象の特徴として, 出穂開花期に当たる7, 8月が寡照で降雨量が多いので, 稲の開花受精が阻害され



第III-10図 中国雲南省の主な稲作冷害発生地帯 (熊 1995より作図). 各冷害発生地帯の標高: I; 1900~2100m, II; 2200~2400m, III; 1850~2000m前後, IV; 1600~1850m前後, V; 1600~1900m. 麗江地区寧蒭県は, 2003年より麗江市寧蒭県.

やすいと考えられ, 開花期耐冷性の強い品種が存在する可能性がある.

一方, 雲南省の在来品種は, 日本品種に比べ葯長が極めて長くかつ草姿が不良で, 玄米品質などについても劣悪なことが報告されている (松永・佐々木 1986). そのため, 在来品種の優れた耐冷性遺伝子を維持しながら,

その他の特性を改良した中間母本を育成することが、共同研究における目標の一つであった（藤村ら 1991b）。

本試験では、著者が参加した1993、1994年に共同研究において新たに提供された（以下、新提供と略す）在来品種、共同研究で育成された耐冷性の中間母本およびこれまでの共同研究において明らかにされた雲南省の耐冷性品種について、穂ばらみ期と開花期の耐冷性を評価した。さらに、一部の品種群については、葯の形態特性と耐冷性との関係を検討した。

材料と方法

(1) 中国雲南省での圃場試験

試験は中国昆明市の雲南省農業科学院において、1993年には穂ばらみ期の耐冷性検定用の恒温冷水（19℃）循環圃場で、1994年には恒温冷水循環圃場に加えて水道水（17℃）掛け流し圃場および普通圃場で行った。1994年に冷水処理を行った恒温冷水循環圃場と水道水掛け流し圃場での稔実歩合は、29品種平均でそれぞれ40.4%、40.2%と極めて類似していたため、両試験区を反復と考えて平均値を求め、冷水圃場の稔実歩合とした。

供試材料には、新提供の在来7品種（熊 1995）、共同研究により育成された耐冷性の合系1系統（合系番号は、共同研究により育成された系統を示す）と耐冷性の中間母本の雲冷2系統（雲冷番号は、共同研究により育成された耐冷性の中間母本を示す）、さらに共同研究の耐冷性検定基準品種から10品種（これまでの共同研究で穂ばらみ期耐冷性が極強と評価された在来4品種、雲南省の実用栽培品種である合系2品種（雲南省の登録品種に認定された合系系統、いずれも省の中北部向け）、および日本の4品種）、計20品種・系統（以下、品種）を用いた（第Ⅲ—4表）。また、1994年には、耐冷性の検定基準品種から穂ばらみ期耐冷性の大きく異なる18品種（日本の7品種、合系2品種、雲南省の9品種）、雲冷2系統および雲南省の耐冷性在来9品種、計29品種を供試した。

新提供の在来品種は、省内で最も標高の高い稲作地帯を含む麗江地区寧蒭県（現、麗江市寧蒭県、標高2240m、5品種）、省の西端で、7～8月の雨量が901mm（昆明市の1.5倍）の「多雨冷害区」にある徳宏州盈江県（同1648m、1品種）、および省の中北部にある昆明市（同1893m、1品種）に由来する（第Ⅲ—10図を参照）。なお、麗江地区寧蒭県と徳宏州盈江県の在来品種が耐冷性検定に供試されるのは、今回が初めてである。また、これまでの共同研究で、穂ばらみ期耐冷性が極強と評価された在来品種は、雲南省西北部にある麗江地区麗江県（同2393m、2品種）と昆明市（2品種）に由来する。

両年における播種期は3月18～22日、移植期は5月6～10日である。栽植株密度は、普通圃場が30×10cm、冷水圃場が15×7cmで、いずれも1本植/株である。肥料は窒素のみを成分量で、普通圃場と冷水圃場でそれぞれ138、104 kg ha⁻¹を施与した。冷水処理は、早生品種の幼穂形成期が始まる6月6～17日から全品種の出穂が終了する8月10日過ぎまで、水深を30～40cmとした。他の栽培法は当地の慣行によった。

1994年に行った葯の形態調査では、葉鞘から穂先が見え始めた時期の穂（各品種5穂）について、穂の上位1、2、3番目の一次枝梗の基部2穎花、計6穎花を採取した。採取後ただちにFAA（ホルマリン・酢酸・アルコール）液で固定した。1穎花6葯のうち平均的な2葯を選び、1穂につき6穎花、計12葯について葯長と葯幅を測定した。

成熟期に稔実調査を行い、冷水圃場では1品種当たり7穂について触手で、普通圃場では不稔発生が少なかったため達観で調査した。

冷水処理による穂ばらみ期耐冷性の検定では、一般に出穂期の違いにより処理の強弱が発生し問題となる。しかし、昆明市の7、8月は雨期に当たるため気象が安定しており、これまでの共同研究では出穂期の異なる供試品種を同一基準で評価した例も多い。本試験でも出穂期と冷水圃場の稔実歩合との間に明確な関係が認められず（ $r=0.186^{ns}$ 、 $n=29$ ）、葯の形態特性や稔実歩合に対する出穂期の早晩の影響は小さいと考えた。

また、雲南省の在来品種は稈長が極めて長く、100cmをこえる品種も多い。そのため、共同研究ではこれまで冷水圃場での水深を日本で一般に行われている20cmよりも深い30～40cmとして検定し、自然冷温による評価と極めて相関の高い良好な検定結果を得ており（熊 1995）、本試験でも同様とした。以上のことから、本試験では、出穂期と稈長における品種間差異を考慮せず、耐冷性検定の基準品種の稔実歩合を参考に、穂ばらみ期耐冷性を評価した。

(2) 北海道における開花期耐冷性の検定

上川農試において1998～2000年に、雲南省の耐冷性在来4品種について、第Ⅱ章で述べた簡易検定法を用いて開花期耐冷性を評価した。調査回数は、「攀農1号」が2回（1999年自然日長および2000年短日処理）、「麗江新団黒谷」が3回（1998年自然日長、2000年自然日長および短日処理）、「Xiao Ma Gu」が2回（1998年と1999年、いずれも自然日長）、および「麗粳2号」が1回（2000年短日処理）である。なお、第Ⅲ章1、2節で開花期耐

冷性が強いと評価した日本品種を、参考品種として供試した。すなわち、北海道品種の「北育糯87号」と「永系88223」を2回（1998年と1999年、いずれも自然日長）、東北品種の「中母42」を3回（1999年自然日長、2000年自然日長および短日処理）および東北品種の「はなの舞」を2回（1999年と2000年、いずれも自然日長）、それぞれ供試した。

開花期耐冷性の検定法および材料養成法は第二章1節、短日処理法は第二章2節と同じである。冷温処理区では7～12穂（2回以上供試した品種については、その平均による）、平均9.9穂を、対照区では8～16穂、平均10.9穂を調査した。

結 果

新提供の在来品種は、いずれも従来の耐冷性在来品種と同様に、穂ばらみ期耐冷性が極強と評価された（第三—4表）。この新提供の在来品種も含め、穂ばらみ期耐冷性が極強の在来品種は、日本の4品種や雲南省の栽培品種である合系2品種に比べると、かなりの長稈および

長穂で、葯長と葯幅が大きい傾向を示した。気象条件の厳しい雲南省の北部向けの育成系統である「合系37号」は、穂ばらみ期耐冷性が極強に近いが、合系2品種や「染分」を除く日本品種に比べ稈長がやや長かった。一方、耐冷性の中間母本である「雲冷25」と「雲冷26」は、穂ばらみ期耐冷性が極強が極強に近く、また日本品種並に短稈であった。なお、日本では穂ばらみ期耐冷性が極強とされる「染分」と「トドロキワセ」は、雲南省での穂ばらみ期耐冷性の評価がそれぞれ中と弱～極弱であり、雲南省の耐冷性品種に比べ穂ばらみ期耐冷性が極めて弱かった。

葯の形態調査を行った1994年において、普通圃場の稔実歩合は「トワダ」を除きいずれの品種とも90%以上であり、冷温による不稔発生はほとんど認められなかった（第三—4表）。一方、冷水圃場での稔実歩合は0～79%であり、穂ばらみ期耐冷性の品種間差が大きかった。

普通圃場での葯の形態特性と冷水圃場での稔実歩合との相関関係を検討したところ、冷水圃場の稔実歩合は、葯長、葯幅とそれぞれ $r=0.798^{**}$ 、 0.834^{**} の有意な正の

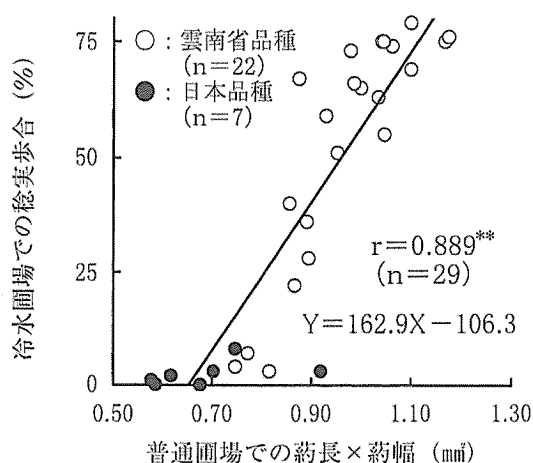
第三—4表 新たに日中共同研究に提供された雲南省の在来品種および共同研究により育成された耐冷性系統における主要特性と穂ばらみ期耐冷性の検定結果。

品 種 名 系 統 名	採種 育 成 地	普通圃場における調査 (1994年)						恒温冷水循環 圃場での稔実 歩合 (%)		穂ば らみ 期耐 冷性
		出穂 期 (月日)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	稔実 歩 合 (%)	葯 長 (mm)	葯 幅 (mm)	1993年	1994年	
紅橋大白谷	寧蒭	7.22	108	20.5	98	1.97	0.440	46	67	2
大麻谷 (一)	寧蒭	7.22	107	22.2	98	2.15	0.426	48	70	2
大麻谷 (二)	寧蒭	7.25	118	27.2	95	2.28	0.444	64	78	2
有芒小麻谷	寧蒭	7.16	97	20.2	95	2.16	0.445	62	74	2
小麻谷	寧蒭	7.21	100	21.2	95	2.22	0.474	65	65	2
昔馬小麻谷	盈江	8.17	126	28.2	95	2.32	0.425	60	74	2
大李子紅	昆明	8.03	128	21.7	95	2.27	0.431	66	63	2.5
雲冷25	共同	7.22	58	14.5	95	2.22	0.391	60	51	2.5
雲冷26	共同	7.21	61	15.0	95	2.23	0.425	51	64	2
合系37号	共同	7.23	72	20.2	90	2.19	0.403	61	63	2.5
基) 麗江新団黒谷	麗江	7.21	90	18.7	95	2.08	0.421	66	74	2
基) 麗梗2号	麗江	7.22	88	20.1	95	2.01	0.376	64	70	2
基) 昆明小白谷	昆明	8.03	125	26.4	98	2.37	0.410	65	70	2
基) 半節芒	昆明	8.07	130	20.4	95	2.26	0.418	67	79	2
基) 合系4号	共同	7.27	67	16.5	98	1.96	0.398	37	33	3
基) 合系15号	共同	7.25	67	18.0	95	1.90	0.398	33	30	4
基) 染分	日本	7.17	76	18.8	93	2.18	0.394	18	1	4
基) トワダ	日本	7.12	59	18.2	60	1.66	0.357	2	0	6
基) トドロキワセ	日本	7.22	64	15.2	95	1.61	0.369	6	1	5.5
基) 日本晴	日本	7.30	59	18.2	90	1.56	0.354	0	1	5.5

