

秋播小麦の雪腐病抵抗性と耐凍性育種

I. 検定方法の改善と抵抗性品種分類への適用*

天 野 洋 一** 尾 関 幸 男**

秋播小麦の冬損に関与する要因のうち、雪腐大粒菌核病、黒色小粒菌核病、褐色小粒菌核病および凍害について検定法の改善を試みた。大粒菌核病には高畦栽培で孢子を散布する方法、小粒菌核病には病原菌を接種し、多湿下2℃の恒温室内で処理する方法、凍害には冠部凍結法が効果的であった。これらの方法を用い、海外から収集した品種を含め、代表的な25品種を検定したところ、各要因に抵抗性品種が確認されたが、すべてに抵抗性の品種はなかった。耐凍性と大粒菌核病抵抗性、あるいは黒色小粒と褐色小粒菌核病抵抗性との間には、有意に高い正の相関が認められたが、耐凍性と小粒菌核病、あるいは大粒菌核病と小粒菌核病抵抗性との関係は有意でなかった。小粒菌核病に抵抗性の「C. I. 14106」、 「P. I. 172582」、 「P. I. 173438」は「農林62号」と同様、大粒菌核病に最も弱かった。しかし、道内で育成された10品種系統は、この両病害にかなりの抵抗性を示すことがわかった。

緒 言

北海道の秋播小麦は、冬季のきびしい環境下で越冬する過程において、種々の障害（冬損）を受ける。これに耐えて越冬する性質が、いわゆる耐冬性(winter hardiness)であり、元来、寒地の秋播小麦はその栽培環境下で耐冬性に関する淘汰を受けてきたものである。

冬季間の障害は大きく凍害（寒害）と雪害の2種類に分けられるが、凍害が直接の原因となって全株枯死することはきわめてまれであり、障害の大部分は積雪下で起り、いわゆる雪害と呼ばれるものである。この雪害の最も重要な要因は病原菌であることが、富山(1955)²⁹⁾等の病理学者と、松尾等(1945)²⁰⁾の育種家によって明らかにされて以来、病原菌による侵害が雪害の主要因であることを疑うものは非常に少なくなり(富山, 1965)³⁰⁾、また薬剤の顕著な防除効果もこ

れを裏付けている^{2, 7, 13)}。

楠, 長内(1959)¹⁹⁾は耐寒性の集団選抜を行い、耐寒性と大粒菌核病抵抗性との間に、かなり密接な遺伝相関を認め、耐寒性に新たな意義を見出した。最近、尾崎(1979)²³⁾はオーチャードグラスで、大粒菌核病菌に感染するためには寄主が低温により何らかの体質の変化を生ずることが必要であるとし、また能代(1980)²¹⁾はある程度の凍害を受けることが誘因となって同病が発生し、枯死につながるとしている。

この大粒菌核病のほか北海道には4種類の雪腐病があり、とくに多雪地帯では褐色および黒色小粒菌核病が常発し、紅色雪腐病は全道的に発生する。しかし、少雪地帯でも根雪が早い年には、しばしばこれら3種の雪腐病が大粒菌核病より多く発生するので、すべての雪腐病を対象とした総合的防除が必要であるとともに、すべての雪腐病に抵抗性をもついわゆる耐冬性品種の開発が望まれる。とくに最近、全道の14支庁すべての管内に秋播小麦が栽培されるようになり、従来不適地とされた地帯への導入が急増している。このため耐冬性の増強は小麦育種にとってきわめて緊要となるに至った。

しかし、対象とする雪腐病の種類が多いばかりでな

1981年2月17日受理

* 本報の一部は日本育種学会、作物学会北海道談話会1878年度年次講演会において発表した。

** 北海道立北見農業試験場、(099-14)常呂郡訓子府町

く、それらの発生が環境条件と複雑に関連し合うため、一育成地のは場試験で、毎年適確に検定、選抜を行うことは技術上の困難を伴ない、このことが耐冬性品種の積極的な育成を阻んできた。

この改善策を見出すために、本報では大粒菌核病と小粒菌核病ならびに凍害について検定方法を改善し、その方法を用いて抵抗性の品種間差異とそれらの相互関係を検討した。

研究の遂行にあたり、ご協力いただいた中央農試稲作部ならびに北見農試病虫科、小麦科の各位に感謝申しあげる。また設計、とりまとめに際しては、上川農試場長内俊一博士、北見農試場長馬場徹代博士、帯広畜大助教授島田徹博士に種々のご教示をいただき、北海道大学教授後藤寛治博士にはご校閲を煩した。深く謝意を表する。

材料および方法

1. 処理方法

(1) 雪腐大粒菌核病 (*Sclerotinia borealis* Bubak et Vleugel)

1974～1978年の各年とも9月中旬播種、20cmの高畦栽培とする他は系統栽培直播法畑耕種梗概による。11月中旬、子のう胞子散布による接種を行い、低濃度防除（チオファネートメチル70%水和剤5,000倍液）と無防除の2処理を設ける。接種源として10ℓの水に百個ほどの子のう盤をすりつぶした懸濁液を、10アール当り10ℓ散布した。1区1品種66個体、格子型配列3反復とし、融雪後発病度を調査した。

(2) 雪腐黒色小粒菌核病 (*Typhula ishikariensis* S. Imai)

