

Ⅲ. そばかす病抵抗性の遺伝解析と選抜試験

1. そばかす病抵抗性の品種間変異（試験5）

目 的

根釧地域に適応するアルファルファ品種の特性として耐冬性（主として凍上害抵抗性、耐凍性）とそばかす病抵抗性が共に重要であること、既存の品種にはこれら両特性が優れた優良品種は存在しないこと、それ故、本地域に真に適応する品種は改めて育成する必要があることが認められた。これら両特性のうち耐冬性については、その遺伝育種的知見はかなり蓄積されているが(MCKENZIEら, 1988)、そばかす病抵抗性についてのそれは極めて限られており、その改良のためにはさらに基礎的知見の集積が必要とされる。そこで本試験ではそばかす病抵抗性の品種間変異やその再現性、品種の来歴とそばかす病抵抗性の関係、品種の育種材料としての有望性などについて検討を行った。

材料及び方法

試験2として紹介した2つの品種比較試験から得られたそばかす病に関する調査結果を詳細に検討した。試験Aおよび試験Bともに60品種を供試し、内10品種は両試験に共通であった。品種の主な育成国はUSA、カナダ、フランスで、生育型はⅢ～Ⅴ型に属していた。播種は試験Aが1988年で、試験Bが1989年であり、耕種概要は試験2において示したとおりである。そばかす病罹病程度

の調査は褐色斑点およびハローの分布により無または微を1～甚を9とする評点法で行った。調査は罹病程度の季節間変動、年次間変動をみるために年間1～5回、3～4年間にわたって行った。また、試験Aではそばかす病が特に多発した1988年10月にそばかす病罹病程度の調査に併せて落葉程度（落葉した小葉の割合）を無または微を1、50%程度を5、90%以上を9として評点した。

結 果

そばかす病罹病程度は調査時期で異なったが、品種間差異は大きく、いずれの調査時とも有意（1%水準）で、1sd5%は1.2前後であった。品種の罹病程度別度数分布はL字型または正規型を示した（表5-1）。品種の罹病程度は同一番草における調査時期間（ $r=0.93^{**}$, 0.95^{**} , 図5-1）、同一年次（1990年）の異なる番草間（ $r=0.78^{**}$, 0.89^{**} , 図5-2）、同一番草の異なる年次間（ $r=0.82^{**}$, 0.84^{**} , 図5-3）でいずれも高い正の相関係数を示した。また、乱塊法の分散成分から推定される広義の遺伝率は0.8前後と高かった（表5-2）。以上のことから、当地域のそばかす病罹病程度の品種間変異は極めて安定した傾向を示し、品種間差異の再現性が高いことが認められた。

表5-1. そばかす病罹病程度別品種の相対度数（%）分布.

調査日		罹 病 程 度								
(日/月/年)		1.0 ～1.5	1.6 ～2.5	2.6 ～3.5	3.6 ～4.5	4.6 ～5.5	5.6 ～6.5	6.6 ～7.5	7.6 ～9.0	lsd5%
試験A	31/ 8/1988	12	48	25	7	3	2	3	0	1.4
	19/ 9/1988	0	2	52	25	8	0	8	5	1.4
	6/10/1988	0	0	0	5	63	17	2	13	0.9
	15/ 7/1989	0	2	36	38	24	0	0	0	1.8
	20/ 8/1989	0	34	48	14	4	0	0	0	1.2
	10/10/1990	2	76	18	4	0	0	0	0	0.7
	11/ 8/1991	0	30	46	24	0	0	0	0	1.2
試験B	5/ 9/1989	0	38	51	7	2	2	0	0	0.8
	11/10/1989	2	66	28	2	0	2	0	0	0.9
	30/ 6/1990	0	58	27	10	5	0	0	0	1.1
	12/ 8/1990	2	15	49	22	5	2	5	0	1.2
	10/10/1990	2	23	52	13	8	2	0	0	1.2
	11/ 8/1991	0	25	41	22	5	7	0	0	0.9

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)～9(甚).

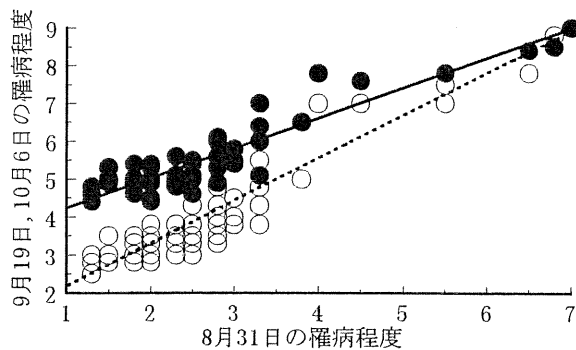


図5-1. そばかす病罹病程度の同一一番草調査回次間の相関(試験A, 1988).

- 1) ○, 9月19日 $y=3.43+0.79x$ $r=0.93^{**}$
- 2) ●, 10月6日 $y=1.06+1.12x$ $r=0.95^{**}$
- 3) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

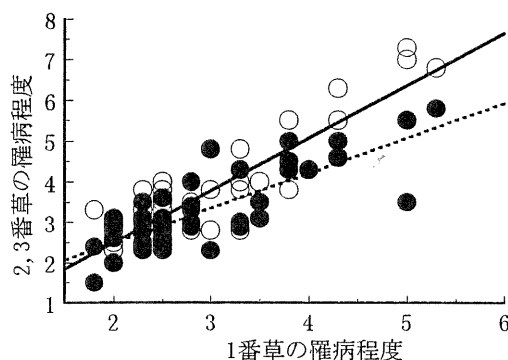


図5-2. そばかす病罹病程度の同一年次異なる一番草間の相関(試験B, 1990).

- 1) ○, 2番草 $y=-0.10+1.29x$ $r=0.89^{**}$
- 2) ●, 3番草 $y=0.76+0.86x$ $r=0.78^{**}$
- 3) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

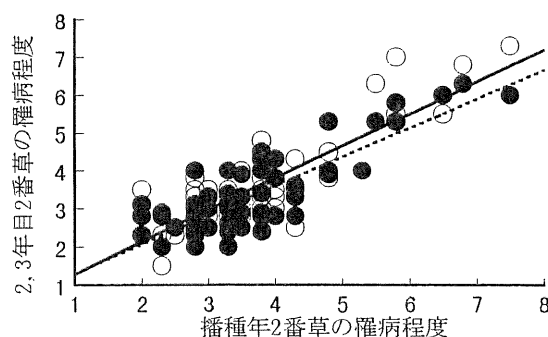


図5-3. そばかす病罹病程度の同一一番草異なる年次間の相関(試験B).

- 1) ○, 2年目1990年 $y=0.44+0.84x$ $r=0.84^{**}$
- 2) ●, 3年目1991年 $y=0.54+0.76x$ $r=0.82^{**}$
- 3) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

表5-2. 乱塊法分散分析成分から推定した広義の遺伝率.

試験 A		試験 B	
調査日	遺伝率	調査日	遺伝率
31/ 8/1988	0.88	9/ 9/1989	0.88
6/10/1988	0.94	30/ 6/1990	0.76
15/ 7/1989	0.50	12/ 8/1990	0.86
20/ 8/1989	0.73	23/ 8/1990	0.80
10/10/1990	0.83	11/ 8/1991	0.89

試験AおよびBに共通に供試した品種の平均罹病程度(全調査時の罹病程度の平均)はほぼ同程度の大きさであった(表5-3, 5-4)。そこで両試験結果をこみにして平均罹病程度により品種比較を行うと, まずⅢ型品種ではアメリカおよびフランスなどヨーロッパ産品種で罹病程度が小さい傾向が認められる。また, 「MAYA」, 「5444」, 「VERTUS」など北海道優良品種の罹病程度も全般に小さかった。しかし, 平均罹病程度の小さな品種であっても, 多発時には5.0前後と中位程度の発病が認められた。秋季休眠性が比較的大きなⅣ型品種は全般に罹病程度が大きかったが, 罹病程度が比較的小さな品種(「IROQUOIS」, 「ALGONQUIN」, 「526」, 「WM1008」)も認められた(表5-3, 5-4)。秋季休眠性が最も強いⅤ型品種の罹病程度はいずれも大きかった(表5-3, 5-4)。特に, 「ANIK」, 「RAMBLER」, 「DRYLANDER」など, そばかす病が多発した品種では小葉がほとんど落葉した。

アルファルファでは *M. falcata*, *M. varia*, Ladak, Flemish等9つの遺伝資源が知られているので(BARNES ら, 1977), 罹病程度別に代表的な品種の遺伝資源構成を既往の報告により調べた。その結果, 罹病程度が著しく大きな「ANIK」, 「RHIZOMA」, 「RAMBLER」, 「LADAK」等の構成遺伝資源は *M. falcata* および Ladakが主体であった(BARNES ら, 1977; MACKENZIE, 1981)(図5-4)。また, 遺伝資源の構成割合が不明なため図には示していない「RANGELANDER」(HEIRICHS ら, 1980), 「DRYLANDER」(HEIRICHS ら, 1977), 「ROAMER」(HEIRICHS ら, 1977)についても同様の遺伝資源が育種母材となっており, これらの品種はいずれもアメリカおよびカナダ西部の乾燥地帯を対象に育成された耐凍性品種であった(MELTON ら, 1988)。

一方, 罹病程度の小さな品種は主にFlemishを遺伝資源としていた(BARNES ら, 1977; MICHAUD, 1988; 農林水産技術会議事務局・愛知県農試, 1971; VIANDS, 1990; WOODWARD ら, 1988)(図5-5)。罹病程度が小さな品種

表5-3. そばかす病罹病程度の全調査回時の平均値, 最大値, 最小値および多発時の落葉程度
(試験A, 1988~1991).

品種	育成 ¹⁾ 生育		罹病程度 ²⁾				落葉 ³⁾	品種	育成 ¹⁾ 生育		罹病程度 ²⁾				落葉 ³⁾
	国	型	平均	最大	最小	程度			国	型	平均	最大	最小	程度	
MAYA	F	III	2.3	5.0	1.3	1.8		EXPERIMENT 412	USA	III	3.2	5.3	1.5	3.0	
5444	USA	III	2.4	4.6	1.3	2.0		キタカハ [*]	J	III	3.2	5.4	2.0	3.0	
ONEIDA VR	USA	III	2.4	4.5	1.3	1.5		VELA	DK	III	3.2	5.0	1.3	1.5	
524	CDN	III	2.4	4.4	1.3	1.5		VALOR	CDN	IV	3.2	5.1	2.5	3.0	
NY 8412	USA	III	2.5	5.0	1.0	2.3		MOHAWK	USA	III	3.2	5.3	1.5	2.3	
VEKO	DK	III	2.6	4.6	1.3	2.0		PRESCOT	DK	IV	3.3	5.5	2.0	2.0	
8602	USA	III	2.6	4.9	1.8	2.0		FORTRESS	USA	IV	3.4	5.6	2.0	2.8	
SVERRE	S	III	2.7	5.1	1.8	2.3		ELEVATION	USA	IV	3.4	5.5	2.3	3.3	
C/W-100	USA	III	2.7	4.8	1.8	1.8		WM 3006	USA	III	3.4	4.9	2.0	3.0	
VERTUS	S	III	2.8	4.8	2.0	1.0		WWB-13	S	III	3.5	5.5	2.5	2.0	
RESIS	DK	III	2.8	5.0	1.5	1.8		FUNDULEA	R	IV	3.5	5.4	2.0	2.5	
THOR	USA	III	2.8	5.4	1.8	3.0		不明	USSR	V	3.5	6.5	1.8	5.0	
EUROPE	F	III	2.8	5.3	1.8	2.3		JULUS	S	IV	3.6	5.5	1.8	2.3	
EUVER	F	III	2.8	5.0	1.5	1.8		COMMANDOR	USA	IV	3.8	6.8	1.8	2.8	
CITATION	USA	III	2.9	5.1	2.1	2.3		NARRAGANSETT	USA	IV	3.9	5.6	2.8	4.0	
ONEIDA	USA	III	2.9	4.9	2.0	2.5		NAGYSZENASI	H	III	4.1	6.1	2.3	3.5	
EXCALIBUR	USA	III	2.9	4.6	1.3	1.0		HUNTER	CDN	III	4.1	6.0	3.0	3.3	
SARANAC	USA	III	2.9	5.0	1.8	2.0		PACER	CDN	IV	4.1	6.0	3.3	3.8	
84-19	USA	III	2.9	5.3	2.0	2.5		PLOWLER	CDN	V	4.2	6.0	2.8	3.5	
LUTETIA	R	III	3.0	4.6	2.0	2.0		SPREDOR 2	USA	V	4.7	6.4	3.3	4.3	
IROQUOIS	USA	IV	3.0	5.0	1.9	2.3		RHIZOMA*	CDN	V	5.0	6.4	3.3	4.5	
ALGONQUIN	CDN	IV	3.0	5.6	2.0	2.8		PICKSTAR*	CDN	IV	5.5	7.0	3.3	5.3	
EAGLE	USA	III	3.0	4.8	1.3	1.8		LADAK*	USA	V	6.2	7.6	4.5	6.8	
GLOLIA	R	III	3.0	5.0	1.8	2.3		BEAVER*	CDN	V	6.3	7.6	4.5	7.0	
TOKAY	USA	III	3.1	5.5	1.8	2.5		PEACE*	CDN	V	6.3	7.8	4.0	7.3	
ARROW	USA	III	3.1	5.0	1.5	1.5		RANGELANDER*	CDN	V	6.7	7.8	5.5	7.5	
O. A. C. MINTO	CDN	IV	3.1	5.4	1.8	3.0		ROAMER*	CDN	V	6.9	7.8	5.5	6.8	
P532	USA	III	3.1	5.4	1.9	2.5		DRYLANDER*	CDN	V	7.4	8.4	6.5	7.8	
LUTECE	F	III	3.2	5.5	2.0	1.8		RAMBLER*	CDN	V	7.9	8.8	6.8	8.3	
ANGUS	CDN	IV	3.2	5.0	2.5	1.5		ANIK*	CDN	V	8.5	9.0	7.0	9.0	

1) CDN, Canada; DK, Denmark; F, France; H, Hungary; J, Japan; S, Sweden;

R, Rumania.

2) 1(無または微) ~ 9(甚).

3) 落葉の割合 1(無または微) ~ 5 (50%) ~ 9(90%以上), 1998年10月11日.

4) *を付した品種は1988年(播種年)のみの調査成績.

表5-4. そばかす病罹病程度の全調査回時の平均値、最大値および最小値
(試験B, 1989~1991)。

育成 ¹⁾ 生育			罹病程度 ²⁾			育成 ¹⁾ 生育			罹病程度 ²⁾		
品種	国	型	平均	最大	最小	品種	国	型	平均	最大	最小
ONEIDA VR	USA	III	1.8	2.3	1.5	DERBY	F	III	3.0	3.5	2.5
CARDINAL	F	III	2.3	2.5	2.0	JX 80R	USA	III	3.0	4.3	2.0
AF21	USA	III	2.3	2.8	2.0	WM 3012	USA	III	3.1	3.8	2.4
PROGRESS	USA	III	2.3	2.9	2.0	520	USA	III	3.1	4.0	2.3
HONEOYE	USA	III	2.4	2.8	2.0	JX 90R	USA	III	3.2	4.5	2.3
EVEREST	F	III	2.4	3.3	1.8	LIVIA	F	III	3.2	4.0	2.0
EXCALIBUR	USA	III	2.4	2.8	1.8	TRIUMF	R	III	3.2	4.3	2.0
VERTUS	S	III	2.4	2.8	2.0	ALOUETTE	CDN	IV	3.2	3.5	2.8
DART	GB	III	2.5	3.3	2.4	531	USA	III	3.3	4.0	2.5
MAYA	F	III	2.5	3.5	1.8	WM 3004	USA	IV	3.3	4.0	2.5
EUVER	F	III	2.5	3.3	2.0	ALEGRO	F	III	3.3	4.3	2.5
SARANAC	USA	III	2.5	3.5	1.8	YAL72	USA	III	3.3	5.0	2.0
P 526	USA	IV	2.5	3.0	2.0	ATRA 55	USA	III	3.4	4.0	2.3
L7855	F	III	2.7	3.5	2.0	GRACIER	F	III	3.4	4.3	2.3
EUROPE	F	III	2.7	3.3	2.3	XAR64	USA	III	3.5	4.8	2.5
ALIZE	F	III	2.7	3.5	2.3	VANGARD	?	III	3.5	4.5	2.0
ARROW	GB	III	2.7	2.8	2.0	VANCOR	USA	IV	3.6	4.3	2.5
WM 1008A	USA	IV	2.8	3.5	2.0	WM 0006A	USA	IV	3.6	4.8	2.8
CITATION	USA	III	2.8	3.8	2.3	5432	USA	III	3.8	5.3	2.8
EAGLE	USA	III	2.8	3.8	2.0	GEMINI	F	III	3.8	4.5	2.8
JX 95V	USA	III	2.8	3.5	2.3	MARIS KABUL	GB	III	3.8	4.8	2.8
MAGNUM	CDN	IV	2.8	3.3	2.0	BARRIER	CDN	IV	4.1	6.0	3.0
NY 8413	USA	III	2.8	4.8	2.0	TRUMPETOR	USA	IV	4.2	5.8	3.0
SITEL	F	III	2.8	3.8	1.8	CHOUTON	CHINA	V	4.7	5.8	3.3
キタワカハ [*]	J	III	2.9	3.8	2.0	555	USA	III	4.8	6.0	3.3
FD8701	F	III	2.9	3.5	2.3	CINNA	F	III	5.0	6.3	3.0
STAR	F	III	2.9	4.0	2.5	545	USA	IV	5.0	7.0	3.5
JUBILEE	USA	IV	3.0	4.3	2.0	TRIFECTA	AUS	III	5.2	7.3	2.8
ARC	USA	III	3.0	4.5	2.3	NPI	USA	III	5.9	7.5	3.3
THOR	USA	III	3.0	4.0	2.3	DIABLO VERDE	USA	III	6.0	7.5	3.5

1) CDN, Canada; DK, Denmark; F, France; H, Hungary; J, Japan;

S, Sweden; R, Rumania GB, United Kingdom; AUS, Austraria.