採種・育成地：寧蒭；麗江地区寧蒭県、盈江；徳宏州盈江県、昆明；昆明市、麗江；麗江地区麗江県、共同；日中共同研究（昆明市）。基：共同研究における穂ばらみ期耐冷性の検定基準品種。恒温冷水循環圃場の冷水の温度は19℃。穂ばらみ期耐冷性：2；極強，3；強，4；中，5；弱，6；極弱，7；極弱以下。調査年次は、穂ばらみ期耐冷性が1993、1994年の2ヵ年、他の特性は1994年。ただし、基準品種の耐冷性はこれまでの共同研究における評価。

相関関係を示した。また、その積（葯長×葯幅）との間には、 $r=0.889^{**}$ のさらに強い正の相関関係が存在した（第Ⅲ—11図）。なお、冷水圃場の稔実歩合と従来の穂ばらみ期耐冷性の評価（共同研究における2ヵ年以上の検定の平均、極強：2～極弱：6）との間には、 $r=-0.899^{**}$ の極めて強い相関関係が認められた。

北海道の上川農試で行った雲南省の耐冷性品種の開花期耐冷性の評価は、供試した4品種の中で最も強い「麗江新団黒谷」がやや強～強、他の品種はすべてやや強であった（第Ⅲ—5表）。一方、日本品種では、「永系88223」と「北育糯87号」が極強、「中母42」が強～極強、および「はなの舞」が強であった。



第Ⅲ—11図 1994年の中国雲南省の普通圃場における葯長×葯幅と冷水圃場における稔実歩合との関係。冷水圃場における稔実歩合は、恒温（19℃）冷水循環圃場と水道水（17℃）掛け流し圃場における稔実歩合の平均。**：1%水準で有意。

考 察

穂ばらみ期耐冷性が極強の雲南省の在来品種は、これまでの報告（熱帯農業研究センター 1985, 松永・佐々木 1986, 藤村ら 1991a）と同様に、日本の耐冷性品種よりもさらに穂ばらみ期耐冷性が強いが、日本品種や雲南省の栽培品種である合系品種に比べ極めて長稈であった。しかし、共同研究により育成された「雲冷25」と「雲冷26」は穂ばらみ期耐冷性が極強か、極強に近く、日本品種並に短稈化しており、耐冷性の中間母本として有用と思われた。なお、この2系統は「雲親3号/麗梗2号//雲親3号」の交配組み合わせから育成された姉妹系統であり、その耐冷性は「麗梗2号」に由来すると思われる。

これまで報告されている穂ばらみ期耐冷性が極強の雲南省の在来品種は、昆明市や麗江地区麗江県に由来する。本試験では、標高2700m前後という雲南省で最も標高が高い稲作地帯がある麗江地区寧蒭県から5品種、および夏期の降雨が開花期での障害型不稔の発生を助長するといわれている徳宏州盈江県から1品種がはじめて供試され、穂ばらみ期耐冷性が極強と評価された。

さらに、その後の共同研究により、「冷水谷」を始め21のジャポニカ型水稲品種と、「拉木加」を始め陸稲の2品種の穂ばらみ期耐冷性が極強であることが明らかにされた（工藤ら 1998）。そのジャポニカ型水稲品種の中には、障害型冷害が発生する危険のない標高の低い地域に由来する品種も含まれている。このように、雲南省に

第Ⅲ—5表 中国雲南省の耐冷性品種における開花期耐冷性の検定結果。

品種名	育成地	検定供試回数	冷 温 処 理 区			対 照 区		開花期耐冷性	穂ばらみ期耐冷性
			到穂日数	稔実歩合(%)	調査個体数	稔実歩合(%)	調査個体数		
Xiao Ma Gu	中国雲南省	2	112±0	67±3	12	97±1	16	4	2
攀農1号	中国雲南省	2	98±0	65±5	10	96±3	11	4	3
麗江新団黒谷	中国雲南省	3	111±0	71±5	10	89±3	11	3.5	2
麗梗2号	中国雲南省	1	119±0	66±7	7	87±4	8	4	2
北育糯87号	日本北海道	2	63±0	94±2	10	97±1	10	2	2
永系88223	日本北海道	2	67±0	93±2	10	99±1	10	2	2
中母42	日本東北地域	3	81±0	87±3	11	97±3	11	2.7	2
はなの舞	日本東北地域	2	88±0	87±5	9	98±2	10	3	2

穂ばらみ期耐冷性を除き、1998～2000年に自然日長および2000年に短日処理の出穂促進栽培により材料養成し、1～3回供試した結果で、2回以上供試した品種はその平均、北海道および東北以南の地域で開花期耐冷性が最も強いそれぞれ2品種を、比較として示した。到穂日数と稔実歩合は平均値±標準誤差。耐冷性の表記は、第Ⅲ—1表の脚注を参照。穂ばらみ期耐冷性の評価は、以下に基づく。雲南省品種については熊（1995）と第Ⅲ—4表、日本品種については第Ⅲ—2表と第Ⅲ—3表、雲南省品種の「Xiao Ma Gu」は、「小麻谷」と同一品種とした。

は異なる地域や作型に由来する耐冷性が強い在来品種が多数あり、これらは異なる穂ばらみ期の耐冷性遺伝子を持つことが考えられる。これらの耐冷性遺伝子を集積することにより、さらに穂ばらみ期耐冷性の強い品種を育成できる可能性がある。

これまで、葯長が長い品種ほど穂ばらみ期耐冷性が強く(橋本 1961, 鈴木 1982, 刈屋ら 1986b, 立田 1999), また、雲南省の耐冷性品種が日本の耐冷性品種に比べ葯長が長く、穂ばらみ期耐冷性が強いことも報告されている(熱帯農業研究センター 1985)。本試験でも同様な結果が得られた(第Ⅲ—4表と第Ⅲ—11図)。一方、葯幅と穂ばらみ期耐冷性との関係についてはこれまで報告された知見は少ないが、本試験では葯長と同様に大きい品種ほど耐冷性が強く、葯長×葯幅は耐冷性とさらに密接な関係を示した。すなわち、穂ばらみ期耐冷性と葯当たり花粉数(刈屋ら 1986b)および葯長と葯当たり花粉数(鈴木 1981, 刈屋ら 1986b)との間に、それぞれ正の相関関係が認められていることから、一般に葯が大きい品種ほど葯当たりの花粉数が多く、そのため穂ばらみ期耐冷性が強いと思われる。

なお、本試験の一部の品種においては、穂ばらみ期耐冷性と最も密接な関係を示した普通圃場の葯長×葯幅が類似しているにもかかわらず、穂ばらみ期耐冷性が大きく異なることが認められた。たとえば、日本品種の「染分」と雲南省品種の「攀農1号」の葯長×葯幅はそれぞれ0.920, 0.875mmと類似しており、同程度の穂ばらみ期耐冷性が期待されたが、冷水圃場の稔実歩合はそれぞれ3, 67%と大きく異なった。葯の大きさと耐冷性の関係については、葯当たり花粉数や花粉の生理活性などを今後、検討する必要がある。

これまで、雲南省における穂ばらみ期耐冷性の検定では、日本の耐冷性品種は雲南省の耐冷性品種に比べかなり弱いと評価され(熱帯農業研究センター 1985, 藤村ら 1991a), 本試験でも同様な結果が得られた(第Ⅲ—4表)。この理由について、日本の耐冷性品種が雲南省では十分な栄養生長を経過せずに幼穂形成を迎えるための一種の生育異常が一因との見方がある(堀末ら 1988)。それに対し、従来の日本の耐冷性品種は雲南省の耐冷性品種よりも本質的(遺伝的)に穂ばらみ期耐冷性が劣っていることによるとする考えもある(松永・佐々木 1994a)。一方、日本における検定では、雲南省の耐冷性品種が日本の耐冷性品種よりも穂ばらみ期耐冷性に著しく優れるという結果は得られていない(川村ら 1988, 岡本ら 1988)。また、雲南省品種を日本で養成した場合には冷温に遭遇しなくても原因不明の不稔が発生し、さらに日本品種で

不稔が多発した冷温年よりも高温年のほうが、不稔歩合が高かったことも認められている(永野・松永 1992)。このような不稔発生の現象は、雲南省品種が日本での栽培環境に十分適応していないことを示唆している。水稻の生育環境が大きく異なる雲南省と日本の両品種群の穂ばらみ期耐冷性を正確に評価、比較するには、それぞれの耐冷性が十分発現できる生育環境で養成した材料を供試することが必要であろう。

また、本試験の結果では、雲南省品種の開花期耐冷性は最も強い「麗江新団黒谷」がやや強～強であり、他の3品種はやや強と、開花期耐冷性が極強の日本の最強品種に比べ強くはなかった。さらに、戴・刈屋(1994)も、雲南省の在来品種および共同研究により育成された品種の開花期耐冷性は、日本品種に比べ大きな差異は認められなかったとしている。

一方、雲南省で検定した結果では、「麗江新団黒谷」は「昆明小白谷」などとともに雲南省品種の中でも開花期耐冷性が最も強い品種群に属し、ほぼ強～極強と評価されている。それら雲南省での開花期耐冷性の最強品種は、日本品種での開花期耐冷性の最強品種よりも0.5～1ランク程度強かった(熱帯農業研究センター 1985, 熊 1995, 丹野 1997)。このように、本試験で開花期耐冷性について得られた結果は、雲南省での結果と一致していなかった。しかし、これらの日本品種と雲南省品種との間の開花期耐冷性の検定結果の違いは、穂ばらみ期耐冷性の場合に比べかなり小さかった。

