

北海道における秋播ライコムギの越冬性

第1報. 耐凍性および雪腐病抵抗性のコムギ, ライムギとの比較

義平大樹¹⁾・唐澤敏彦²⁾・中司啓二²⁾・阿部二郎²⁾・桑原達雄²⁾

Studies on winter hardiness of triticale in Hokkaido, Japan
I. Comparison with wheat and rye on freezing tolerance
and snow mold resistance

Taiki YOSHIHIRA, Toshihiko KARASAWA, Keiji NAKATSUKA,
Jiro ABE and Tatsuo KUWAHARA

(June 1996)

緒 言

属間雑種ライコムギ(× *Triticosecale* Wittmack)は、19世紀末に耐凍性を付与することを目的の1つとして、コムギ(*Triticum aestivum* L.)にライムギ(*Secale cereale* L.)の遺伝子を導入してつくられた人工的な作物である¹⁾。その後、コルヒチンの発見により染色体の倍化が容易になり、1950年頃から世界各地で改良がすすみ、コムギよりも多収性、耐病性、耐倒伏性、製パンに優れた品種が多数作出されてきた^{1), 12)}。

しかし、当初の重要な育種目標であった耐凍性については、親系統のコムギよりも優れたライコムギ品種が育成されたという報告はほとんどみられない。むしろ、ライコムギ品種は、当該地域で栽培されているコムギ品種よりも、耐凍性が劣るとする数多くの報告がなされている^{4), 5), 6), 10), 12)}。

北海道においても、ポーランドの輸入品種は道内のコムギ品種に比べて、越冬性が劣ることが観察されている⁷⁾。

しかし、わが国において、ライコムギ品種の耐凍性、耐雪性を半数致死温度の測定や病原菌の人工接種方

法を用いて、コムギ、ライムギ品種と比較した例はみられない。

北海道道央部のように、厳寒でしかも、積雪期間が4ヶ月以上におよぶ世界有数の多雪地帯において、植物が越冬するためにはある程度の耐凍性と耐雪性をあわせもつことが必要である¹⁾とされている。また、岡部⁹⁾は、耐雪性は生理的耐雪性と雪腐病耐病性が関与するとしている。本実験は、越冬性に関与する初冬の耐凍性、生理的耐雪性、雪腐病抵抗性について、ライコムギ、コムギ、ライムギの作物間で比較し、ライコムギの越冬性の程度を評価するためにおこなった。

材料および方法

供試材料は、ライコムギはポーランド育成の3品種(Presto, Tewo, Moniko) およびカナダ育成の1品種(Pika)を、ライムギがポーランド育成の3品種(Warko, Amilo, Mardar)を、コムギが北海道立北見農業試験場育成のコムギ2品種(チホクコムギ, ホクシン)および中間母体の系統である(月寒1号)を用いた。各材料は、1995年9月23日に畦幅20cm, 250粒/㎡で北海道

1) 酪農学園大学附属農場作物栽培学研究室

Research Farm (Crop science), Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069, Japan

2) 農林水産省北海道農業試験場

Hokkaido National Agriculture Experiment Station, Hitsujigaoka, Sapporo, Hokkaido 062 Japan

農業試験場圃場（下層台地黒ボク土）に播種した。

1995年12月9日、1996年1月20日、2月24日に各区50個体以上採取し、50%致死温度（Median lethal dose temperature, 以下、LT₅₀）を測定し、耐凍性を表す指標とした。採取した個体の土を落し、冠部と茎部を合わせて3cmに切り取り、脱脂綿で包み、その上からアルミフィルムで被い、冷凍庫で凍結処理をおこなった。-3℃で8時間植氷した後、1時間に1℃ずつ凍結温度を下降させて、1品種につき2℃間隔で5段階の温度処理を加えた。処理後の個体を温室でバットに移植し、2週間後、新しく発根した個体を数え、生存率からLT₅₀をプロビット法により計算した。また、1品種10個体を供試して通風乾燥機で80℃2日間乾燥し、乾物重を測定した。サンプリング時の生重から含水率を求めた。また、生理的耐雪性は、積雪下のLT₅₀の最高値と最低値の差から評価した。