1976、1977年9月中旬、野外で苗箱（25×40×12cm）に播種し、11月20日病原菌を接種した。接種菌の培養はBruehl et al.³⁾の大量培養法に準じた。すなわち、三角フラスコに大麦種子（Bruehl et al. は小麦ふすまと砂を混ぜたものを使用）を入れ、同量の水を加え、1日吸水させた後蒸気滅菌し、その培地にぶどう糖加用じゃがいも煎汁平板寒天（PDA）上で培養した含菌寒天を数個接種し攪拌する。綿栓の上からアルミホイルで被覆し、水分蒸発を防いだ状態で、約60日間7℃の恒温室内で培養し、これを接種源として用いた。接種後の苗箱は水分を含ませた脱脂綿で被覆し、低温恒温室内で2℃に60日間保存した。1区1品種24個体、

4反復とし、処理後温室で再生させ発病度を調査した。

(3) 雪腐褐色小粒菌核病 (*Typhula incarnata* Lasch)

中央農試稲作部は場で9月上～中旬に播種、系統栽培法によった。1区1品種80個体を供試し、1978年は乱塊法3反復、1979年は5反復とし、融雪後発病度を調査した。

(4) 凍害

a) 地表露出法：1977年9月中旬、素焼8寸鉢に播種し、11月20日積雪を避けるため吹貫小屋に移し、1月11日-22.9℃、1月18日-21.4℃の最低気温にさらした。1月19日温室に移して再生させ凍結による被害度を調査した。1区1品種15個体4反復とした。

b) 冠部凍結 (crown-freezing) 法 1979年9月中旬系統栽培法により播種。11月24日は場より抜き取り、土を除去し、地上部も根部も露出した状態で、低温装置を用いて低温処理を行った。温度サイクルは0℃から開始し、3時間で徐々に-12℃まで下げ、-12℃±2℃で16時間処理し、その後6時間で0℃とした。処理後温室で再生させ、凍結による被害度を検定した。1区1品種15個体2反復とした。

2. 供試材料

海外より収集した品種ならびに道内品種系統の中から、耐冬性要因に関し特徴を有するとみられるTable 1.の25品種および系統を供試した。

3. 調査方法

発病度および被害度は指数0～4（完全枯死）の5段階法により算出し、分散分析および相関係数の計算には $\arcsin\sqrt{\%}$ 変換した値を用いた。

実験結果

1. 高畦栽培による大粒菌核病耐病性の検定

高畦、平畦、溝畦の3通りの栽培様式を用い *S. borealis* による「ホロシリコムギ」の枯死株率をFig. 1に示した。

各年とも *S. borealis* による枯死株率は高畦>平畦>溝畦の関係が明瞭であるが、年により *S. borealis* の発生程度が異った。一般は場の各年の根雪と地下凍結の状況は次表のようで、1974、1975年は *S. borealis* の多発生により高畦栽培の「ホロシリコムギ」は全株枯死した。1976年は異常に根雪が早く、地下凍結も進まなかったため、一般は場の一部に小粒菌核病が発生

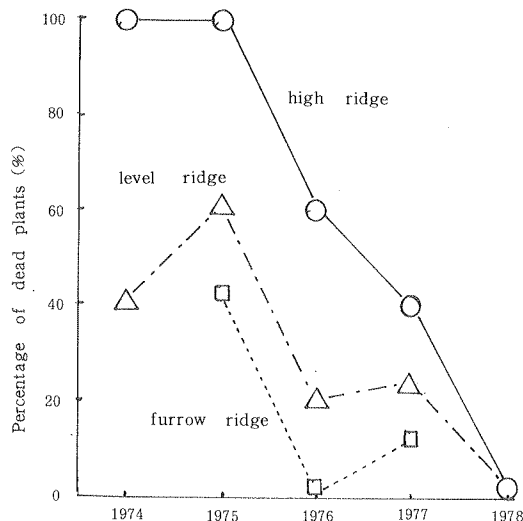


Fig. 1. Comparison of *Sclerotinia* snow blight incidence under different ridge height with a variety "Horoshiri-komugi" 1974-1976: not treated with any fungicide 1977-1978: treated with low concentration of thiophanate-methyl

播 種 年 度	根雪始 月 日	根雪直後の 地下凍結cm	融雪期 月 日	一般は場の冬損状況
1974	12. 10	20	4. 24	<i>S. borealis</i> 多発生
1975	12. 17	24	4. 26	同 上
1976	11. 19	0	4. 8	<i>S. borealis</i> 少発生
1977	12. 17	10	4. 6	同 上
1978	12. 4	10	4. 20	無

したが、この実験の高畦栽培では *S. borealis* が単一発生し、平畦と溝畦には小粒菌核病と紅色雪腐病の発生が認められた。1977年にも同様の傾向が認められた。1978年は一般は場に雪腐病の発生がみられず、冬損皆無の年であったため、高畦栽培でも「ホロシリコムギ」の枯死株はなかった。しかし、その発病度は20%を示し、弱品種では70~80%に達した。

これらの実験から、高畦栽培ではいつでも *S. borealis* の単一発生がえられることがわかったが、1974、1975年のように根雪が遅く、地下凍結のはげしい年には、高畦では一層凍結が助長され、子のう胞子散布の影響もあって、強品種でも完全枯死するほどの厳しすぎる

