

I. 序 論

1. 研究の背景

北海道の草地面積は農業基本法が制定された1961年以降増加し、全耕地面積のほぼ半分に相当する約58万ha（1996年）を占めている。近年における乳牛の個体乳量の伸びには著しいものがあるが（過去、15年間に1.4倍）、この間の草地面積、牧草収量の伸びはともに頭打ちとなっていることから、個体乳量の伸びは同期間における円高等を背景とした輸入濃厚飼料の給与量の増加（同期間に1.6倍増）によるところが大きいものとみられている。この結果、自給飼料給与率は70%から15ポイント低下して55%（1996年）に減少しており、生産コストに大きなウェイトを占める飼料費の割合をさらに高いものとしている。それ故、今後さらに自給飼料の品質向上を図りこの割合を低減させることが、北海道酪農・肉牛経営の安定的な発展のために急務なこととなっている（北海道農政部資料、1997年）。

本研究が対象とした北海道根釧地域は、北海道東部に位置するため夏期間が冷涼湿潤、寡照に経過し、一般畑作物栽培には適していない。そのためもっぱら酪農業が行われているが、その草地面積は約20万haと広く、我国有数の酪農専業地域となっている。本地域の草地は、耐冬性に優れたイネ科牧草であるチモシー（*Phleum pratense* L.）を基幹草種とし、これにマメ科牧草としてアカクロバ（*Trifolium pratense* L.）およびシロクロバ（*Trifolium repens* L.）を加えた混播草地が主流で、主にサイレージあるいは乾草用の採草地として利用されている。この混播草地の栽培上の最大の問題点は、アカクロバが本来短年生で永続性に劣ることから利用3年目以降にはマメ科率が急激に減少して、収穫される牧草の品質が著しく低下することである。このため今日までアカクロバの永続性を改良する育種的努力（我有、1998）やアカクロバを追播する簡易植生改善法（竹田ら、1989、1991a, b）などの対策が試みられてきたが、現在まで必ずしも満足な結果は得られていない。アカクロバに比べて永続性が勝るアルファルファ（*Medicago sativa* L.）を導入し、アカクロバと換えようとする試みもそのひとつである。

アルファルファはルーサンペレット、ヘイキューブま

たは乾草等の形で現在多量に輸入利用されている。北海道内における流通量はルーサンペレットが約3.5万t、アルファルファ主体ヘイキューブが約3万tとなっており（北海道農政部資料、1997年）、乳牛飼料としてのアルファルファに対するニーズが酪農家の間で大きなことを示している。このことからアルファルファに対する酪農家の栽培志向もまた大きく、北海道におけるその栽培面積は最近の20年間で約5倍に拡大した。しかしそれでも栽培面積は未だ約1万ha（1997年）程度に止まっており、草地全体に占める割合は大きくはない。しかもその主要な栽培地域は北海道東部の網走地域（全体の約30%）、北部の上川地域（15%）、中央部の空知地域（15%）に偏っており、酪農主産地である根釧地域の栽培面積は250haと極めて少ない（北海道農政部、1997）。

このことの原因は根釧地域において本草種の定着と植生の維持が極めて困難なことに起因している。冬期の根釧地域は晴天が多いため、夜間の放射冷却が進み寒気が厳しい（1月の平均最低気温の平年値は-15℃、以下同様に北海道立根釧農業試験場が位置する中標津町の平年値を示す）。また根雪もその開始が遅く（12月17日）、寡雪に経過するため土壌凍結が深く進行する（平年の最深値約30cm）。このような冬期環境はアルファルファの越冬には厳しく、年により著しい冬枯れが生じる。一方、夏期の気象も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（5月～9月の積算気温約2,200℃、降水量680mm）、日照時間（650時間）も極めて少ない。無霜期間も約130日間と極めて短い。夏期の気象がアルファルファの定着と植生維持に及ぼす影響はよく知られていないが、同じく北海道東部の土壌凍結地帯に属するが、「やませ」の影響を受けないため夏期が比較的高温多照に経過する網走地域では、アルファルファの栽培が成功裏に行われ、栽培面積が急激に増加していることから、夏期の気象条件もまたその定着、維持に大きく影響していることが伺われる。冬期の越冬環境が根釧地域より厳しいアルファルファの栽培地域は、世界的にみるとアメリカ北部やカナダなど広く認められが（MELTON ら、1988）、本地域と同様な夏期環境を併せもつ地域は認められず、根釧地域が気象条件からみて世界的

にも特異なアルファルファの栽培地域であることが伺われる。

2. 従来の研究

1) 根釧地域におけるアルファルファの適応要因

北海道東部に適応するアルファルファ品種の特性解析は、これまで品種適応性試験等により行われてきた。その試験数および供試品種数は限られたものであったが、これらの試験をとうして指摘された適応形質は、凍害、凍上害、アイスシート害、雪腐れ病に対する抵抗性など、いずれも越冬性の関連形質が重要とされた（早川ら, 1963; 堀川ら, 1987; KOMATSU ら, 1985; 仁木, 1953; SHIMADA, 1982; 山口ら, 1981）。この内、アイスシート害は主として停滞水の凍結に伴うものであり、微地形的要因にも左右されることが多いことからその被害は限られている。また生育型（鈴木ら, 1969）も耐冬性と密接な関係があることから多くの調査がなされてきた。その結果、北海道東部には栽培が奨励されている「北海道優良品種」に多いⅢ型よりⅣ型の生育型をもつ品種が適しているとする結果が多く得られている。