雪腐病抵抗性試験は、耐凍性の試験と同じ品種を供試し、酪農学園大学実験圃場においておこなった。園芸培養士（北海三共）を詰めた34cm×44cmのプラスチックのバットに、1995年10月2日に播種した。根雪2週間後の1995年12月23日に、雪腐黒色小粒菌核病菌（*Typhula ishikariensis*）を培養したイノキュラムを0.5g/cm²の割合で均等にバット内に散布し、埋雪した。接種後、35日、39日、44日にバットを掘りあげ、被害状況を調査した。被害状況は、無傷であるものを0、茎と葉が50%程度生き残っているものを1、茎のみが生き残っているものを2、枯死したものを3として相対評価（以下、Disease index）した。埋設処理区間に差が少なかったため3処理を平均した。また、図1に試験期間の気象概要を示した。

1. 初冬の耐凍性

耐凍性の指標であるLT₅₀は、積雪期間を通じて、ラ

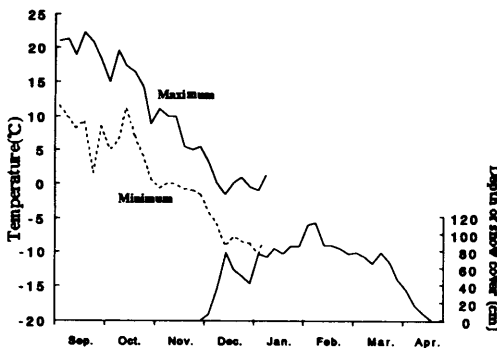


Fig. 1. Maximum and minimum air temperatures and depth of snow cover during experimental period (Sep.1995-Apr.1996)

イムギ<コムギ<ライコムギの順で低く推移した（表1）。LT₅₀はどの作物も12月上旬に最も低い値を示した。各品種のLT₅₀の最低値は、ライコムギが-15.7から-18.1℃、コムギが-16.4から-18.1℃、ライムギが-22.1から-22.7℃と、ライムギが、ライコムギ、コムギに比べて5℃以上の差を示した。12月上旬の耐凍性は、ライコムギの中では品種間差異がみられ、Pikaが他の品種に比べ優れ、チホクコムギ、ホクシンに匹敵した。Monikoは、全材料中最も耐凍性が劣った。また、コムギでは月寒1号の耐凍性が他の品種に比べて劣っていた。

Table 1. Seasonal change in freezing tolerance (as measured by LT₅₀) of triticale, wheat and rye during winter

		9th Dec.	20th Jan.	24th Feb.
Triticale	Presto	-16.1 ^{bc}	-10.1 ^c	-5.5 ^d
	Tewo	-17.7 ^{bc}	-11.1 ^c	-6.6 ^c
	Moniko	-15.7 ^c	-11.9 ^c	-6.7 ^c
Wheat	Pika	-18.1 ^b	-16.3 ^b	-10.8 ^b
	Chihokukomugi	-18.1 ^b	-16.1 ^b	-11.0 ^b
	Hokushin	-18.5 ^b	-16.8 ^c	-13.5 ^a
Rye	Tsukisamu No.1	-16.4 ^{bc}	-12.1 ^a	-7.0 ^c
	Warko	-22.8 ^a	-19.8 ^a	-13.3 ^a
	Amilo	-22.1 ^a	-20.2 ^{ab}	-12.8 ^a
	Mardar	-22.5 ^a	-18.3 ^{ab}	-13.0 ^a

Note: Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($P=0.05$) as determined by Fishers' PLSD

2月下旬のLT₅₀は、ライムギ品種・ホクシン<チホクコムギ・Pika<月寒1号・Tewo・Moniko<Prestoの4段階に分かれた。

2. 積雪下における乾物重および水分含量の推移と耐凍性の関係

図2に個体当り乾物重および水分含量の推移を作物別に示した。水分含量は、どの作物においても積雪下で増加した。その増加程度はコムギが最も小さく、ライコムギが大きかった。ライムギは、12月から1月にかけての増加はコムギと同程度であったが、1月から2月にかけての増加はライムギが大きかった。

個体当り乾物重は、どの作物においても積雪下で減少した。減少程度はライコムギが最も大きく、ライムギが最も小さかった。12月から1月ににかけての減少は、ライコムギで最も激しく、1月から2月にかけての減少は、コムギが大きかった。

