

秋播小麦の雪腐病抵抗性と耐凍性育種

III. 低温順化に関する品種の生態的

特性と抵抗性との関係

天野 洋一* 長内 俊一**

秋播小麦の25品種系統を用い、訓子府と岩見沢で越冬前後の生育量と体内成分の蓄積量を比較した。調査した20形質のほとんどは場所、時期、品種および越冬型間に有意性があり、訓子府では生育量は小さいが水分が少なく、炭水化物や糖の蓄積が多く、その消耗も少なかった。越冬前に蓄積の多い品種に越冬後もなお多量の炭水化物を維持した。浸透価は耐凍性と、リン酸と脂質は *Sclerotinia borealis* と、蛋白態窒素と全炭水化物は *Typhula* spp. と *Fusarium nivale* 抵抗性との間にきまめて高い相関を示した。越冬前後の22形質の主成分分析により、品種の生態的特性を4群に分類したが、これは前報の越冬型(A, 非耐凍型; B, 耐凍型; C, 中間型; D, 耐雪型)とよく一致した。耐雪型で、*Typhula* spp. および *F. nivale* 抵抗性の“C. I. 14106”, “P. I. 172582”, “P. I. 173438”は炭水化物や糖の蓄積がきわめて多く、蛋白態窒素、リン酸、脂質が少なく、浸透価も低かった。これらの特性は遺伝的特異性に基づくものと思われた。

緒 言

秋まきの小麦をはじめ越冬性の植物では、秋から冬にかけて耐凍(寒)性を著しく高めるが、それに対応して代謝系、細胞の構造や成分が著しく変り、また比較的低温下で糖類、核酸、蛋白質、膜脂質などが著しく増大する。これら耐凍性増大をひき起す一連の変化は総称して cold acclimation (低温順化) とよばれる(酒井, 1980)¹⁴⁾。

積雪下の小麦は炭水化物の消耗、蛋白の分解、雪腐病菌による感染の3相を経過し(Tumanov, 1935)、あるいはアンモニア態窒素がふえて原形質を害する(松尾等, 1944)等の考え方に対し、富山(1955)²⁰⁾は炭水化物の消耗に続いて蛋白分解が来るのではなく、老葉では初期から糖が充分にあるにかかわらず蛋白含量の低下、可溶性窒素の増

加が起り、抵抗性の低下が起るとした²¹⁾。

Bruehl and cunfer (1971)⁹⁾は *Typhula idahoensis* に抵抗性の品種は炭水化物の蓄積量が多く、積雪下の消耗が緩慢で、葉色が黄化し易いことから、機能しない葉を犠牲にして冠部を強くすることが生存のメカニズムであるとしたが、その後 Kiyomoto and Bruehl (1977)⁶⁾は、抵抗性の品種は本来的にいかに多くの炭水化物を蓄積するかよりも、雪腐病に攻撃されたあとに、いかに多くの炭水化物が残されているかという点で罹病性の品種と異なるとした。積雪下の少ない呼吸量で生命活動を維持し、しかも春には冠部が枯れた葉に代るエネルギーを十分に残すからである。

これらのことは、多くの細胞内物質が耐凍性に関与し、複雑にからみ合い、あるいは原因となり結果となって耐凍性を備えているが⁴⁾、それらの蓄積や消耗のパターンには品種の特異性がありそうである。

本報は越冬環境の異なる北見農試(訓子府町)と中央農試稲作部(岩見沢市)で、低温順化による品種の生態的特性を比較し、それらと前報¹⁾で明

1983年10月13日受理

*北海道立北見農業試験場(常呂郡訓子府町, 099-14)

**北海道立中央農業試験場稲作部(現北海道立上川農業試験場, 078-02, 旭川市)

らかにした耐凍性ならびに雪腐病抵抗性との関係を知り、越冬型 (Wintering type) の生態的特性を総合的に把握しようとした。

材料および方法

1. 供試材料

前報¹⁾と同じ25品種系統を用いた (Table 2)。

試験場所	播 種 年 度	播種期 月・日	サ ン プ リ ン グ 月・日					サン プ リ ン グ 個 体 数	根雪始 月 日	融雪期 月 日
			10. 30	11. 20	12. 12	1. 5	4. 20			
訓 子 府	1978	9. 15	○	○	△	○	○	30	12. 4	4. 6
	1979	9. 15		○			○	30	12. 8	4. 20
岩 見 沢	1978	9. 9	○	○	○		○	25	12. 2	4. 19
	1979	9. 12		○				40	12. 2	4. 19
恒温恒湿室	1981	9. 17			○			25	11月20日より50日	

注) △:「ホロシリコムギ」のみ

3. 分析項目と分析法

上記の各時期に小麦を圃場より掘り出して根を洗い、濾紙で付着水を吸いにとって地上部の生重を測定、草丈・茎数を調査後、105°C20分処理し、80°Cで16時間通風乾燥して乾物重を測定、乾物率を計算した。この地上部乾物を用いて以下の分析に供した。

粗デンプン: 0.25gの乾燥粉末試料に0.7N 塩酸30mlを加え、煮沸湯煎中で2.5時間加水分解する。この分解液をフェリシアン化カリウム還元法で全還元糖を定量する。この値から全糖量を差引き、0.8を乗じた値を粗デンプンとした。

全糖: 1.0gの乾燥粉末試料に80%アルコール30mlを加えて湯煎中で60分間煮沸抽出を行う。冷却後上澄液をろ別し、残渣をこの操作で4回反復抽出する。抽出液アルコールの蒸発揮散後、0.7Nの塩酸濃度になるように塩酸溶液を加え、煮沸湯煎中で加水分解する。分解液はデンプンと同様にフェリシアン化カリウム還元法で還元糖を定量する。この全糖はブドウ糖として表示した。

還元糖: 全糖に記した80%アルコール抽出液の還元糖をフェリシアン化カリウム還元法で定量した。この還元糖の値はブドウ糖として表示した。

非還元糖: 全糖から還元糖を差引いた。

以上はいずれも中央農試稲作部のテクニコン社製オートアナライザーによった。

蛋白態窒素および全窒素: 蛋白態窒素はバルン

2. 耕種概要とサンプリング時期

1978年と1979年、訓子府と岩見沢において1区80個体が3反復で系統栽培され、施肥量は基肥としてそれぞれ8-15-10および8-13-7 kg/10aを施用した。各年の播種期、調査時期および季節は次のとおりである。

スタイン法により非蛋白態窒素を除去、いずれもケルダール法で定量した。

リン酸: メタバナジン酸アンモニウムを使い比色法によった。

カリ: 炎光分析法によった。

ケイ酸: 乾式灰化後重量法により定量した。

脂質: ソックスレー法によった。

浸透価: 第3葉葉身中肋の裏面表皮細胞について CaCl_2 溶液で原形質分離を行い、モル濃度を測定した。なお、この細胞の中および気孔数をあわせて調査した。

以上の項目は各年、各時期のすべてに行われたものではなかったが全品種を対象とした。

4. 品種分類のための主成分分析

訓子府における1978年11月20日および1979年4月20日の分析項目22形質、25品種系統のデータを用い、主成分分析法¹³⁾により、総合的な判断による品種の分類を行った。