2) 1(無または微)~9(甚).

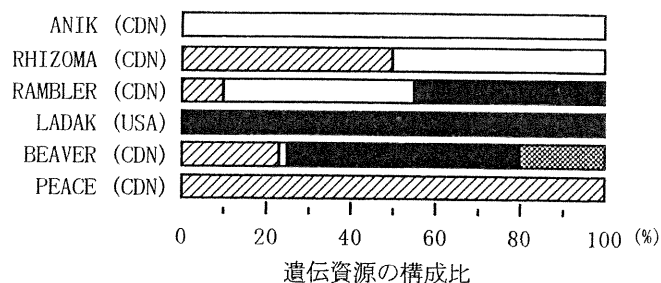


図5-4. そばかす病高罹病程度品種の構成遺伝資源。

- 1) CDN, Canada.
- 2) ■, Flemish ; ▨, *M. varia* ; □, *M. falcata* ; ■, Ladak ; ▩, その他.
- 3) 構成遺伝資源は BARNES, 1977; MACKENZIE, 1981.

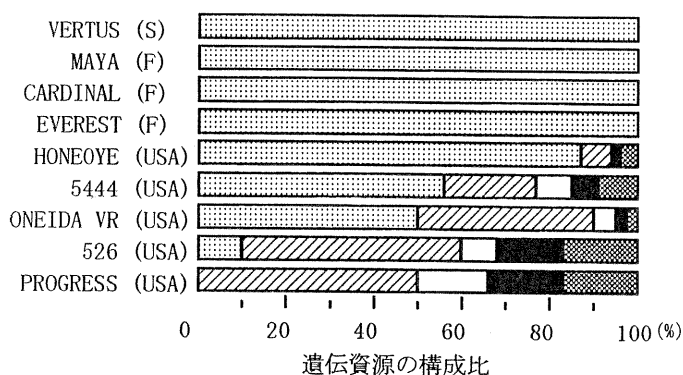


図5-5. そばかす病低罹病程度品種の構成遺伝資源。

- 1) S, Sweden; F, France.
- 2) ■, Flemish ; ▨, *M. varia* ; □, *M. falcata* ; ■, Ladak ; ▩, その他.
- 3) 構成遺伝資源はBARNES ら, 1977; MICHAUD ら, 1988; 農林水産技術会議他, 1971; VIANDS ら, 1990; WOODWARD, 1987, 1988による.

はそばかす病が主要な葉枯れ性病害の1つとなっているフランス等のヨーロッパ産品種(MICHAUD ら, 1988) およびアメリカ東部向けの品種(MELTON ら, 1988)であった。*M. varia* を主要な構成遺伝資源とした品種には「PEACE」(MACKENZIE ら, 1981)のように罹病程度の大きな品種もあれば、逆に、「PROGRESS」(BARNES ら, 1977), 「526」(WOODWARD ら, 1988)のように小さな品種もあった。IV型品種の中で比較的罹病程度の小さな「IROQUOIS」, 「ALGONQUIN」, 「526」の主要な構成遺伝資源は *M. varia* であった(BARNES ら, 1977)。以上のことから、品種のそばかす病抵抗性と遺伝資源および育成環境との間に密接な関係があることが認められた。

考 察

そばかす病は糸状菌 *Leptosphaerulina briosiana* (POLL.) GRAHAM and LUTTRELL (以下そばかす病菌と略す)に

よって引き起こされる葉枯れ性病害で(GRAHAM ら, 1972), 落葉を伴うため葉部割合の低下等によって茎葉の生産性を量的, 質的に低下させる(井澤, 1976; WILCOXSON ら, 1972)。同病は北米の中北部および東部(MELTON ら, 1988)やヨーロッパ(MICHAUD ら, 1988)等の冷涼湿潤な地帯に発生が知られている。日本国内では1956年千葉市で発生が確認され(西原, 1981), 北海道では1957年に本試験を実施した中標津町においてはじめて発生が確認された(成田, 1963)。本病菌は冷涼湿潤条件を好むため, 湿潤なわが国では北海道から九州にいたる各地で発生が認められるが, なかでも冷涼な北海道での被害が大きいとされている(西原, 1981)。北海道内では道東, 道北, 道央での発病が知られているが(杉信, 1975), 本病菌の特性から北海道内でも最も冷涼湿潤な根釧地域での発病が最も激しいものと推察される。

そばかす病抵抗性については, これまでにも比較的少数の品種を供試した試験から品種間変異の存在が報告されているが(HANSON ら, 1964; 西原, 1964; 杉信, 1975; THAL ら, 1987), 本試験のように広範な品種を同時に比較した成績は知られていない。そばかす病菌にはレースの存在が示唆されているものの, その遺伝的特性などに関する知見は乏しい(ELGIN ら, 1988)。また, 幼苗検定も可能とされるが(Fox ら, 1991), 検定時に同一葉上に耐病性病斑と感受性病斑が混在したり(北海道農業試験場飼料資源部, 1993), 幼苗検定と圃場における自然発病との間に一致性を欠くなどの問題が残されている(ELGIN ら, 1988)。

本試験の結果では毎年罹病程度に大きな品種間変異が認められ, 本試験地が好適な選抜環境をもつことが分かった。変異の大きさは調査時期によって異なるものの, 時期別相関係数および広義の遺伝率はともに大きく, 品種間変異は極めて安定した傾向を示した。ただし, 供試材料の中で安定して低い罹病程度を示した品種も時として中位程度(評点で5.0前後)の発病を示し, 抵抗性のさらなる改良が必要であることも認められた。

葉枯れ性病害の発生が少ないアメリカおよびカナダ西部の乾燥地帯を対象に育成された秋季休眠性の強い品種はそばかす病抵抗性が劣っていた。他方, Flemish系に属するアメリカ東部およびフランスなどヨーロッパ産のIII型品種には抵抗性に勝る品種が多く認められ, 遺伝資源として注目された。Flemish系は葉部病害に強い遺伝資源として知られているが(BARNES ら, 1977), このことはこれらの地域においてそばかす病が比較的重要な葉枯れ性病害の1つとなっていることと関係しているものと考えられる(MELTON ら, 1988; MICHAUD ら, 1988)。また,

varia 系に属するIV型品種にも抵抗性がやや優れた品種が認められた。

varia 系は *M. falcata* と *M. sativa* の自然交配の結果形成されたもので(BARNES ら, 1977), 秋季休眠性が比較的強く, 強い耐凍性が期待される遺伝資源であり, 注目される。

摘 要

そばかす病罹病程度には大きな品種間変異が毎年認められた。また罹病程度の調査時期間の相関係数($r=0.78^{**} \sim 0.95^{**}$)および広義の遺伝率(0.8)もともに大きかった。これらのことから当地域がそばかす病の好適な発病環境にあり, 自然発病に基づく抵抗性選抜のための有効な適地であると考えられた。平均罹病程度が安定して小さな品種はIII型であり, これらの主要な構成遺伝資源はFlemish系であった。また, *M. varia* から構成される品種の中にも例外的に罹病程度の小さな品種が認められた。これらはそばかす病抵抗性をもつ耐凍性品種育成のための有望な遺伝資源として注目された。

2. そばかす病抵抗性の品種内個体変異（試験6）

目 的

根釧地域ではそばかす病抵抗性の品種間変異を高い精度で検出できること、また Flemish系品種および *M. varia* 系に属する1部品種の抵抗性が勝ることを認め、これらは遺伝資源として有望と考えられた。しかし、これら低い罹病程度を示す品種も発病が著しい時には中位程度に罹病することから、根釧地域向けアルファルファ品種としてはさらに高度の抵抗性が必要であると判断された。本試験では抵抗性改良素材として有望であることが認められた品種系統を供試し、当地域の自然環境を活用してそばかす病抵抗性の品種内個体変異について検討した。

材料及び方法

供試材料として「ONEIDA VR」, 「5444」, 「DART」, 「VERTUS」, 「P526」, 「AF21」の6品種および中位程度の抵抗性を示す「キタワカバ」を選定した（表6-1）。また、北海道農業試験場で最近育成された「ヒサワカバ」, 「マキワカバ」, 「月系2号」, 「月系3号」, 「月系14号」, さらに、米国でそばかす病抵抗性の標準品種として用いられている「MSA-PL-L」(Fox ら, 1991; Hill ら, 1979; Hill ら, 1989)を併せて供試した。

1993年6月7日にあらかじめペーパーポット（てん菜用規格1号）で養成した苗（4月19日播種）を70×70cmの個体植えて圃場に定植した。供試個体数は1区50個体として「MSA-PL-L」が150個体（3反復）、他の12品種はそれぞれ250個体（5反復）とした。8月19日に1番草を刈取り、秋季の再生草について自然発病のそばかす病罹病程度を個体別に3回（10月2日、同10日、同20日）観察した。罹病程度の評価は小葉における病斑（褐色の斑点およびハロー）の多少と落葉程度に基づき1～9として評点した。すなわち、病斑が無または微で落葉が認められない場合を評点1、病斑が全小葉の50%程度に分布し、茎の下位節の小葉に落葉が認められる場合を評点5、病斑が全小葉の90%以上に分布し、落葉が下位節から上位節の小葉にも認められる場合を評点9とした。

結 果

平均罹病程度の品種間差異は各調査時とも統計的に有

意であった（表6-1）。平均罹病程度は「MSA-PL-L」が最も小さく、ついで「ヒサワカバ」が、「キタワカバ」のそれは各調査時とも最も大きかった（表6-1）。「MSA-PL-L」はそばかす病抵抗性のみの選抜によって育成された実験的な系統であることから(Fox ら, 1991; Hill ら, 1989), 現在の実用品種の中では「ヒサワカバ」の抵抗性が最も優れていると考えられた。平均罹病程度は各品種系統とも経時的に高まり、最終調査時には中位程度の発病となった（表6-1）。各品種系統の罹病程度別個体の相対度数分布は、代表的な3品種についてみられるように（図6-1）、いずれもほぼ正規型であった。罹病程度のレンジは6～8であり、各調査時とも極めて大きく、標準偏差は1.0～1.5であった。

最終調査の10月20日まで罹病程度の評点1を維持した個体は認められなかったが、2～3の低い罹病にとどまる個体が各品種系統に認められた（表6-1）。これらの結果は、供試した品種系統には抵抗性に関して大きな個体変異がまだ残存していること、そこには高い抵抗性個体も多く含まれていることを示している。

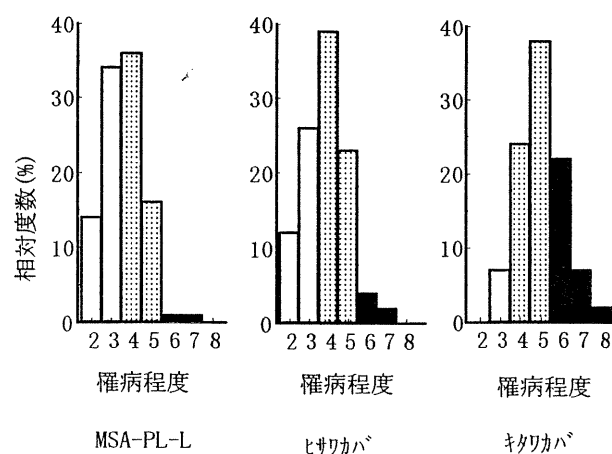


図6-1. そばかす病罹病程度別個体の相対度数分布。
1) 10月2, 10, 20日調査の平均値による, 1993.
2) そばかす病罹病程度, 1(無または微)～9(甚).

表 6-1. そばかす病罹病程度¹⁾の品種内個体変異および品種間変異.

品種 系統名		調 査 月 日			平均
		10月 2日	10月10日	10月20日	
MSA-PL-L (USA)	平均	2.1a ²⁾	3.2 a	4.4 a	3.2 a
	標準偏差	1.10	1.11	1.14	0.96
	最小-最大	1-9	1-9	3-9	1.7-9.0
ヒカリハ ³⁾ (J)	平均	2.5 b	3.4 ab	4.6 ab	3.5 b
	標準偏差	1.34	1.23	1.20	1.12
	最小-最大	1-7	1-9	2-9	1.3-8.3
月系14号 (J)	平均	2.8 c	3.6 c	4.8 b	3.7 c
	標準偏差	1.36	1.17	1.14	1.08
	最小-最大	1-7	1-7	2-9	1.3-7.0
マキハ ³⁾ (J)	平均	2.8 c	3.7 cd	4.9 bc	3.8 cd
	標準偏差	1.49	1.45	1.20	1.26
	最小-最大	1-7	1-9	2-9	1.3-8.3
月系3号 (J)	平均	2.9 c	3.7 cd	5.0 cd	3.9 cd
	標準偏差	1.36	1.22	1.16	1.09
	最小-最大	1-7	1-9	2-9	1.3-8.0
ONEIDA-VR (USA)	平均	3.2 de	3.8 cd	5.0 cd	4.0 de
	標準偏差	1.33	1.12	1.07	1.01
	最小-最大	1-7	1-8	2-8	1.3-7.0
5444 (USA)	平均	3.2 de	3.9 de	4.9 bc	4.0 de
	標準偏差	1.44	1.31	1.02	1.10
	最小-最大	1-7	1-8	2-7	1.3-7.3
月系2号 (USA)	平均	3.0 cd	3.8 cd	5.1 cd	4.0 de
	標準偏差	1.52	1.39	1.19	1.25
	最小-最大	1-7	1-9	3-9	1.7-8.3
DART (GB)	平均	3.4 ef	4.0 de	5.2 d	4.2 ef
	標準偏差	1.28	1.20	1.13	1.06
	最小-最大	1-7	1-9	3-9	1.7-8.3
ハーツ (S)	平均	3.2 de	4.1 ef	5.3 d	4.2 ef
	標準偏差	1.26	1.07	1.03	0.95
	最小-最大	1-7	1-7	3-9	2.0-7.7
AF-21 (USA)	平均	3.5 ef	4.2 f	5.1 cd	4.3 ef
	標準偏差	1.50	1.32	1.22	1.23
	最小-最大	1-7	2-8	2-8	1.7-7.7
P526 (USA)	平均	3.4 ef	4.2 f	5.5 e	4.4 f
	標準偏差	1.29	1.13	1.16	1.02
	最小-最大	1-7	1-8	2-9	1.3-7.0
キラカハ ³⁾ (J)	平均	3.6 f	4.6 g	5.9 f	4.7 g
	標準偏差	1.39	1.32	1.18	1.13
	最小-最大	1-9	1-9	3-9	2.0-7.7

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

2) ダンソンの多重検定により各調査回次における有意差を示す(P=0.05).