LT₅₀と、水分含量および個体当り乾物重との関係を

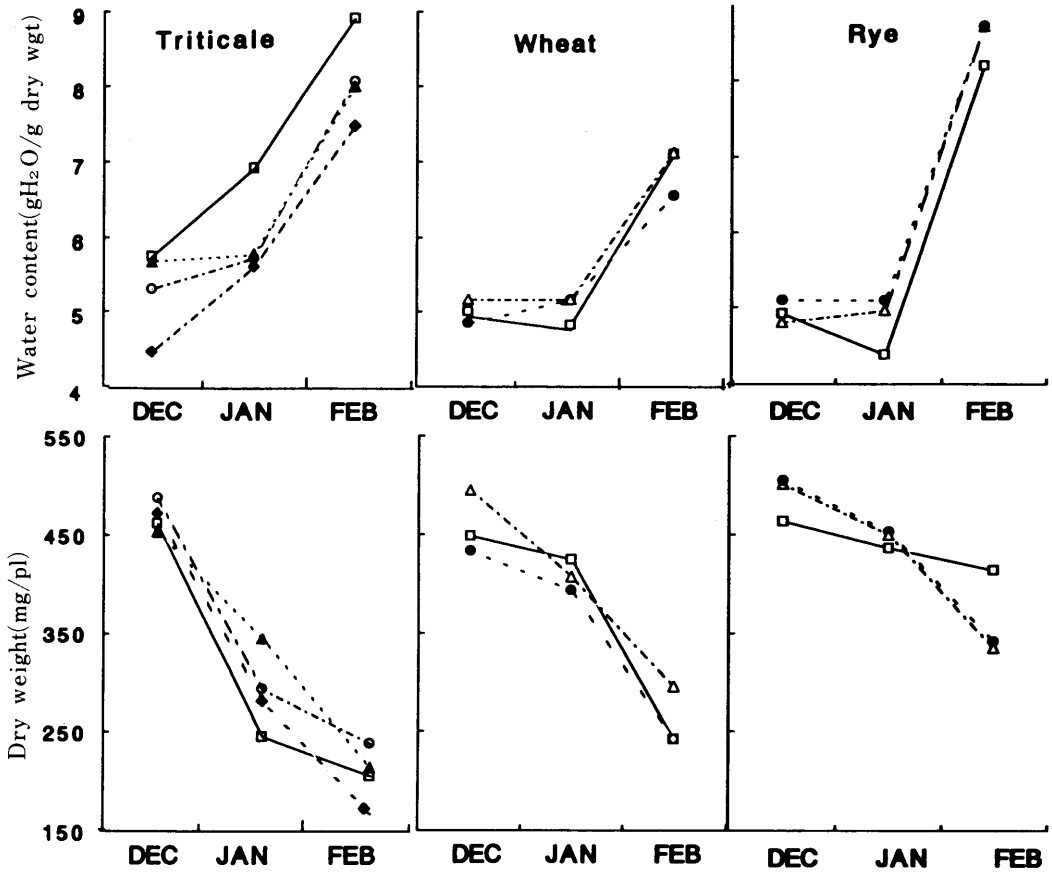


Fig. 2. Changes in water content and dry weight per plant of triticale, wheat and rye during winter

—○— Presto - - - △ - - - Moniko —□— Chihokumugi —□— Warko
 - - - ● - - - Tewo - - - ● - - - Pika - - - ● - - - Hokushin - - - ● - - - Amilo
 - - - △ - - - TsukisamuNo. 1 - - - △ - - - Mardar

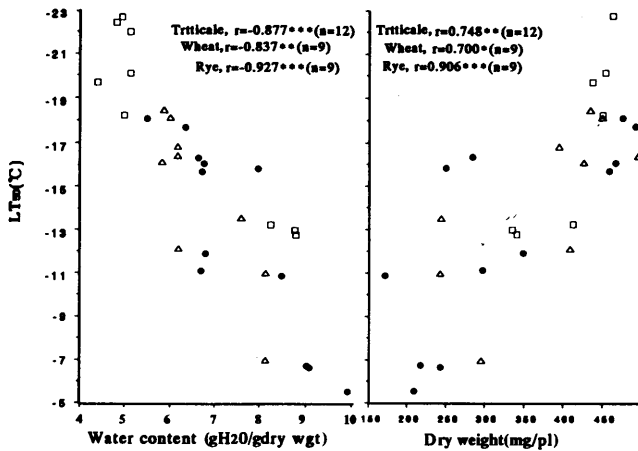


Fig. 3. Relationship between LT 50 and related characteristics in triticale, wheat and rye