実 験 結 果

1. 生育量と体内成分の季節的变化

冬季土壌が凍結する訓子府と凍結しない岩見沢における、1978年秋から1979年春にかけての平均気温と積雪量、日照時数を Fig. 1 に示した。岩見沢では平均気温がマイナスになるのは12月上旬であり、その時はすでに根雪となっている。訓子府では11月中旬に平均気温がマイナスとなるが、本

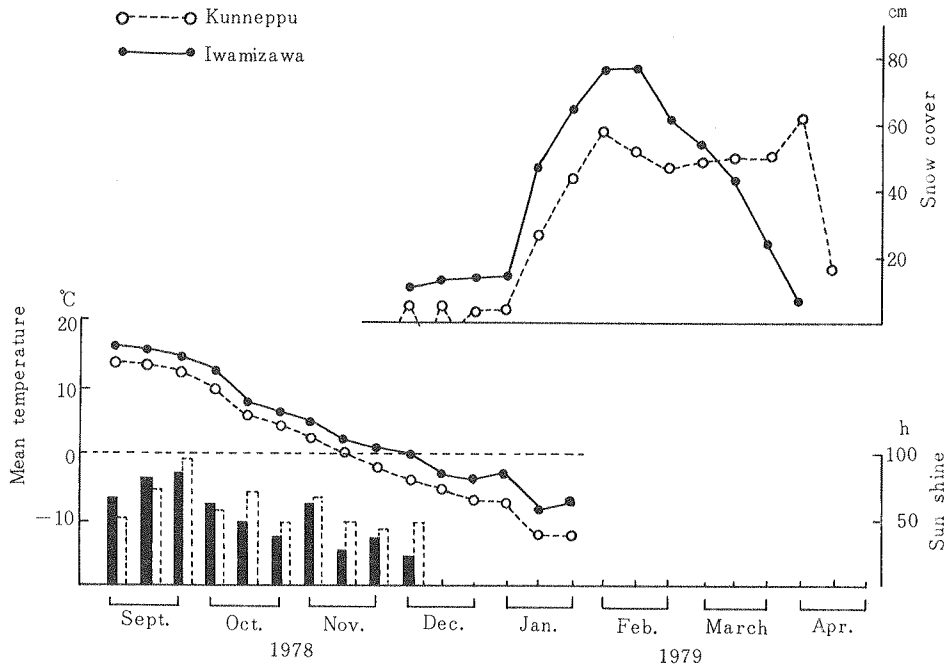


Fig. 1 Mean temperature, sun-shine, and snow cover at Kunneppu and Iwamizawa.

格的な積雪は12月下旬からである。

9月中旬にまかれた小麦は、訓子府ではほぼ10月一杯、岩見沢では11月上旬に植物体の大きさが決定される。さらに根雪まで低温順化が進み、積雪下の状態を経て融雪後再び地上に姿を表わす。この間の小麦の生育量と体内成分の推移を25品種の平均値で示したのが、Table 1である。ただし岩見沢の融雪後のデータは「ホロシリコムギ」のみである。

乾物重、乾物率、炭水化物および糖類、粗デンプンはI（10月30日）からII（11月20日）にかけて急激な増加を示し、根雪直後のIII（訓子府，1月5日：岩見沢，12月12日）に多少増加するものもあるが、ほぼ11月一杯で最高に達し、IV（4月20日）の融雪後に急激な低下がみられる。調査は十分でないが蛋白態窒素はこのパターンを示し、可溶性窒素はその逆となり、リン酸、カリ、ケイ酸、灰分は秋季低温とともに低下した。

これらの傾向は訓子府と岩見沢ではほぼ同一であるが、絶対量ないし含有率は両地間に顕著な差がみられる。乾物重は岩見沢の播種期が6日早かったことと、平均気温が2℃高く経過したことによるが、各時期とも訓子府の2倍近い大きさを示し

た。しかし、訓子府は岩見沢より乾物率で3—10%，全炭水化物で6—8%，全糖および非還元糖で2—5%，粗デンプンで3—5%高かった。

Table 1の18形質について、それぞれ対応する場所、時期、品種をこみにした分散分析を行った。その結果、場所間と時期間で次の関係が有意となった。ただし2場所、3時期以外に対応する時期と場所を（ ）に示してある。

岩見沢>訓子府：乾物重、リン酸(II, III)、カリ(II, III)、灰分(III)、草丈(II)、莖数(II)。

訓子府>岩見沢：乾物率、全炭水化物、全糖、非還元糖、粗デンプン、C/N(II, III)、ケイ酸(II)。

III>II>I：乾物率

III, II>I：乾物重、全炭水化物、全糖、非還元糖、粗デンプン

II>III：リン酸、カリ

I>II, III：ケイ酸、灰分（訓子府）

なお、還元糖と全窒素については場所×時期の交互作用が有意に大きく、場所および時期の差は認められなかった。

秋季の増加率(III/I)が最も緩慢なのは岩見沢の乾物率で1.2倍、最も急激なのは訓子府の乾物重で1.7倍、炭水化物、全糖、非還元糖は1.3~1.6倍

形	質	越冬型間の差	最 大	最 小
草	丈	D>A>B C>B	P. I. 172582	Valujevskaja
乾	物 重	D>C>A>B	タクネコムギ	Minturki
乾	物 率	D>B, C>A	P. I. 173438	Ibis
全	炭 水 化 物	D>C, B>A	C. I. 14106	Ibis
全	糖	D>C, B>A	C. I. 14106	Ibis
非	還 元 糖	D>C, B>A	C. I. 14106	Ibis
粗	デ ン プ ン	D>B, A C=B=A	P. I. 172582	北見18号
全	窒 素	A>B, C>D	Ibis	P. I. 173438
蛋	白 態 窒 素	A>B, C>D	Ibis	P. I. 172582
可	溶 性 窒 素	B, A>C>D	北見18号	P. I. 173438
C	/ N	D>C, B>A	P. I. 173438	Ibis
リ	ン 酸	A, B, C>D	Minturki	P. I. 173438
カ	リ	A>B, C>D	北見18号	P. I. 172582
ケ	イ 酸	A>B, D C>D	Ibis	C. I. 14106
灰	分	A>B>D B=C	北見18号	C. I. 14106
脂	質	A, B, C>D	Ibis	C. I. 14106

である。雪下の減少率(IV/III)は乾物重が少なく、乾物率は粗デンプンとともに比較的少ない。これに対し全炭水化物はほぼ1/2、全糖・非還元糖は1/2以下と著しかった。

つまり、岩見沢では越冬前の生育量はよく確保されるが、水分が多く、炭水化物や糖の蓄積が少なく、雪下の消耗が大きいのにに対し、訓子府では生育量は小さいが、水分が少なく、炭水化物や糖の蓄積が多く、その消耗も少ないということになる。

2. 越冬前の生育量と体内成分の品種間差異

場所と時期をこみにした分散分析の結果、Table 1の形質のうち還元糖と茎数を除く16形質は品種間に有意性が認められた。場所と時期の平均値の一覧がTable 2である。また前報⁷⁾で検定、分類された越冬型(A, 非耐凍型; B, 耐凍型; C, 中間型; D, 耐雪型)間には次の関係が有意である。

上表によると、草丈、乾物重、乾物率、全炭水化物、全糖、非還元糖、粗デンプン、C/NはいずれもD>Aである。これに対し全窒素、蛋白態窒素、可溶性窒素、リン酸、カリ、ケイ酸、灰分、脂質はA>Dである。つまり、耐雪型(D)では植物体が大きく炭水化物の蓄積も多いが、窒素、リン酸、カリが少なく、非耐凍型(A)では植物体はむしろ大きい方であるが、炭水化物が少なく、窒素、リン酸、カリが多い。耐凍型(B)と中間型(C)