考 察

そばかす病については、幼苗検定の評価と自然発病による圃場の評価が異なることなどから、その好適な発病環境を再現することが難しいとされてきた(ELLIN ら, 1970; EIGIN ら, 1988)。このことは本病抵抗性の改良においては小さい抵抗性の差異をも評価できる選抜環境が極めて重要であることを示している。本試験の結果では抵抗性に勝る品種系統内にもまだ抵抗性に関する大きな変異が存在することが認められた。その理由はこれらの品種系統がそばかす病抵抗性を主要な育種目標として育成されたものでないことに因ると考えられる。しかしまた本試験地の気象条件が抵抗性の個体変異の検出に極めて有効であるために、隠されていた変異が顕在化したためであるかも知れない。いずれにせよこれらの結果はこれらの品種系統を育種素材として用い、本地域の圃場条件下で罹病程度の小さな個体の選抜を行えば、現存する品種よりさらに高い抵抗性をもつ新品種を育成することが可能であることを示唆した。

摘 要

そばかす病に対して中位～上位の抵抗性を有する13品種系統を供試し、抵抗性に関する品種内個体間変異の大きさを推定した。品種系統の平均罹病程度は米国産の抵抗性標準品種「MSA-PL-L」が最も小さく、ついで「ヒサワカバ」が小さかった。品種系統内個体変異は標準偏差が1.0～1.5、レンジが6～8であり、極めて大きかったことから、中位から上位の抵抗性品種にも抵抗性に関する大きな個体変異が内蔵されていることが認められた。

3. そばかす病抵抗性の狭義の遺伝率の推定（試験7）

目 的

そばかす病抵抗性に対する選抜効率をみるため狭義の遺伝率を推定した2・3の報告が知られている。そこでHILL ら (1972; 1979)は0.00~0.34の低い遺伝率を、また、EIGIN ら (1970)は0.03~0.80の中位の遺伝率を報告している。両推定値間には大きな差異が存在するが、それでもこれらの結果からそばかす病の狭義の遺伝率はそれ程高くないものと考えられている。そこで本試験でも交雑を行って得た後代を用い親子関係からそばかす病抵抗性の狭義の遺伝率の推定を試みた。

材料及び方法

子と片親からの推定

1994年11月交配親としてそばかす病抵抗性、生育型（草型、秋の草勢）で特徴のある21クローンを選定し（表7-1）、1994-1995年の冬期間に温室内において相互交配を行い、母本別に採種した。後代をビニールハウス内においてペーパーポットで育苗し（4月下旬播種）、1995年6月上旬、70×70cmの個体植えて圃場に移植した。各母系とも10個体／区で、3反復とした。施肥量は定植時にN-P₂O₅-K₂O kg/aとして0.35-1.75-0.70であった。

なお、幼苗の移植時に、5個体からなる各クローン（交配親）をその後代と共にほ場に定植した。1995年8月

下旬に親クローンおよび後代を同時に刈り取り、秋の再生草についてそばかす病罹病程度、秋の草型および草勢を調査した。親クローンと後代の調査は同時に行った。狭義の遺伝率は子の片親に対する回帰係数を2倍することにより推定した。

子と中間親からの推定

1993年5月下旬、表7-2に特性を示した12品種から任意の個体を掘り取り、株分け（各5個体）して、ビニールハウス内に定植し、交配親とした。次に6品種づつの3セットについて15とおりの組み合わせで片面ダイヤレル交配を行い（表7-3）、後代各15系統を得た。交配時には除雄はしなかった。後代をガラス室内においてペーパーポットで育苗し（4月下旬播種）、1994年6月上旬、70×70cmの個体植えて圃場に定植した。各母系とも10個体／区で、3反復とした。施肥はN-P₂O₅-K₂O kg/aとして定植時に0.35-1.75-0.70を施した。親クローンも同一圃場に定植し、施肥、刈取りを後代と同様に行った。1994年8月下旬に親クローンおよび後代を同時に刈り取り、秋の再生草についてそばかす病罹病程度、秋の草型および草勢を調査した。また、1995年の早春には冬枯れ程度および早春の草勢を調査した。親クローン、後代の調査は同時に行った。子の中間親に対する回帰係数をそのまま狭義の遺伝率とした。

表7-1. 交配用クローンの調査成績（1994年）.

クローン 番号	クローンが 由来する 品種系統	草型 ¹⁾ 10月17日	草丈 (cm) 10月7日	そば ³⁾ かす 病	クローン 番号	クローンが 由来する 品種系統	草型 ¹⁾ 10月17日	草丈 (cm) 10月7日	そば ³⁾ かす 病
G10-1	DRYLANDER	5	34	2.7	G10-13	ヒツカハ ²⁾	3	73	1.7
G10-2	DRYLANDER	6	38	2.7	G10-14	ヒツカハ ²⁾	3	63	2.0
G10-3	DRYLANDER	7	36	3.0	G10-15	ヒツカハ ²⁾	4	56	2.3
G10-4	DRYLANDER	7	32	8.3	G10-16	ヒツカハ ²⁾	4	60	4.0
G10-6	DRYLANDER	5	37	8.7	G10-17	ヒツカハ ²⁾	2	60	4.3
G10-7	キタリカハ ²⁾	3	47	2.3	G10-18	ヒツカハ ²⁾	3	56	5.0
G10-8	キタリカハ ²⁾	5	56	3.0	G10-27	月系2号	9	35	1.7
G10-9	キタリカハ ²⁾	4	46	3.0	G10-29	月系14号	5	55	1.7
G10-10	キタリカハ ²⁾	5	49	6.7	G10-36	ONEIDA VR	3	71	1.7
G10-11	キタリカハ ²⁾	3	44	7.0	G10-37	AF21	9	71	1.0
G10-12	キタリカハ ²⁾	5	51	7.7					

1) 草型, 1(直立)~9(開張). 2) そばかす病, 1(無または微)~9(甚), 10月1, 14, 22日3回調査の罹病程度平均.

表7-2. 交配に用いたクローンが由来する品種の特性¹⁾.

NO	品種名	育成地	そばかす病	休眠性 ²⁾	NO	品種名	育成地	そばかす病	休眠性 ²⁾
V1	EVEREST	フランス	やや強	弱	V7	CARDINAL	フランス	やや強	弱
V2	EUVER	フランス	やや強	弱	V8	P524	アメリカ	やや強	やや強
V3	ONEIDA-VR	アメリカ	やや強	やや弱	V9	ONEIDA-VR	アメリカ	やや強	やや弱
V4	キタカハ [*]	日本	中	中	V10	キタカハ [*]	日本	中	中
V5	BARRIER	カナダ [*]	弱	強	V11	P555	アメリカ	弱	中
V6	FLOWER	カナダ [*]	弱	極強	V12	DAIABLO VERDE	アメリカ	極弱	中

1) 「キタカハ^{*}」との相対評価。試験1, 2, 3の特性評価による。

2) 秋季休眠性を示す。

表7-3. 交配組合せ。

G-1群						G-2群						G-3群					
クローン	V2	V3	V4	V5	V6	クローン	V2	V3	V4	V5	V6	クローン	V7	V8	V9	V10	V12
NO	-2	-2	-1	-2	-2	NO	-5	-6	-5	-3	-6	NO	-1	-2	-1	-1	-1
V1-2	○	○	○	○	○	V1-6	○	○	○	○	○	V 7-1	○	○	○	○	○
V2-2		○	○	○	○	V2-5		○	○	○	○	V 8-2		○	○	○	○
V3-2			○	○	○	V3-5			○	○	○	V 9-1			○	○	○
V4-1				○	○	V4-5				○	○	V10-1				○	○
V5-2					○	V5-3					○	V11-1					○
V6-2						V6-6						V12-1					

結 果

そばかす病罹病程度の親子間の相関係数は極めて高く、子と片親間の親子回帰から推定された遺伝率は0.62～0.88, 平均で0.74であった(表7-4、図7-1～3)。遺伝率が高いとされている草型および中位とされている草勢の推定値がそれぞれ0.98および0.50であったことからみて、抵抗性の遺伝率0.74はかなり高い水準にあると判断される。

また子と中間親の親子回帰から推定された抵抗性の狭義の遺伝率はいずれの群とも極めて大きく0.51～1.24, 平均で0.94～1.14であった(表7-5)。遺伝率が1.0以上に推定された理由は調査値の回帰直線からのふれが大きかったためであるが、それでもそばかす病抵抗性に関する回帰では秋の草丈や草型の回帰に比べてふれは小さ

く(図7-4, 5, 6), 推定値の信頼度は高いと判断された。同時に推定された耐冬性関連形質の遺伝率は,

それぞれ推定値が1.0から大幅に越えたものを除いて判断すると, おおよそ草型0.8, 秋の草丈1.0, 冬枯れ程度0.6, 春の草勢0.6程度であった(表7-5)。これらのうち冬枯れ程度の遺伝率が小さく推定された理由は, 調査年の冬枯れ被害が小さかったためと思われる。そばかす病抵抗性の遺伝率をこれらの形質の遺伝率と比較すると, 抵抗性の遺伝率は高い遺伝率をもつことが知られている草型や秋の草丈とほぼ同じ程度に大きく, 子と片親間の回帰から得られた結果よりも高い遺伝率が推定されたものと判断された。

表7-4. 親子回帰(子と片親)による調査形質の遺伝母数の推定.

項 目		そばかす病罹病程度 ¹⁾			秋の草勢 ²⁾	草型 ³⁾
		10月3日	10月18日	平均	10月18日	9月26日
子と片親	相関係数	0.92	0.80	0.90	0.51	0.84
親子回帰	回帰係数	0.44	0.31	0.37	0.25	0.49
	標準誤差	0.04	0.05	0.04	0.09	0.07
	回帰定数	1.63	2.58	2.10	4.79	2.35
遺伝率		0.88	0.62	0.74	0.50	0.98

1) そばかす病罹病程度, 1(微または微)~9(甚).

2) 秋の草勢, 1(不良)~9(良).

3) 草型, 1(直立)~9(開張).

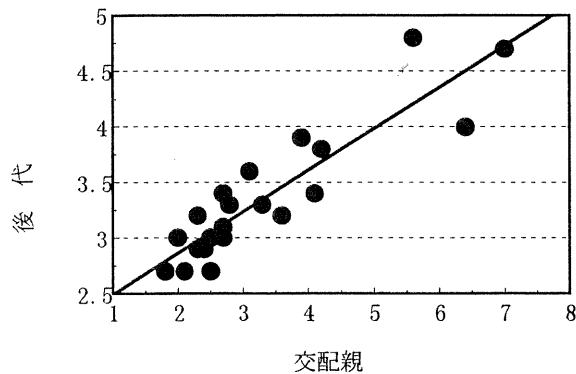


図7-1. そばかす病罹病程度に関する子の片親への回帰.

1) $y = 2.10 + 0.37x$.

2) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

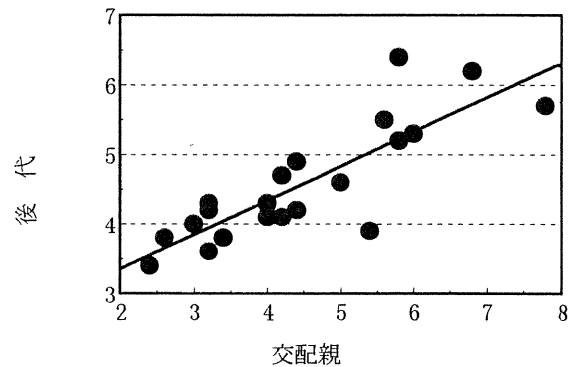


図7-3. 草型に関する子の片親への回帰.

1) $y = 2.35 + 0.49x$.

2) 草型, 1(直立)~9(開張).

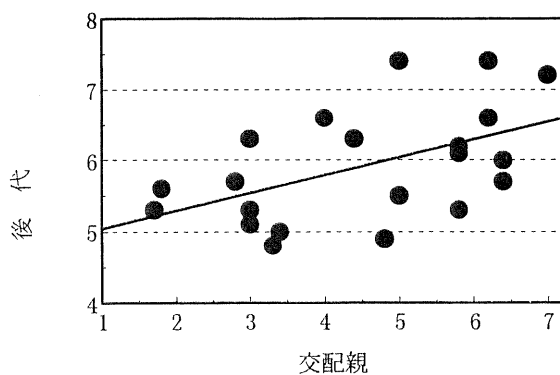


図7-2. 秋の草勢に関する子の片親への回帰.

1) $y = 4.79 + 0.25x$.

2) 秋の草勢, 1(不良)~9(良).

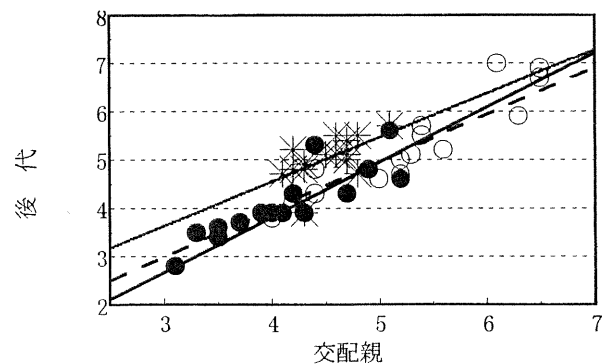


図7-4 そばかす病罹病程度に関する子の中間親への回帰.

1) ○, G-1群, $y = -0.17 + 1.14x$.

2) ●, G-2群, $y = 0.02 + 0.99x$.

3) *, G-3群, $y = 0.77 + 0.94x$.

4) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

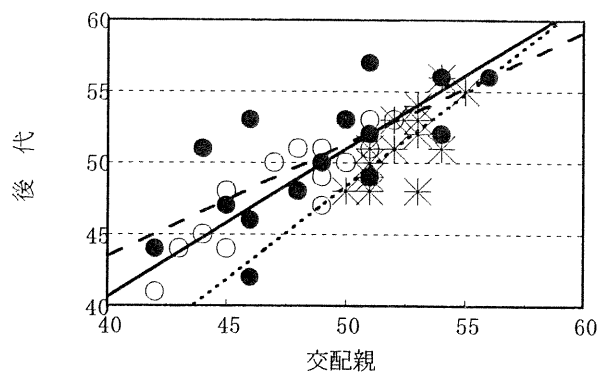


図7-5 秋の草丈に関する子の中間親への回帰.

- 1) ○, G-1群, $y = -5.19 + 1.13x$.
- 2) ●, G-2群, $y = 13.10 + 0.76x$.
- 3) *, G-3群, $y = 28.35 + 1.52x$.
- 4) 草丈, cm.

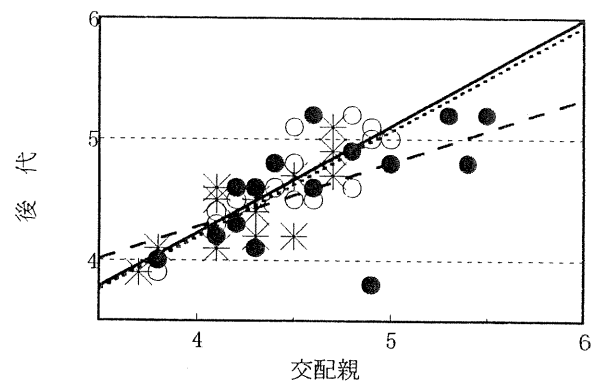


図7-6 草型に関する子の中間親への回帰.

- 1) ○, G-1群, $y = 0.97 + 0.82x$.
- 2) ●, G-2群, $y = 2.22 + 0.52x$.
- 3) *, G-3群, $y = 0.90 + 0.83x$.
- 4) 草型, 1(直立)~9(開張).

表7-5. 親子回帰 (子と中間親) による調査形質の遺伝母数の推定.

項 目		1994年			1995年			
		そばかす病罹病程度 ¹⁾			草型 ²⁾	草丈 (cm)	冬枯れ ³⁾	春の草勢 ⁴⁾
		10月15日	10月20日	平均				
----- G - 1 群 -----								
子と中間親	相関係数	0.91	0.92	0.93	0.81	0.90	0.62	0.83
親子回帰	回帰係数	1.00	1.24	1.14	0.82	1.13	1.33	1.46
	標準誤差	0.13	0.14	0.12	0.16	0.45	0.38	0.27
	回帰定数	0.05	-1.39	-0.17	0.97	-5.19	-1.38	-1.87
遺伝率		1.00	1.24	1.14	0.82	1.13	1.33	1.46
----- G - 2 群 -----								
子と中間親	相関係数	0.81	0.90	0.87	0.59	0.71	0.35	0.72
親子回帰	回帰係数	0.85	1.06	0.99	0.52	0.76	0.66	0.61
	標準誤差	0.17	0.14	0.16	0.20	0.21	0.48	0.16
	回帰定数	0.64	-0.38	0.02	2.22	13.10	0.99	2.68
遺伝率		0.85	1.06	0.99	0.52	0.76	0.66	0.61
----- G - 3 群 -----								
子と中間親	相関係数	0.79	0.26	0.62	0.81	0.78	0.49	0.65
親子回帰	回帰係数	0.83	0.51	0.94	0.83	1.52	0.62	0.54
	標準誤差	0.18	0.52	0.33	0.17	0.34	0.30	0.18
	回帰定数	1.02	3.06	0.77	0.90	-28.35	1.28	2.88
遺伝率		0.83	0.51	0.94	0.83	1.52	0.62	0.54

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

2) 草型, 1(直立)~9(開張).

3) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).

4) 春の草勢, 1(不良)~9(良).