また、穂ばらみ期耐冷性と同様に、材料養成における日本と雲南省の環境条件の差異が、開花期耐冷性の評価にも影響していることが考えられる。さらに、雲南省には、本試験で供試した4品種以外にも多くの耐冷性在来品種があり、開花期耐冷性が強い品種が存在する可能性のある「多雨冷害区」の徳宏州盈江県に由来する「昔馬小麻谷」なども未検定である。今後、穂ばらみ期耐冷性と同様に、検定材料の養成法の検討を含め、雲南省の在来品種の開花期耐冷性に関する評価を進める必要がある。

第IV章 総合論議

1. 本研究で開発した簡易な開花期耐冷性検定法

多数の品種・系統を扱う育種事業の検定には、労力軽減のための検定材料の小型化や反復を少なくするための精度の向上が必要である。たとえば、幼苗期の冷温による出穂遅延型耐冷性の検定材料の養成は、縦30×横60×高さ12cmのプラスチック製バットに、3.5×5cmの各株1本植えて行っている(佐々木 1998)。いもち真性抵抗性遺伝子型の推定を行う材料養成には、本試験で用いた縦15×横5×高さ10cmの小型方形ポットに1~2品種、10~20粒を播種するか(山口 1980)、縦30×横60×高さ3.3cmの育苗箱に4列×15点のくぼみをつけ、各くぼみに15~20粒播種している(田村ら 1996)。さらに、畑晩播による葉いもち圃場抵抗性の検定では、一般に1区が条間10~15cmで、条長50cmに乾籾80~100粒(平均1440粒 m⁻²)という北海道での直播栽培(400粒 m⁻²)の3.6倍の播種密度である(東・小綿 1996)。本試験でも同様な考えで、従来の1/5000aポットの容量の1/5と小さい小型ポットに8個体の主程のみの密植栽培により、材料養成および検定作業の省力化を図り、必要な精度を確保することが可能となった。今後、養成法における栽植密度について、さらに検討する必要がある。

また、簡易検定法の確立のためには、できるだけ少ない労力で多くの調査データを得るように、工夫する必要がある。たとえば、本法においては、1ポット8個体につき最も出穂数の多い日を処理開始日とし、処理開始日に出穂しない個体は調査に用いなかった。しかし、9品種について、処理開始翌日に出穂した穂と本法で調査対象と定めた処理開始日に出穂した穂との稔実歩合の差異を求めたところ、平均0.9% (最小値~最大値、標準偏差はそれぞれ-9~6, 5.3, 第II-4表)であった。この値は本検定法が許容した誤差の±12%に比べ極めて小さく、冷温処理開始翌日に出穂した穂は、検定に十分使用できるものと思われる。

さらに、処理期間が長ければ人工気象室の同じ場所を処理時期の異なる品種で繰り返し利用しにくくなるため、大きな人工気象室を必要とする要因となるので、処理期間はできるだけ短いほうが望ましい。本法での冷温処理の期間は15日間である。この処理期間は、青森県農試藤坂支場において、1/5000aポットに2株、各1本植えて行っている開花期耐冷性検定の18℃で16日間処理とほぼ同じ長さである(上原 1996)。藤坂支場の養成方法では、

一般圃場栽培に類似した大きさの個体が得られる。しかし、本法で育成した検定個体の一穂籾数は、一般栽培の50~55%と少なく、検定個体の一穂籾数が少なくなれば、それにともない一穂の開花に要する日数が短くなる。そのため、15日間とした本法の処理期間は、さらに短縮できると思われる。

一方、省力的に検定を行うためには、検定誤差が大きければ反復数を多くする必要があり、多大な労力を要するので、可能な限り検定誤差をもたらし要因を除き検定精度を高めなければならない。本法による検定結果の変動には、出穂前3日~後5日間の日照時間が影響することが明らかになった。このことから、検定時の日照時間の変動が開花期耐冷性の変動をもたらし、検定誤差を大きくする原因となることが考えられる。日照時間による検定誤差を小さくする1つの方法としては、出穂前3日~後5日間の平均日照時間を独立変数、冷温処理区の稔実歩合を従属変数とする回帰式を試験データから求めておき(第II-7図)、その関係式から、同期間での一定の日照時間における冷温処理区の稔実歩合を推定して評価に用いることも可能である。

2. 短日処理を用いた簡易検定法の利用

開花期耐冷性の遺伝資源の評価については、従来、材料の養成や検定に多大な労力を要する到穂日数の長い品種を含む広範な材料を扱うことが困難であった。本研究の結果、開花期耐冷性の評価を行うに当たり、短日処理を用いて到穂日数を短くすることにより労力の軽減が可能であり、また自然日長条件下での検定結果とほぼ一致することが確かめられた。到穂日数の長い品種・系統を多く含む海外遺伝資源の効率的な評価方法として、さきに短日処理を行った材料について、本法による開花期耐冷性の評価を行って強い品種を大まかに選抜し、その後必要であれば、自然日長条件下で本法による正確な評価を行うことが考えられる。

短日処理方法については、本研究で行った5.5葉期から14日間の処理よりも短日処理の開始時期を早め処理期間を長くすることにより、さらに到穂日数の短縮を図れる可能性があり、今後の検討が必要である。なお、穂ばらみ期耐冷性についても、短日処理によって検定作業の省力化を図ることは可能と思われる。しかし、短日処理が穂ばらみ期耐冷性に及ぼす影響については、岡本ら

(2001)の報告があるのみで、まだ試験例が極めて少なく、今後の検討を要する。

3. 日長条件が開花期耐冷性に及ぼす影響

岡本ら(2001)は、感光性を有し短日処理で到穂日数が短縮される品種では、幼穂形成期以前の時期と幼穂形成期から出穂期までのいずれの生育期でも、短日処理により葯当たり花粉数が減少し、穂ばらみ期耐冷性が低下することを報告している。本研究での短日処理は出穂前23日に終了しており、ほぼ幼穂形成期以前にのみ行われた。また、短日処理の終了後は、自然日長区に比べ生育期が暦日の上で前に移動したため、長日条件下で養成された。すなわち、短日処理区では自然日長区に比べ、幼穂形成期以前の短日処理期間は穂ばらみ期耐冷性が弱くなる条件で、幼穂形成期から出穂期までは強くなる条件で養成された。

検定個体養成中の日長条件が開花期耐冷性に及ぼす影響について、報告した例はこれまでない。しかし、開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との間には品種間に正の相関関係も報告されており(櫛淵ら1970a, 刈屋ら1986a)、日長条件による影響は穂ばらみ期耐冷性を介して、開花期耐冷性の検定結果に反映される可能性がある。本研究では、短日処理により到穂日数が短縮し出穂前23日間の日長条件が長くなる品種ほど、開花期耐冷性が強く評価される傾向があった。すなわち、幼穂形成期以前の短日処理よりも、幼穂形成期から出穂期までの長日条件による影響が強かったと考えられた。以上のように、穂ばらみ期と開花期の両期耐冷性の検定材料を養成する時の日長時間は、感光性が強い品種の評価に影響することから、12時間などの一定の条件とすることが望ましい。

4. 開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性との品種間相関

開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性の品種間相関については以前より強い関心が寄せられてきたが、正の相関が認められるとした報告や逆に一定の相関が認められないとした報告があり、見解が定まっていなかった。本試験では、北海道品種および東北以南の日本品種において有意な正の相関が得られたが、相関係数は大きくなかった(第Ⅲ—1図と第Ⅲ—6図)。そのため、開花期耐冷性を向上させるためには、従来の穂ばらみ期耐冷性の選抜による間接的な選抜効果は期待できず、直接、開花期耐冷性を選抜する必要がある。

Satake and Shibata (1992)が提唱した受精率構成要素、すなわち、受精率=穎花当り分化小胞子数×分化小

胞子当り充実花粉発育歩合×充実花粉当り柱頭上の受粉歩合×柱頭上花粉の受精効率、の考え方に従って、開花期と穂ばらみ期の両期耐冷性の関係を以下に検討する。穎花当り分化小胞子数や分化小胞子当り充実花粉発育歩合は開花期以前に決定され、開花期および穂ばらみ期の両期耐冷性に関わる要因であり、とくにこれらの積である穎花当り充実花粉数(葯当たり花粉数とした論文が多い)の品種間差異は、穂ばらみ期耐冷性との間に強い相関関係が得られている(Nishiyama 1982, 刈屋ら1986a, 1986b, Satake 1991)。しかし、充実花粉でも、冷温条件により一定期間開花・受粉できないと柱頭上での発芽率が低下し、この発芽率の低下が不稔発生の原因となる(高館ら1979, 木野田ら1985)。

すなわち、開花期耐冷性には、開花期以前に決定される穎花当り充実花粉数、充実花粉完成から開花期直前までに決定される花粉当り発芽(受精)可能花粉歩合、および開花期以降に影響する要素(充実花粉当り柱頭上の受粉歩合や柱頭上花粉の受精効率)が関与していると考えられる。葯当たり充実花粉数は、穂ばらみ期耐冷性と関係が深いことから、穂ばらみ期耐冷性は、開花期耐冷性と正の相関関係を示すべきかもしれない。しかし、充実花粉完成以降に開花期耐冷性に関与する要素の影響も大きいために、両時期の耐冷性の関係は不明瞭であった。なお、穂ばらみ期耐冷性を向上させる幼穂形成期から冷害危険期までの深水灌漑は、葯当り充実花粉数を増加させることから(Satake 1989)、開花期冷温による不稔発生を軽減させる可能性がある。

5. 育種における開花期耐冷性の選抜

現在、開花期耐冷性検定が行われている奨励品種決定試験の供試材料は、育成がほぼ終了した系統であり、この段階で検定しても耐冷性の向上効果は限定的である。育成品種の開花期耐冷性を大きく向上させるには、それ以前の世代である生産力検定試験において、さらに多くの系統について検定や選抜を行う必要がある。

育種事業で選抜効果を上げるために最低限必要と思われる200系統以上の多数系統を扱う選抜法としては、本検定法では労力がまだ多すぎる。しかし、選抜においては、検定や評価とは異なり、開花期耐冷性の強い系統だけを残すあるいは弱い系統だけを廃棄するという視点から考えることもできる。すなわち、本研究では開花期耐冷性を7ランクに分級したが、育種の選抜においては、強、中、弱の3ランク程度の分級でも十分利用可能と思われる。その場合には、必要とされる調査穂数が10穂よりも少なく、調査に必要な施設や労力は小さくなるので、

同じ労力でもさらに多くの系統を扱える。

一方、障害型不稔を発生させる冷温に対する感受性は、穂ばらみ期が開花期よりも高い。また、現在行われている穂ばらみ期耐冷性の選抜法は、本研究で開発した開花期耐冷性の選抜法よりも、かなり効率的に多数の系統を扱える。このため、育種過程における障害型耐冷性の選抜については、第1段階として穂ばらみ期耐冷性の選抜を行って系統数をしぼった上で、第2段階として開花期耐冷性を選抜することが合理的であろう。