条件となった。このため条件を緩和する目的で無防除区と低濃度防除区を設けることにした。発病程度によって品種及系統の反応をより詳細に検定可能となるはずであるが、1977、1978年の少発生年には、無防除区の方が品種間差異がより明瞭であったので、Table 1.には高畦栽培の無防除区における発病度を示した。

S. borealis による発病には、両年とも品種間差異が顕著にみられ、平均発病度は1977年の51%に対し1978年は31%で、1978年の発病度が低かった。しかし、発病度の分布巾は1978年が61%で、1977年の57%をやや上廻った。つまり弱品種では両年とも高い発病度を示したが、強品種では1978年の方が低かった。年次間の相関は $r = 0.812^{***}$ ときわめて高く、品種の傾向もよく一致した。

2カ年を通じて抵抗性母材として卓越した品種は認められなかったが、「Iohardi」、「北海48号」は最も安定した強さを示し、「北系840」、「北見2号」、「農林8号」もかなりの強さを示した。これらに対し「農林62号」は最も弱く、「C.I. 14106」、「P.I. 172582」、「P. I. 173438」、「Gaines」ついで「Ibis」、「タクネコムギ」は著しく弱かった。

またTable 1.で、Duncanの多重検定によりabと分類した10品種系統は、最強のaグループと有意な差は示さなかったが、年次間の差が大きく、道内品種を代表する「ホクエイ」、「赤錆不知1号」、「ホロシリコムギ」、「ムカコムギ」あるいはソ連の品種は、1977年の発病度が高く、やや不安定性を示した。

2. 接種試験による小粒菌核病耐病性の検定

北見農試のは場では、溝畦栽培を行って地下凍結を

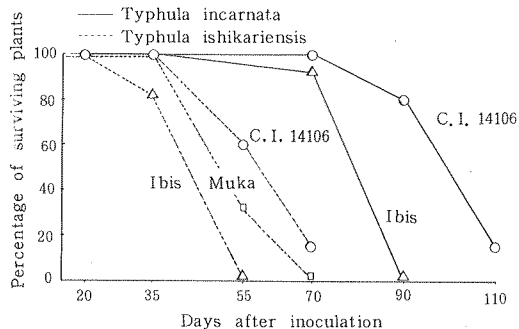


Fig. 2. Relation between the incubation period of wheat varieties with two *Typhula* species in cold chamber and the percentage of surviving plants

やわらげ、葉上に菌を接種し、さらに多湿条件を与えるため脱脂綿で被覆したにもかかわらず、小粒菌核病のみの発生条件を作ることはできなかった。しかし低

温恒温室を利用した接種試験では、菌量と湿度の条件が充分であれば、比較的均一な発生条件を作ることができた。*T.ishikariensis*と*T.incarnata*を接種した

Table 1. Varietal differences of degree of injury caused by snow molds and freezing

No.	Varieties and Strains	Origin	<i>S.borealis</i>			<i>T.ishikari-</i>	<i>T.incarnata</i>		Freezing							
			1977	'78	Mean *	<i>ensis</i> 1977 *	+ 1978 *	'79 *	1977 *	'79 *						
1	USSR 40604	U.S.S.R.	41	31	36	ab	43	fgh	13	ab	12	abc	27	ab	25	ab
2	Moscow 1	"	37	31	34	ab	34	def	16	ab	28	d	21	a	43	b
3	Valujevskaja	"	49	23	36	ab	49	gh	16	ab	5	a	12	a	21	a
4	Lietescens 329	"	49	21	35	ab	47	gh	22	abcd	5	a	25	ab	14	a
5	Iohardi	U.S.A.	34	14	24	a	43	fgh	42	de	9	ab	21	a	40	b
6	Minturki	"	49	26	38	ab	43	gh	55	e	25	d	33	b	92	fghij
7	C.I.14106	"	79	64	72	de	6	a	5	a	4	a	51	bc	83	efgh
8	P.I.172582	"	74	63	69	de	9	ab	19	abc	10	abc	70	de	94	ghij
9	P.I.173438	"	64	67	66	de	10	ab	4	a	4	a	67	cde	98	hi
10	Gaines	"	66	64	65	d	54	h	59	e	62	f	54	cd	92	fghij
11	Ibis	Holland	54	46	50	bc	55	h	38	cd	46	e	95	f	100	j
12	Akasabi++	Sapporo	56	15	36	ab	20	abc	12	ab	7	ab	37	b	85	efghi
13	Norin 8	"	34	20	27	a	29	cde	11	ab	9	abc	37	b	67	c
14	Norin 62	"	87	75	81	e	14	ab	5	a	13	abc	36	b	95	hij
15	Hokkai 48	"	30	18	24	a	29	cde	17	abc	5	a	61	cde	79	cdef
16	Hokuei	Kitami	46	17	32	a	18	abc	13	ab	7	ab	34	b	67	c
17	Kitami 1	"	42	15	28	a	29	cde	16	ab	5	a	37	b	83	efgh
18	Kitami 2	"	32	22	27	a	22	bcd	10	ab	11	abc	34	b	48	b
19	Kitami 3	"	39	16	28	a	21	bcd	8	ab	7	ab	34	b	68	cd
20	Kitami 18	"	45	24	35	ab	49	gh	28	bcd	18	bcd	37	b	89	fghij
21	Muka	"	59	19	39	ab	14	ab	15	ab	11	abc	40	b	72	cd
22	Horoshiri	"	50	18	34	ab	19	abc	7	ab	7	ab	36	b	73	cde
23	Takune	"	74	46	60	cd	40	efg	8	ab	19	cd	74	e	100	j
24	Kitakei 628	"	51	16	34	ab	16	abc	7	ab	7	ab	51	bc	81	defg
25	Kitakei 840	"	38	16	27	a	53	h	13	ab	14	abc	32	b	49	b
	Mean		51	31	41		31		18		14		42		70	
	F test		**	**	**		**		**		**		**		**	
	L.s.d.(5%)		23	18	15		13		19		9		15		12	
	C.v.(%),		27	36			29		65		52		25		9	