考 察

そばかす病抵抗性の遺伝率は子の片親に対する回帰からの推定(0.6~0.9)、子の中間親に対する回帰からの推定(概ね0.8~1.0)ともに、これまでの知見に比べて極めて高く、安定した成績が得られた。このことからそばかす病抵抗性の変異が遺伝的であること、当地域のような多発環境では秋季の自然感染による評価によってそばかす病抵抗性に関する高い選抜効果が期待できることが示された。

また生育型と密接な関係にある秋の草丈(草勢)および草型についても既往の知見のように高い遺伝率が得られたが(杉信, 1973)、そばかす病抵抗性についても同様な遺伝率が得られたことから、そばかす病抵抗性の遺伝率が高い水準にあることが間接的に証明された。耐冬性については冬枯れ程度の変異が小さく、推定精度は高くないと考えられたが、それでも0.62以上の遺伝率が得られたことは、耐冬性が遺伝的な形質で、ほ場選抜が有効であることを示唆した。

摘 要

そばかす病抵抗性を自然感染により個体レベル(圃場での個体植え)で評価し、狭義の遺伝率を推定した。そばかす病抵抗性の狭義の遺伝率は子の中間親に対する回帰からの推定で概ね 0.8以上と推定され極めて高かった。したがって、根釧地域では自然感染による罹病程度に基づく選抜によって抵抗性に対する高い選抜効果が期待できることが分かった。

4. そばかす病抵抗性に対する選抜効果（試験8）

目 的

そばかす病抵抗性について高い狭義の遺伝率が推定されたことから、選抜に大きな効果が期待できることが分かった。そこで本試験では中位の抵抗性を示す「キタワカバ」を基礎集団として用い、実際に選抜を行うことによりどの程度の選抜効果が実現するか、実現遺伝率を推定することにより確認しようとした。

材料及び方法

抵抗性および感受性の2方向へ、2サイクルの集団選抜を行った（図8-1）。「キタワカバ」集団を選抜0世代（C0）とし、1993年11月中旬、罹病程度の高い個体群（感受性方向）と罹病程度の低い個体群（抵抗性方向）の2群を選抜した。1993～1994年の冬期間に温室内で各群内の相互交配を行い、個体別に採種し、C1世代を得た。次に、C1世代の苗をガラス室で養成し、1994年6月、選抜0世代に隣接して定植した。いずれも1母系当たり30個体（1区10個体、3反復）とした。秋の再生草についてそばかす病罹病程度を調査し、同様の方法で感受性方向または抵抗性方向への選抜を行い、1994～1995年の冬期間に交配・採種し、C2世代を得た。1995年には、C2世代をC0およびC1世代集団に隣接させ

て1母系当たり30個体（1区10個体、3反復）を定植した。なお、選抜にあたっては、そばかす病罹病程度のみに注目し、選抜個体の草型および秋の草勢については考慮しなかった。

C0およびC1世代の集団は1995年まで圃場で維持するとともに、1993、1994年の選抜個体は茎挿しによって5個体からなる栄養系とし、その翌年にその後代と同一圃場に栽植した。また、1994、1995年にはC0世代と同一ロット種子からなる「キタワカバ」の無選抜個体群を新たに同一圃場に定植した。

1995年には1993～1995年に栽植した全個体を対象に、秋の再生草について2回（9月26日、10月15日）、そばかす病罹病程度を観察した。無選抜集団のそばかす病罹病程度の平均値および標準偏差は栽植年次に関わらずよく一致したことから、そばかす病罹病程度は個体の年数に関わらず同等に評価できると判断し、この2回の罹病程度の平均値を用い、FALCONER (1960)の方法に基づいて累積選抜差と選抜反応の関係から実現遺伝率を算出した。1995年には「MSA-PL-L」を栽植し（1区20個体、3反復）、選抜各世代のそばかす病抵抗性と比較した。また、そばかす病罹病程度とともに秋の草勢、草型についても調査した。

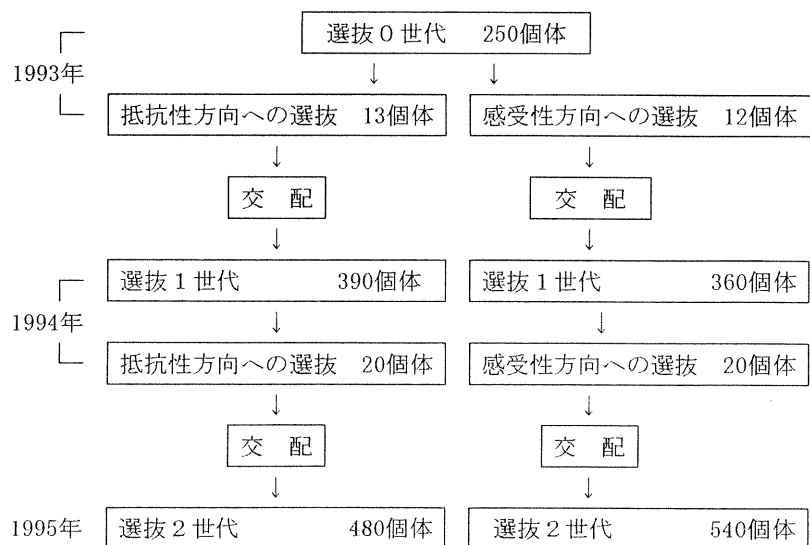


図8-1. そばかす病抵抗性選抜の経過.

結 果

各選抜世代の罹病程度別個体の度数分布は（図8-2）
）、分布のピークが選抜に伴い罹病程度の小さい方向または大きな方向に移動した。また、平均罹病程度は無選抜のC0世代から2回選抜後のC2世代にかけて抵抗性方向への選抜で2.9低下し、感受性方向では2.5高まった。標準偏差は世代が進むに伴って小さくなる傾向が認められた。

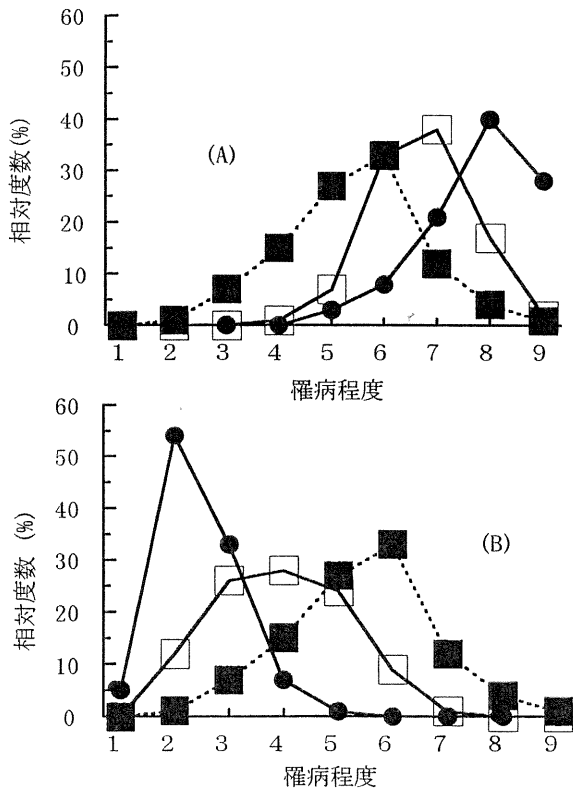


図8-2. 選抜に伴うそばかす病罹病程度別個体の相対度数分布の変化。

- 1) 無選抜集団, ■, C0 5.1 ± 1.3 .
- 2) Aは感受性方向, □, C1 6.4 ± 1.0 ; ●, C2 7.6 ± 1.0 .
- 3) Bは抵抗性方向, □, C1 3.7 ± 1.2 ; ●, C2 2.2 ± 0.7 .
- 4) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

累積選抜差と選抜反応の回帰式から推定した実現遺伝率は、抵抗性方向への選抜では0.89、感受性方向の選抜では0.77とともに大きかった（図8-3）。抵抗性方向への選抜各世代の平均罹病程度を「MSA-PL-L」のそれと比較すると、無選抜のC0世代およびC1世代では有意に大きかったが、C2世代では有意に小さく、抵抗性選抜集団の抵抗性が勝っていた（図8-4）。以上のことから、そばかす病抵抗性に対する選抜効果が極めて高いこと、2世代の集団選抜により現存する最高の抵抗性品種よりも高い抵抗性を有する集団が得られることが認められた。

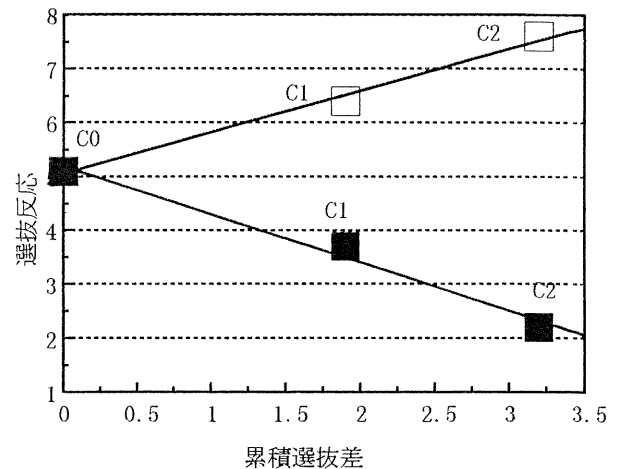


図8-3. そばかす病抵抗性選抜における累積選抜差と選抜反応。

- 1) □, 感受性方向への選抜, $y = 5.05 + 0.77x$.
- 2) ■, 抵抗性方向への選抜, $y = 5.19 - 0.89x$.
- 3) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).

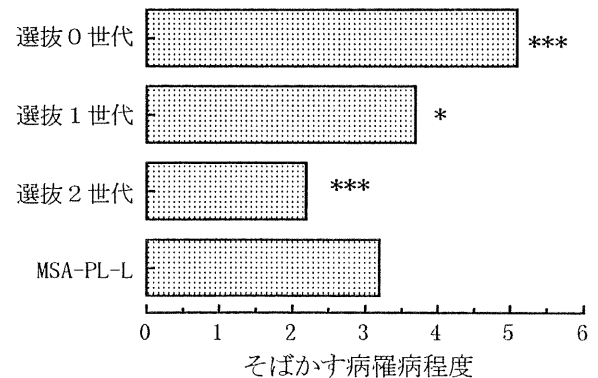


図8-4. そばかす病に関する抵抗性方向への選抜各世代とMSA-PL-Lの罹病程度の差異。

- 1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).
- 2) *, 5%水準で有意; ***, 0.1%水準で有意.

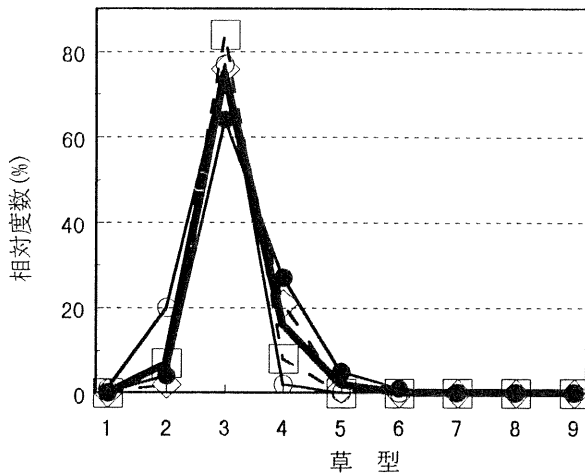


図8-5 選抜各世代における草型別個体の相対度数分布。

- 1) マーカー無し実線, 選抜0世代.
- 2) ○, 抵抗性方向選抜1世代.
- 3) ●, 抵抗性方向選抜2世代.
- 4) □, 感受性方向選抜1世代.
- 5) ◇, 感受性方向選抜2世代.
- 6) 草型, 1(直立)～9(開張).

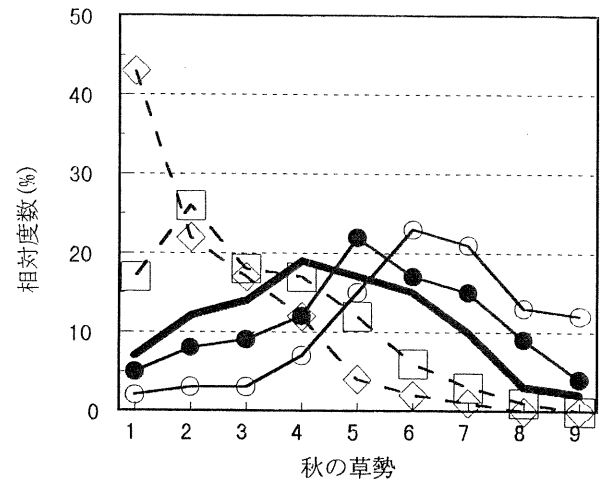


図8-6 選抜各世代における秋の草勢別個体の相対度数分布。

- 1) マーカー無し実線, 選抜0世代.
- 2) ○, 抵抗性方向選抜1世代.
- 3) ●, 抵抗性方向選抜2世代.
- 4) □, 感受性方向選抜1世代.
- 5) ◇, 感受性方向選抜2世代.
- 6) 秋の草勢, 1(不良)～9(良).

そばかす病抵抗性の選抜が他の越冬性関連形質に及ぼす影響では、選抜によって草型の平均値、標準偏差はほとんど変化しなかった(図8-5)。秋季休眠性を示す秋の草勢は感受性方向への選抜の場合、世代の経過、罹病程度の高まりとともに低下を示した(図8-6)。これに対して、抵抗性方向への選抜では選抜0世代に比べてC1世代の草勢が増大したものの、C2世代では0世

代と1世代のほぼ中間の草勢であった(図8-5)。冬枯れ程度は無選抜集団に比べて感受性方向への選抜個体(交配親クローン)およびその後代で高かったが、抵抗性方向への選抜個体(交配親クローン)およびその後代では無選抜集団に比べれば同程度か、やや低下した(表8-1)。

表8-1. そばかす病に対する無選抜集団、選抜個体群(交配親)およびその後代(選抜1世代)の冬枯れ程度および春の草勢。

個 体 群 名	選抜時の そばかす病罹病程度 ¹⁾		冬枯れ程度 ²⁾	春の草勢 ³⁾
	1994年		1995年	1995年
	9月28日	10月20日	4月2日	5月22日
無選抜集団	4.0c ⁴⁾	5.8bc	5.3ab	5.3ab
感受性方向の交配親	5.7d	7.6d	8.0c	3.1c
抵抗性方向の交配親	2.6a	3.1a	4.8a	6.2a
感受性方向選抜1世代	5.6d	7.4cd	7.0bc	3.5bc
抵抗性方向選抜1世代	3.1b	3.9ab	4.8a	5.9a

- 1) そばかす罹病程度, 1(無または微)～9(甚).
- 2) 冬枯れ程度, 1(無または微)～9(甚).
- 3) 春の草勢, 1(不良)～9(良).
- 4) ダンカン多重検定.

考 察

「キタワカバ」を用いた選抜試験の結果、高い実現遺伝率 (0.77, 0.89) が得られ、大きな選抜効果を実証できた。このような結果が得られた第1の理由として、目標個体を高い精度で選抜できたことが考えられる。神戸ら(1997)は、ほ場条件の人工接種によって菌核病(病原、*Sclerotinia trifoliorum* ERIKS.)の発病を促し、選抜の際のエスケープ率を低くし、循環選抜によりこれまで困難とされていた菌核病抵抗性の選抜・改良に成功している。本試験では自然発病に基づいてそばかす病に対する選抜を行ったが、根鉋地域の安定した多発環境が大きな個体変異を発現させ、個体レベルでの単年度、複数回の観察、評価で精度の高い選抜を可能にしたものと考えられる。第2の理由としては「キタワカバ」の遺伝資源構成が考えられる。アルファルファは降水量の少ない近東および中央アジア周辺が起源とされており、一般に多雨環境での適応性は低く、湿潤条件下で多発する病害に対してはその抵抗性遺伝子の頻度が本来低いと考えられている(神戸, 1992)。しかし、「キタワカバ」の構成14クローン内、7クローンが北海道内の永年生存株に由来しており、そのほかにも葉枯れ性病害の遺伝資源として注目されるFlemish系品種に由来する2クローンを含んでいる(植田ら、1985)。このため、「キタワカバ」は比較的高い頻度で抵抗性遺伝子を有しており、このことも2世代で高い選抜効果が得られた一因と考えられる。

なお、根鉋地域向けのアルファルファ品種には同病抵抗性ととともに耐冬性、特に耐凍性が重要であることから、抵抗性選抜に当たっては選抜が他の特性に与える影響も考慮されなければならない。結果では、草型については選抜に伴う変化が認められなかったが、秋季休眠性の大きさを示す秋の草勢については感受性方向への選抜が草勢を低下させることが認められた。また抵抗性方向への選抜では、無選抜集団から選抜1世代で草勢が増大したものの、選抜2世代ではやや低下し、無選抜集団と選抜1世代の中間の大きさであった。試験4でそばかす病抵抗性と秋の草勢に相関が認められなかったことも考えあわせると、抵抗性方向または感受性方向への選抜各世代間で認められた秋の草勢の差異は秋季休眠性の大きさの変化を示すものではなく、そばかす病抵抗性遺伝子頻度の増加または減少が個体の生育の良否に影響したために認められる現象と推察される。選抜各世代の冬枯れ程度の差異についても同様にそばかす病害による生育の影響を反映したものと理解することが妥当である。