はいずれもAとDの中間にあるが、BとCの間には有意差が認められなかった。

訓子府と岩見沢の場所間の相関を時期別にみると、IIおよびIIIの時期ともに還元糖のみが有意でなかった。茎数および粗デンプンはやや低かったが、他にケイ酸の0.583** (II) が最低で、最高は乾物率の0.905*** (III) までいずれも高い関係が認められた。

I : II, II : IIIの各時期間の相関を場所ごとにみると、還元糖と粗デンプンが低く、非還元糖は訓子府の初期で小さく後期で高く、岩見沢では初期も後期も高かった。その他は最低の全糖0.569*** (訓子府, I : II) から最高の全窒素0.909*** (訓子府, II : III) の間にあった。一般的に植物体の大きさと炭水化物は越冬前の初期よりも後期の関係が密接になり、窒素、リン酸、カリ、ケイ酸、灰分はいずれの時期も高い関係を示した。

以上要するに、越冬前の生育量と体内成分はすでに10月末には品種の特性がほぼ明らかとなり、場所間においても平行的である。しかし、この時期の炭水化物は未だ蓄積不十分で、最高に達するのは11月末ないし12月はじめとなるが、実質的にはその年の根雪の早晩に規定される。この間、耐雪型の品種は生育量と炭水化物の蓄積が多く、逆に窒素、蛋白態窒素、リン酸、カリ、ケイ酸、灰分、脂質の少ないことが明らかである。

Table 1 Means of agronomic characters and reserve substances contents for 25 varieties at Kum-neppu and Iwamizawa, 1978-1979.

Trial locations Seasons	Kum-neppu							Iwamizawa					
	I	II	III	IV	III/I	IV/III	IV/III ¹⁾	I	II	III	IV*	III/I	IV/III ²⁾
	Oct. 30	Nov. 20	Jan. 5	Apr. 20	%	%	%	Oct. 30	Nov. 20	Dec. 12	Apr. 20	%	%
Dry weight mg/plant	319	534	550	479	172	87	93	675	1104	1046	876	155	78
Percent. dry matter	21.5	26.0	31.2	21.0	145	67	69	18.1	19.9	20.8	15.2	115	76
Total carbohydrate %	32.4	41.7	44.1	25.0	136	57	51	24.7	35.5	36.2	15.5	147	41
Total sugar %	16.7	21.5	23.8	10.6	143	49	47	14.2	19.9	19.6	8.8	138	37
Reducing sugar %	3.3	2.2	6.0	3.9	182	65	75	4.0	3.9	3.6	1.6	90	43
Non-reducing sugar %	13.4	19.3	17.8	6.7	133	38	39	10.3	16.1	16.0	7.2	155	36
Crude starch %	15.8	20.3	20.3	14.5	128	71	52	10.5	15.6	16.6	6.7	158	49
Total nitrogen %	4.41	3.88	3.73	4.31	85	116	120		3.94	3.64	4.50		124
Proteinous nitrogen %		3.12		2.60						2.56			
Soluble nitrogen %		0.76		1.71						1.40			
C/N**	7.3	10.7	11.8		161				9.0	9.2			
Phosphoric acid %	1.18	1.02	0.91		77				1.04	1.04			
Potassium %	2.49	2.31	2.19		88				2.36	2.27			
Silic acid %	1.43	1.20	1.25		87				0.98				
Ash %	7.15	5.52	5.94		83				6.15				
Lipid %		3.2	3.2										
Plant height cm		18.8							21.8				
No. of tillers		7.3							12.7				

Note : ¹⁾ Data taken for variety, Horoshiri; ²⁾ Total carbohydrate/Total nitrogen

3. 越冬前・後の体内成分について

訓子府における越冬前 (II) と越冬後 (IV) の体内成分を越冬型別の平均値で示したのが Table 3 である。II から IV への減少率ないし増加率は越冬型によってその程度が異った。すなわち、A は乾物重、全糖、非還元糖の消耗がはげしく、粗デンプンの消耗が少ないのに対し、B、C、D はその逆であった。B、C、D の間には大差は認められないが、D の乾物率や非還元糖の消耗は B、C よりもやや大きく、これは主として越冬前の蓄積量の大きかったことによる。また D の越冬後の可溶性窒素は他の型に比べて著しく少なかった。

越冬前と越冬後の体内成分の相関は、還元糖と粗デンプンを除くといずれも有意に高かった。また秋の蓄積量と雪下の減少量との間にも有意に高い相関がえられたが、全窒素には相関がみられなかった。窒素の吸収は低温下で衰え、融雪後再び活発になるためである。一般的に乾物重、乾物率および糖類では、秋によく蓄積される品種は越冬

後の含量も高いということになる。

越冬前 (II) と越冬後 (IV) の全炭水化物について、1978 年と 1979 年の 2 カ年をこみにした分散分析を行うと、年次、時期、品種間がいずれも有意で、越冬型間には $D > A$ の関係が有意であった。B、C 型はその中間にあるが、越冬前は $D, C > A$ 、越冬後は $D, C, B > A$ の関係が有意に認められ、いずれも A 型が最も低かった。

越冬前における全炭水化物の 25 品種の平均値は 1978 年、41.7% (最大 54.0 ~ 最小 35.4) ; 1979 年、34.8% (39.9 ~ 28.9), また越冬後はそれぞれ 25.0% (30.0 ~ 21.6) と 23.6% (25.9 ~ 20.7) で、年次によって異なり、その差は越冬前で大きく越冬後で小さかった。しかし年次間の相関は越冬前 0.751***, 越冬後 0.767*** といずれも高く、年次が異っても品種間差異はほぼ平行的であった。

4. 生育量、体内成分と凍害および雪腐病抵抗性との関係

前報¹⁾で検定した凍害 (1977, '79), *Sclerotinia*

Table 2 Combined means of 25 varieties grown under two locations and three hardening seasons in 1978.