Degree of injury (%) = $\frac{(\text{Number of plants in every class} \times \text{proper indices})}{\text{Number of total plants} \times \text{Maximum index}} \times 100$

+ : Percentage of dead plants.

++ : Akasabi = Akasabishirazu 1.

* : Classification is based on Duncan's multiple range test at 5 % level.

** : Significant at 1 % level.

場合の処理日数と発病の関係を示したのが Fig. 2. である。

この方法で品種間差異が明瞭になるのには, *T. ishi-kariensis* では接種後50~60日, *T. incarnata* では90日の処理期間が必要とみられた。

Table 1.には*T. ishi-kariensis*の接種試験の結果と中央農試稲作部のは場試験における*T. incarnata*による枯死株率(1978)と発病度(1979)を示した。いずれも品種間差異が顕著であるとともに, 病原菌と検定方法が異なるにもかかわらず, 両者の間には $r=0.633^{***}$ (1978), 0.555^{**} (1979)の高い相関がえられ, 両年とも二次曲線の傾向を示した。

T. ishi-kariensis と *T. incarnata* の両者に対し, ともに抵抗性とみられたのは「C. I. 14106」, 「P. I. 173438」で, 「農林62号」, 「北系628」をやや上廻った。「P. I. 172582」は*T. ishi-kariensis*には強いが, *T. incarnata*にはやや劣った。「Gaines」, 「Ibis」, 「Minturki」, 「Iohardi」はともに著しく弱かった。またソ連の4品種「U.S.S.R. 40604」, 「Moscow1」, 「Valujevskaja」, 「Lietescens329」は*T. incarnata*にはそれほど弱くないにもかかわらず *T. ishi-kariensis* には著しく弱かった。これに対し道内品種の「赤錆不知1号」, 「ホクエイ」, 「ムカコムギ」, 「ホロシリコムギ」は, 両菌に対してかなり強かった。ただし「タクネコムギ」は *T. incarnata* には比較的強いが, *T. ishi-kariensis* に著しく弱かった。

T. incarnata のは場試験は1978年が中発病, 1979年が少発病であったが, 年次間の相関は $r = 0.715^{***}$ と高かった。これは主として弱品種群と強品種群間の差が顕著であったためと考えられる。前述の「Minturki」

と「Iohardi」は年次間に逆転がみられた。

3. 耐凍性の検定

地表露出法¹⁷⁾と冠部凍結法³¹⁾を検討したが, いずれの方法も病害の検定に比べると精度はかなり高く, また両者の間には, $r = 0.733^{***}$ の高い相関がえられ, 検定方法による差は比較的小さかった。しかし, Table 1.の分類のように, 地表露出法でb級の12品種は, 冠部凍結法ではさらに細分が可能となった。両方法を通じて「Valujevskaja」が最も強く, 同じくソ連の3品種と「Iohardi」も強い耐凍性を示した。

これらに比べると「北見2号」, 「北系840」はやや劣るが, 従来道内品種中最も耐凍性であるとしていた「農林8号」をやや上廻っている。「ホクエイ」, 「ホロシリコムギ」, 「ムカコムギ」は, むしろ「赤錆不知1号」よりややまさと判定されるが, 「タクネコムギ」は「P. I. 172582」, 「P. I. 173438」, 「Gaines」程度であり, 「Ibis」はこれらよりさらに劣って最弱であった。

4. 凍害および各種雪腐病害に対する品種の反応

25品種系統について, 凍害および3種の雪腐病による被害度の相互関係を一括して Table 2. に示した。

これによると, 凍害と *S. borealis* の間にはいずれの年にも正の有意な相関 ($r = 0.443^{*} \sim 0.550^{**}$) がえられ, 耐凍性品種は *S. borealis* に対しても抵抗性の傾向を示した。しかし「U.S.S.R. 40604」, 「Valujevskaja」, 「Lietescens 329」はきわめて耐凍性であるが, *S. borealis* にはあまり強くない一方, 「北海48号」のように *S. borealis* には最強でありながら, 耐凍性はむしろ弱い特異な反応を示す品種がみられた。

凍害と *T. ishi-kariensis* の間には, $r = -0.217$, -0.320 と負の関係, 凍害と *T. incarnata* の間には $r =$

Table 2. Correlation coefficients between degree of injury caused by several snow molds and that of freezing