● ; triticale, △ ; wheat, □ ; rye

* ; 5% significant at level, ** ; 1% significant, *** ; 0.1% significant

図3に示した。どの作物においても、水分含量とLT₅₀との間には有意な負の相関関係が得られた。相関係数は、ライムギ、ライコムギがコムギに比べて高かった。個体当り乾物重とLT₅₀の間にも、どの作物において有意な正の相関関係が得られた。相関係数は、ライムギ、ライコムギ、コムギの順で大きかった。

3. 生理的耐雪性および雪腐病抵抗性

積雪下における12月上旬から2月下旬のLT₅₀の変化の程度(生理的耐雪性)は3つのグループ群に分けられ、ホクシン<チホクコムギ・Pika・Moniko<ライムギ品種・月寒1号・Presto・Tewoの順に小さかった(表2)。

Disease indexでみた雪腐黒色小粒菌核病に対する耐病性は、ホクシン・ライムギ品種>チホクコムギ、月寒1号>ライコムギ品種の順で優れていた。

4. 積雪下での乾物重および水分含量の変化量と耐雪性の関係

黒色小粒菌核病菌を接種して得られた Disease index と、12月から2月にかけてLT₅₀の変化および12月から1月にかけての個体乾物重の減少量との関係を、それぞれ図4-a、図4-bに示した。雪腐黒色小粒菌核病に対する耐病性と積雪下での生理的消耗との間には、きわだった相関関係がみられなかった($r=0.500^{n.s.}$)。

しかし、乾物重の減少量との間には水準1%で有意な相

関関係がみられた($r=0.864^{**}$)。幼穂形成期の茎数と、12月から2月までのLT₅₀および水分含量の減少との関係を図4-c、図4-dに示した。幼穂形成期の茎数は、LT₅₀の上昇程度との間には有意な負の相関関係が得られた($r=-0.791^*$)。幼穂形成期の茎数と水分含量の増加との間にも負の相関関係がみとめられたが、有意ではなかった($r=-0.636^{n.s.}$)。ライムギ品種は、コムギ品種に比べて積雪下において水分含量の増加が大きい傾向が認められた。

5. 耐凍性、耐雪性の階級区分

表3に、LT₅₀の最低値で示される初冬の耐凍性、LT₅₀の上昇程度であらわされる生理的耐雪性、雪腐黒色小粒菌核病菌に対する抵抗性の程度を、それぞれ3段階で評価し、そのスコアを合計し、越冬指数とした。ライコムギは、いずれの形質においても最も低いランクを示し、越冬指数も最も劣った。

ライムギは、コムギに比べてLT₅₀の最低値は低いが、積雪下での生理的な消耗が大きかった。ライコムギ、コムギには品種間差異がみられ、雪腐病に対する抵抗性品種として育成されたホクシンは、積雪下での消耗、雪腐病菌に対する抵抗性ともに最も優れていた。ライコムギでは、Pikaがチホクコムギなみ、他の品種が月寒1号以下の越冬性を示した。

Table 2. Decrease in freezing tolerance from 9th Dec. to 24th Feb. and resistance to *Typhula ishikariensis* subjected to under-snow incubation for 35 to 44 d in triticale, wheat and rye cultivars.

		Changes in LT ₅₀	Disease index
Triticale	Presto	10.6 ^c	2.3 ^c
	Tewo	11.1 ^c	2.5 ^c
	Moniko	9.0 ^{bc}	2.4 ^c
	Pika	7.3 ^b	2.4 ^c
Wheat	Chihokukomugi	7.2 ^b	1.3 ^b
	Hokushin	5.0 ^a	0.6 ^a
	Tsukisamu No.1	9.5 ^c	1.3 ^b
Rye	Warko	9.5 ^c	0.6 ^a
	Amilo	9.3 ^c	0.7 ^a
	Mardar	9.5 ^c	0.6 ^a

Note: Disease index is on a 0-3 scale where 0, no visible injury; 1, 50% of leaves alive; 2, only stem alive; and 3, death. Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($P=0.05$) as determined by Fishers' PLSD