6. 低アミロース品種、酒造好適米品種および糯品種における開花期耐冷性

北海道では低アミロース品種として、関東品種「ニホンマサリ」の突然変異系統「NM391」から低アミロース遺伝子を導入して、「彩」が1991年に育成され、さらに、「彩」とその姉妹系統を母本として、「はなぶさ」と「あやひめ」が育成された（丹野ら 1997a, 荒木ら 2002, 沼尾ら 2001）。また、酒造好適米品種として、広島県の酒造好適米品種「八反錦2号」から心白を発現する遺伝子を導入して、「吟風」が2000年に育成された（丹野ら 2002）。しかし、これらの品種では、穂ばらみ期耐冷性については、中の「彩」以外ではやや強またはやや強～強とほぼ一般の粳品種並みに改良されてきているのに対して、開花期耐冷性についてはいずれもやや弱～弱から極弱と劣っている。これら品種の育種母本である「NM391」および「八反錦2号」は、障害型不稔が大きな問題とはならない地域の品種であり、開花期耐冷性が劣ると思われる。これらのことから、品種育成の過程で、穂ばらみ期耐冷性については十分な検定が行われて強い系統が選抜されたが、開花期耐冷性については検定が行われずに弱い系統が選抜されたと考えられる。

一方、糯品種の育種は、一般の粳品種に比べ糯品種の作付け面積が小さいため規模が小さいながらも、粳品種に劣らず長い間継続して行われてきた（星野・柴田 1994）。その結果、現在の栽培品種である「はくちょうもち」（本間ら 1991）と「風の子もち」（丹野ら 1997b）は、粳品種に比べても穂ばらみ期耐冷性が強く冷害には強いと考えられており、北海道でも気象条件の厳しい上川北部や北見地域に多く作付けされている。しかし、これら品種の開花期耐冷性は、一般の粳品種に比べ明らかに劣っていた（第Ⅲ—1表）。そのため、開花期の冷温による不稔発生が懸念され、事実、2001、2002年には同地域で、開花期冷温によると思われる不稔が発生した（農林水産省北海道統計情報事務所 2001, 北海道農業研究センター編 2003, 北海道立上川農業試験場編 2003）。

しかし、糯系統の「北育糯87号」は開花期耐冷性が極強であることから、現在の糯の栽培品種で開花期耐冷性が弱いのは、糯品種に特有なことではないと思われる。今後、「北育糯87号」のような開花期耐冷性に優れる系統を育種母本に用いて、糯品種の開花期耐冷性を早急に強化する必要がある。

7. 開花期耐冷性の遺伝資源評価とその利用

育成品種の開花期耐冷性を向上させるためには、育種母本を広く探索する必要がある。日本品種の中で開花期耐冷性が極強である5品種には、北海道品種の「はやゆき」と、これに由来する「永系88223」、「北育糯87号」および「中母42」の3品種、計4品種が含まれていた（第Ⅲ—1表、第Ⅲ—2表および第Ⅲ—3表）。このことから、開花期耐冷性については、日本品種の中での遺伝的多様性は小さいと思われる。したがって、今後、北海道品種の開花期耐冷性を大きく向上させるためには、海外から遺伝資源を導入する必要がある。

しかし、これまで海外の遺伝資源における開花期耐冷性の評価は、国際稲研究所で幼苗期から開花期までのすべての時期に耐冷性を有すると評価された品種について佐竹（1981b）が、中国雲南省の品種と育成系統について戴・刘屋（1994）が行っているにすぎない。本研究で行った日本品種についての開花期耐冷性の評価では、障害型冷害の発生が大きな問題となる高緯度地域の育成品種ほど、開花期耐冷性が強いことが認められた。したがって、冷温による障害型不稔の発生が報告されている中国雲南省、ペルーおよびネパールなどの在来品種は（西山 1985）、穂ばらみ期だけでなく開花期の耐冷性の遺伝資源としても有望である。また、中国雲南省の標高の低い地域では、障害型不稔が発生しない気象条件であるにもかかわらず穂ばらみ期耐冷性の極強品種が認められている（工藤ら 1998）ので、この地域の在来品種には、開花期耐冷性の強い遺伝資源も存在する可能性が高い。これらの海外の遺伝資源から、開花期耐冷性の強い品種を交配母本として選定し、日本品種における開花期耐冷性の遺伝的多様性を作出する必要がある。

8. 開花期耐冷性に関与する生理的要因と遺伝様式の解明

開花期耐冷性を構成する要素の一つである充実花粉当たり発芽可能花粉歩合は、冷温下における開穎が早く早期に開花受精に至る品種ほど高く保たれ、開花期耐冷性が強いと考えられる。しかし、冷温下における開穎率と開花期耐冷性との間には、一定の関係が認められないと

いう報告もある（佐竹・小池 1982, 松永ら 1985a）。また、柱頭上の受粉歩合は、発芽可能花粉が柱頭上に受粉できた割合であり、葯の裂開の良否などの影響を受ける。さらに、柱頭上花粉の受精効率は、柱頭上の発芽可能花粉が受精に至る割合であり、花粉管の伸長性などの影響を受ける。これら要素について、冷温条件下での品種間差異や開花期耐冷性との関係を報告した例はない。今後、開花期耐冷性の育種を進める上で、それらの品種間差異や、育種過程での選抜により開花期耐冷性を向上させることができるかなどについて解明する必要がある。

また、開花期耐冷性の育種を効率的に行うためには、遺伝様式を明らかにすることが重要である。穂ばらみ期耐冷性については、統計遺伝学を用いて、数個の主働遺伝子が関与することが明らかにされている（鳥山 1962, Sawada 1978, 前川ら 1987）。開花期耐冷性は、前述したように穂ばらみ期耐冷性と関係していると考えられることから、遺伝様式はさらに複雑であると推察される（Khanら 1986）。近年、DNAの酵素断片による多型を分析することにより、ジャワ型の外国品種に由来する穂ばらみ期耐冷性の遺伝子座が明らかにされつつある（Saitoら 1995, 加藤ら 1997, 小松ら 1999a, 1999b）。開花期耐冷性についても、本検定法および多型分析法を利用して遺伝様式や遺伝子地図上の位置を解明することにより、育種事業を効率化することが期待される。

9. 高度の障害型耐冷性の母本と育種

1993年に北海道や東北地域で発生したような長期冷温による被害程度の大きい冷害を回避するためには、穂ばらみ期と開花期の両時期における耐冷性を向上させる必要がある。これまですでに、両時期の耐冷性がともに実用栽培品種に比べ強い系統が育成されている。たとえば、上川農試で行った2002年と2003年の中期冷水掛け流しによる穂ばらみ期耐冷性についての検定試験では、現在の主要な栽培品種の中で最も障害型耐冷性が強い「ほしのゆめ」の稔実歩合が25%であったのに対して、極強の基準品種である「北育糯88号」は57%と極めて高かった（2002, 2003年の2カ年平均。出穂期はそれぞれ8月15日, 8月17日, 注: 2002~2003年度 中期冷水掛け流しによる耐冷性検定試験結果 北海道立上川農業試験場）。また、本研究における開花期耐冷性の検定試験では、冷温処理区の稔実歩合は極強の「北育糯87号」が94%であり、「ほしのゆめ」の81%に比べ高かった（第Ⅲ-1表と第Ⅲ-2表）。このような開花期と穂ばらみ期の各時期あるいは両時期における耐冷性が極強の品種の有する遺伝子を、育種の交配過程で集積して高度の障害型耐冷

性を有する品種を育成できれば、北海道における冷害の被害をかなり軽減できるであろう。

しかし、育種事業において、高度の障害型耐冷性を、良質良食味、多収性、耐病性などの実用形質と結びつけることは容易ではない。たとえば、北海道において、穂ばらみ期耐冷性が極強の品種である「はやゆき」や類似した耐冷性の中間母本（第Ⅲ-2表）を交配母本に用いた後代からは、これまで実用形質に優れた品種が育成されていない。

この育種上の困難性を打開するためには、開花期と穂ばらみ期の両時期の耐冷性について、上述したような生理的要因や遺伝様式を解明するとともに、今後とも選抜方法の効率化と強化を図る必要がある。さらに、耐冷性の遺伝資源を海外から導入するとともに、現有する遺伝資源の中で耐冷性が極強の系統を用いて耐冷性と実用形質がともに優れた中間母本を育成し、栽培品種を育成するための交配に積極的に利用することにより、栽培品種の耐冷性を着実に向上させる必要がある。