		<i>S. borealis</i>		<i>T. ishi-kari-</i>		<i>T. incarnata</i>		Freezing injury	
								Exposure	Crown-
		1978	1977	1978	1979	1977	1979	treatment	freezing
<i>Sclerotinia borealis</i>	1977	0.812 ***	- 0.352	- 0.091	0.150	0.443 *	0.550 **		
"	1978		- 0.207	0.041	0.354	0.524 **	0.485 *		
<i>Typhula ishi-kariensis</i>	1977			0.633 ***	0.555 **	- 0.127	- 0.320		
<i>Typhula incarnata</i>	1978				0.715 ***	0.050	0.091		
"	1979					0.340	0.289		
Freezing injury	1977						0.733 ***		

0.050～0.340と正の関係が存在したが、ともに有意性は認められなかった。

*S. borealis*と*T. ishikariensis*間には、両年とも比較的に弱いながら負の関係がみられる($r = -0.352$, -0.207)。いずれも有意ではないが、*S. borealis*の2カ年の平均被害度と*T. ishikariensis*との関係を図式化するとFig. 3. のようになる。

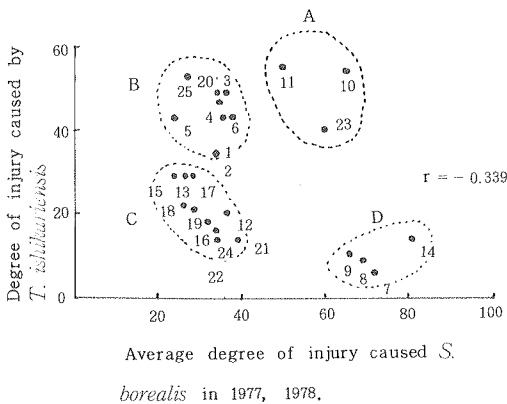


Fig. 3. Relation between degree of injury caused by *Sclerotinia borealis* and that of *Typhula ishikariensis*.

Fig. 3. によると、25品種系統は4群に大別される。この散布図で最もかけ離れた品種はA群の3品種(Gaines, Ibis, タクネコムギ)と、D群の4品種(C. I. 14106, P. I. 172582, P. I. 173438, 農林62号)である。A群は*S. borealis*と*T. ishikariensis*の両方に弱く、とくに「Gaines」は非耐凍性である。D群は*T. ishikariensis*に抵抗性を示すが、*S. borealis*には最弱である。残りの18品種系統は*S. borealis*には比較的強いが*T. ishikariensis*に弱いB群と、*T. ishikariensis*にも比較的強いC群に分かれる。ここでC群の10品種系統はすべて道内で育成されたものであり、B群にはソ連およびアメリカの耐凍性品種が含まれる。

論 議

富山(1955)²⁹⁾は、麦類の冬損は主として病原菌によるものであるとして、世界の雪腐病研究の骨格を作り、水銀剤による総合防除法を確立した⁷⁾。ほぼ同じ頃から、北海道農試と道立農試北見支場の小麦育種では抵抗性品種の探索を中心に品種間差異とその年次変異を調査し、ハードニング過程と被害度から、耐凍性を耐寒型・耐雪型・非越冬型に3区分した。「モスコフ

カヤA」,「農林62号」,「U-13」がその代表品種であった^{12), 22)}。しかし、ここでは接種試験による雪腐病抵抗性の検定は行われず、女満別麦類試験地の火山性土で無リン酸、晩播栽培による大粒菌核病抵抗性の検定¹⁸⁾が行われたにすぎなかった。なお当時確立された地表露出法による耐寒性検定¹⁷⁾は、その後も育種に利用されている。

近年、牧草分野においても雪腐病および凍害に関する研究が盛んで、能代²¹⁾は植物体を試験管内に入れ、子のう胞子をスプレーして密封し、冷蔵庫内で発病させ、大粒菌核病の抵抗性検定を行う方法を提唱しており、阿部¹⁾はハードニング処理した幼苗で、耐寒性検定のできる技術を開発した。

一方本州では、古く瀧島²⁸⁾、松尾等²⁰⁾は北陸地方で耐雪性の研究を行い、畦型の差異により積雪下の地表温度、湿度条件が異なり、病害の発生に差が生じることを認めており、また品種の耐雪力は組織の硬化あるいは糖含量の蓄積と貯蔵量の大きさの二面を併有するものが優れるとしている。東北地方で、平井^{11), 15)}らは耐病性の研究を進め、抵抗性と炭水化物の消耗あるいは蛋白の分解との関連を検証し、さらには細胞単位で宿主の代謝の研究を試みた。また品種間差異の検定法として、富山の実験法を採用し、葉身に接種した病斑の伸展度を測定し、品種間差の有意性を認めている。

Cormack and Lebeau⁵⁾は植物体に菌を接種して低温恒温室で処理する方法を初めて試みた。Bruehl et al.³⁾は、その方法を育種に利用し易く簡便にしは場検定とあわせて1万品種系統より小粒菌核病と紅色雪腐病に強い「C. I. 14106」等の母材を検出した。さらに、は場で菌接種する方法も試み、発病を高めることに成功している。