Table 3. Classification of maximum freezing tolerance, snow tolerance (LT₅₀) and snow mold tolerance in triticale, wheat and rye varieties

Varieties	Breeding district	Maximum ^a freezing tolerance level	Snow ^b tolerance level	Snow ^c mold resistance level	Winter ^d hardness index
Triticale					
Presto	Poland	3	3	3	9
Tewo	Poland	3	3	3	9
Moniko	Poland	3	3	3	9
Pika	Canada	2	1	3	6
Wheat					
Chihokukomugi	Hokkaido	2	2	2	6
Hokushin	Hokkaido	2	1	1	4
Tsukisamu No.1	Hokkaido	3	2	2	7
Rye					
Warko	Poland	1	3	1	5
Amilo	Poland	1	3	1	5
Mardar	Poland	1	3	1	5

Note: a) are LT₅₀ before wintering. 1, -22.0-22.8; 2, -18.0-18.5; 3, -15.6-17.7.

b) are decrease in LT₅₀ from Dec to Feb. 1, 5.0; 2, 7.2-7.3; 3, 9.0-11.1.

c) are disease index (*Typhula ishikariensis*). 1, 0.6-0.7; 2, 1.3; 3, 2.3-2.5.

d) are total scores for three traits.

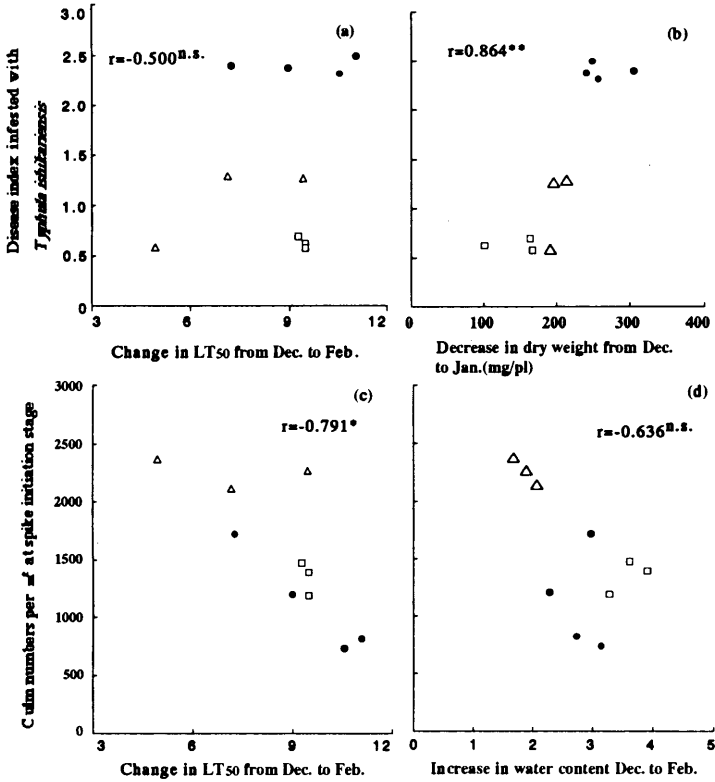


Fig 4. Relationship between snow tolerance and related characteristics

● triticale, □ rye, △ wheat

Disease indexes are the same as those in Table 2.

* ; 5% significant at level, ** ; 1% significant, n.s. ; none significant

考 察

耐凍性の指標としたLT₅₀は、積雪地帯で栽培された麦類や牧草の場合、ハードニング過程の気象条件により多少異なるが、根雪時から根雪後2週間にほぼ最低値を示すことが分かっている^{1),2),8)}。本実験における12月9日のLT₅₀は、初冬の最大の耐凍性の程度を示すと考えられる。

ライムギとコムギの越冬性を比較すると、ライムギ品種はコムギ品種に比べて初冬の耐凍性は高いが、積雪下での生理的消耗が激しかった。しかし、雪腐黒色小粒菌核病菌に対する抵抗性は同程度であった。長期積雪地帯におけるライムギ品種の越冬性は、雪腐病抵抗性よりは生理的耐雪性に大きく影響されることを示唆している。ライコムギ品種は、初冬の耐凍性が最も劣り、しかも積雪下での生理的消耗が最も激しいことに加え、雪腐黒色小粒菌核病菌に対しても最も感受性を示したため、越冬性が最も劣る