摘 要

「キタワカバ」を用いて推定した実現遺伝率は抵抗性方向への選抜では0.89、感受性方向の選抜では0.77と大きかった。2回の集団選抜の結果、平均罹病程度は感受性方向への選抜では評点が2.5高まり、抵抗性方向への選抜では2.9低下した。この結果、得られた抵抗性集団のそばかす病抵抗性程度は既存の抵抗性品種「MSA-PL-L」より有意に勝ることとなった。このことから、本試験で用いた選抜手法により、高度の抵抗性をもつ系統を育成することが可能であることが分かった。

IV. 実証試験

1. 生育型を異にするそばかす病抵抗性育種母材の育成（試験9）

目 的

そばかす病抵抗性と他の適応形質との関係では、そばかす病などの葉枯れ性病害を主とした選抜を行うと秋季休眠性が弱く、直立型で耐凍性、永続性に劣る系統が選抜される可能性が示唆されたが、そばかす病抵抗性とこれらの形質間の関連性は、遺伝的にそれ程強いものではないことも認められた（試験4）。したがって、両形質を平行して選抜していけば種々の生育型をもつそばかす病抵抗性系統の育成が可能であると考えられる。これらの結果を踏まえ本試験では、種々の生育型を有するそばかす病抵抗性育種素材の育成が可能であることを実証しようとした。そのために播種当年の個体について、秋季にそばかす病抵抗性と生育型（秋季休眠性、草型）の選抜を行い、冬期間温室内で交配、採種し、翌春選抜個体の後代を播種するという1年1サイクルで世代を進め、得られた選抜集団について検討を行った。

材料と方法

1993年6月上旬、これまでの試験に基づきそばかす病抵抗性に勝るⅢ型品種・系統を主体に一部にⅣ型の品種等からなる3つの個体群を養成し、これらを選抜の基礎集団（選抜0世代）とした。K0-1群は「ヒサワカバ」、 「マキワカバ」、 「キタワカバ」等北海道農業試験場育成の3品種・3系統および海外から導入された7品種系統、合計13品種系統からなる3,250の個体群であり、同年4月中旬、ペーパーポットに播種、間引き後1本立てで個体を養成し、6月上旬、圃場に70×70cmで個体植えた。基肥として0.35-1.75-0.70kg/a(N-P₂O₅-K₂O)を施用した。K0-2群は「ALGONQUIN」、 「O. A. C. MINTO」、 「IROQUOIS」などのⅣ型品種を含む22品種系統1,100個体からなり、また、K0-3群はいずれも北海道農業試験場育成の20系統500個体からなる。前者は播種後4～5年目の条播試験ほ場から、後者は播種後6年目の条播試験ほ場から6月上旬それぞれ任意の個体を掘り取り、定植して供試した。肥料は基肥として0.35-1.75-0.70 kg/a(N

-P₂O₅-K₂O)を施用した。8月下旬、1番草を刈取り、2番草の再生草についてそばかす病罹病程度を9～10月に3回、同時期の草型（直立型1～開張型9）、秋季休眠性（草丈または草勢）を個体別に調査した。

個体の選抜に当たってはそばかす病抵抗性を重視し、まず各群でそばかす病罹病程度が低い数十個体をリストアップし、その中で罹病程度が低い、生育が特に不良な個体、茎枯れ病（病原、*Ascochyta imperfecta* Pk.）など他の病害が認められる個体を淘汰した。その上で、生育型（秋季休眠性および草型）の目標個体を選定し、同年11月選抜対象個体を掘り取り、1/5000aポットに移植した。冬期間温室内で群内の相互交配を行い、株毎に採種した。翌春（1994年）、後代種子を用いて苗の養成、ほ場への定植、同年秋の形質評価、個体の選抜を行い、冬期間に温室において採種した。このようにして得られた選抜第2世代8群（各群600個体）を1995年6月上旬、圃場に70×70cmで個体植えし、秋季にそばかす病罹病程度、生育型を調査した。

なお、本試験では選抜効果を検討するために各世代とも標準品種として「ヒサワカバ」および「MSA-PL-L」を栽植した。

結 果

選抜0世代（1993年）3群におけるそばかす病罹病程度は「キタワカバ」よりやや低いものの、概ね「ヒサワカバ」並みかやや大きかった（表9-1）。群内の個体変異を示す標準偏差はそばかす病罹病程度、秋季休眠性（秋の草丈）及び草型とも選抜0世代の3群と品種間で大差なかった（表9-1）。選抜第2世代のそばかす病罹病程度はいずれの個体群とも「ヒサワカバ」および「MSA-PL-L」より有意に小さかった。すなわち、選抜2世代においてそばかす病抵抗性は「ヒサワカバ」および「MSA-PL-L」を凌駕するほど高まった。標準偏差は全群とも標準品種よりやや小さい傾向が認められた。

表9-1. 選抜0世代におけるそばかす病罹病程度, 秋の草丈および草型(1993年).

群名	そばかす病罹病程度 ¹⁾				草丈(cm)	草型 ²⁾
	10月2日	10月10日	10月20日	平均	9月27日	9月25日
平均 KO-1	3.1	3.9	5.1	4.0	55.5	5.7
KO-2	2.8	3.1	4.3	3.4	57.2	5.5
KO-3	2.1	3.0	4.4	3.0	56.8	4.0
ヒサカハ [△]	2.5	3.4	4.6	3.5	58.1	4.9
キタカハ [△]	3.6	4.6	5.9	4.7	55.5	6.2
MSA-PL-L	2.1	3.2	4.4	3.2	52.0	4.9
標準 KO-1	1.4	1.3	1.3	1.2	9.6	1.5
偏差 KO-2	1.1	0.9	0.9	0.8	9.6	1.5
KO-3	1.0	1.0	1.3	1.0	10.5	1.4
ヒサカハ [△]	1.3	1.2	1.2	1.1	9.1	1.2
キタカハ [△]	1.4	1.3	1.2	1.1	8.7	1.5
MSA-PL-L	1.1	1.1	1.1	1.0	10.8	1.6

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)～(甚). 2) 草型, 1(直立)～9(開張).

表9-2. 選抜2世代におけるそばかす病罹病程度, 秋の草丈および草型(1995年).

育成群名	生育型選抜方向		そばかす病罹病程度 ¹⁾				草丈(cm)	草型 ²⁾
	草型	休眠性	10月2日	10月11日	10月22日	平均	10月17日	9月29日
平均 PG-1	直	強	1.5	1.9	2.2	1.9	37.5	3.7
PG-2	開	強	1.7	1.8	2.5	2.0	32.8	5.1
PG-3	直	弱	1.3	1.5	2.0	1.6	40.4	3.8
PG-4	直	弱	1.3	1.5	1.9	1.6	42.8	3.4
PG-5	開	弱	1.4	1.5	2.0	1.6	38.8	4.6
PG-6	直	弱	1.3	1.5	2.1	1.6	38.5	3.3
PG-7	開	強	1.5	1.6	2.0	1.7	37.4	4.8
PG-8	直	弱	1.4	1.7	2.1	1.7	40.6	3.0
ヒサカハ [△]			2.4	2.6	3.2	2.7	38.1	3.0
MSA-PL-L			2.4	2.5	3.0	2.6	38.9	3.3
標準 PG-1	直	強	0.6	0.7	0.7	0.5	8.4	1.0
偏差 PG-2	開	強	0.7	0.7	0.9	0.6	8.4	1.1
PG-3	直	弱	0.5	0.6	0.8	0.6	8.4	1.0
PG-4	直	弱	0.5	0.6	0.8	0.5	8.7	0.8
PG-5	開	弱	0.5	0.6	0.8	0.5	9.4	1.0
PG-6	直	弱	0.5	0.6	0.7	0.5	8.8	0.8
PG-7	開	強	0.6	0.6	0.7	0.5	9.6	1.1
PG-8	直	弱	0.6	0.6	0.9	0.6	8.5	0.6
ヒサカハ [△]			0.8	1.1	1.0	0.8	7.6	0.5
MSA-PL-L			0.8	0.7	1.1	0.7	9.7	0.8

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)～9(甚). 2) 草型, 1(直立)～9(開張).

各群の草型および秋の草丈は各群における選抜方向を概ね反映した傾向を示しており、秋季休眠性の弱い方向、強い方向への選抜効果、また、草型では直立型方向または開張型方向への選抜効果が認められた(表9-2)。各群における秋の草丈および草型の標準偏差は「ヒサワカバ」並かやや大きく、両形質については品種並かやや大きな個体変異を含んでいた(表9-2)。

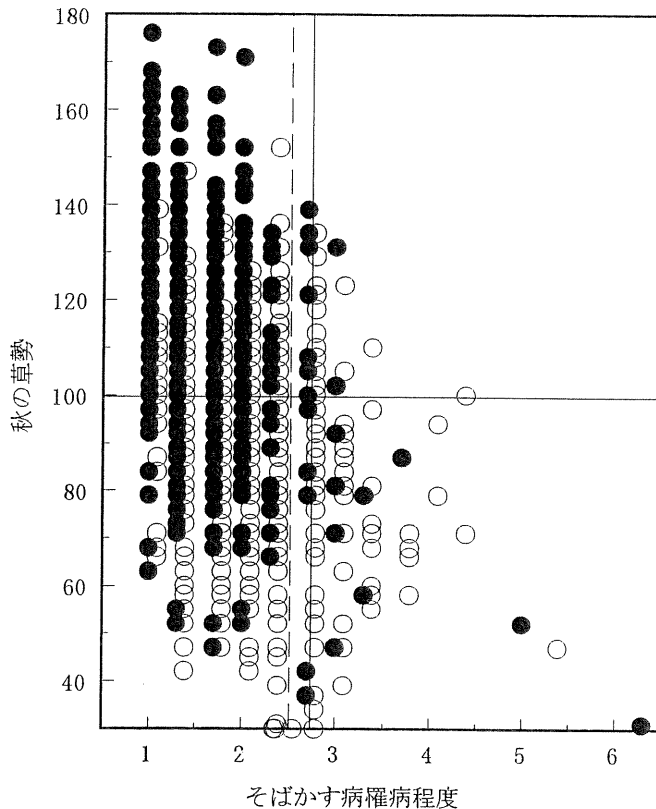


図9-1. そばかす病抵抗性と生育型による選抜第2世代 1,200 個体のそばかす病罹病程度と秋の草勢の関係。

- 1) ○, 秋季休眠性強方向への選抜後代(PG-2群).
- 2) ●, 秋季休眠性弱方向への選抜後代(PG-4群).
- 3) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).
- 4) 秋の草勢,「ヒサワカバ」の草丈平均値に対する%.
- 5) 図中実線ラインの交点,「ヒサワカバ」位置.
- 6) 図中の点線,「MSA-PL-L」のそばかす病罹病程度.

そばかす病罹病程度と生育型,特に秋季休眠性の個体変異についてPG-2群(開張型で秋季休眠性が強い方向へ選抜)およびPG-4群(直立型で秋季休眠性が弱い方向へ選抜)を例に各形質値に基づく個体の散布図を用いて検討した(図9-1)。選抜個体後代のそばかす病罹病程度は多くが「ヒサワカバ」および「MSA-PL-L」の平均値を下回っており、選抜の効果が明らかに認められた。前述のように平均的にみれば秋の草丈は秋季休眠性弱方向に選抜したPG-4群の方が秋季休眠性強方向に選抜したPG-

2群より高かった。また、秋季休眠性が強い個体には中位程度にそばかす病が発生した個体も認められたが、これらの多くは休眠性の強い方向に選抜を進めたPG-2群に属していた。いずれにしても両群とも秋季休眠性の個体変異は大きく、両群を込みにすると秋の草丈は「ヒサワカバ」対比で最小の35から最大で175に達した。このことはそばかす病抵抗性に優れ、かつ種々の秋季休眠性を有する個体変異が存在すること、特に「ヒサワカバ」の生育型をⅢ型とすると休眠性がより強いⅣ型的な個体変異も得られたことを示している。

考 察

本試験では生育型に着目しながらそばかす病抵抗性の選抜を進めた。その結果、高度のそばかす病抵抗性と特徴ある生育型を有する母材群が作出できた。このことによって、本試験に用いた手法が実用的な育種母材の選抜・作出においても適用でき、有効であることが明らかとなった。本試験で育成された各群におけるそばかす病抵抗性の個体変異は「ヒサワカバ」に比較して小さかったが、生育型については並かやや大きかった。これはそばかす病抵抗性の選抜を優先した結果、生育型に対する選抜がやや甘くなり、各群内に比較的大きな生育型の変異を温存する結果となったためと考えられる。しかし、試験7でも認められたように生育型の遺伝率は大きいことが知られており(杉信ら,1973;嶋田ら,1992)、育成したそばかす病抵抗性個体の中から目標とする秋季休眠性個体を選抜、交配すれば秋季休眠性でも特徴のあるそばかす病抵抗性系統の育成が可能であることが分かった。

摘 要

種々の秋季休眠性をもつ育種母材の育成を実証するため、播種当年、秋季にそばかす病抵抗性と生育型について個体選抜を行い、冬期間、温室内で交配、採種した。同様の選抜サイクルを2回進めて8群からなる選抜第2世代を得た。8群のそばかす病罹病程度は各群の平均で標準の「ヒサワカバ」、「MSA-PL-L」より有意に小さかった。また、生育型では「ヒサワカバ」以上に秋季休眠性が強く、開張型の個体群も得られ、各群の生育型は「ヒサワカバ」並かやや大きな個体変異を含むことが認められた。このことから、本試験で用いた手法を育種の実用場面に適用することによってⅢ型のみならずⅣ型的生育特性を有する高度にそばかす病抵抗性な育種母材が作出できることが分かった。

V. 総 合 考 察

アカクロバに比べて本来永続性が勝り、飼料価値に優れたアルファルファはルーサンペレット、ヘイキューブまたは乾草等の形で多量に輸入されており、北海道内における流通量は6万tを越えると見積もられている（北海道農政部資料，1997年）。乳牛の飼料としての酪農家の大きなニーズは、強い栽培志向にも反映されており、最近の20年間でその面積は約5倍に増加した。主な栽培地帯は北海道東部の網走地域（北海道のアルファルファ栽培面積約1万haの約30%）であるが、20万haの草地を

擁する酪農地帯・根釧地域の栽培面積は250ha（1997年）に過ぎず、同じ道東でも主産地の網走地域とは対照的である（北海道農政部，1997）。この理由は、根釧地域において本草種を定着維持させることがなかなか困難であるということに因っている。そこで本研究では、根釧地域に適応するアルファルファ品種の特性と適応要因を明らかにし、本地域に高度に適応する新品種を育成するための基礎的知見を得ようとした。

1. 根釧地域に適応する品種系統の特性と適応要因の解析

北海道東部におけるアルファルファの適応要因の解析は、主として耐冬性との関係から行われてきた。その結果、北海道東部においてアルファルファの定着と維持を制限している主要な要因は、凍害、凍上害、アイスシート害、雪腐れ病等に起因する冬枯れであるとされてきた（早川ら，1963；堀川ら，1987；KOMATSU ら，1985；仁木，1953；SHIMADA，1982；山口ら，1981）。一方、根釧地域の夏期の気象は、無霜期間が約130日間と極めて短かく、冷涼湿潤で、日照時間も極めて少ないなど道東でも特異的である。同じく土壌凍結地帯に属するが夏期が「やませ」の影響を受けず比較的高温多照である網走地域では、アルファルファの栽培面積の急激な増加が認められていることから、夏期の気象条件もまた定着、維持に大きく影響していることが伺われた。それ故、アルファルファの導入・定着に当たっては当地域の冬期間のみならず夏期間の気象条件にも適応する品種の特性を改めて明らかにする必要があると考えられた。

そこでまず海外からの導入品種と国内の育成系統からなる広範な変異を含む材料を供試し、長期に渡る品種系統比較試験を実施した。その結果、土壌凍結地帯の厳しい越冬環境を反映して冬枯れがやはり重要であるが、冷涼湿潤な夏期間の気象条件で多発するそばかす病も同様に重要であることが分かった。北海道東部の耐冬性には凍害、凍上害、アイスシート害、雪腐れ病等が関与しているが、根釧地域ではこれらの内、個体定着期の凍上害と定着期以降の凍害の関与が特に重要であった（図10-1）。耐冬性は当地域における個体の定着、維持およ

び茎葉生産性を左右していた。一般に根釧地域のように冬期間、積雪が少ない土壌凍結地帯では個体が低温に直接的に曝されるため、耐冬性は主として耐凍性に左右される。また耐冬性の品種間変異は生育型と関連し、耐冬性は生育型Ⅲ型<Ⅳ型<Ⅴ型のようにⅤ型に近いほど大きくなる傾向が知られている（HEINRICHs ら，1960；堀川ら，1985；KOHLE ら，1960；LARSON ら，1963；SHIMADA ら，1982；SMITH，1961；STOUT，1989；STOUT ら，1992）。それ故、寒さの厳しい当地域の越冬のためには北海道で通常用いられているⅢ型品種よりもさらに秋季休眠性の強いⅣ、Ⅴ型品種の方が有利ではないかと言われてきた（堀川ら，1987；SHIMADA ら，1982；杉信ら，1980）。しかし、海外導入品種を用いた比較試験の結果では、耐冬性はⅣ型およびⅤ型品種でむしろ劣り、逆にⅢ型品種で勝る傾向があった。すなわち、初期生育が旺盛で、秋季休眠性が中位なⅢ型品種は造成年の凍上害と2年目以降の凍害の両方に抵抗性で勝り、結局永続性でも勝る結果となった。