Jamalainien¹⁴⁾は、スカンジナビア半島における冬損を調査し、北欧品種の各種雪腐病に対する抵抗性をは場および室内接種検定によって検討している。

凍害に関する研究はきわめて多いが、検定法については、カナダ²⁶⁾、アメリカ³¹⁾、ソビエト^{6), 25)}では、は場検定とあわせてハードニング処理したコムギの実生一幼苗の各種生育段階での検定が実施されており、育種にひろく利用されている。

北海道のように、狭い地域に各種の雪腐病が混発する条件下に適応する耐凍性品種を育成するためには、冬損の諸要因に対し抵抗性の材料が必要であり、少な

なくとも *S. borealis*, と *Typhula* spp. および凍害を考慮した育種方法が重要となる。本実験はこの3種について検定方法を個別に改善し、その検定方法を用いて品種の抵抗性と相互の反応性を検討したものである。

1. 検定方法について

S. borealis 抵抗性⁵⁾については, Cormack and Lebeau⁵⁾の室内接種検定をも実施したが, プラスの温度域(2℃前後)では多湿条件となり, マイナスの温度域(-5℃前後)では被覆物が凍結し, 十分な発病が得られなかった。積雪下で乾燥する条件を作ることが要点と考えられた。ほ場での検定方法として, 畦型の差異により発生する雪腐病の種類が異なるという報告^{20, 29)}をもとに, 高畦栽培を利用した。この方法は過去数年来 *S. borealis* の単一発生で推移しており, 精度の点ではまだ問題は残されるが, 検定方法として十分役立つものと考えられた。

S. borealis とは逆に, 北見農試のほ場で *Typhula* spp. を検定するには, 土壤凍結を防止することが難しく, 発病が十分でなかった。Bruehl et al. の低温恒温室を利用した接種検定の方法は比較的精度を高めることが可能であり, 常発地帯ではほ場検定の結果とも一致しており, 優れた方法といえる。しかし, 育種に利用するという点では, 大量に処理できる簡便法をさらに検討していく必要がある。

耐凍性の検定方法としては, 地表露出法, 冠部凍結法ともに優れた方法であり, 両者の間に処理温度のちがいはあるが, 処理法に対する品種の反応はおおむね一致した。

2. 抵抗性母材について

抵抗性母材については, アメリカ^{3, 31)}, ソビエト²⁵⁾, カナダ²⁶⁾, 北欧¹⁴⁾, 日本本州^{15, 20, 28)} および北海道^{8, 9, 10, 12, 16)} の報告をもとに多数収集し, 数カ年にわたってはほ場での検定を続けてきたが, これらの材料はそれぞれの栽培地帯の環境を背景とした特殊性を反映しており, 冬損の諸要因に対しすべて抵抗性をもつ材料は見出されなかった。この実験の供試材料は, それら品種のうち特徴的と思われるものと, 道内の育成品種および系統に限定されたが, はば要因別に特性を代表しているものと考えられた。

S. borealis に対する抵抗性母材は, 外国での検定報告が少なく, 北見農試における過去の成績^{9, 10)} が取扱った材料も多い。その結果によると, 耐寒性品種は *S.*

borealis に対しても強いことが示され, $r = 0.682^{***}$ ($n = 36$) の高い相関をえている。これに対し本実験では, $r = 0.443^{*} \sim 0.550^{**}$ ($n = 25$) とやや低かったが, これは主としてソビエトの4品種が耐凍性のわりに, *S. borealis* に対してあまり強くなかったためである。しかし, 総体的には *S. borealis* に罹病することと凍害の関連は強いとみられ, 感染に先立って低温による寄生体の体質的变化を必須条件とする尾崎²³⁾の牧草における結論を支持する結果となる。なお, 検定方法を異にする他の報告^{9, 10)} の品種間差異との細部のちがいについては, 蔓延の生理機構の解明が必要と思われる。

Typhula spp. に対する抵抗性母材については, *T. ishikariensis* と *T. incarnata* の両菌に対して総合すると Bruehl et al.³⁾ の選抜材料がもっとも優れ, 北海道の育成材料にもそれに準ずるものが幾つか認められる。また両菌に対する品種の反応は全体的に類似している。ただし厳密には両菌に対する抵抗性には多少の差のある可能性も含まれている。Bruehl and Cunfer⁴⁾ によれば, 「C.I. 9342」は積雪100～120日のワシントン州で「C.I. 14106」より優り, 「C.I. 14106」は積雪期間150日以上アイダホ州で常に「C.I. 9342」より強い。一方, 貯蔵炭水化物含量は「C.I. 9342」で少なく, 含量の多い「C.I. 14106」の耐病性が積雪期間のより短いワシントン州で低いことから, 「C.I. 9342」は未知の抵抗性要因を持っている可能性があるとしている。本実験においても, Fig. 3. のbおよびcグループの品種に, *T. ishikariensis* と *T. incarnata* に対して異なる反応を示すものが認められている。

耐凍性の母材としては, ソビエトおよびアメリカ中央北部育成の品種がきわめて強い。また Roberts and Grant²⁶⁾ Warnes and Johnson³¹⁾ の報告にみられるアメリカ, カナダの強品種についてもほぼ同等の強さともみられ, 予備試験の段階でも「Winoka」, 「Kharkov」は最強に評価された。