引用文献

- 安部信行・小高真一 1984. 自然冷温利用によるイネの障害型冷害検定法の開発と応用. 北農 51:27~33.
- 安部信行・小高真一・鳥山國士・小林正男 1989. 高度障害型耐冷性「水稲中間母本農8号」の育成とその特性. 北海道農試研報 152:9~17.
- 愛知県農業総合試験場山間技術実験農場 1986, 1990, 1992. 温暖地水稲耐冷性品種育成に関する研究. (1) 熟期別基準品種の選定. 1985, 1989, 1991年度 総合農業試験研究成績・計画概要集. 一作物生産・夏作物(稲)一, 一耕地利用技術(水田作)一. 農林水産省農業研究センター, つくば. 稲(育種)一V一103, 稲I一6一101, 稲I一10一155.
- 天野高久 1984. 水稲の冷害に関する作物学的研究. 北海道立農試報告 46:1~67.
- 天野高久・森脇良三郎 1984a. 水稲の冷害に関する栽培学的研究. 第2報 穂孕期不稔に関する葉身の限界窒素含有率. 日作紀 53:1~6.
- 天野高久・森脇良三郎 1984b. 水稲の冷害に関する栽培学的研究. 第3報 穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果. 日作紀 53:7~11.
- 青森県農業試験場 2000. 青森県農業試験場百年史. 青森県農業試験場編. 青森県黒石. 1~530.
- 荒木均・今野一男・三浦清之・永野邦明・斉藤滋・小林正男・西村実・刈屋國男 2002. 低アミロース米の水稲新品種「はなぶさ」. 北海道農研研報 174:69~81.
- 戴陸園・刈屋國男 1994. 中国雲南省水稲の開花期耐冷性. 育種・作物学会北海道談話会会報 35:50~51.
- 江部康成 1982. 品種改良. 北海道農業試験場・北海道立農業試験場編. 北海道農業技術研究史 1966~1980. 北海道農業試験研究機関創立80周年記念行事協賛会. 札幌. 39~48.
- 藤井潔・赤間芳洋・遠山孝通・小出俊則・工藤悟 1986. 温暖地の水稲耐冷性に関する研究. (第4報) 耐冷性熟期別基準品種の選定. 日作東海支部報 101:43~47.
- 藤村泰樹・熊建華・松永和久・王懷義・肖郷 1991a. 中国雲南省における水稲の耐冷性品種の育成に関する研究. 第1報 日中提供品種の障害型耐冷性. 日作東北支部報 34:31~32.
- 藤村泰樹・熊建華・松永和久・王懷義・堀末登・国広泰史・周玉萍・肖郷・世榮 1991b. 中国雲南省における水稲の耐冷性品種の育成に関する研究. 第2報 耐冷性中間母本系統の選抜. 日作東北支部報 34:33~35.
- 藤原忠 1982. 水温上昇対策. 堂腰純・島崎佳郎監修. 北海道の農業気象(ニューカントリー臨時増刊). 北海道協同組合通信社, 札幌. 86~91.
- 福家豊・近藤頼巳 1939. 水稲の冷害現象に関する実験的研究[第1報]. 寡照低温による生育障礙, 特に稔実粒数の減少機構について[1]. 農及園 14:2049~2060.
- 橋本鋼二 1961. 水稲品種の葯の大きさについて. II. 年次, 穎花の位置及び栽培条件間での変動. 育種・作物学会北海道談話会会報 2:11~12.
- 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 38:706~711.
- 早瀬広司 1976. イネ障害型冷害危険期の簡易推定法. 農及園 51:641~645.
- 東正昭・小綿寿志 1996. 葉いもち圃場抵抗性-畑晩播検定. 農林水産省農業研究センター 山本隆一・堀末登・池田良一 共編, イネ育種マニュアル. 養賢堂, 東京. 6~9.
- 北海道米麦改良協会(地帯別栽培指標設定プロジェクト) 1987. 水稲地帯別栽培指標. 1~91.
- 北海道・北海道米麦改良協会 1989. 水稲地帯別栽培指標の手引. 北海道の米づくり. 「水稲地帯別栽培指標の手引」, 「良質米安定生産技術」. 1~91.
- 北海道農業研究センター編 2003. 水稲. 2002年北海道の夏季天候不順による農作物の被害状況調査報告書. 北海道農研研究資料 63:19~48.
- 北海道立中央農業試験場 1979. 水稲. 農作物優良品種の解説(1961-1977). 北海道立農試資料 9:1~33.
- 北海道立中央農業試験場 1994. 平成5年北海道における農作物異常気象災害に関する緊急調査報告書 稲作編. 北海道立農試資料 22:1~164.
- 北海道立上川農業試験場 1982. 北海道における水稲品種の耐冷性基準. 1981年度 北海道農業試験会議(設計会議)資料. 1~4.
- 北海道立上川農業試験場編 2003. 平成14年 水稲冷害の実態と今後の課題. =上川, 留萌, 網走管内の水稲作況解析と今後の課題=. 上川支庁 留萌支庁 北海道立上川農業試験場 上川・留萌・網走各地区農業改良普

- 及センター. 北海道立上川農業試験場, 北海道比布, 1~78.
- 北海道立農業試験場・北海道立畜産試験場 1993. 平成4年主要農作物作況. —北海道立農業・畜産試験場における—. 北農 60:73~103.
- 本間昭・楠谷彰人・前田博・佐々木一男・天野高久・前川利彦・新橋登・佐々木多喜雄・柳川忠男・沼尾吉則 1991. 水稲糯新品種「はくちょうもち」の育成について. 北海道立農試集報 62:1~11.
- 堀末登・国広泰史・東正昭・小山田善三・王懷義・熊建華・張思竹・李智勇・王永華 1988. 日中品種の耐冷性と標準品種の選定. 農林水産省熱帯農業研究センター編, 遺伝資源利用による水稲育種—日中共同研究—. 農林水産省熱帯農業研究センター, 茨城県筑波, 76~87.
- 星野達三・柴田和博 1994. 糯種の動向. 石塚喜明監修, 星野達三編著, 北海道の稲作. 北農会, 札幌. 126~131.
- 細井徳夫・谷口利策 1984. 水稲の遅延型冷害の研究. 7. 冷温下における稔実温度の異なる品種間の開花温度反応の比較. 育種 34 (別1):354~355.
- 細井徳夫 1989a. イネの出穂開花期における耐冷性検定方法. 育種 39:353~363.
- 細井徳夫 1989b. 日本のイネ品種の出穂開花期における耐冷性とその地域的特徴. 育種 39:481~494.
- 伊勢一男 1995. 中国雲南省に日中共同育成水稲品種10万 ha 普及. 育種 45:257.
- Ito, N., H. Hayase, T. Satake and I. Nishiyama 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. III. Male abnormalities at anthesis. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 39:60~64.
- 岩間和人・茂木紀昭・市川伸次・長谷川利拡 1998. 1993年における北海道の水稲不作の市町村別データによる解析. 日作紀 67:573~580.
- 刈屋国男・佐竹徹夫・小池説夫 1986a. 開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性の品種間相関. 日作紀 55 (別2):183~184.
- 刈屋国男・佐竹徹夫・小池説夫 1986b. 穂ばらみ期耐冷性と花器形質との関係. 日作紀 55 (別2):185~186.
- 刈屋国男 1992. イネ開花期耐冷性の品種間差異. 育種・作物学会北海道談話会会報 33:22~23.
- 刈屋国男 1993. イネの開花期耐冷性の検定方法の確立とそれを用いた品種間比較. 日作紀 62 (別1):218~219.
- 加藤明・木内均・斉藤浩二 1997. 水稲耐冷性系統北海 PL 5 の耐冷性に関与する遺伝子座の解明. 育種 47 (別2):114.
- 川村陽一・小山田善三・三上泰正・工藤哲夫・堀末登・藤村泰樹 1988. 中国雲南省の水稲品種の耐冷性. 東北農業研究 41:7~8.
- Khan, D. R., D. J. Mackill and B. S. Vergara 1986. Selection for tolerance to low temperature-induced spikelet sterility at anthesis in rice. Crop Sci. 26:694~698.
- 菊地治己 1997. 水稲耐冷性育種の成果と展望. 北海道の育種指定試験地における耐性育種の成果と展望. 北海道立農試資料 27:5~17.
- 木野田憲久・高城哲男・立田久善・高館正男・中堀登示光・浪岡実 1985. 稲の開花期における低温処理が花粉の稔性に及ぼす影響. 東北の農業気象 30:47~50.
- 小林正男・佐竹徹夫 1979. イネの穂ばらみ期冷温による不稔を防止するために有効な灌漑水の深さ. 日作紀 48:243~248.
- 小高真一・安部信行 1982. イネの障害型耐冷性検定法の開発と応用. 北海道の農業気象 34:76~78.
- Koike S. and Satake T. 1987. Sterility caused by cooling treatment at the flowering stage in rice plants. II. The abnormal digestion of starch in pollen grain and metabolic changes in anthers following cooling treatment. Jpn. J. Crop Sci. 56:666~672.
- 小松利光・佐野芳雄・加藤明 1999a. 耐冷性育種母本北海 PL 5 の耐冷性遺伝子座の精密マッピング. 育種・作物学会北海道談話会会報 40:23~24.
- 小松利光・斉藤浩二・佐野芳雄・加藤明 1999b. 水稲中間母本農11号の穂ばらみ期耐冷性遺伝子座と連鎖した RFLP マーカーの同定. 育種・作物学会北海道談話会会報 40:25~26.
- 近藤頼己 1952. 水稲品種の冷害抵抗性に関する生理学的研究. 農技研報告 D 3:113~228.
- 工藤悟・戴陸園・葉昌榮・廖新華・張建華・熊建華・伊勢一男・丹野久・富田桂 1998. 中国雲南省におけるイネ遺伝資源の耐冷性変異. 育種 48 (別1):316.
- 榑瀧欽也・和田純二・金澤俊光 1970a. 水稲冷害の実験的研究. 第29報 開花期の低温による開花ならびに稔実障害について. 東北農業研究 11:24~26.
- 榑瀧欽也・藤村謙之輔・中堀登示光・小山田善三 1970b. 日本在来稲および外国稲の耐冷性について. 東北農業研究 11:21~24.
- 前川雅彦・刈屋国男・佐竹徹夫・喜多富美治 1987. 外国稲の耐冷性に関する遺伝子分析. 1. Silewah の耐冷性遺伝子. 育種 37 (別1):184~185.