このような結果が得られた理由はそばかす病害による影響にあった。アルファルファ個体は当地域の夏期の冷涼湿潤下では生育が停滞しやすいばかりではなく、このような条件を好むそばかす病を主とした葉枯れ性病害にも著しく侵される。したがって本病害にある程度の抵抗性をもつ品種系統でなければ本地域では正常な生育が期しがたいが、導入品種間変異では生育型がⅤ型に近いもののほど病害が大きいという関連性があったため、結局Ⅴ型品種のもつ優れた耐凍性は病害のため発現されずマスクされたことが分かった（図10-1）。そこでさらに

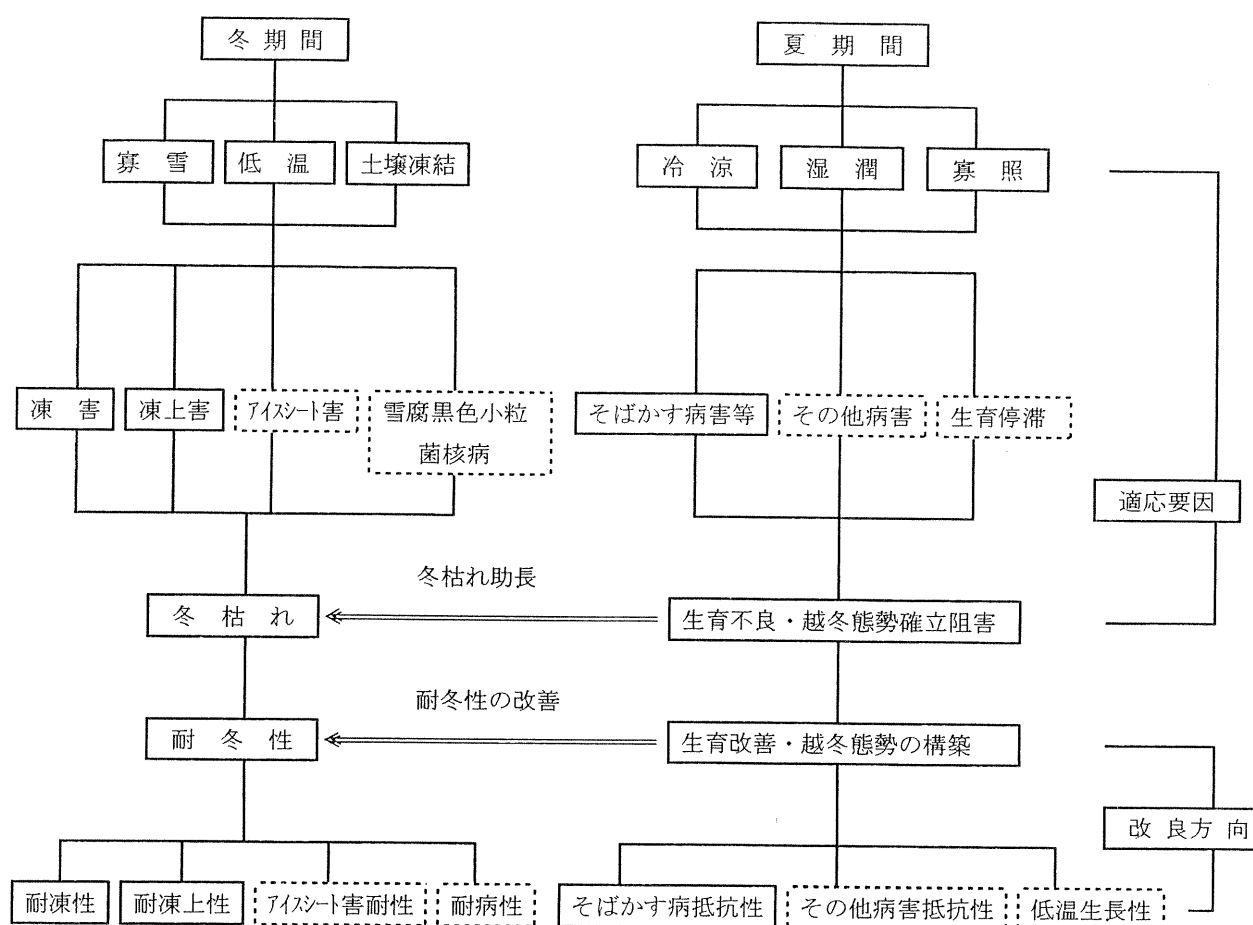


図10-1. 根釧地域におけるアルファルファの主要な適応要因と当面の改良方向。

1) 適応要因, 改良方向とも実線部は特に重要であることを示す。

そばかす病抵抗性について「キタワカバ」以上の抵抗性を有する多数の国内育成系統を供試し、本病害抵抗性が高い水準にある系統間でも同様な関連性がみられるか再検討した。その結果、直立型で秋季休眠性が相対的に弱い系統は耐凍性、永続性が劣る傾向が認められ、他の土壤凍結地帯でみられる既往の知見(HEINRICH, 1960; 堀川ら, 1985; KOHEL ら, 1960; LARSON ら, 1963; MCKENZIE ら, 1988; SHIMADA ら, 1982; SMITH, 1961; STOUT ら, 1989; STOUT ら, 1992)と一致する結果が得られた。

以上のことから本地域に適応する品種が具備すべき特性として耐凍性が極めて重要であるが、耐凍性のみの改良だけでは不十分で、そばかす病抵抗性の改良も不可欠であることが明らかになった(図10-1)。両特性のうち耐凍性については遺伝育種の知見はかなり多い(MCKENZIE ら, 1988)が、そばかす病抵抗性のそれは極めて

て限られている。

そこで導入品種の比較試験により得たそばかす病に関する調査結果によりその変異性を検討すると、そばかす病抵抗性と秋季休眠性との間に強い負の相関関係が認められ、抵抗性と耐凍性・耐凍性間に負の相関関係が存在するのではないかと疑われた。このことは抵抗性と耐凍性の両特性をもつ系統の育成が困難であることを示唆する。しかし次に行った葉枯れ性病害抵抗性、草勢、永続性を目標に選抜育成した多数系統の解析結果では、そばかす病抵抗性で、耐凍性と永続性が優れた系統が多く認められ、そばかす病抵抗性と耐凍性の相関関係が遺伝的にリンクされた強いものでないことが示された。しかし、葉枯れ性病害抵抗性の改良では、遺伝資源とする抵抗性品種の来歴から直立型で、秋季休眠性が弱く、耐凍性、永続性が劣る個体・系統が選抜される可能性があることから、そばかす病抵抗性と耐凍性または生育型を別々に選

抜するのではなく、それらを同時に選抜することが両特性を両立させるために必要であることも分かった。

2. そばかす病抵抗性の改良に関する基礎試験

そばかす病抵抗性の改良を最優先すべきと考えたことから、まずそばかす病抵抗性の評価法、変異の大きさとその再現性、選抜に関する遺伝的統計量の推定、有用な遺伝資源などについて検討した。その結果、罹病程度に大きな品種間変異が存在すること、変異の大きさは調査時期によって異なるものの、時期別相関係数および広義の遺伝率はともに大きく、品種間変異は極めて安定した傾向を示すこと、葉枯れ性病害の発生が少ないアメリカおよびカナダ西部の乾燥地帯を対象に育成された秋季休眠性の強い耐凍性品種はそばかす病抵抗性が劣っていたが、Flemish系に属するアメリカ東部およびフランスなどヨーロッパ産のⅢ型品種には抵抗性に勝る品種が認められることなどが分かった。また品種系統内の個体変異については、相対的にそばかす病抵抗性に優れた品種系統にも大きな個体変異が含まれていること、したがってこれらを育種素材にしてさらに高度の抵抗性品種を育成できること、毎年本病が多発する気象条件をもつ根釧地域は選抜の場として優れており、抵抗性の個体変異の検出にも極めて有効であることが認められた。ついでこれらの変異がどれくらい遺伝性であるか遺伝率を推定することにより検討したところ、遺伝率は子の片親に対する

回帰からの推定では0.6~0.9、子の中間親にたいする回帰からは概ね0.8~1.0であった。この値はこれまでの知見(HILL ら, 1972, 1979; EIGIN ら, 1970) に比べて極めて高く、そばかす病抵抗性が高度に遺伝的形質であることが確認された。このことから本試験地のような多発環境下では個体植えと秋季の自然感染による評価によって、すなわち接種試験や発病促進処理を行わなくとも、そばかす病抵抗性に対する高い選抜効果が期待できることが分かった。

そこで実際に選抜試験を行いこのことを検証した。そばかす病抵抗性が中位な「キタワカバ」を基礎集団として用いて、2サイクルの選抜を行ったところ高い実現遺伝率(0.77, 0.89)が得られ、抵抗性方向に選抜した集団の抵抗性程度は、現存する品種のうちで最大の抵抗性をもつ「MSL-PL-L」のそれより有意に大きかった。このような大きな選抜効果が認められた理由として、「キタワカバ」の遺伝資源構成(植田ら, 1985)も考えられるが、何よりも根釧地域の安定した多発環境が大きな個体変異を発現させたこと、個体レベルで単年度の評価であっても、複数回の観察・評価が精度の高い選抜を可能にしたことなどが考えられた。

3. 生育型を異にするそばかす病抵抗性育種母材の育成と今後の方向

播種当年の個体について秋季にそばかす病抵抗性と生育型(秋季休眠性、草型)の評価・選抜を行い、冬期間、温室内で交配、採種して翌春選抜個体の後代を播種する1年1サイクルの手順で数世代を進めた結果、種々の生育型を有する高度のそばかす病抵抗性育種母材の育成が可能であることが実証できた。このことによって、本試験に用いた手法が、実用的な育種母材の選抜・作出においても適用でき、有効であることが明らかとなったと考えられる。

一般に、秋季休眠性が強い品種ほど、耐凍性が強いが、このような品種は秋季休眠が早いために秋季になると生長が早く停止し、生産性は低くなる。土壌凍結地帯の根

釧地域では今の品種以上の耐冬性・耐凍性が望まれるが、過度の秋季休眠性は生産性を犠牲にしかねないので、当地域において必要十分な秋季休眠性と耐凍性を有する品種を育成する必要がある。当地域において認められた凍上害は個体の定着段階で特に問題となる。一般に秋季休眠性の増大は側根の発達、根量の増大を伴う傾向があるとされるが(SMITH, 1951; 上野, 1967; BARNES ら, 1988; JOHNSON ら, 1998), 本試験の結果では休眠性の強い品種ほど根量が少ない傾向が認められた。したがって秋季休眠性については初期生育および造成年における根系の発達を促進し、凍上害を回避する観点からも検討が必要と考えられる。

本研究では根釧地域において必要十分な秋季休眠性の大きさ、耐凍性の大きさについては明らかにできなかった。しかし、高度のそばかす病抵抗性を有し、Ⅲ型的生育特性をもつ母材、Ⅳ型的特性をもつ母材が作出できたことから、これらの育種母材はそれぞれの秋季休眠性に対応した耐凍性が発現されると期待される。今後、それら母材の耐凍性の水準を明らかにするとともに、これらの内、どの程度の秋季休眠性をもつ母材が根釧地域において必要十分な耐凍性を示すか確認する必要がある。その上でそばかす病抵抗性個体の中から目標とする秋季休眠性、耐凍性をもつ個体を選抜し、系統を育成することが、当面における根釧地域向けアルファルファの適応性改良の方向と考えられる。

VI. 摘 要

本来永続性が勝り、飼料価値に優れたアルファルファは乳牛の飼料として酪農家のニーズは大きく、栽培志向も強い。しかし、20万haの草地を擁する酪農地帯・根釧地域の栽培は極めて少なく、同じ東部でも主産地の網走地域とは対照的である。この主な理由は根釧地域において本草種の定着と植生維持が困難なことに起因している。

根釧地域を含む北海道東部は冬期に土壤凍結が深く進行し、越冬環境が厳しい。一方、根釧地域は、夏期に冷温なオホーツク海高気圧の影響を強く受けるため冷涼湿潤で、寡照である。それ故、本研究ではアルファルファの導入・定着を促進するために、当地域の気象条件に適応する品種の特性を明らかにし、そのような品種を育成するための基礎的知見を得ようとした。

が示された。

- ⑤そこで、そばかす病に対して「キタワカバ」以上の抵抗性を有する多数の国内育成系統を供試し、生育型と耐冬性および永続性の関係を再検討した結果、耐冬性、永続性は開張型で秋季休眠性が大きな系統が直立型で秋季休眠性が弱い系統より勝る傾向を認めた。
- ⑥以上の結果から当地域におけるアルファルファの適応性については個体の維持を直接的に左右する耐冬性の改良に着目することだけでは不十分であり、夏期間の生育の良否をつうじて耐冬性にも大きく影響するそばかす病抵抗性の改良が不可欠と考えられる。このことが、夏期冷涼湿潤な土壤凍結地帯向け品種育成の最も大きな特徴である。

1. 適応要因

- ①生育型がⅢ型～Ⅴ型に属する海外導品種を供試し、比較試験を実施した結果、土壤凍結地帯の厳しい越冬環境を反映して冬枯れがやはり重要で、耐冬性は当地域における個体の定着、維持および茎葉生産性を左右していた。
- ②北海道東部の耐冬性には凍害、凍上害、アイスシート害、雪腐病等の関与が知られているが、これらの内、個体定着期の凍上害と定着期以降の凍害の関与が示された。
- ③一般に土壤凍結地帯では耐冬性の品種間差異は秋季休眠性の大きさに対応してⅢ型<Ⅳ型<Ⅴ型となることが知られている。しかし、海外導品種の耐冬性はⅢ型>Ⅳ型>Ⅴ型の順に勝る傾向があった。すなわち、初期生育が旺盛で、秋季休眠性が中位のⅢ型品種は造成年に発生した凍上害に抵抗性で、2年目以降の凍害にも勝る傾向が認められ、永続性でも優れる結果となった。
- ④さらに、冷涼湿潤な夏期間の気象条件で多発するそばかす病害も特に重要であることが分かった。耐冬性に勝る品種は秋季休眠性が中位でそばかす病に強い特性を有することから、そばかす病害が耐凍性に影響を及ぼしていることが示唆された。その影響を解析した結果、同病害が個体の生育、耐凍性を低下させていると

2. 適応関連形質の選抜改良

- ①そばかす病罹病程度の品種間変異は大きく、極めて安定した傾向を示した。また、相対的にそばかす病抵抗性に優れた品種・系統には大きな個体変異が含まれていた。
- ②抵抗性は品種の来歴と密接な関係があり、Flemish系に属するアメリカ東部およびフランスなどヨーロッパ産のⅢ型品種が勝っていた。
- ③このため、選抜時に直立型で、秋季休眠性が弱く、耐冬性、永続性が劣る個体・系統が選抜される可能性があることから、そばかす病抵抗性と生育型または耐冬性を同時に選抜することが両形質を兼ね備えた品種育成のため重要であると考えられた。
- ④そばかす病抵抗性の狭義の遺伝率は子の中間親に対する回帰からの推定で概ね0.8以上と大きく、抵抗性が遺伝的形質であり、選抜効果の高いことが示唆された。事実、「キタワカバ」を用いて2サイクルの集団選抜を行ったところ0.8前後の高い実現遺伝率が得られ、大きな選抜効果が確認された。

3. そばかす病抵抗性育種母材の育成と今後の方向

- ①播種当年の個体について、秋季にそばかす病抵抗性と生育型（秋季休眠性、草型）の評価・選抜を行い、冬期間、温室内で交配、採種して翌春、後代を播種する1年1サイクルの手順で数世代を進めた結果、IV型など種々の生育型を有する高度そばかす病抵抗性育種母材が得られた。このことによって、本試験に用いた手法が、実用的な育種母材の作出においても有効であることが明らかとなった。
- ②今のところ根釧地域において必要十分な秋季休眠性の大きさ、耐凍性の大きさについては明らかではない。生産性を犠牲にする過度の秋季休眠性は不必要であるので、今後、根釧地域において必要十分な秋季休眠性、耐凍性の水準を明らかにしながら、系統・品種の育成を進めることが、当面における当地域向けアルファルファ品種の適応性改良の方向である。

VII. 謝 辞

帯広畜産大学教授嶋田徹博士には本研究の実施、本稿の取りまとめに当たり懇切なるご指導、ご激励を頂くとともに、ご校閲を賜った。岩手大学教授雑賀優博士、帯広畜産大学教授沢田壮兵博士、弘前大学助教授杉山修一博士、帯広畜産大学助教授堀川洋博士には本稿のご校閲と有益なご教示を頂いた。