Wintering type ¹⁾	No.	Varieties	Dry weight mg/plant	Percent. dry matter	Total carbohydrate %	Total sugar %	Non-reducing sugar %	Crude starch %	Total nitrogen %	C/N ratio	Phosphoric acid %	Potassium %	Silicic acid %	Ash %	Proteinous nitrogen %	Soluble nitrogen %	Plant height cm	Lipid %
A	10	Gaines	620	21.6	32.3	16.9	12.8	15.4	4.06	8.9	0.99	2.43	1.38	6.65	3.06	1.03	19.2	3.2
	11	Ibis	554	21.1	29.7	14.3	10.8	15.4	4.55	7.1	1.03	2.31	1.64	6.75	3.18	1.48	16.6	3.8
	23	Takune	907	21.8	34.3	18.5	14.0	16.0	3.96	9.7	0.99	2.39	1.29	6.38	3.11	0.87	21.1	3.0
		<u>x</u>	694	21.5	32.1	16.5	11.6	15.6	4.19	8.5	1.00	2.37	1.44	6.59	3.11	1.12	19.0	3.5
B	1	USSR 40604	599	23.3	34.9	19.5	15.2	15.4	3.98	9.6	1.04	2.20	1.25	5.92	2.88	1.12	18.1	3.0
	2	Moscow 1	653	24.0	36.2	20.8	16.3	15.4	3.81	10.5	1.03	2.22	1.20	5.87	3.03	0.74	19.6	3.5
	3	Valujev	587	23.4	38.5	21.9	17.9	16.6	3.63	11.4	0.98	2.29	1.10	5.87	2.58	1.02	14.9	3.6
	4	Lietescens	538	24.1	37.4	22.2	18.4	15.2	3.78	11.2	0.95	2.15	1.10	5.52	2.74	1.11	17.4	3.0
	5	Iohardi	609	23.9	34.5	18.7	15.0	15.9	4.12	9.1	1.05	2.30	1.20	6.13	2.84	1.33	18.3	3.3
	6	Minturki	519	22.1	33.6	16.6	13.1	17.0	4.22	8.7	1.18	2.36	1.30	6.64	3.01	1.20	16.0	3.5
	20	Kitami 18	588	20.5	29.7	15.4	12.0	14.3	4.57	7.2	1.10	2.50	1.46	7.35	3.24	1.49	18.0	3.6
	25	Kitakei 840	775	22.9	34.0	17.3	13.7	16.7	3.91	9.7	1.02	2.37	1.31	6.57	2.91	1.13	20.8	3.4
		<u>x</u>	609	23.0	34.9	19.1	15.2	15.9	4.02	9.7	1.05	2.30	1.24	6.24	2.90	1.14	17.9	3.3
C	12	Akasabi 1	722	22.2	33.5	17.3	13.9	16.2	4.16	8.8	1.14	2.35	1.43	6.71	2.89	1.37	23.9	3.8
	13	Norin 8	771	23.2	35.1	18.4	14.8	16.7	3.91	10.0	0.99	2.32	1.27	6.27	2.88	1.20	20.1	3.4
	15	Hokkai 48	732	22.9	34.3	18.3	14.7	16.0	3.90	9.6	1.09	2.32	1.32	6.26	2.97	0.91	23.4	4.1
	16	Hokuei	880	23.0	37.8	20.3	16.9	17.5	3.79	10.9	0.98	2.31	1.36	6.06	2.89	0.93	21.6	3.3
	17	Kitami 1	751	21.8	36.5	20.7	17.2	15.8	3.90	10.1	1.03	2.34	1.33	6.28	2.95	1.02	19.5	3.8
	18	Kitami 2	774	22.6	36.2	19.2	15.5	17.0	3.81	10.4	0.98	2.30	1.36	6.36	2.76	1.01	23.1	3.3
	19	Kitami 3	751	22.6	34.6	19.7	15.9	14.9	3.90	9.8	0.98	2.31	1.30	6.27	2.89	1.11	22.7	3.3
	21	Muka	764	23.8	35.3	18.9	14.8	16.4	4.03	9.7	1.02	2.27	1.29	6.00	2.87	1.21	20.6	3.4
	22	Horoshiri	703	22.5	36.3	20.3	16.0	16.0	3.75	10.8	1.03	2.41	1.21	6.36	2.86	0.90	20.4	3.2
	24	Kitakei 628	719	22.3	34.6	18.2	14.3	16.4	4.00	9.6	1.07	2.35	1.39	6.38	2.81	1.19	22.0	2.6
		<u>x</u>	757	22.7	35.4	19.2	15.4	16.3	3.91	10.0	1.03	2.28	1.33	6.30	2.87	1.08	21.7	3.4
D	7	C.L. 14106	595	25.3	43.1	24.9	20.8	18.3	3.22	15.3	0.85	2.01	1.11	5.23	2.42	0.79	18.0	2.2
	8	P.L. 172582	793	25.0	42.0	22.6	18.7	20.0	3.41	14.0	0.85	1.99	1.24	5.36	2.28	1.18	25.3	2.3
	9	P.L. 173438	859	25.5	41.5	22.5	19.1	19.0	3.06	15.3	0.84	2.03	1.11	5.43	2.36	0.73	24.5	2.4
	14	Norin 62	890	22.1	38.4	19.4	15.2	19.1	3.51	12.3	0.87	2.30	1.33	6.44	2.60	0.99	22.8	2.3
		<u>x</u>	801	24.5	41.3	22.3	18.5	19.1	3.30	14.2	0.85	2.08	1.20	5.62	2.41	0.92	22.6	2.3
Total means			639	22.9	35.8	19.3	15.5	16.5	3.88	10.4	1.00	2.28	1.29	6.20	2.84	1.08	20.3	3.2
l. s. d. 5%			101	1.1	1.9	1.9	2.0	3.0	0.14	1.0	0.06	0.08	0.13	0.31	0.17	0.41	3.4	0.3
" 1%			135	1.4	2.6	2.5	2.7	3.9	0.18	1.4	0.07	0.11	0.18	0.41	0.23	0.56	4.6	0.5
Locations			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1
Seasons			3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	1	1	1	2

Note : ¹⁾ Wintering type had been classified as A, less-hardy; B, cold resistant; C, intermediate; D, snow endurable by previous paper¹⁾.

Table 3 Reserve substances contents means of wintering types and correlation coefficients between before and after wintering at Kun-neppu, 1978-'79.

Characteristics	Seasons	Varietal group				$\bar{r}_1$	$\bar{r}_2$
		A	B	C	D		
Dry weight mg/plant	$\bar{n}$	3	8	10	4	25	25
	II	546	467	588	681	0.701***	0.527**
	IV	387	432	523	530		
	IV/II %	71	93	89	78		
Percent. dry matter %	II	25.1	26.3	25.5	27.3	0.551**	0.741***
	IV	19.7	21.7	21.0	20.9		
	IV/II %	78	83	82	77		
Total carbohydrate %	II	38.5	40.1	41.7	47.2	0.796***	0.853***
	IV	21.9	24.7	25.0	27.7		
	IV/II %	57	62	60	59		
Total sugar %	II	19.9	21.0	21.3	24.4	0.591**	0.733***
	IV	7.8	10.5	11.3	11.4		
	IV/II %	39	50	53	47		
Non-reducing sugar %	II	17.5	18.5	19.2	22.4	0.585**	0.713***
	IV	4.1	7.2	7.2	7.4		
	IV/II %	23	39	38	33		
Crude starch %	II	18.6	19.3	20.4	23.7	0.353	0.693***
	IV	15.7	14.5	13.6	17.5		
	IV/II %	84	75	67	74		
Total nitrogen %	II	4.18	3.99	3.92	3.36	0.922***	0.061
	IV	4.60	4.41	4.41	3.67		
	IV/II %	110	111	113	109		
Proteinous nitrogen %	II	3.42	3.18	3.16	2.69	0.827***	
	IV	2.79	2.64	2.60	2.37		
	IV/II %	82	83	82	88		
Soluble nitrogen %	II	0.77	0.80	0.76	0.68	0.552**	
	IV	1.80	1.77	1.80	1.30		
	IV/II %	234	221	237	191		

Note : $\bar{r}_1$, Correlation coefficients between II (Nov. 20) and IV (Apr. 20);

$\bar{r}_2$, Correlation coefficients between increments from I (Oct. 30) to III (Jan. 5) and decrements from III to IV.

borealis (1977, '78), *Typhula ishikariensis* (1977), *T. incarnata* (1978, '79) および1979年に接種検定した *Fusarium nivale* の被害度と，訓子府における越冬前 (II) および越冬後 (IV) の植物体の大きさと体内成分の含有率について，25品種の相関を求めたのが Table 4 である。