結果となった。

耐凍性および耐雪性とその関連形質との関係を見ると、LT₅₀が乾物重に依存する程度は、ライムギ>ライコムギ>コムギの順で高かった。また、ライムギ、ライコムギのLT₅₀は、コムギに比べて水分含量に依存する程度が高かった。また、12月上旬から2月下旬のLT₅₀の変化で示される生理的耐雪性と、Disease indexで表される雪腐病耐病性と雪腐病耐病性の間の相関係数は低く、本実験においても、生理的耐雪性と雪腐病抵抗性とは、独立した越冬性の要因と考えられた。積雪下の個体当たり乾物重の減少量は、雪腐病抵抗性に大きく左右され、分けつ数が最も多い時期である幼穂形成期頃の茎数は、生理的耐雪性に影響された。

McIntyre⁹⁾は、カナダのアルバータ地方において、ライコムギのLT₅₀は、コムギと同程度に水分含量との間に高い相関関係を示すことを報告しており、本実験の結果と異なっている。これは、葉部、茎部に区別せず、個

体全体の水分含量を測定したため、コムギの葉部割合がライコムギ、ライムギに比べ高いことが水分含量に影響したためであると考えられる。

Wolski¹²⁾は、ポーランド育成のほとんどのライコムギ品種の越冬性は、標準のコムギ品種に比べて劣るが、品種間差異がかなり大きいことを報告している。本実験においても、ライコムギの越冬性には育成地による品種間差異がみられ、カナダ育成品種のPikaの越冬性が、道内の基幹品種チホクコムギなみに優れていた。ポーランド育成のライコムギ品種は、東北地方で育成された農林10号の突然変異により生じた系統である月寒1号²⁾と同程度またはそれ以下の越冬性しか示さなかった。またコムギ品種の中では、越冬性を重要な育種目標の一つとして育成されたホクシンが、積雪下の生理的消耗が最も少ないなど優れた越冬性を示した。

ポーランド育成のライコムギの多収品種は、冬損せずに、無事に越冬できた年次には、道内のコムギ品種よりも2割前後、子実、わらともに多収を示すことが確認されている^{7),13)}。

このライコムギの潜在的な乾物生産能力を十分にいかすためには、越冬性の改良が不可欠である。Limin⁵⁾らはライコムギの耐凍性は、親系統のライムギ品種よりもむしろ、コムギ品種に強く影響されることを指摘している。越冬性の優れたライコムギ品種を育成するには、耐雪性の強いコムギ品種を、親系統に利用することが重要であると思われる。

要 約

北海道におけるライコムギ品種の越冬性の程度を評価するため、越冬性を左右する大きな要因である初冬の最大期の耐凍性(12月上旬の半数致死温度LT₅₀)、生理的耐雪性(12月上旬から2月下旬のLT₅₀の差)、雪腐病抵抗性(雪腐黒色小粒菌核病の人工接種試験のDisease index)について、ライコムギ、コムギ、ライムギの作物間差異を調査した。供試品種には、ポーランド育成のライコムギ3品種(Presto, Tewo, Moniko)およびカナダ育成のライコムギ品種Pika、ならびに、道立北見農業試験場育成のコムギ2品種(チホクコムギ, ホクシン)および中間母本の系統である月寒1号、ポーランド育成のライムギ3品種(Warko, Amilo, Mardar)を用い、3反復乱塊法の配置とした。

ライムギ品種とコムギ品種の越冬性を比較すると、ライムギはコムギに比べて、LT₅₀で示される初冬の耐凍性は優れていたが、LT₅₀の変化程度で表される生理的

耐雪性は劣っていた。Disease indexで表されるライムギの雪腐病抵抗性は、コムギと同程度であった。

ライコムギ品種は、ライムギ、コムギ品種に比べて、初冬の耐凍性、積雪下での耐凍性の減少、雪腐黒色小粒菌核病に対する抵抗性のいずれも劣り、越冬性は最も劣っていた。しかし、ライコムギの中では品種間差異がみられ、カナダ育成のPikaが、道内のコムギ品種なみの越冬性を示した。ポーランド育成のライコムギ品種は、東北地方で育成されたコムギ品種の農林10号を基に選抜された中間母本の系統である月寒1号以下の越冬性しか示さなかった。