- 松永和久・朴春実・佐々木武彦 1985a. 水稲主要品種の開花期耐冷性. 育雑 35 (別1):156~157.
- 松永和久・佐々木武彦 1985b. 寒冷地域におけるイネ品種系統の耐冷性. 日作東北支部報 28:53~56.
- 松永和久・佐々木武彦 1986. 中国雲南省から導入したイネ品種の特性. 第1報 出穂期, 草型及び形態的特性について. 日作東北支部報 29:50~53.
- 松永和久・佐々木武彦 1994a. 水稲耐冷性集積系統の中国雲南省における耐冷性検定結果. 日作東北支部報 37:1~2.
- 松永和久・早坂浩志・薄木茂樹・黒田倫子・佐々木武彦 1994b. 耐冷性集積により育成した高度耐冷性系統「東北155号, 東北156号, 東北157号」. 東北農業研究 47:5~6.
- 三上泰正・小林陽・小山田善三 1986. 水稲冷害の実際的研究. 第60報 開花期における冷温処理の温度及び期間と耐冷性の関係. 日作東北支部報 29:35~36.
- 村上利男・森田弘彦・土井康生・今野一男 1982. 寒地水稲の計画栽培に関する解析的研究. 北海道農試研報 133:61~100.
- 村上利男・小田正人 1988. 寒冷地水稲の計画作期および出穂予測に関する情報システムの開発. 日作紀 57 (別2):21~22.
- 永野邦明・松永和久 1992. 中国雲南省の日中共同研究による育成系統の耐冷性. 第2報「合系系統」及び「雲冷系統」の耐冷性. 東北農業研究 45:9~10.
- 浪岡実・立田久善・中堀登示光・工藤聡彦・木野田憲久・高館正男 1985. 幼穂形成期以降における長期低温が障害不稔の発生に及ぼす影響. 東北の農業気象 30:68~71.
- 熱帯農業研究センター 1985. 遺伝資源の耐冷性検定と育種利用. 遺伝資源の利用による水稲の耐冷・耐病・多収性品種の育成に関する研究(1). 一雲南省農業科学院との共同研究一. 熱帯農研集報 55:41~68.
- 日本気象協会北海道本部 1998. 太陽と月の出没時刻 旭川. 北海道の暦と潮汐(I) 道央道南 1999年:8~9.
- 日本気象協会北海道本部 1999. 太陽と月の出没時刻 旭川. 北海道の暦と潮汐(I) 道央道南 2000年:8~9.
- Nishiyama I. 1982. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIII. Anther length, pollen number and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. Jpn. J. Crop Sci. 51:462~469.
- 西山岩男 1985. イネの冷害生理学. 北海道大学図書刊行会, 札幌. 1~313.
- 農林省農林経済局統計調査部 1972. 水稲. 特集編 —46年における北海道の冷害—. 昭和46年産 作物統計 No.14:116~143.
- 農林省東北農業試験場編 1978. 東北地域における昭和51年異常気象による水稲・畑作物被害の実態と解析. —51年冷害の記録—. 農林省東北農業試験場, 盛岡. 1~380.
- 農林水産省北海道農業試験場 1985. 水稲新配布(中間母本)系統に関する参考成績書 北海 PL 1号, 北海 PL 2号. 1984年度 北海道農業試験会議(設計会議)資料. 1~6.
- 農林水産省北海道農業試験場 1986. 水稲新配布(中間母本)系統に関する参考成績書 北海 PL 3. 1985年度 北海道農業試験会議(設計会議)資料. 1~4.
- 農林水産省北海道農業試験場 1987. 水稲新配布(中間母本)系統に関する参考成績書 北海 PL 4~7. 1986年度 北海道農業試験会議(設計会議)資料. 1~12.
- 農林水産省北海道統計情報事務所 2001. 平成13年産水稲の予想収穫量(10月15日現在)(北海道). 北海道米麦改良 487:3~5.
- 農林水産省農業研究センター編 1995. 水稲の育成品種・系統の来歴と品種名一覧(1995年版). 農林水産技術情報協会, 東京. 1~247.
- 農林水産省東北農業試験場編 1981. 東北地域における55年冷害の記録. —昭和55年異常気象による作物被害の実態と解析—. 農林水産省東北農業試験場, 盛岡. 1~313.
- 農林水産省東北農業試験場編 1995. 東北地域における平成5年冷害の記録. —平成5年異常気象による作物被害の実態と解析—. 農林水産省東北農業試験場, 盛岡. 1~395.
- 沼尾吉則 1995. イネの耐冷性と品質. 1994年度日本作物学会シンポジウム〔1〕作物にとって寒さとは何か. 農及園 70:445~450.
- 沼尾吉則・木内均・平山裕治・前川利彦・木下雅文・相川宗嚴・菊地治己・丹野久・新橋登・田縁勝洋・佐々木一男・吉田昌幸・佐藤毅・前田博・菅原圭一・田中一生 2001. 早生, 多収の低アミロース水稲新品種「上育433号」. 農林水産省北海道農業試験場編 平成12年度 新しい研究成果 —北海道地域—:45~49.
- 岡本栄治・佐々木武彦・松永和久 1988. 中国雲南省の日中共同研究による育成系統の耐冷性. 東北農業研究 41:9~10.
- 岡本正弘・寺内方克・小田俊介・小林真 2001. 短日条件における日本稲の不稔の発生. 育種学研究 3 (別

- 2):190.
- 大内邦夫 1994. 優良品種特性表. 石塚喜明監修, 星野達三編著, 北海道の稲作. 北農会, 札幌. 付3~7.
- Saito, K., K. Miura, K. Nagano, Y. Hayano - Saito, A. Saito, H. Araki and A. Kato 1995. Chromosomal location of quantitative trait loci for cool tolerance at the booting stage in rice variety 'Norin - PL8'. *Breed. Sci.* 45:337~340.
- 斉藤滋・堀末登 1992. 耐冷性. 籾淵欽也監修, 日本の稲育種. 農業技術協会, 東京. 338~349.
- 酒井寛一 1937. 低温による稲の小孢子形成細胞分裂の阻害. *日作紀* 9:207~212.
- 酒井寛一 1949. イネの冷害と深水灌溉. *農及園* 24:405~408.
- 酒井寛一 1952. 冷害抵抗性品種の育成. 戸荻義次編, 稲作新説. 朝倉書店, 東京. 45~53.
- 佐々木一男・和田定 1975. イネの冷害不稔発生に及ぼす窒素, 燐酸および加理の影響. *日作紀* 44:250~254.
- 佐々木忠雄 1998. 特定形質の選抜と検定. 三分一敬監修, 土屋武彦・佐々木宏編集, 北海道における作物育種. 北海道協同組合通信社, 札幌. 40~50.
- 佐々木武彦 1996. 耐冷性育種. —近年の発展—. *育種学最近の進歩* 38:7~10.
- 佐々木多喜雄 1986. 耐冷性. 北海道立上川農業試験場百年史. 北海道立上川農業試験場, 旭川. 73~79.
- Satake, T. and H. Hayase 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. V. Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 39:468~473.
- 佐竹徹夫 1972. イネポット栽培の改良法. —生育時期の揃った穂を得るために—. *日作紀* 41:361~362.
- Satake, T. 1976. Determination of the most sensitive stage to sterile - type cool injury in rice plants. *Res. Bull. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn.* 113:1~35.
- 佐竹徹夫 1979a. イネの開花期冷温処理による不稔. —ファイトトロンにおける不稔誘導条件—. *日作紀* 48(別2):195~196.
- 佐竹徹夫 1979b. イネの開花期冷温処理による不稔. —穎花の冷温感受性期と感受性器官—. *日作紀* 48(別2):197~198.
- 佐竹徹夫 1981a. 北海道における昭和55年水稲冷害の実態と技術的要因. *農業技術* 36:193~199.
- 佐竹徹夫 1981b. 印度稲の穂孕期および開花期の耐冷性. *育種・作物学会北海道談話会会報* 21:49.
- 佐竹徹夫・小池説夫 1982. イネの開花期冷温処理による不稔. —開花期耐冷性の品種間差異および穂孕期耐冷性との関係—. *日作紀* 51(別1):115~116.
- Satake, T. and S. Koike 1983. Sterility caused by cooling treatment at the flowering stage in rice plants. I. The stage and organ susceptible to cool temperature. *Jpn. J. Crop Sci.* 52:207~214.
- 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. *Jpn. J. Crop Sci.* 56:404~410.
- Satake, T., S. Y. Lee, S. Koike and K. Kariya 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. *Jpn. J. Crop Sci.* 57:234~241.
- Satake, T. 1989. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIX. The mechanism of enhancement in cool tolerance by raising water temperature before the critical stage. *Jpn. J. Crop Sci.* 58:240~245.
- Satake, T. 1991. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXX. Relation between fertilization and the number of engorged pollen grains among spikelets cooled at different pollen developmental stages. *Jpn. J. Crop Sci.* 60:523~528.
- Satake, T. and M. Shibata 1992. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXXI. Four components participating in fertilization. *Jpn. J. Crop Sci.* 61:454~462.
- 佐竹徹夫 1994. 水稲の冷害. 石塚喜明監修, 星野達三編著, 北海道の稲作. 北農会, 札幌. 203~255.
- Sawada, S. 1978. Study of sterile - type cool injury in rice plants with special reference to the mechanism and inheritance of sterility. *Res. Bull. Obihiro Univ.* 10:837~883.
- 柴田和博・佐々木一男・本間昭 1969. 水稲品種の肥料三要素反応の一例. —その品種間差と年次間差—. *育種* 19:28~38.
- 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 1970. 時期別の気温・

- 水温処理が水稲の生育に及ぼす影響. 第1報 昼夜別気温・水温および処理日数と不稔歩合との関係. 日作紀 39:401~408.
- 柴田和博 1975. 水稲品種の気温による出穂変動性の簡易検定法 (第1報). 育種・作物学会北海道談話会会報 15:24.
- 柴田和博 1976. 水稲品種の気温による出穂変動性の簡易検定法 (第2報). 育種・作物学会北海道談話会会報 16:9.
- 柴田和博 1977. 水稲品種の気温による出穂変動性の簡易検定法 (第3報). 一苗素質による処理適期の差異一. 育種・作物学会北海道談話会会報 17:3.
- 島崎佳郎・柿本彰・佐竹徹夫・斉藤準二・伊藤延男 1967. 耐冷性検定法に関する試験. 北海道農業技術研究所. 北海道農業試験場, 札幌. 145~146.
- 新橋登 1998. 検定法と選抜法の改善. 三分一敬監修, 土屋武彦・佐々木宏編集, 北海道における作物育種. 北海道協同組合通信社, 札幌. 9~13.
- 新橋登・前田博・國廣泰史・丹野久・田縁勝洋・木内均・平山裕治・菅原圭一・菊地治己・佐々木一男・吉田昌幸 2003. 水稲新品種「ほしのゆめ」の育成. 北海道立農試集報 84:1~12.
- 篠田治躬 1992. 短期生育性. 楠淵欽也監修, 日本の稲育種. 農業技術協会, 東京. 253~260.
- 菅洋 1976. 作物における花成現象. 北條良夫・星川清親共編, 作物—その形態と機能—, 上巻. 農業技術協会, 東京. 95~111.
- 鈴木正一 1981. イネにおける障害型耐冷性と花器形質との関係. I. 葯長および柱頭長の品種間差異と栽植密度の影響. 育種 31:57~64.
- 鈴木正一 1982. イネにおける障害型耐冷性と花器形質との関係. II. 分離世代における花器形質と障害型耐冷性との関係. 育種 32:9~16.
- 高館正男・志村英二・金沢俊光・工藤哲夫・中川宣興・小山田善三 1979. 水稲冷害の実際的研究. 第54報 開花期の冷温による障害とその品種間差異 (2) 処理強度と不稔発生及び花粉の発芽について. 日作東北支部報 22:51~52.
- 竹川昌和 1991. 気象条件から求めた地帯別水稲品種選定の基準. —とくに アメダス ゾーン メシユ について—. 北海道立農試集報 63:41~52.
- 滝田正 1996. 人工交配法. 農林水産省農業研究センター 山本隆一・堀末登・池田良一 共編, イネ育種マニュアル. 養賢堂, 東京. 176~180.
- 田村泰章・山口誠之・東正昭 1996. 葉いもち真性抵抗性. 農林水産省農業研究センター 山本隆一・堀末登・池田良一 共編, イネ育種マニュアル. 養賢堂, 東京. 3~6.
- 田中一生・田中英彦・佐々木忠雄・竹川昌和 1995. 冷害気象実験ドームを用いた水稲の耐冷性評価. 育種・作物学会北海道談話会会報 36:64~65.
- 田中稔 1962. 水稲の冷水並びに出穂遅延障害に関する研究. 青森県農試研報 7:1~107.
- 丹野久 1997. 中国雲南省の日中共同研究における水稲育種, 耐冷性, いもち病研究 (その2). 北農 64:286~290.
- 丹野久・國廣泰史・江部康成・菊地治己・新橋登・菅原圭一 1997a. 水稲新品種「彩」の育成について. 北海道立農試集報 72:37~53.
- 丹野久・前田博・新橋登・佐々木一男・田縁勝洋・柳川忠男・相川宗嚴・吉田昌幸・菅原圭一・菊地治己・木内均・平山裕治 1997b. 水稲新品種「風の子もち」の育成について. 北海道立農試集報 72:55~68.
- 丹野久 2002. 耐冷性. 北海道農業試験研究機関創立100周年記念行事記念誌出版委員会編, 北海道農業技術研究史 1981~2000. 北海道農業研究センター・北海道立中央農業試験場, 札幌・長沼. 27~28.
- 丹野久・吉村徹・本間昭・前田博・田縁勝洋・相川宗嚴・田中一生・佐々木忠雄・太田早苗・沼尾吉則・佐々木一男・和田定・鴻坂扶美子 2002. 酒造好適米新品種「吟風」の育成. 北海道立農試集報 82:1~10.
- 立田久善 1999. 水稲の耐冷性関連形質としての葯長, 葯幅および充実花粉数に及ぼす施肥窒素の影響. 日作紀 68:187~193.
- 寺尾博・大谷義雄・白木実・山崎正枝 1940a. 水稲冷害の生理学的研究 (予報). [II] 幼穂発育上の各期に於ける低温障害. 日作紀 12:177~195.
- 寺尾博・大谷義雄・土井彌太郎・趙重九 1940b. 水稲冷害の生理学的研究 (予報). [III] 花粉並に雌蕊の機能に関する低温の影響. 日作紀 12:196~202.
- 寺尾博・大谷義雄・土井彌太郎・趙重九・藤原恒雄 1940c. 水稲冷害の生理学的研究 (予報). [VI] 開花後の低温処理に因る受精障害. 日作紀 12:216~227.
- 戸刈義次・柏倉康光 1958. 水稲における不稔発生の一機構. 日作紀 27:3~5.
- 島山国土 1962. 水稲品種の耐冷性検定法並びに耐冷性の遺伝に関する研究. 青森農試研報 7:109~153.
- 島山国土 1980. 東北地方の水稲冷害の特徴. —昭和55年度における—. 農業技術 35:533~538.
- 角田公正・藤村謙之輔・中堀登示光・小山田善三 1968.