これによると，①凍害と浸透価との間にきわめて高い相関 (-0.877^{***}) がみられた。これに比べるとかなり弱い，草丈が短く，越冬後の全糖，非還元糖が高く，越冬前のケイ酸の低い方が耐凍性は高い傾向を示した。

② *S. borealis* との間には，越冬前のリン酸，脂質との間に0.1%水準の高い相関があり，これらの含量が高いほど被害度は小さかった。また越冬前・後の全窒素とも5%および1%水準の相関があり，高いほど被害度は少ない傾向を示し，越冬後は主として可溶性窒素に基づいた。これらに比べると全炭水化物，C/N，浸透価との関係はやや劣ったが，浸透価は凍害と共通した。

③ *T. ishikariensis*, *T. incarnata* および *F. nivale* との間に共通して最も高い相関を示したのは蛋白態窒素で，越冬の前後ともに0.1%水準で

Table 4 Correlation coefficients between agronomic characters, reserve substance contents and degrees of injury caused by freezing and snow molds

Characteristics	Seasons	Freezing	S.borealis	T.ishikari-ensis	T.incarinata	F.nivale
Plant height	II	.446*	.061	-.653***	-.411*	-.368
Number of tillers	II	-.144	-.096	.405*	.396	.414*
Dry weight	II	.369	.163	-.541**	-.405*	-.268
	IV	.136	-.026	-.665***	-.653***	-.539**
Percent.dry matter	II	-.229	.156	-.242	-.181	-.408*
	IV	-.370	-.288	.005	-.047	-.279
	Chamber	-.411*	-.267	-.409*	-.505**	-.467*
Total carbohydrate	II	-.076	.403*	-.631***	-.533**	-.655***
	IV	-.214	.187	-.543**	-.498*	-.741***
Total sugar	II	-.079	.372	-.559**	-.286	-.505**
	IV	-.400*	-.076	-.379	-.446*	-.612**
Non-reducing sugar	II	-.044	.376	-.613**	-.338	-.560**
	IV	-.412*	-.105	-.324	-.407*	-.594**
Crude starch	II	.007	.370	-.548**	-.589**	-.637***
	IV	-.012	.365	-.190	-.178	-.354
Total nitrogen	II	.037	-.477*	.643***	.438*	.692***
	IV	.018	-.510**	.553**	.456*	.648***
Proteinous nitrogen	II	.085	-.330	.667***	.657***	.764***
	IV	-.010	-.347	.651***	.629***	.730***
Soluble nitrogen	II	.052	-.263	.287	.112	.298
	IV	-.052	-.543**	.419*	.310	.493*
C/N ratio	II	-.006	.491*	-.637***	-.492**	-.650***
	IV	-.190	.302	-.500*	-.534**	-.672***
Phosphoric acid	II	-.164	-.657***	.388	.218	.319
Potassium	II	-.008	-.383	.348	.221	.433*
Silic acid	II	.447*	-.075	.235	.508**	.619***
Ash	II	.082	-.331	.518**	.392	.620***
Lipid	II	-.214	-.685***	.568**	.409*	.510**
Osmotic value	II	-.877***	-.484*	.113	-.309	-.363

有意であった。つまり蛋白態窒素が多いと被害度は増大した。全窒素、全炭水化物、C/N がこれに次ぎ、全糖、非還元糖との関係はやや劣った。乾物率との間には恒温恒温室での測定値が5%および1%水準で有意であったが、圃場の測定値との間にはほとんど関係がなかった。

また越冬前の脂質との関係は有意に高く、脂質が多いと被害度は増加した。しかし、*S. borealis* とは正負が逆転した。同様な逆転は全窒素にもみられた。なお、草丈は高くなると被害度が小さくなる傾向にあり、凍害の場合と逆転した。

ところで、植物体の大きさと体内成分、あるいは体内成分各形質間には当然何らかの関係のある

ことが多い。ここでは訓子府における1978年の越冬前(II)の17形質間の相関表をTable 5に示した。

この表から大まかにいえば、植物体の大きさとしては草丈と乾物重は密接であるが、これらと体内成分との間には何らの関係も認められない。体内成分では乾物率と一連の炭水化物との関係は密接であるが、粗デンプンは乾物率に反映していない。これらと窒素はいずれも負の相関が高い。リン酸とカリの関係は密接であり、炭水化物、窒素と高い関係を示し、灰分とは当然高い。リン酸は茎数と乾物率を増加させるが、カリは逆に乾物率を低下させている。脂質は乾物率、炭水化物とは

Table 5 Simplified table of correlations among each characteristic of agronomic character and reserve substances contents before wintering at Kun-neppu, 1978

Characteristics	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 Plant height		+++														
2 No. of tillers			-	+			-				+					
3 Dry weight																
4 Percent. dry matter				+++	+++	+++		---	---		++	---	---	---	---	---
5 Total carbohydrate					+++	+++	+++	---	---		---	---	---	---	---	---
6 Total sugar						+++	+	---	---		---	---	---	---	---	---
7 Non-reducing sugar							++	---	---		---	---	---	---	---	---
8 Clude starch								---	---		---	---	---	---	---	---
9 Total nitrogen									+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
10 Proteinous nitrogen											++	+++	++	+++	+++	+++
11 Soluble nitogen											+	+		+		
12 Phosphoric acid												+++	+	+++	+++	+++
13 Potassium													+	+++	+++	+++
14 Silic acid														+++		---
15 Ash															+++	
16 Lipid																
17 Osmotic value																

Note : + + + , positive signifiant at 0.1% level above +0.619 ;

- - -, negative " " below -0.619 ;

+ + , positive " 1.0% level above +0.534 ;

- -, negative " " below -0.534 ;

+ , positive " 5.0% level above +0.398 ;

- , negative " " below -0.398 ;

負，窒素とくに蛋白態窒素と正，リン酸，カリとも正の高い関係を示す。浸透価はケイ酸含量が低いと高まる関係を示した。

5. 主成分分析による品種の分類と耐冬性

植物体の大きさと体内成分から，品種の生態的特性を総合的にとらえるため，25品種について訓子府における1978年の越冬前（II）の18形質と，越冬後（IV）の4形質の22特性値を用いて主成分分析を行った。第3主成分までの固有ベクトルとその因子負荷量を Table 6 に示した。

Table 6 によれば，第1主成分（ Z_1 ）に対して乾物率，全炭水化物，全糖，非還元糖，粗デンプン，C/N が正方向に，窒素，リン酸，カリ，ケイ酸，灰分，脂質が負方向に寄与しており，寄与の大きさに因子負荷量すなわち主成分と各特性値との相関係数 $r_i(z_i, u_i)$ の高いことから明らかである。ここで第1主成分による累積寄与率は50%と推定された。

第2主成分（ Z_2 ）に対しては草丈と乾物重が負方向に大きく寄与し，第2主成分までの累積寄与

率は67%であった。第3主成分（ Z_3 ）に対しては浸透価とリン酸，越冬後の乾物率が正方向に寄与しているが，寄与の大きさはやや劣った。第3主成分までの累積寄与率は76%であった。

次に各特性値にそれぞれ規準化したデータを入れたときの，第1主成分と第2主成分の値を25品種についてプロットしたのが Fig. 2 である。この散布図によると25品種は大きく次の4つに分類される。

① : Gaines (10), Ibis (11), 北見18号 (20)