謝 辞

本実験は、1995年度酪農学園大学共同研究の助成を受けたものである。なお、圃場管理にあたっては北海道農業試験場技術職員の方々に多大な御協力を頂いた。また同試験場低温病理研究室川上顕研究員には、雪腐黒色小粒菌核病菌のイノキュラムを提供して頂いた。また、サンプリングにあたっては、酪農学科作物栽培学研究室の学生諸君の御協力を頂いた。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 阿部二郎 (1996) 作物の耐凍性の季節的变化 低温生物工学会誌 Vol. 42, No. 1 1-5
- 2) 阿部二郎, 吉田みどり, 森山真久, 下坂悦生(1995) コムギの耐凍性に及ぼす生育条件 北海道農試研報: 65-73.
- 3) 天野洋一 (1995) 北海道における小麦育種の現状と問題点 北農第62巻 第2号 14-18.
- 4) Dvorak J. and D. B. Fowler (1978) Cold hardiness potential of triticale and tetraploid Rye Crop Sci. 18: 477-478
- 5) Limin, A. E., J. Dvorak, and D. B. Fowler (1985) Cold hardiness in hexaploid triticale Can. J. Plant Sci. 65: 487-490
- 6) McIntyre, B. L., T. H. H. Chen, and M. F. Merick (1988) Physiological traits associated with winter survival of winter wheats and winter triticales in Alberta Can. J. Plant Sci. 68: 361-366.
- 7) 水落勤美 (1993) 北海道におけるライコムギの収量性—コムギおよびライムギとの比較— 日土肥学会講要 39: 233
- 8) Moriyama, M., J. Abe, M. Yoshida, Y.

- Tsurumi and S. Nakayama (1995) Seasonal changes in freezing tolerance, moisture content and dry weight of three temperate grasses J. Japan. Grassl. Sci. **41** (1) : 21-25
- 9) 岡部俊 (1975) イタリアンライグラスの育種に関する基礎的研究 北陸農業試験場報告 第17号.
- 10) Poysa, V. W., C. J. Knoblauch, B. D. McKersie, and E. Reinbergs (1983) Low temperature tolerance of octoploid triticale and its parental species grown in southern Ontario Can. J. Plant Sci. **64** : 451-456
- 11) Skovmand, B., P. N. Fox and R. L. Villareal (1984) Triticale in commercial agriculture : Progress and promise Advances in Agronomy **37** : 1-341
- 12) Wolski, T. (1987) Winter triticale breeding Proceeding of second international triticale symposium : 41-48
- 13) 義平大樹, 唐澤敏彦, 中司啓二, 有原丈二 (1995) ライコムギの乾物生産性に関する研究 第1報, ライムギ, コムギとの収量性, 乾物分配特性の比較 日作紀 **64** (別2) : 17-18.
- 14) Zillinsky, F. J. (1974) The development of triticale Advances in Agronomy **26** : 315-346.

Summary

Freezing tolerance (as msured by LT_{50}), water content and dry weight during winter from December 1995 to Feburary 1996 and snow mold resistance were investigated in triticale (\times *Triticosecale* Wittmack cvs. Presto, Tewo, Moniko, Pika), wheat (cvs. Chihokukomugi, Hokushin, Tsukisamu No.1), and rye (cvs. Warko, Amilo, Mardar) at Hitsujigaoka in Sapporo. LT_{50} values of rye varieties in early winter were about 5°C lower than those for wheat varieties. However snow tolerance (as measured by increase in LT_{50} on under-snow conditions) of rye varieties was those of wheat varieties. The winter hardiness of triticale varieties was lowest of all three crops, because LT_{50} values in early winter, snow tolerance and resistance to snow mold tolerance (*Typhula ishikariensis*) were most inferior of the materials used. However there was varietal difference in freezing tolerance between Canadian (Pika) and Polish varieties (Presto, Tewo, Moniko) on triticale. Winter hardiness index of Pika was the same as that for the Hokkaido's leading wheat varieties (Chihokukomugi). Winter hardiness index of Polish triticale varieties were inferior to Tsukisamu No.1, mutant lines of Norin No.10 which was bred in Touhoku district.