本研究は、北海道立根釧農業試験場研究部作物科が1987年以来実施している研究の内、1988年度～1995年度までの8年間の成績を取りまとめたものである。本研究は北海道立根釧農業試験場において同場元場長岩淵春郎博士、同場元作物科長千葉一美氏（東北農業試験場資源作物育種研究室長）、同場元作物科長越智弘明氏（北海道立北見農業試験場研究部作物科長）、同場作物科研究職員澤田嘉昭氏（北海道立根釧農業試験場研究部主任研究員）、同研究職員玉掛秀人氏（北海道立中央農業試験場生物工学部細胞育種科長）らによって端緒が作られものであり、越智弘明氏、同場元作物科長堤光昭氏（北海道立新得畜産試験場生産技術部草地科長）、同場前作物科長澤田嘉昭氏のもとに発展されたものである。この間、根釧農業試験場長として在任された中川渡博士（札幌学院大学教授）、国井輝男氏（ホクレン農業協同組合連合会）、清水良彦氏（北海道立新得畜産試験場長）および所和暢博士（北海道立北見農業試験場長）、研究部長として在任された沢口正利博士（北海道立中央農業試験場環境化学部長）、関口久雄氏、同場元主任研究員裏賀次氏（北海道立滝川畜産試験場研究部長）、同場前土壌肥料科長能代昌雄氏（北海道立北見農業試験場主任研究員）には研究実施に当たってご指導と激励を賜った。また、北海道総括専門技術員片山正孝氏（北海道農政部農業改良課）、同総括専門技術員湯藤健治氏（北海道立根釧農業試験場専門技術員室）および同主任専門技術員高木正季氏（北海道立十勝農業試験場専門技術員室）にはアルファルファ品種、栽培上の問題点について多くのご教示を頂くと共に、ご激励を頂いた。

本研究は牧草育種における本格的な現地選抜試験研究の一環として実施された。研究は農林水産省北海道農業試験場飼料資源部（現草地部）と共同して行ったものである。同場マメ科牧草育種研究室は共同して根釧地域向け優良マメ科牧草品種を育成する観点から、現地選抜試験を実施する北海道立根釧農業試験場へ材料を提供され

たばかりではなく、同場における研究の成果品である選抜個体・系統を引き受けていただいた。共同研究の中では幸運にもアルファルファ品種「ヒサワカバ」の育成にも参画させていただいた。同研究室元室長植田精一氏、同前室長山口秀和博士（北海道農業試験場企画連絡室企画科長）、同研究室長我有満氏、同研究員内山和宏氏、同元研究員澤井晃氏（鹿児島県農業試験場大隅支場牧草育種研究室長）、同磯部祥子氏には共同研究遂行のため種々便宜を図っていただくとともに、適切なご助言を頂いた。特に、共に研究の実務を長く担当した内山和宏氏には供試材料の交換、採種、成績整理などに多くのご協力、ご指導を頂くとともに、議論を共にし、有益な示唆を与えられた。同場元飼料資源部元部長植田精一氏は共同研究の端緒を開かれ、終始ご激励いただくとともに、ご指導を賜った。同山田実博士、同佐藤信之助博士（日本飼料作物種子協会）、同場草地部前部長長谷川寿保博士（日本飼料作物種子協会）、同部長井上康昭博士、同場地域基盤部耐寒遺伝研究室元室長阿部二郎博士には有益なご助言を頂いた。同場元飼料資源部耐病性研究室元主任研究官佐藤倫造氏および同元研究室長但見明俊博士（滋賀県立大学教授）にはアルファルファ病害の同定、その他病害全般について御教示を受けた。

北海道立中央農業試験場元畜産部長清水良彦氏、同場前研究参事米田裕紀氏（北海道立根釧農業試験場長）および同場研究参事工藤卓二氏には研究の節目節目に的確なご助言を賜った。

本研究の遂行に当たっては、北海道立北見農業試験場元主任研究員古谷政道博士（農林水産省東北農業試験場草地部長）、同場牧草科前科長下小路英男氏（北海道立中央農業試験場企画情報室企画調整課長）、同場牧草科長吉澤晃氏、天北農業試験場牧草科元科長筒井佐喜雄氏（北海道立花野菜技術センター主任研究員）、同前科長大原益博氏（同場主任研究員）、同場草地飼料科長中村克己氏には牧草育種研究における考え方、手法について多くのご教示をいただく共に議論を共にし、ご激励いただいた。

北海道立根釧農業試験場における研究の実務は越智弘明氏、玉掛秀人氏、中島和彦氏（北海道農政部農産園芸課）および鳥越昌隆氏（北海道立北見農業試験場牧草科研究職員）らと共同で担当したものである。特に中島和

彦氏は本稿で取りまとめた 8 年間の研究の全てに共に取り組み組んで頂いた。研究の各種作業は北海道立根釧農業試験場管理科諸氏，臨時農業技能員諸氏に負うところが極めて大きい。

天北農業試験場場長所和暢博士，同場研究部長松原一實氏および同場主任研究員大原益博氏，根釧農業試験場長米田裕紀氏，同場研究部長杉本恒之博士，同場作物科長山川政明氏には本稿の執筆，発行に当たってご配慮，ご尽力いただくと共に，激励を頂いた。また，帯広畜産大学教授岡本明治博士，同助手花田正明博士には本稿取りまとめに当たってご激励頂いた。

本試験に供試したアルファルファ品種の種子の多くはホクレン農業協同組合連合会から提供を受けたものである。

以上の各位，団体に対して心から感謝申し上げます。

VIII. 引 用 文 献

- 1) AVENDANO, R. E. and R. L. DAVIS (1966) Lateral root development in progenies of creeping and noncreeping rooted *Medicago sativa* L. *Crop Sci.* 6, 198-201.
- 2) BARNES, D. K., E. T. BINGHAM, R. P. MURPHY, O. J. HUNT, D. F. BEARD, W. H. SKRDLA, and L. R. TEUBER (1977) Alfalfa germplasm in United States: Genetic vulnerability, use, improvement, and maintenance. USDA-ARC Tech. Bull. 1571. U. S. Government Printing Office, Washington, DC.
- 3) BARNES, D. K., N. R. GEGENHART, D. M. SMITH, and R. N. SAHI (1988) Root morphology of alfalfa plant introductions and North American cultivar. p. 6. In J. B. Moutray and J. H. Elgin, Jr. (ed) Rep. 31st North American Alfalfa Impr. Conf. Beltsville, MD. 19-23 June 1988. North Am. Improvement Conference, Beltsville, MD.
- 4) BOLTON, J. L., B. P. GOPLEN, and H. BAENZ (1972) World distribution and historical development. In Alfalfa science and technology. Agronomy 15 (Eds. C. H. Hanson) Madison, pp. 1-34.
- 5) BUSBICE, T. H. and C. P. WILISE (1965) Fall growth, winterhardiness, recovery after cutting and wilt resistance in F2 prognies of Vernal x DuPuits alfalfa crosses. *Crop Sci.* 5, 429-432.
- 6) BUSBICE, T. (1994) Breeding better alfalfa. *Seed World* 132, 11-15.
- 7) DADAY, H. (1964) Genetic relationship between cold hardiness and growth at low temperature in *Medicago sativa*. *Heredity.* 19, 173-179.
- 8) ELGIN, JR. J. H., R. R. HILL, JR., and K. E. ZEIDERS (1970) Comparison of four methods of multiple trait selection for five traits in alfalfa. *Crop Sci.* 10, 190-193.
- 9) ELGIN, JR. J. H., R. E. WELTY, and D. B. GILCHRIST (1988) Breeding for disease and nematode resistance. In Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy Monograph no. 29. (Eds. A. A. Hanson, D. K. Barnes and R. R. Hill JR.) ASA-CSSA-SSA. Madison. pp. 827-858.
- 10) FALCORNER, D. S. (1960) Introduction to quantitative genetics. Oliver and Boyd. Ediburug and London. 187-207.
- 11) FOX, C. C., R. BERBERET, F. A. GRAY, C. R. GRAU and D. L. JESSEN (1991) Lepto leaf spot resistance. In Standard tests to characterize alfalfa cultivars third edition. North American Alfalfa Improvement Conference. pp. D7.
- 12) 藤本文弘 (1978) 牧草育種における適応と選抜. 農業技術 33, 52-56.
- 13) 藤本文弘 (1984) Medicago 属の分類とアルファルファの品種分化. 育種学最近の進歩. 26, 55-61.
- 14) 我有満 (1998) アカクローバ. 北海道における作物育種 (三分一敬監修). 北海道協同組合通信社. 札幌. pp. 264-285.
- 15) GRAHAM, J. H., K. W. KREITLOW and L. R. FAULKNER (1972) Disease. In Alfalfa Science and Technology-Agronomy Monograph no. 15. (Eds. C. H. Hanson) ASA-CSSA-SSSA. Madison. pp 497-526.
- 16) HANSON, E. W., C. H. HANSON, F. I. FROSHEISER, E. L. SORENSON, R. T. SHERWOOD, J. H. GRAHAM, L. J. ELLING, D. SMITH and R. L. DAVIS (1964) Reaction of varieties, crosses, and mixtures of alfalfa to six pathogens and the potato leafhopper. *Crop Sci.* 4, 273-276.
- 17) 早川康夫・橋本久夫 (1963) 根釦地方火山灰地における牧草地土壌の理化学的特性とその施肥法に関する試験 第8報 牧草の秋播限界. 道立農集報 11, 11-20.
- 18) HEINRICHS, J. E. T. and K. W. CLARK (1960) Winterhardiness evaluation in alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* 40, 638-644.
- 19) HEINRICHS, D. H. (1973) Winterhardiness of alfalfa cultivars in southern Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 53, 773-777.
- 20) HEINRICHS, D. H. (1977) Registration of Roamer alfalfa. *Crop Sci.* 17, 977.
- 21) HEINRICHS, D. H. (1977) Registration of Drylander alfalfa. *Crop Sci.* 17, 977-978.

- 22) HEINRICH, D. H., T. LAWRENCE and J. D. MCELGUNN (1980) Registration of Rangelander alfalfa. *Crop Sci.* 20, 668.
- 23) HILL, JR. R. R. and K. T. LEATH (1972) Genetic variance for reaction to five foliar pathogen in alfalfa. *Crop Sci.* 12, 813-816.
- 24) HILL, JR. R. R. and K. T. LEATH (1979) Comparison of four methods of selection for resistance to *Leptosphaerulina briosiana* in alfalfa. *Can. J. Genet. Cytol.* 21, 179-186.
- 25) HILL, JR. R. R., K. T. LEATH and J. H. ELIGIN, JR (1989) Registration of MSA-PL-L alfalfa germplasm. *Crop Sci.* 29, 1330.
- 26) 堀川洋・土谷富士夫・丸山純孝・小松輝行(1985) アルファルファ品種の耐凍性. 日草誌 31(別号), 70-71.
- 27) 堀川洋・丸山純孝・土谷富士夫・中島仁志・須田孝雄 (1987) 十勝地方におけるアルファルファ品種の地域適応性. 北海道草地研究会報 21, 174-175.
- 28) 北海道農業試験場飼料資源部 (1993) 草地・飼料作物研究最近10年の歩み. 農林水産省北海道農業試験場草地部. pp. 13-15.
- 29) 宝示戸貞雄 (1977) 牧草. 北農会. pp. 18-27.
- 30) 井澤弘一 (1976) 病害による牧草飼料価値の低下. 植物防疫 30, 164-170.
- 31) 稲波進・鈴木信治 (1981) アルファルファにおける白絹病抵抗性品種の育成 I. 発病程度の品種間差異. 日草誌 26, 360-364.
- 32) 稲波進・鈴木信治 (1981) アルファルファにおける白絹病抵抗性品種の育成 II. 選抜育成系統の白絹病抵抗性の立証. 日草誌 26, 365-371.
- 33) 稲波進 (1989) 東海・近畿におけるエコタイプの収集と特性調査. 牧草類のエコタイプ利用による環境適応性導入方法の開発. 農林水産技術会議事務局. 23-25.
- 34) 川端習太郎(1973) 牧草育種における生態型の利用. 育種学最近の進歩 13, 93-97.
- 35) 川端習太郎 (1987) 日本の牧草育種. 草地の生産生態 (後藤寛治編). 文永堂. 東京 pp. 1-12.
- 36) JOHNSON L. D., J. J. MARQUEZ-ORITZ, J. F. S. LAMB, and D. K. BARNES (1998) Root morphology of alfalfa plant introductions and cultivars. *Crop Sci.* 38, 497-502.
- 37) 神戸三智雄 (1992) 他殖性集団の選抜反応ー同質倍数体牧草における表現型循環選抜を実例としてー. 育種学最近の進歩. 34, 103-108.
- 38) 神戸三智雄・藤本文弘・稲波進(1993) アルファルファにおける 菌核病抵抗性の人工接種による圃場検定法の開発と既存品種の抵抗性評価. 育種学雑誌 43, 277-287.
- 39) 神戸三智雄・古賀博則・藤本文弘・奥村 健治・水野和彦 (1996) アルファルファ菌核病抵抗性検定のための育苗条件設定と 抵抗性の病理解剖学的解析. 育種学雑誌 46, 261-268.
- 40) 神戸三智雄 (1996) 指定試験事業70周年記念誌. 農林水産技術会議事務局. 148-154.
- 41) KANBE M., F. FUJIMOTO, Y. MIZUKAMI, S. INAMI, and K. FUKAYA(1997) Increase of resistance of alfalfa to *Sclerotinia* crown and stem rot through recurrent selection. *Breeding Sci.* 47, 347-351.
- 42) 小林民憲・西村修一(1978) 数種暖地型イネ科牧草の耐冬性と貯蔵炭水化物に及ぼす 秋の刈り取り時期の影響およびその草種間差異. 日草誌 24, 27-33.
- 43) KOHEL, R. J. and R. L. DANIS(1960) The inheritance of cold resistance and its relation to fall growth in F2 and BC1 generations of alfalfa. *Agron. J.* 52, 234-237.
- 44) KOMATSU, T. J. MARUYAMA, Y. HORIKAWA and F. TSUCHIYA (1985) Winter injury of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in soil freezing area of Japan. *Proc. XV Intl. Grassld. Congr.*, 366-368.
- 45) LARSON, K. L. and D. SMITH (1963) Association of various morphological characters and seed germination with the winterhardiness of alfalfa. *Crop Sci.* 3, 234-236.
- 46) LEATH, K. T., C. E. DONALD and G. D. GRIFFIN (1988) Diseases and nematodes. In *Alfalfa and alfalfa improvement-Agronomy Monograph no. 29.* (Eds. A. A. HANSON, D. K. BARNES and R. R. HILL JR.) ASA-CSSA-SSSA. Madison. pp 621-670. 29)
- 47) 真木芳助 (1975) アルファルファの栽培史と研究進展. 北海道農業試験場研究資料. 第6号 pp 1-12.
- 48) 真木芳助 (1985) 北海道農業技術研究史. 北海道農業試験場・北海道立農業試験場. 540-542.
- 49) MCKENZIE, J. S., P. PANKIW and B. SIEMENS (1981) Peace alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* 61, 473-474.
- 50) MCKENZIE, J. S., R. PAQUIN and S. H. DUKE (1988) Cold