② : ソ連の4品種 (1, 2, 3, 4) と Iohardi (5), Minturki (6)

③ : 北海道育成の12品種系統

④ : C. I. 14106 (7), P. I. 172582 (8), P. I. 173438 (9)

これを，前報の越冬型 A, B, C, D (Table 2) と比較すると，「北見18号」と「タクネコムギ(23)」が入れ代り，「農林62号 (14)」が④からかけはなれた以外はよく一致した。 Z_1 と Z_3 の直交軸での散布図によると (図省略)，「タクネコムギ」は

Table 6 Eigen vectors and factor loading of principal components

Characteristics	Eigen vectors			Factor loading		
	Z_1	Z_2	Z_3	$r_1(Z_1, u_1)$	$r_2(Z_2, u_1)$	$r_3(Z_3, u_1)$
Nov. 20						
1 Plant height	.006	-.437	.170	.021	-.843***	.236
2 Dry weight	.015	-.442	.170	.049	-.853***	.236
3 Percent. dry matter	.235	.235	-.006	.781***	.453*	-.008
4 Width of cell	-.158	-.265	-.216	-.525*	-.510*	-.300
5 Osmotic value	.058	.231	.443	.192	.446*	.615**
6 Total carbohydrate	.283	-.062	.088	.939***	-.120	-.122
7 Total sugar	.261	.037	-.113	.869***	.072	-.157
8 Reducing sugar	-.049	.229	-.113	-.164	.576**	-.157
9 Non-reducing sugar	.266	-.002	-.038	.885***	-.004	-.112
10 Crude starch	.225	-.147	-.038	.747***	-.283	-.052
11 Total nitrogen	-.283	.055	.025	-.940***	.106	.035
12 Proteinous nitrogen	-.249	.106	-.145	-.826***	.204	-.202
13 C/N ratio	.290	-.056	-.111	.963***	-.107	-.154
14 Phosphoric acid	-.232	.061	.354	-.770***	.118	.491*
15 Potassium	-.246	-.121	.142	-.815***	-.233	.197
16 Silic acid	-.222	-.094	-.235	-.736***	-.181	-.326
17 Ash	-.274	-.029	.036	-.909***	-.057	.050
18 Lipid	-.227	.148	.219	-.755***	.286	.304
Apr. 20						
19 Dry weight	.068	-.385	.395	.225	-.742***	.549**
20 Percent. dry matter	.096	.287	.395	.320	.550**	.549**
21 Total carbohydrate	.242	.100	.201	.805***	.194	.279
22 Proteinous nitrogen	-.235	.099	-.140	-.781***	.191	-.195

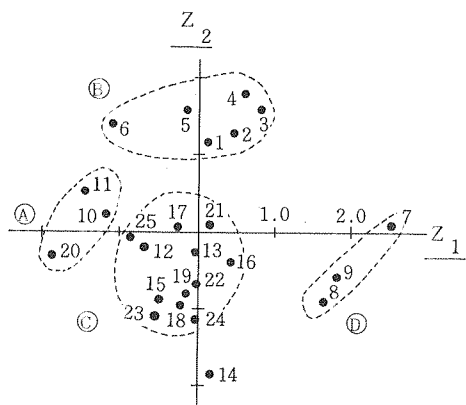


Fig. 2 Scatter diagram of 25 varieties based on component scores on the (Z_1 - Z_2) plane.
 Note: Number shows No. of variety name presented in Table 2.

「Gaines」, 「Ibis」, 「北見18号」の④に近く, 「農林62号」は③に近く, C. I., P. I. 番号の3品種とは異なった。

こうした例を除くと, 抵抗性で分類された越冬型はそれぞれ生態的特性を異にしているといえる。大まかにいえば, 非耐冬型(A)は炭水化物, 糖の蓄積が少なく他の成分が多い。耐凍型(B)は浸透価が高く, 体内成分は中庸で草丈は低い。耐雪型(D)は炭水化物, 糖の蓄積が多く他の成分が少ない。中間型(C)はいずれも中庸であるが, 必ずしも耐凍型和耐雪型の中間を示しているわけではない。おそらく, Fig. 2において Z_1 軸と Z_2 軸の正方向に散布されるような品種が, 耐凍, 耐雪性兼備の中間ないしは超越型のアイディオタイプとなるだろう。

論 議

1. 低温順化の地域差

Matsumoto *et al.*⁸⁾によれば, *T. ishikariensis* の生物型 A, B が積雪の多少と11月の日照の長短によって分布する地域が異なり, 日射はハードニングを促し, ひいては耐病性を増加させる。また生物型 B は秋に日照の多い寡雪地帯の越冬性の高い植物をも侵し, 病原力の弱い *T. incarnata* は秋に日照の少ない多雪地帯の越冬性の低い植物しか侵せないという。訓子府は前者の地帯にあり, 岩見沢は後者の地帯にある。さらに岩見沢は泥炭質土壌の転換畑で実験が行われており, 土壌の凍結もないので, 土壌水分は訓子府より高いはずである。

1978年越冬前 (II) の全炭水化物は両地とも「C. I. 14106」が最高で, 訓子府54.0%, 岩見沢45.2%であった。また両地とも「Ibis」が最低で, 訓子府36.1%, 岩見沢28.4%であった。播種期は訓子府が9月15日, 岩見沢が9月9日であったから, 同じ9月15日播きの「ホロシリコムギ」で比較すると, 訓子府43.1%, 岩見沢31.1%である。

また同年岩見沢で行った9月5日から10月10日で5日おきの播種期試験によれば, 11月20日調査 (II) の「ホロシリコムギ」はそれぞれ, 32.5, 31.1, 31.1, 30.5, 30.8, 30.7, 29.6, 25.5%であった。訓子府の10月5日の晩播試験では, 最高は「C. I. 14106」の50.9%, 最低は「Ibis」の33.7%, 「ホロシリコムギ」は38.5%であった。ここで「ホロシリコムギ」や「タクネコムギ」は晩播によって4%も減少したが, 25品種の平均では僅か0.7%しか減少しなかった。これを越冬型別にみると, A型は晩播で減少し, B型は逆に増加した。なお, 9月15日播きと晩播との間には高い相関 (0.761***) が認められた。しかし, この実験から植物体の大きさと低温順化に関連する品種の生態的, 遺伝的特性は明らかにできなかった。

これらのことは, 岩見沢より訓子府の方がはるかに低温順化にとって有利であること, また極端な晩播を除けば播種期によって炭水化物の含量が大きく変らないこと, 品種間差異がほぼ平行的なことを示している。しかし, Matsumoto and Sato⁹⁾のチモシーにおける全可溶性炭水化物 (TSC) の蓄積結果とはかなり異なった。

越冬型	訓 子 府		岩 見 沢	
	1978	1979	1978	1979
A	38.5	31.9	31.8	26.6
B	40.1	34.1	34.5	28.6
C	41.7	35.5	35.2	28.2
D	47.2	36.5	45.0	31.1

1978年と1979年の越冬前 (II) の全炭水化物は, 訓子府, 岩見沢ともに7%の差があった。これを越冬型別にみると次のようである。つまりD型の年次間差が両地とも最も大きかった。このことは, 最大の蓄積量を示すC. I., P. I. 番号の3品種がその能力を十分発揮しえない場合のあることを示している。