- 水稻の耐冷性検定方法に関する研究. 第1報 短期深水冷水処理法について. 育雑 18:33~40.
- 上原泰樹 1996. 耐冷性. 農林水産省農業研究センター 山本隆一・堀末登・池田良一 共編, イネ育種マニュアル. 養賢堂, 東京. 134~141.
- 上原泰樹・小林陽・清水博之・太田久稔・三浦清之・福井清美・大槻寛・小牧有三・笹原英樹 2000. 水稻新品種「いただき」の育成. 北陸農試報 43:1~23.
- 和田純二 1981. 昭和55年における青森県の水稲冷害の実態と特徴. 農業技術 36:5~10.
- 和田定・国広泰史・本間昭 1973. 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. 北海道立農試集報 28:45~51.
- 和田定・江部康成・森村克美・江川勇雄・前田博・佐々木忠雄・菊地治己・新井利直・本間昭・山崎信弘 1986. 水稻新品種「ゆきひかり」の育成について. 北海道立農試集報 54:57~70.
- 和田定 1992. 水稻の冷害. 養賢堂, 東京. 1~261.
- 山口富夫 1980. いもち病菌の一般的試験法. 山崎義人・高坂渾爾編著, イネのいもち病と抵抗性育種. 博友社, 東京. 140~174.
- Yamamoto, T. and M. Nishimura 1986. Relation between the tolerance to the sterility type of cool injury and the amount of bleeding water in rice plants. Japan. J. breed. 36:147~154.
- 熊建華 1995. 粳稻耐冷育種. 蔣志農主編, 雲南稻作. 雲南科技出版社, 中国昆明. 149~168.

摘 要

水稲の障害型耐冷性の遺伝的差異には、穂ばらみ期耐冷性と開花期耐冷性の両者が関係することが知られている。その中で、栽培品種の穂ばらみ期耐冷性については、育種による改良が着実に進んできた。一方、開花期耐冷性の検定や選抜は、人工気象室などの施設と多くの労力を必要とするため、実施例が極めて少ない。そこで、多数の品種を扱え、開花期耐冷性の育種に利用可能な簡易検定法を考案した。また、到穂日数が異なる多様な遺伝資源を検定することは、材料養成や冷温処理のために大きな労力を要するので、短日処理で到穂日数を短縮することにより検定の省力化が可能であるかを検討した。この簡易検定法を用いて、北海道および東北以南の日本品種、ならびに障害型耐冷性の遺伝資源として注目されている中国雲南省の在来品種について開花期耐冷性を評価し、今後の開花期耐冷性の育種資料を作成した。

開花期耐冷性の簡易検定法の確立

1. 検定材料は、縦15×横5×高さ10cmの軽量な小型方形ポットに、主稈のみからなる8個体を密植直播栽培で養成した。本ポットの底は有穴で、湛水したバットに16～18ポット/バットを一括管理でき、省力的である。
2. 50%遮光幕付の自然光型人工気象室を用い、当日出穂した穂が最も多い日の夕方5時から17.5℃で15日間処理し、処理開始日に出穂した穂の稔実歩合により開花期耐冷性を評価した。上記の植物体養成法および冷温処理法を合わせて簡易検定法と称する。
3. 本検定法を用いて、開花期耐冷性を極弱から極強までの7ランクに評価(±0.8ランクの誤差を許容)するために必要な最少穂数は10、供試ポット数は3～4であった。
4. 開花期耐冷性の検定において従来用いられていた15℃の8日間処理では、最低の稔実歩合となる処理開始日が品種により異なる(出穂後0日～3日)のに対し、本検定法による17.5℃の15日間処理では、各品種ともほぼ出穂日(同0日)に最低の稔実歩合となり、検定に必要な調査穂数が少なく省力的であった。
5. 本法による検定結果は、年次間で高い正の相関関係を示し($r=0.808^{**}$, $n=14$)、また、15℃の8日間処理による検定結果や既報の12℃の6日間処理による検定結果とも有意な正の相関関係を示した(それぞれ $r=0.750^{**}$, 0.802^{**} , いずれも $n=14$)。

6. 本法による養成個体は、圃場に栽培した個体に比べ小さく、一穂粒数が45～50%減少した。しかし、開花期耐冷性の評価は、圃場に栽培した個体に類似した大きさと一穂粒数を有する材料(1/5000a ワグネルポット, 2株, 各2本植)を用いた場合とほぼ一致した($r=0.922^{**}$, $n=8$)。

短日処理を用いた効率的利用法

1. 日本の東北以南の14品種と中国雲南省の3品種について、自然日長のみとの区と5.5葉期頃から14日間を8時間日長とした短日処理区(処理期間以外は自然日長)とを比較したところ、短日処理区では自然日長区より到穂日数が3～54日、平均で28日短くなった。
2. 自然日長区に到穂日数が長い品種ほど短日処理による到穂日数の短縮期間が長いため($r=0.926^{**}$, $n=17$)、本法を用いて開花期耐冷性を検定する場合に、処理開始日となる出穂日の分散は短日処理区が自然日長区よりも小さくなるので、品種間における処理開始日の差異が小さく多くの品種を一括して検定できた。
3. 開花期耐冷性は、自然日長区に到穂日数が長く、短日処理による到穂日数の短縮程度が大きい品種ほど強く評価された(それぞれ $r=0.666^{**}$, 0.536^{*} , いずれも $n=16$)。また、短日処理により出穂前23日間の平均日長時間および出穂前3日～後5日間の平均日照時間がより長くなる品種ほど、開花期耐冷性が強く評価される傾向があった(それぞれ $r=0.570^{**}$, 0.741^{**} , いずれも $n=16$)。
4. 自然日長区と短日処理区の開花期耐冷性の検定結果との間には、 $r=0.830^{**}$ ($n=16$)の有意な高い正の相関関係があることから、短日処理は検定結果に影響をほとんど与えずに、材料養成と冷温処理の期間をともに短縮でき、検定の労力を軽減した。

日本の品種における開花期耐冷性の評価

1. 北海道の新旧52品種について開花期耐冷性を評価したところ、「はやゆき」と「はやこがね」が最も強く(強～極強)、次いで「赤毛」、「ふくゆき」、「うりゅう」、「ほしのゆめ」および「初雫」の5品種が強く(強)、「富国」、「早生錦」および「しまひかり」が最も弱かった(弱～極弱)。さらに、穂ばらみ期耐冷性が極強か極強に近いと評価されている北海道の中間母本7系統と耐

冷性育成系統の30系統，計37系統の中で，「永系88223」と「北育糯87号」の2系統は開花期耐冷性が最も強く，極強と評価された。以上のように，北海道品種の開花期耐冷性には大きな品種間変異が認められた。

2. 東北以南の54品種の開花期耐冷性は，青森県農業試験場藤坂支場で育成された「中母42」のみが極強で，6品種が強，9品種がやや強，5品種が中，12品種がやや弱，5品種が弱，および16品種が極弱であり，大きな品種間変異が存在した。

3. 日本の106品種における開花期耐冷性は，北海道品種が最も強く，次いで東北，北陸，東海・近畿の品種の順で低下し，九州品種が最も弱い傾向を示し，育成地の緯度が高く，出穂の早い品種ほど開花期耐冷性が強い傾向が認められた。

4. 開花期耐冷性が極強と評価された日本の4品種の中で，北海道の育成系統である「永系88223」と「北育糯87号」，および東北地域の「中母42」は，北海道品種の「はやゆき」に由来する開花期耐冷性を持つものと推察された。そのため，日本品種の中での開花期耐冷性の遺伝的多様性は小さいと思われ，北海道の開花期耐冷性を大きく向上させるためには，新たな遺伝資源を外国から導入する必要がある。

5. 現在の主要な栽培品種の開花期耐冷性について，北海道では一般の粳品種は強い傾向（中～やや強から強）にあったが，糯品種はやや弱く（中～やや弱），低アミロース品種や酒造好適米品種は弱く（それぞれ弱～やや弱から弱および極弱），また東北以南では「コシヒカリ」，「ひとめぼれ」および「あきたこまち」の開花期耐冷性はやや弱い（やや弱）ことから，安定生産のためには開花期耐冷性の向上が必要と思われる。