3. 品種の分類について

耐凍性と *S. borealis* 抵抗性あるいは *T. ishikariensis* と *T. incarnata* 抵抗性はそれぞれ正の有意な相関があり, 前2者と後2者の間には有意な関係がないことから, Fig. 3. のように4つのグループに品種系統を類別することができる。すなわち, いずれの冬損要因にも弱いA群は耐冬性弱型であり, B群は耐寒型, C群

は耐寒, 耐雪の中間型, D群は典型的な耐雪型となる。耐雪性の概念には, 積雪下での衰弱と耐病性の相互関係など, なお未知の生理的要因を含むとみられるが, ここでは *Typhula* spp. 抵抗性を代表するとみることができる。

4. 抵抗性の相互の反応性について

すでに述べてきた諸要因の抵抗性相互の間には, 一方的な選抜によって他方の抵抗性を低下させ兼ねない懸念を含むものがある。広川^{8, 12)}は, 札幌における5カ年の冬損被害度と北見における3カ年の凍害被害度との相関を求め, $r = 0.422$ ($n=20$) をえた。そしてさらにこれから札幌における小被害年に対する大被害年の被害度増加率と北見の凍害被害度との相関を求め, $r = -0.531^*$ と有意な負の関係をえている。このことから耐凍性品種は多雪地帯では年次変異の中が大きく, 積雪の早いほど被害が著しいとしている。

本実験においてもTable 2.の凍害と*T. incarnata*あるいは*S. borealis*と*T. incarnata*の関係でも, *T. incarnata*の少発生年(1979)で相関は高く, 多発生年(1978)で低くなっている。さらに被害の厳しい年次では, 接種検定による*T. ishikariensis*と凍害および*S. borealis*との関係に近づくことも考えられる。Fig. 3. によれば*S. borealis*と*T. ishikariensis*の間には全体として負の傾向が示されている。しかし負の相関は有意ではなく, 道内育成の10品種系統が*S. borealis*と*T. ishikariensis*の両者に強いグループとして存在する。このことは, この両菌抵抗性を兼備する卓越品種, あるいは種々の雪腐病に対し広く抵抗性を示す耐凍性品種を育成することが可能と考えられる。

この目的のために行った, 耐寒型×耐雪型の雑種後代を北見と札幌で相互に選抜した実験^{24, 27)}によると, *S. borealis*と*Typhula* spp.の両者に強い系統は, 強い淘汰を加えた集団からよりも, むしろ弱い淘汰を加えた集団から多く見出されている。

これらのことは, 本実験でとりあげた3種の雪腐病と凍害のほか, 紅色雪腐病を含めて耐病性検定を的確に行う必要があると同時に, 選抜強度に対する検討も重要であることを示唆している。

引用文献

- 1) 阿部二郎, “イネ科牧草の耐寒性に関する品種間差異”. 日草誌. 25, 279~284 (1980)
- 2) 阿部直隆, “麦類雪腐病に対するチオファネートメ

チル剤の効果について”. 北農. 40 (5), 30~41 (1973).

- 3) Bruehl, G. W., Sprague, R., Fischer, W. R., Nagamitsu, M., Nelson, W. L., Vogel, O. A. “Snow mold of winter wheat in Washington”, Wash. Agric. Exp. Stn. Bull. 677, 1-21 (1967).
- 4) Bruehl, G. W., Cunfer, B. “Physiologic and environmental factors that affect the severity of snow molds of wheat”. Phytopath. 61; 792-799 (1971).
- 5) Cormack, M. W., Lebeau, J. B. “Snow mold infection of alfalfa, grasses and winter wheat by several fungi under artificial conditions”. Can. Bot. 37; 685-693 (1959).
- 6) Dorofeev, V. F. “Evaluation of material for frost and drought resistance in wheat breeding”. I. B. P. No. 2; Camb. Univ. Press, 1975 211-222
- 7) 北海道経済部編. 北海道農業試験場化編, “麦類雪腐病の防除法に就いて”. 農事指導資料, 1949.
- 8) 北海道農業試験場作物部作物第2研究室編, “麦類の耐雪性に関する研究”. 昭和33年度試験成績書, 1958.
- 9) 北海道立農業試験場北見支場編, “耐凍性に関する研究”. 昭和30年度秋播麦類試験成績書, 1955.
- 10) 同上編, “同上”. 昭和31年度秋播麦類試験成績書, 1956.
- 11) Hirai Tokuzo, “Studies on the Nature of Disease Resistance in Plants. A contribution to the knowledge concerning the mechanisms of infection of plants by the weak pathogenic fungi under snow-cover and the nature of disease resistance against fungi or viruses on the basis of histo- and cytochemical observations” Forsch. a. d. Gebiet d. Pflanzenkrankh. (Kyoto) 5, 139-157 (1956).
- 12) 広川文彦, “麦類の耐雪性検定法に就いて”. 日本育種・作物・遺伝学会北海道談話会講演要旨, 1960
- 13) 広川文彦, “PCPによる冬損防止と雑草防除”. P CP 協議会資料, 7, (1963).
- 14) Jamaleinen, E. A. “Resistance in winter cereals and grasses to low-temperature parasitic fungi” Plant Dis. Rep. 12, 281-302 (1974).