越冬前の低温, 日射, 土壌水分が低温順化に影響することは古くから論議される多数の報告があるが (Steponkus)¹⁸⁾, Suneson and Peltier¹⁹⁾はネブラスカのリンカーンで6年間に9万個体を供試して耐凍性の圃場試験を行い, 気象要因に基づきハードニングに明確な2つの時期を認めた。第1は有機物の蓄積期間で, この時は日射量, 日最高気温, 少雨, 短日条件が重要となる。第2の時期は低温の持続によってもたらされるもので, 約3週間で最高のハードニングに達した。酒井¹⁴⁾は木本類の研究から, 植物の耐凍性が高まる過程を秋の比較的高い温度で進む準備段階と, 低温下で進む段階に分け, 前者ではおもにデンプン, 中性脂質などが蓄積され, 後者の第2段階で核酸, 蛋白質, 糖, リン脂質などが著しく増加するとしている。

この第2段階で, 訓子府と岩見沢の大きな違いは11月の最低気温と降水量にみられた。2カ年の平均で訓子府は-4.2°C, 77mm に対し, 岩見沢は-0.6°C, 105mm であった。また, 1978年訓子府の降水量は42mm に対し, 岩見沢は111mm, 1979年はそれぞれ111, 124mm と多かった。こうした気象条件にもかかわらず, 訓子府と岩見沢のそれぞれ2カ年25品種の相互6通りの相関は0.570*** ~ 0.838*** と有意に高かった。

したがって, 炭水化物の蓄積は品種の遺伝的差異に基づく部分が大きいけれど, 十分な蓄積のためには好適な環境が必要となる。

2. 炭水化物の消耗と *Typhula* 抵抗性

融雪後の全炭水化物の年次間差は訓子府で僅か

1.4%であった。年次間の相関は0.767***と有意であり、品種間ならびに越冬型間に有意差が認められた。同様なことは越冬中の減少量(II-IV)にも認められたが、減少率(IV/II%)には認められなかった。1978年と1979年の越冬型別の減少量はA(16.6, 10.4), B(15.3, 10.3), C(16.8, 11.9), D(19.6, 13.2%)で、明らかに1978年の方が大きく、D>Bの関係が有意である。

したがって、炭水化物を多く貯えて雪下に入った *Typhula* 抵抗性品種が、罹病性品種よりゆっくりと炭水化物を利用するようには思われない。むしろ、よく貯える品種はその消費量が相対的に多いにもかかわらず、最終的にはなお多量の炭水化物を維持するようである。この傾向は、全糖、非還元糖の場合も同様であり(Table 3)、とくに「C. I. 14106」は特異的であった。

Kiyomoto and Bruehl⁶⁾の15品種を用いた圃場試験によれば、秋に蓄積された炭水化物(available carbohydrate)含量と *T. idahoensis* との間には何らの関係もなかったが、病原菌の攻撃のあと融雪後まで維持された炭水化物含量との関係が顕著であった。われわれの試験は、訓子府、岩見沢ともに雪腐病の被害が軽微であり、そうしたサンプルを分析していることと、各品種の雪腐病抵抗性はこれとは別な接種試験に基づいており、病理化学的に取扱われたものではなかった。また彼等の越冬前の炭水化物は、「C. I. 14106」と「Gaines」の差が小さく、積雪期間が15日とわれわれより10~20日長かった。このため、越冬前の各時期および融雪後においても、いずれも高い相関をえたわれわれの結果(Table 4)と異なったものと思われる。

3. 抵抗性品種にみられる体内成分の特異性

1978年12月12日に測定した浸透価の平均値は、A, 0.26; B, 0.34; C, 0.31; D, 0.29(CaCl₂モル)であった。耐凍型のソ連品種 *Lietescens* 329が最高で0.39、次いでMoscow 1, 0.38; *Valujevskaja*, 0.37といずれも高いのに対し、耐雪型のC. I. 14106, 0.27; P. I. 172582, 0.28; P. I. 173438, 0.28と低かった。ちなみに25品種の平均値は0.31、最低は「Ibis」の0.24であった。Table 4のように耐凍性との間に高い相関を示したのは浸透価のみであった。

耐凍性の獲得に対応して、細胞の浸透濃度が著

しく高まり、これが脱水のストレスを緩和し¹⁵⁾、浸透濃度の高まりは細胞質にとみ、含水量が少く、糖、糖アルコール、アミノ酸などの溶質が多いためとされてきた⁷⁾。

Sugiyama and Simura^{16,17)}はチャの耐凍性の一連の研究で、葉の水分、浸透濃度、全糖、水溶性蛋白質が密接であり、水溶性蛋白質の多くが葉緑体中に含まれており、この蛋白質が増すときに糖蛋白質が25%増加し、同時に耐凍性も高まった。

当然、浸透価と乾物率、炭水化物、糖含量との間にも高い相関が期待されたが、Table 5のようにケイ酸以外に有意な相関は認められなかった。この原因はC. I., P. I.番号の3品種が糖の蓄積は抜群でありながら、耐凍性が弱いため、この3品種を除くと上記形質相互の相関はいずれも有意となった。また、これら3品種はリン酸、脂質および蛋白態窒素がきわめて少いことから、原形質膜の組成が異なるように思われる。

Meryman *et al.*¹⁰⁾によれば、凍害の直接原因は凍結-脱水時に起きる細胞の収縮による機械的効果にあり、その限界容量が存在するとしている。収縮に対する抵抗力は細胞の脱水回避のほか、原形質膜をつつむ脂質が凍結時に細胞内に移行する品種の存在をみている。おそらく、C. I., P. I.番号の3品種は収縮に対する抵抗力がないと推察され、糖以外の物質が関与していると考えられる。

S. borealis と高い相関を示したのは脂質(-0.685***)とリン酸(-0.657***)であった(Table 4)。しかし、この関係を仔細にみると *S. borealis* に弱いC. I., P. I.番号3品種の含量が著しく低いために全体の相関を高くした。*S. borealis* に最も強い「北海48号」が最高の脂質含量を示し、またリン酸含量も高いことは興味深く、今後リン脂質との関係で検討を要する。*T. ishikariensis*, *T. incarnata* および *F. nivale* と全糖、非還元糖、灰分、脂質との関係もC. I., P. I.番号3品種の影響が強く、影響をうけなかったのは乾物重、全炭水化物、全窒素、蛋白態窒素およびC/Nであった。したがって、C. I., P. I.番号3品種は糖の蓄積が多く、蛋白態窒素、リン酸、脂質の少ないことが *Typhula* spp.および *F. nivale* 抵抗性に何らかの関係があると思われる。

Årsvoll^{3,4)}はチモシーの植物体の大きさ、ハーディング、窒素、リン酸、カリと耐凍性ならびに

雪腐病抵抗性との関係を恒温で接種試験によって検討した。結果は比較的単純で、凍害も各種雪腐病害も同一傾向であった。コムギの本実験では、品種の組織形態や蓄積物質が、耐凍性、*S. borealis* および *Typhula* spp. と *F. nivale* に対する抵抗性の3者の間で異なる特徴を示した。われわれはこれまで、耐凍性と *S. borealis* 抵抗性との関係は遺伝的にやや密接であり、*T. inhikariensis* と *T. incarnata* との関係はきわめて密接であるとした²⁾。*F. nivale* は *T. ishikariensis* および *T. incarnata* 抵抗性との間に、それぞれ0.704***および0.791***と高い相関を示すことから、これらの生態的特性と抵抗性の関係がきわめて類似することは当然である。