日本品種での開花期耐冷性，穂ばらみ期耐冷性および品種の育成年次との関係

1. 本法による開花期耐冷性の評価（冷温処理区の不稔歩合）と従来の方法による穂ばらみ期耐冷性の評価（極強：2～極弱：8の7ランク）との間には，北海道の新旧品種で $r=0.541^{**}$ （ $n=52$ ），東北以南の品種で $r=0.462^{**}$ （ $n=51$ ）と相関係数はそれほど大きくなく，両時期の耐冷性を分けて評価する必要がある。

2. 北海道の新旧52品種および1945年以降に交雑育種法により育成された東北の24品種では，育成年次が新しい品種ほど穂ばらみ期耐冷性が強い傾向が認められた（育成年次と従来の穂ばらみ期耐冷性評価の間に，北海道品種で $r=-0.366^{**}$ ，東北品種で $r=-0.542^{**}$ ）。しかし，開花期耐冷性と育成年次との間には，一定の関係がみら

れなかった（北海道品種で $r=-0.055^{ns}$ ，東北品種で $r=0.100^{ns}$ ）。以上のように，従来の育種事業において行われている穂ばらみ期耐冷性の選抜は，必ずしも開花期耐冷性を向上させる結果とはならなかったため，今後の育種事業においては開花期耐冷性について直接，選抜する必要がある。

中国雲南省の水稻品種における開花期耐冷性の評価

1. 中国雲南省において最も標高の高い稲作地帯および出穂開花期に降雨量が多いため障害型不稔が発生する「多雨冷害区」に由来する在来のそれぞれ5，1品種が，農林水産省熱帯農業研究センターと雲南省農業科学院との日中共同研究に新しく提供された。その結果，これら品種の穂ばらみ期耐冷性は，過去に耐冷性の評価が明らかになっている耐冷性在来品種と同じく極強であった。

2. 穂ばらみ期耐冷性がほぼ極強である中国雲南省の在来4品種の開花期耐冷性はやや強～強およびやや強であり，日本品種に比べとくに強くはなかった。しかし，未検定の在来品種も多いため，今後さらに多くの雲南省品種について，開花期耐冷性の評価を行う必要がある。

Development of a Simple Test for Cool-Weather Tolerance at the Flowering Stage of Rice Plants and Evaluation of the Genetic Resources for the Tolerance

Hisashi Tanno

Summary

The genetic difference in tolerance to cool weather that decreases the yield due to sterility consists of tolerance at the booting stage and at the flowering stage of rice plants. Cool-weather tolerance at the booting stage has been improved by breeding new varieties. However, tests for cool-weather tolerance at the flowering stage need much labor and equipment, such as an air-conditioned room, and only a few studies have been made that evaluated many lines. To develop programs to breed for cool-weather tolerance at the flowering stage, I devised a simple labor-saving test by using small pots. In a test with varieties having a long growing period (late varieties), such as varieties in the Tohoku district or further south in Japan and in Yunnan Province in China, the number of days to heading was reduced by short-day treatment. By using this method, cool-weather tolerance at the flowering stage of varieties from Hokkaido, Tohoku district or further south in Japan and from Yunnan Province, China, was evaluated, and its relation with cool-weather tolerance at the booting stage was examined.

I. Development of a simple test for cool-weather tolerance at the flowering stage of rice plants

1. A simple method to test for tolerance by using an air-conditioned room

A simple method to test for tolerance to cool weather at the flowering stage in rice was developed. In square pots, 15 cm × 5 cm and 10 cm high, eight plants having only the main culms were planted and were grown in an air-conditioned room at 17.5°C for 15 days under 50% shading from 1996 to 1998. The tolerance to cool weather damage was estimated as the fertility percentage of spikelets, whose panicles had headed on the day the low temperature treatment started. At least 10 panicles in total between 3~4 pots for each variety were needed to classify the varieties into seven ranks (extremely high, high, a little high, intermediate, a little low, low, and extremely low tolerance), with a statistical error of ± 0.8 . After an 8-day treatment at 15°C in this study, the lowest fertility percentage was observed in plants exposed to a low temperature from 0 to 3 days after heading; the number of days varied between the cultivars. In the 15-day at 17.5°C method, however, plants exposed to a low temperature from the day of heading showed the lowest fertility percentage in almost all varieties. Therefore, in this 15-day at 17.5°C method the fertility percentage was calculated using fewer panicles compared with the 8-day treatment at 15°C. Data obtained by this 15-day at 17.5°C method showed a significant positive correlation ($r=0.808^{**}$, $n=14$) between the different years and a significant positive correlation with data obtained by the 8-day treatment at 15°C in this study or a 6-day treatment at 12°C in a previous study ($r=0.750^{**}$ and 0.802^{**} , respectively, $n=14$). Plants examined by this 15-day at 17.5°C method were either very small plants or normal-sized plants cultivated in a 1/5000 a pot and were similar in size to plants grown in the paddy field; both plants showed a significant positive correlation ($r=0.922^{**}$, $n=8$).

2. A labor-saving test by using short-day treatment to evaluate various genetic resources for tolerance

The effect of short-day treatment on cool-weather tolerance at the flowering stage was examined for 14 cultivars of rice from the Tohoku district or further south in Japan, and 3 cultivars from Yunnan Province in China. The plants were exposed to 8-hour short days for 14 days from the 5.5 leaf stage (short-day plot; SDP) or were grown under natural day length throughout the experimental period (natural-day plot; NDP) in 1999 and 2000.

From the day of heading, the cultivars were exposed to 17.5°C for 15 days. The number of days to heading by the SDP cultivars was an average of 28 days less than for NDP cultivars. NDP cultivars with a longer period to heading had a period that was reduced more markedly by the short-day treatment ($r=0.926^{**}$, $n=17$). The variation in heading dates between SDP cultivars was smaller than for NDP cultivars. Differences in cool-weather tolerance at the flowering stage between SDP cultivars and NDP cultivars were larger for cultivars ($n=16$) with longer periods to heading by NDP cultivars ($r=0.666^{**}$), with greater reduction in the number of days to heading by short-day treatment (0.536^*), and are related to differences in duration of sunshine from 3 days before heading to 5 days after heading (0.741^{**}), in daylength of 23 days before heading (0.570^*) between SDP cultivars and NDP cultivars. However, the cool-weather tolerance between SDP and NDP showed a high-significant positive correlation ($r=0.830^{**}$, $n=16$). Therefore, the short-day treatment in the test of cool-weather tolerance was labor-saving for growing materials for the test of cool-weather tolerance.

II. Estimation of genetic resources for cool-weather tolerance at the flowering stage of rice

1. Estimation of cool-weather tolerance at the flowering stage in Hokkaido varieties

The cool-weather tolerance at the flowering stage of 52 Hokkaido rice varieties was examined in 1998 and 1999 by using the simple test developed in this study. Among the tested varieties, Hayayuki and Hayakogane had high to extremely high tolerance. Akage, Fukuyuki, Uryuu, Hoshinoyume, and Hatsushizuku had a high tolerance, and Fukoku, Wasenishiki, and Shimahikari had low to extremely low tolerance. Although non-glutinous varieties of the present recommended varieties for Hokkaido farmers were a little high to high, glutinous varieties were a little low to intermediate. Varieties with low amylose content had low tolerance, and a "Sake" brewery variety had extremely low tolerance. The tolerances at the booting stage reported by previous studies and at the flowering stage in this study showed a significant positive correlation ($r=0.541^{**}$), but the coefficient of correlation was not high. Although varieties bred more recently had a higher tolerance to cool weather at the booting stage ($r=-0.366^{**}$), no relation was found between year of breeding and tolerance to cool weather at the flowering stage ($r=-0.055^{ns}$). Thus to breed varieties highly tolerant at the flowering stage, direct selection for tolerance to cool weather is needed in breeding programs. In tests with 37 breeding lines that had extremely high tolerance at the booting stage, Eikei 88223 and Hokuikumochi 87 had an extremely high tolerance at the flowering stage. Thus these lines are suitable as parents for producing varieties tolerant to cool weather.

2. Estimation of cool-weather tolerance at the flowering stage of varieties in Tohoku district or further south in Japan

Cool-weather tolerance at the flowering stage of 54 rice varieties in Tohoku district or further south in Japan was examined in 1999 by using the simple test developed in this study. The data on Hokkaido varieties reported in section II—1 were compared with the results on varieties in Tohoku district or further south in Japan. Although the degree of cool tolerance at the flowering stage varied greatly within districts where varieties were bred, the higher the latitude of the breeding district, the higher was the tolerance ($r=0.497^{**}$, $n=106$). Varieties with an early heading date had a higher tolerance ($r=-0.576^{**}$, $n=106$). Among the tested varieties, Chuubo 42 had an extremely high tolerance, 6 varieties had high tolerance, and 16 varieties had extremely low tolerance. Koshihikari, Hitomebore and Akitakomachi, the currently leading varieties in Japan, had a little low tolerance at the flowering stage. Although the tolerance at the booting stage reported by previous studies and that at the flowering stage in this study showed a significant positive correlation ($r=0.462^{**}$, $n=51$), the coefficient of correlation was not high. Among 24 varieties bred after 1945 in Tohoku district, varieties bred more recently had a higher tolerance to cool weather at the booting stage ($r=-0.542^{**}$), and no relation was found between year of breeding and tolerance to cool weather at the flowering stage ($r=0.100^{ns}$). These results suggest that to breed a new rice variety with high tolerance to cool weather at the flowering stage, direct selection for tolerance is needed in breeding programs.

3. Estimation of cool-weather tolerance at the flowering stages in varieties of Yunnan Province, China

This study was done in Yunnan Province of China from 1993 to 1994, as part of a joint research between the Japan International Research Center for Agricultural Sciences and the Yunnan Academy of Agricultural Sciences, to evaluate cool weather-tolerance of seven local varieties newly supplied to the joint research, and to compare them with four cool-weather tolerant local varieties already evaluated in the joint research. Most of these newly supplied local varieties were from an area at an altitude of about 2700 meters that was at the highest altitude among rice cultivation areas of Yunnan Province, and from an area with high rainfall during the flowering stage that induces sterility in rice. The newly examined local varieties had extremely high tolerance to cool weather at the booting stage, similar to other local varieties tolerant to cool weather already evaluated. The tolerance to cool weather at the flowering stage of four cool-weather tolerant local varieties in Yunnan Province was tested from 1998 to 2000 in Hokkaido, Japan. Although those varieties had extremely high tolerance at the booting stage, the estimated rankings were a little high or a little high to high, and were not higher than those of Japanese varieties. In addition to the local varieties tested, many local varieties tolerant to cool weather will be available in Yunnan Province, and these genetic resources need to be evaluated.