- and heat tolerance. *In* Alfalfa and alfalfa improvement - Agronomy Monograph no. 29 (Eds. A. A. HANSON, D. K. BARNES and R. R. HILL JR.) ASA-CSSA-SSSA. Madison. pp. 621-670.
- 51) MCINTOSH, M. S. and D. A. MILLER (1981) Genetic and soil moisture effects on the branching-root trait in alfalfa. *Crop Sci.* 21, 15-18.
- 52) MELTON, B. J. B. MOUTRAY and J. H. BOUTON (1988) Geographic adaptation and cultivar selection. *In* Alfalfa and alfalfa improvement-Agronomy Monograph no. 29. (Eds. A. A. HANSON, D. K. BARNES and R. R. HILL JR.) ASA-CSSA-SSSA. Madison. pp. 595-620.
- 53) MICHAUD, W. F., W. F. LEHMAN and M. D. RUMBAUGH (1988) World distribution and historical development. *In* Alfalfa and alfalfa improvement-Agronomy Monograph no. 29. (Eds. A. A. HANSON, D. K. BARNES and R. R. HILL JR.) ASA-CSSA-SSSA. Madison. pp. 25-91.
- 54) MOREY, F. H. W., H. DADAY and J. W. PEAK (1957) Quantitative inheritance in lucerne, *Medicago sativa* L. 1. Inheritance and selection for winter yield. *Aust. J. Agr. Res.* 8, 635-651.
- 55) 村上馨 (1967) 北海道農業技術研究史. 北海道農業試験場. 421-429.
- 56) 村上馨・金子幸司・赤城望也・小池昌也 (1970) アカクローバ新品種「サッポロ」の育成. 北海道農業試験場彙報 97, 73-80.
- 57) 成田武四 (1963) マメ科牧草およびイネ科牧草の病害短報 (IV). 北海道立農業試験場集報 10, 89-102.
- 58) 仁木巖 (1953) 霜柱氷層による作物の断根並にその防除に関する研究 第2報 数種作物の被害について. 日作紀 22, 11-12.
- 59) 西原夏樹 (1964) アルファルファの病気と診断と防除. 農業及園芸 39, 1407-1410.
- 60) 西原夏樹 (1981) アルファルファそばかす病 (褐斑病). 農林水産研究文献解題 No. 8 牧草病害編 (農林水産技術会議事務局編). 農林統計協会. 東京. pp. 60-62.
- 61) 農林水産技術会議事務局・愛知県農総試 (1971) アルファルファ (ルーサン) の品種解説 pp. 88.
- 62) OECD (1996) OECD schemes for the varietal certification of seed moving in international trade. List of cultivars eligible for certification 1995. OECD. Paris. pp. 29-32.
- 63) PEDERSON, G. A., R. R. HILL, JR and W. A. KENDALL (1984) Genetic variability for root characters in alfalfa populations differing in winter-hardiness. *Crop Sci.* 24, 465-468.
- 64) PERFECT, E., R. D. MILLER and B. BURTON (1987) Root morphology and vigor effects on winter heaving of established alfalfa. *Agron. J.* 79, 1061-1067.
- 65) PORTZ, H. L. (1967) Frost heaving of soil and plants. I. Incidence of frost heaving of forage plants and meteorological relationships. *Agron. J.* 59, 341-344.
- 66) SCHWAB, P. M., D. K. BARNES, and C. C. SHEPPER (1996) The relationship between field injury and fall growth score for 251 alfalfa cultivars. *Crop Sci.* 36, 418-426.
- 67) 嶋田徹 (1982) オーチャードグラスの耐寒性検定法としての冠部凍結法の有効性. 日草誌 28, 247-252.
- 68) SHIMADA, T., T. GENMA, S. FURUYA, and Y. KONDO (1982) Frost heaving injury of alfalfa. *J. Japan. Grassl. Sci.* 28, 147-153.
- 69) 嶋田徹・加藤帝・小池正徳 (1992) オーチャードグラスにおける秋休眠性の遺伝率. 北海道草地研究会報 26, 50-51.
- 70) 嶋田徹・角川貴俊・小池正徳 (1996) オーチャードグラスにおける秋季休眠性と越冬性の関係. 日草誌 42 (別), 122-123.
- 71) SMITH, D. (1951) Root branching of alfalfa varieties and strains. *Agron. J.* 79, 573-575.
- 72) SMITH, D. (1961) Association of fall growth habit and winter survival in alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* 41, 244-251.
- 73) SMITH, D. (1964) Winter injury and the survival of forage plants. *Herb. Abstr.* 34, 203-209.
- 74) STOUT, D. G. and J. W. HALL (1989) Fall growth and winter survival of alfalfa in interior British Columbia. *Can. J. Plant Sci.* 69, 491-499.
- 75) STOUT, D. G., S. N. ACHARYAS, H. C. HUANG and M. R. HANNA (1992) Alfalfa plant death during the summer versus the winter in interior British Columbia. *Can. J. Plant Sci.* 72, 931-936.
- 76) 杉信賢一・真木芳助・松浦正宏 (1973) アルファルファ諸形質の遺伝分散、相関および選抜効果に

- ついて、北海道農業試験場研究報告 104, 83-107.
- 77) 杉信賢一 (1975) アルファルファの品種. アルファルファの品種と栽培・利用技術. 北海道農業試験場研究資料. 第6号 pp. 13-58.
 - 78) 杉信賢一・真木芳助・松浦正宏 (1980) 北海道および東北地方から収集した アルファルファ永年生存株の特性と育種の意義. 日草誌 26, 109-118.
 - 79) 鈴木信治・稲波進・桜井康雄 (1969) アルファルファの生育特性による品種群別. 日草誌 15, 33-41.
 - 80) 鈴木信治・稲波進・桜井康雄 (1975) アルファルファの品種群別における草丈伸長と日長, 温度の関係. 日草誌 21, 245-251.
 - 81) 竹田芳彦・寒河江洋一郎・山崎昶・蒔田秀夫 (1989) チモシー (*Phleum pratense* L.) 優占草地へのアカローバ (*Trifolium pratense* L.) 追播 I. パラコートによるチモシーの再生抑制と簡易な播種床処理法. 日草誌 35, 212-219.
 - 82) 竹田芳彦・寒河江洋一郎・山崎昶・蒔田秀夫 (1991) チモシー (*Phleum pratense* L.) 優占草地へのアカローバ (*Trifolium pratense* L.) 追播 II. 草地表層の攪拌、掃除刈りおよび窒素施肥管理の違いがチモシーの再生抑制に及ぼす影響. 日草誌 36, 464-472.
 - 83) 竹田芳彦・寒河江洋一郎・山崎昶・蒔田秀夫 (1991) チモシー (*Phleum pratense* L.) 優占草地へのアカローバ (*Trifolium pratense* L.) 追播 III. 带状耕耘並びに全面攪拌処理による追播技術. 日草誌 36, 473-482.
 - 84) 竹田芳彦・中島和彦 (1997) 根釧地域に適応するアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 品種の特性 1. 造成年における耐冬性とその関連形質の品種間変異. 日草誌 43, 144-149.
 - 85) 竹田芳彦・中島和彦 (1997) 根釧地域に適応するアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 品種の特性 2. 2年目以降における耐冬性とその関連形質の品種間変異. 日草誌 43, 150-156.
 - 86) 竹田芳彦・中島和彦 (1997) 根釧地域に適応するアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 品種の特性 3. 自然発病によるそばかす病罹病程度の品種間変異. 日草誌 43, 157-163.
 - 87) 竹田芳彦・内山和宏・中島和彦・山口秀和 (1998) アルファルファ (*Medicago sativa* L.) 品種におけるそばかす病抵抗性の個体変異並びにその選抜効果. 日草誌 44, 73-79.
 - 88) 寺田康道 (1989) 北海道地域におけるエコタイプの収集と特性調査. 牧草類のエコタイプ利用による環境適応性導入方法の開発. 農林水産技術会議事務局. 12-16.
 - 89) THAL, W. M. and C. L. CAMPBELL (1987) Assessment of resistance to leaf spot diseases among alfalfa cultivars in North Carolina fields. *Phytopathology* 77, 964-968.
 - 90) 植田精一・真木芳助・田辺安一・嶋田徹・中山 貞夫・筒井佐喜雄 (1971) チモシー新優良品種「センボク」について. 北農 38, 1-7.
 - 91) 植田精一・我有満・松浦正宏・杉信賢一・真木 芳助・佐藤博保・早川力夫・宮下淑郎・西村格・金子幸司・村上 馨 (1985) アルファルファの新品種「キタワカバ」の育成とその特性. 北海道農試研報. 143, 1-21.
 - 92) 上野昌彦 (1967) アルファルファの根の生理生態 (1). 日草誌. 12, 117-121.
 - 93) 内山和宏・阿部二郎・山口秀和・澤井晃 (1994) アルファルファの耐凍性、貯蔵養分含量及び水分量の季節変化. 育種学雑誌. 44 (別1号) 171.
 - 94) VIANDS, D. R., C. C. LOWE, R. P. MURPHY and R. L. MILLAR (1990) Registration of Oneida VR alfalfa. *Crop Sci.* 30, 955.
 - 95) WILCOXSON, R. D. and O. BIELENBERG (1972) Leaf disease control and yield increase in alfalfa with fungicides. *Plant Disease Reporter* 56, 286-289.
 - 96) WOODWARD, W. T. W., J. W. MILLER, L. D. ECKMAN, L. K. EDMUNDS, G. E. HOARD, B. J. HARTMAN, L. M. NASH, and E. F. POYNOR (1987) Registration of 5444 alfalfa. *Crop Sci.* 27, 1306.
 - 97) WOODWARD, W. T. W., J. W. MILLER and M. K. MILLER (1988) Registration of 526 alfalfa. *Crop Sci.* 28, 185.
 - 98) 山田忍 (1951) 火山性土の凍結並融凍作用が土壤と作物に及ぼす影響と 之れが対策に関する調査研究 (第1報). 日土肥 21, 268-274.
 - 99) 山田忍・田村昇市 (1953) 火山性土の凍結並融凍作用が土壤と作物に及ぼす影響と 之れが対策に関する調査研究 (第2報). 日土肥 23, 101-104.
 - 100) 山田忍・田村昇市・山内正視 (1955) 火山性土の凍結並融凍作用が土壤と 作物に及ぼす影響と之れが対策に関する調査研究 (第3報). 日土肥 25, 273-279.
 - 101) 山口宏・赤城仰哉 (1981) 道東火山灰土地帯にお

けるアルファルファの栽培法. 北農48(3), 1-14.

- 102) 山口秀和・内山和宏・澤井晃・我有満・植田精一・真木芳助・松浦正宏・杉信賢一・佐藤倫造・竹田芳彦・中嶋和彦・千葉一美・越智弘明・澤田嘉昭・玉掛秀人(1995)アルファルファ新品種「ヒサワカバ」の育成とその特性. 北農試研報 161, 17-31.

Studies on Breeding of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Cultivars Adapted to Konsen District, Eastern Hokkaido of Japan

Yoshihiko TAKEDA

Artificially sown grassland constitutes the main part of the arable land in Hokkaido. About 50%(580,000 ha) of cultivated land is occupied by grassland. They are mainly distributed in the eastern parts including Konsen district and the northern parts in accordance with the agroclimate condition. Timothy(*Phleum pratense* L.) is common grass species in the eastern Hokkaido. Red clover(*Trifolium pratense* L.) and white clover(*Trifolium repens* L.) are included in the mixtures.

Despite of its good quality for cattle feeding total cultivated area of alfalfa(*Medicago sativa* L.) is only about 10,000 ha, which located mainly in Abashiri district in the east. Their weather conditions in summer growing season are comparatively dry. On the other hand, alfalfa is hardly cultivated in Konsen district, one of the dairy farming centers in Japan.

The summer climate in Konsen district is characterized by the cool and humid weather with insufficient solar radiation due to the Okhotsk anticyclone. Severe cold of winter freezes the soil to depth of about 30 cm because of insufficient snow insulation from cold air. Frost heaving may also uplift legume plants because of the fine volcanic ash with plenty of water.

It is known that alfalfa is a plant from the Near East and Central Asia, and evolved in the area that pronounced continental climate with cold winters and hot, dry summers. Therefore, the climate in Konsen district, especially the cool and humid summer, essentially may not suit to existing alfalfa cultivars.

The objectives of this paper are to determine the characteristics of cultivars adapted to Konsen district, and to investigate the possibility for improving adaptability of alfalfa cultivars in the area.

1. Characteristics of alfalfa cultivars and lines adapted to Konsen district.

(1) In the experiment using 60 cultivars almost introduced from foreign countries, significant difference among cultivars was found in winter injury after the first winter, closely associating with frost heaving ($r=0.95^{**}$). The plants with non-torn tap roots that were lifted up above the ground died due to desiccation and/or freezing.

Many Canadian cultivars with the strong fall dormancy, were severely suffered from frost heaving as compared with moderate fall dormant ones. Stepwise multiple regression analysis showed that about 70% of the total variance in plant uplift could be explained by the root size and the amount of top growth, and both traits contributed equally to uplift of alfalfa plants in Konsen district. Frost heaving was not related with lateral roots.

(2) Two tests were carried out to determine the difference among cultivars in winter hardi-

ness and its relation with fall dormancy, leafy disease, plant survival and productivity after the second years. One hundred ten cultivars were collected from areas with contrasting environments. Their growth types, proposed by SUZUKI et al. (1969) belonged to the types III, IV and V.

Frost heaving and snow mold injury were not observed, but large difference among cultivars in winter injury was found after the second year. It was suggested that the winter injury was resulted mainly from the freezing.

The winter hardiness estimated by winter injury was negatively correlated with fall dormancy ($r=-0.60^{**}$ to -0.85^{**}) and positively with resistance to leafy disease ($r=0.61^{**}$ to 0.84^{**}). This indicates that cultivars resistant to the winter stress in Konsen district are characterized by comparatively vigorous fall growth and resistance to leafy disease, particularly Lepto-leaf spot (caused by *Leptosphaerulina briosiana* (POLL) GRAHAM and LUTTRELL).

Winter hardiness was also negatively correlated with spring vigor ($r=-0.91^{**}$ to -0.95^{**}), first crop ($r=-0.72^{**}$ to -0.78^{**}), and stand coverage ($r=-0.85^{**}$ to -0.89^{**}). Winter hardiness is considered to be a limiting factor of productivity and plant survival in Konsen district. Cultivars resistant to winter stress in Konsen district are featured with comparatively vigorous fall growth and resistant to foliar diseases, in particular Lepto-leaf spot.

(3) Treatment with fungicide for Lepto-leaf spot showed increase in root and crown weight, and cold hardiness of alfalfa plants.

These results indicate that it is of great importance to improve disease resistance to Lepto-leaf spot as well as to increase in cold hardiness for the development of alfalfa suitable to Konsen district.

(4) A field trial was carried out in Konsen for 8 years. The large one consisted of 8 cultivars and 248 lines developed by Hokkaido National Agricultural Experiment Station, in order to improve resistance to leafy diseases and productivity of foliage. Their lines possessed different growth types and 90 percent of them had Lepto-leaf spot resistance more than "KITAWAKABA", check cultivar.

In the trial, winter injury and plant persistence was not correlated with Lepto-leaf spot resistance. Persistent lines were featured with winter hardiness and comparatively fall dormant type in growth habit that produced relatively little top growth and prostrate stem during autumn. Lines, which were selected and developed for only Lepto-leaf spot resistance, were erect in plant type, not so fall dormant and not always persistent.

Therefore, it is considered that the selection of winter hardiness and/or growth type in autumn with Lepto-leaf spot resistance are great important for the both traits.

2. Primary trials for improvement of the correlated traits to adaptability.

(1) Lepto-leaf spot is prevalent in Konsen district with the cool and humid weather in the summer. The resistance to Lepto-leaf spot is very important for the establishment and persistence of alfalfa plant. Two tests were carried out to determine the difference among cultivars

in Lepto-leaf spot under the field condition. Severities of Lepto-leaf spot were visually evaluated under natural infection in fall as 1(least) to 9 (most severe).

Differences among cultivars in Lepto-leaf spot were extremely large and stable among growing seasons or among years under the natural infection.

Cultivars developed from Flemish origin with the growth type III were more resistant to Lepto-leaf spot than cultivars from other germplasms. Exceptionally, a few cultivars of *M. varia* origin belonging to growth type IV had relatively high resistance to Lepto-leaf spot. They would become sources of resistance to Lepto-leaf spot.

Thirteen cultivars and breeding lines with moderate to relatively high resistance to Lepto-leaf spot were used for the estimation of individual variation in disease severity. Maximum difference among the entries was 1.5 in mean scores of disease severity. "MSA-PL-L" was the lowest in the scores of severity, which was a check cultivar for Lepto-leaf spot resistance in U.S.A., followed by "HISAWAKABA". Large individual variation in Lepto-leaf spot resistance was recognized within each entry. Standard deviation of severity was from 1.0 to 1.5 and the range of scores was from 6 to 8.

(2) It was known that although cultivars resistance to Lepto-leaf spot have been observed, most attempts to increase the resistance have been unsuccessful. The reasons are difficulties in duplicating field and greenhouse screening results and the lack of distinct resistance.

Heritabilities of Lepto-leaf spot resistance were estimated with the clear and stable severities of the disease under the Kosen district. Narrow sense heritabilities were so high (0.6 to 0.9, or 0.8 to 1.0 in estimates by regression of offspring and one parent, and offspring and mid-parent, respectively).

Bidirectional mass selections by visual inspection of plants for Lepto-leaf spot resistance were conducted for two cycles using "KITAWAKABA". The realized heritabilities of its resistance, obtained by regression equation of the selection response on the cumulative selection differential, were 0.89 and 0.77 in the selection for resistance and susceptibility, respectively.

It was confirmed that Lepto-leaf spot resistance was genetic trait and high selection effect was expected for its improvement.

3. Improvement of Lepto-leaf spot resistant breeding materials with different fall dormancy.

Mass selections by visual inspection of plants for Lepto-leaf spot resistance with growth type were conducted for two cycles using source population (4850 plants) which consisted of "HISAWAKABA", "KITAWAKABA", "ALGONQUIN", and others with relatively high Lepto-leaf spot resistance, and fall dormancy of growth type III or IV (SUZUKI et al., 1969). The objectives were to develop Lepto-leaf spot resistant breeding materials with several fall dormancy. In second generation progenies had more resistant compared with check cultivars, "MAS-PL-L" and "HISAWAKABA" and many plants with more fall dormant type than III type were included in second

population.

Consequently, it was confirmed that the selection method in the study was available for breeding Lepto-leaf spot resistant materials with several fall dormancies. Improved population may contribute to establish the alfalfa cultivar suitable to Konsen district.