主成分分析によれば、中間型(C)として分類した北海道の品種系統は(Z_1-Z_2)平面で中央に分布しており(Fig. 2)、植物体の大きさや蓄積物の量的バランスが中庸であった。一方、耐凍性ならびに *Typhula* spp. と *F. nivale* に抵抗性を示す品種は散布図の先端に位置し、特定の物質の特異な蓄積能力を有しているようで、この特性はおそらく遺伝的に支配されているものと思われる。

謝 辞 実験の一部は中央農試稲作部の転換畑を供用し、栽培、調査に当っては同部の佐々木忠雄、新井利直研究職員、オートアナライザーの分析は稲津脩研究職員のご協力による。また北見農試の下野勝昭研究職員には化学分析上種々の教示をいただいた。これらの各位に厚く感謝申しあげる。

引用文献

- 1) 天野洋一, 尾関幸男. “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”. 北海道立農試集報, **46**, 12-21(1981).
- 2) 天野洋一. “秋播小麦の雪腐病抵抗性と耐凍性育種, II. 片面二面交雑によって推定された抵抗性の遺伝的効果”. 北海道立農試集報, **47**, 13-22(1982).
- 3) Årsvoll, K. “Effects of hardening, plant age, and development in *Phleum pratense* and *Festuca pratensis* on resistance to snow mold fungi”. Meld. Norg. Landbr Hpgsk. **56**, (28) 1-14 (1977).
- 4) Årsvoll, K. “Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on resistance to snow mold fungi and on freezing tolerance in *Phleum platense*”. Meld. Morg. Landbr Hpgsk. **56** (29), 1-14 (1977).
- 5) Bruehl, G. W.; Cunfer, B. “Physiologic and environmental factors that affect the severity of snow molds of wheat”. Phytopathology. **61**, 792-799 (1971).
- 6) Kiyomoto, R. K.; Bruehl, G. W. “Carbohydrate accumulation and depletion by winter cereals differing in resistance to *Typhula idahoensis*”. Phytopathology. **67**, 206-210 (1977).
- 7) Levitt, J. “Responses of plants to environmental stress. Vol. I. Chilling, freezing, and high temperature stresses”. Academic Press, 1980. 471 p.
- 8) Matsumoto, N.; Sato, T.; Araki, T. “Biotype differentiation in the *Typhula ishikariensis* complex and their allopatry in Hokkaido”. Ann. Phytopath. Soc. Japan. **48**, 275-280 (1982).
- 9) Matsumoto, N.; Sato, T. “Factors involved in the resistance of timothy and perennial ryegrass to *Sclerotinia borealis* and *Typhula ishikariensis*”. Res. Bull. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn. **136**, 23-30 (1983).
- 10) Meryman, H. T.; Williams, R. J.; Douglas, M. St. J. “Freezing injury from solution effect and its prevention by natural or artificial cryoprotection”. Cryobiology. **14**, 287-302 (1977).
- 11) 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).
- 12) 尾崎政春. “オーチャードグラス雪腐病大粒菌核病の発生生態”. 北海道立農試集報, **42**, 55-65(1979).
- 13) 応用統計ハンドブック編集委員会編. “応用統計ハンドブック”. 養賢堂, 1978, p.328-345.
- 14) 酒井 昭. “植物の耐凍性と寒冷適応”. 学会出版センター, 1982. 469p.
- 15) Scarth, G. W. “Dehydration injury and resistance”. Plant Physiol. **16**, 171-179 (1941).
- 16) Sugiyama, N.; Simura, T. “Studies on the varietal differentiation of frost resistance in the tea plant. III. With special emphasis on the relation between their frost resistance and chloroplast soluble protein”. Jap. J. Breed. **17**, 37-42 (1967).
- 17) Sugiyama, N.; Simura, T. “Studies on the varietal differentiation of frost resistance in the tea plant. IV. The effects of sugar level combined with protein in chloroplasts on the frost resistance. Jap. J. Breed. **17**, 48-52 (1967).

- 18) Steponkus, P. L. "Cold hardiness and freezing injury of agronomic crops". Adv. Agron. **30**, 51-98 (1978).
- 19) Suneson, C. A.; Peltier, G. L. "Effect of weather variants on field hardening of winter wheat". J. Am. Soc. Agron. **30**, 769-778 (1938).
- 20) 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).
- 21) 富山宏平. "ムギ類の雪腐病". 日植病報. **31** (記念号), 200-206 (1965).

Winter Wheat Breeding for Resistance to Snow Mold and Cold Hardiness

III. Varietal differences of ecological characteristics on cold acclimation and relationships of them to resistance

Yoichi AMANO* and Shun-Ichi OSANAI**

Summary

In this paper we dealt with regional and varietal differences of growth increments and accumulations or depletions of substances from autumn to spring, correlations between reserve substances and resistance to freezing, *Sclerotinia borealis*, *Typhula* spp., and *Fusarium nivale*, and relationships of wintering type to ecological characteristics of varieties.

Experiments using the same 25 varieties in the previous paper were performed at Kun-neppu (Kitami Agr. Exp. Stn.) and Iwamizawa (Rice Crop Div. Central Agr. Exp. Stn.) in 1978-'79 and 1979-'80. Twenty characters measured at four seasons before winter and after snow melt were analyzed. Degrees of resistance to freezing and snow molds obtained from the previous Experiment are

referred. Results obtained are summarized as follows ;

Dry weight, percentage dry matter, total carbohydrate, sugar, starch, and proteinous nitrogen in the shoot of plant increased rapidly from autumn to early winter, and reached the maximum amount immediately after permanent snow. Soluble nitrogen, phosphoric acid, potassium, silic acid, and ash decreased with the low temperature. Differences between locations, seasons, varieties, and wintering types were significant in 16 characters measured before winter. Wheat plants in Kun-neppu showed

*Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kun-neppu, Hokkaido, 099-14, Japan

**Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Asahikawa, Hokkaido, 078-02, Japan

less growth, much accumulations of carbohydrate and sugar in the fall, and less depletions of them in wintering than the ones in Iwamizawa. Snow endurable varieties enter winter with greater carbohydrate reserves and maintained much carbohydrates at after snow melt than susceptible ones.

Correlations of reserve substances between before and after winter were highly significant except reducing sugar and starch. Correlation coefficients of total carbohydrate between years was 0.751*** before winter and 0.767*** after snow melt at kun-noppu. Highly significant correlations were found between freezing and osmotic value; *S. borealis* and phosphoric acid, lipid; *Typhula* spp., *F. nivale* and proteinous nitrogen, total carbohydrate. Close relations were found among resistance to *T. ishikaiensis*, *T. incarnata*, and *F. nivale* in degrees and in reserve substance contents.

Varieties were classified into four groups based on the principal component analysis using 22 characters of plant size and reserve substances (Fig. 2). These groups were coincided very well with the previous four wintering types, namely, A, less-hardy; B, cold resistant; C, intermediate; D, snow endurable. Resistant varieties to *Typhula* spp. and *F. nivale*, "C. I. 14106", "P. I. 172582", and "P. I. 173438" selected by Bruehl *et al.* accumulated carbohydrate much and more rapidly in the fall than the other varieties. Nevertheless, their contents of proteinous nitrogen, phosphoric acid, lipid, and osmotic value were very low. These facts have a reasons for the above three varieties show less resistance to freezing and *S. borealis*. These characteristics might be ascribed to the genetic specificity.