- 15) 木村幹男, 平井篤造. “ムギ類雪腐病に関する研究. 第 6 報. ムギ類品種の抵抗性検定方法”. 東北農業. 5 (5. 6), 259-261 (1952).
- 16) 国井輝男. “上川地方における秋播小麦の冬損に関する研究”. 北農. 45 (11), 13-24 (1978).
- 17) 楠 隆. 長内俊一. “寒地における秋播小麦の耐寒性検定について”. 日作紀. 23, 135 (1954).
- 18) 楠 隆. 長内俊一. 伊藤平一. “北見地方火山灰地における秋播小麦の冬損を支配する要因についての一実験”. 北農研抄. 3, 4-5 (1956).
- 19) 楠 隆. 長内俊一. “秋播小麦雑種初期世代の耐寒性に関する集団選抜の効果”. 9, 1-6 (1959).
- 20) 松尾考嶺. 野村 正. 岩切 嶸. “農作物の雪害防除に関する試験成績”. 農商省農政局. 1944
- 21) 能代昌雄. “イネ科牧草の凍害と雪腐大粒菌核病発生との関連”. 日草誌. 25, 386-388 (1980).
- 22) 農林水産技術会議事務局編. “大型機を中心とする秋播小麦栽培技術体系 — 北海道東部畑作地帯における —”. 1967. p. 39 (地域標準技術体系 畑作No.8)
- 23) 尾崎政春. “オーチャードグラス雪腐大粒菌核病の発生生態”. 北海道立農試集報. 42, 55-65 (1979).
- 24) 尾関幸男. “小麦育種の現状と展望”. 日本育種学会作物学会北海道談話会会報 別冊第 2 号 第 12 回シンポジウム資料. 1974.
- 25) プルツコーバ. M. T. “冬小麦の品種と耐寒性”. 育種と採種. 4, 23-29 (1970).
- 26) Roberts, D. W., Grant, M. N. “Changes in cold hardiness accompanying development in winter wheat” Can. J. Plant Sci. 48, 369-379 (1968).
- 27) 佐々木宏. “北海道における小麦育種の現状と問題点”. 北海道土壤肥料研究通信 第 24 回シンポジウム 特集号. 1977. p10-25
- 28) 瀧島英策. “小麦の耐雪性に関する研究”. 農及園. 18 (9), 922-926 (1943).
- 29) 富山宏平. “麦類雪腐病に関する研究”. 北海道農試報告. 47, 1-234 (1955).
- 30) 富山宏平. “ムギ類の雪腐病”. 日植病報. 31 (記念号), 200-206 (1965).
- 31) Warnes, D. D., Jonson, V. A. “Crown-freezing and natural survival comparisons in winter wheat” Agron. J. 64, 285-288 (1972).

Winter Wheat Breeding for Resistance to Snow Mold and Cold Hardiness

1. Development of Testing Method and Application for the Classification of Resistant Varieties

Yoichi AMANO and Sachio OZEKI^{*}

Summary

Winter hardiness is one of the most important subjects in winter wheat breeding in Hokkaido. It has been recognized that the winter injury of wheat plants are attributed directly to several snow molds and indirectly to freezing injury. Thus, it is indispensable for winter hardiness to consider each components that confer the wide or specific resistance for these snow molds and freezing injury, and to develop selection procedure and/or testing method for each of them.

In this experiment, several testing methods for resistance to *Sclerotinia borealis*, *Typhula ishikariensis*, *Typhula incarnata* and freezing injury were devised and using those methods, 25 varieties originated from U.S.S.R., U.S.A., Holland and Hokkaido were tested.

Results obtained are summarized as follows;

For testing resistance to *S. borealis*, wheat plants were grown under the high ridge condition in field and sprayed with ascospores suspension of pathogen. It was more efficient than to do under the level or furrow conditions in field.

The inoculation of *Typhula* spp. to wheat plants was done under the snow mold chamber using techniques developed by Bruehl et al. (1967). The difference between varieties in resistance to *T. ishikariensis* and *T. incarnata* was clearly observed 55 and 90 days after inoculation respectively. For the evaluation of varietal difference to *T. ishikariensis* this inoculation method was applied and for that to *T. incarnata* field test at Rice Crop Division, Hokkaido Central Agr. Exp. Stn. was referred to.

Natural exposing (-25°C) and artificial crown-freezing (-14°C) methods were applied to testing of cold hardiness. Both of them were very effective.

As the results of screening, following wheat varieties were identified as useful materials for resistance to each disease and injury. However they are inferior to commercial varieties in other agronomic characters.

Iohardi, Hokkai 48 : resistant to *S. borealis*.

C.I.14106, P.I.172582, P.I.173438 : resistant to *T. ishikariensis*.

C.I.14106, P.I.173438, Norin 62 : resistant to *T. incarnata*.

Lietescens 329, Valujevskaja : resistant to freezing injury.

None of resistant materials to both *S. borealis* and *T. ishikariensis* was found. Correlation of resistance to the above two pathogens in 25 varieties was -0.339 and was not significant. Resistance to *S. borealis* and cold hardiness were closely related. Also resistance to *T. ishikariensis* and *T. incarnata* was highly correlated.

^{*} Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experimental Station, Kun-neppu, Hokkaido, 099-14 Japan.