鈴木ら（1969）は世界の広範な地域から収集したアルファルファ品種の特性を比較し、品種に特徴ある形質組み合わせからなる生育型の変異を認め、品種をⅠ型からⅤ型の生育型に分類した。一般に、Ⅰ型の品種は草型が直立型であり、初期生育、再生が最も旺盛で、秋季休眠性が弱く、秋遅くまで生育を継続する（鈴木ら, 1969; 鈴木ら, 1975）。これに対しⅤ型品種は正反対の特性を示し、Ⅲ型は中間の特性をもつとした（鈴木ら, 1969; 鈴木ら, 1975）。一般に秋季休眠性の弱い品種は耐凍性も小さい傾向を示すことから、耐凍性はⅠ型<Ⅱ型<Ⅲ型<Ⅳ型<Ⅴ型の順に大きいことが知られている（HEINRICHs ら, 1960; 堀川ら, 1985; KOHEL ら, 1960; LARSON ら, 1963; MACKENZIE ら, 1988; SCHWAB ら, 1966; SHIMADA ら, 1982; SMITH, 1961; STOUT, 1989; STOUT ら, 1992）。北海道で奨励されてきたアルファルファ品種は、概ねⅢ型に属しているが、Ⅲ型品種はⅣ型、Ⅴ型品種に比較して生育が旺盛であり、相対的に秋遅くまで生育を継続することから、越冬環境がそれほど厳しくない条件下では多収性に優れている。日本海沿岸気象の影響を受け、早くから根雪が始まる北海道北部、中部、南部ではⅢ型が適応型と考えられる。しかし、根雪が遅く、寡雪なため冬の寒さに曝

され易い東部ではⅢ型が有する平均的な耐冬性では凍害等のため越冬に無理があり、むしろ開張型で秋季休眠性のより強いⅣ型の品種に優れた耐冬性、永続性、多収性が期待できるとされた（堀川ら, 1987; SHIMADA ら, 1982; 杉信ら, 1980）。

秋季休眠性と耐凍性の遺伝的関連性についてMORLEY（1957）、DADAY（1964）、BUSBICE ら（1968）およびBUSBICE（1994）はこの相関が強い連鎖や多面発現によるものではないことを示した。嶋田ら（1996）もオーチャードグラスを用いた試験から同様の結論を導いている。このことから秋季休眠性が弱い、すなわち秋の生産性が高い耐凍性品種育成の可能性が示唆されるが、近年、SCHWAB（1996）がアメリカ合衆国及びカナダ産のアルファルファ 251 品種を供試し、両者の関係を改めて検討した結果によれば両者間に $r=0.83\sim0.98$ の密接な相関関係が得られており、現在に至っても秋季休眠性と耐凍性に関する品種の関係は一般的に広く認められる現象となっている。

耐冬性に関わるもう一つの要因である凍上害抵抗性は一般に、根系の発達程度との間に密接な関係があり（AVENDANO ら, 1966; HEINRICHs, 1973; MCINTOSH ら, 1981; PEDERSON ら, 1984; PERFECT ら, 1987; PORTZ, 1967; SHIMADA ら, 1982）、側根など根系を発達させる品種ほど抵抗性に勝ることが知られている。しかし、根釧地域でも側根型品種がもつ生育特性が凍上害防止の上で有利性を発揮できるか否かについては未だ検討されていない。

根釧地域における夏期間の冷涼湿潤環境は本地域における品種の適応を考える場合の重要な要因と考えられる。本地域では夏期から晩秋にかけて葉枯れ性病害が多発するが、このことがアルファルファ個体の定着と維持にどのような影響を及ぼすかについては今日まで全く解析がなされていない。根釧地域の年間降水量は約 1,200mm（中標津町、以下同じ）である。年間降水量で類似のアメリカ北東部地域は、最寒月の最低気温が根釧地域と同程度が高く、最暖月の最高平均気温が27～30℃で根釧地域の23℃より著しく高い。アメリカ東部地域で栽培され

ているアルファルファ品種は中位の秋季休眠性を有しており、フィトフトラ等の根腐れ病、そばかす病等の葉枯れ性病害が重要とされる(MELTON ら, 1988)。フランス産品種の「DU PUIITS」および「VERNAL」、この地域で育成された「NARRAGANSETT」および「SARANAC」などの品種

がこの地域で適応性を示したとされる(MELTON ら, 1988)。これらの4品種はかつて北海道に導入された経過があり、特に生育型がⅢ型の「DU PUIITS」と「SARANAC」は過去に栽培が奨励された品種である。このことは本地域に適応する品種育成のうえで興味深い。

2) 根釧地域適応型育種素材からみたアルファルファの変異性

わが国において牧草育種が本格的に開始されたのは1950年であり、その歴史は極めて浅い(川端, 1987)。多年生牧草では自然環境の中で淘汰・選抜を受けて適応型として成立した生態型が育種母材として重要であり(川端, 1973; 藤本, 1978)、各国とも生態型が品種育成において、特にその初期段階で主要な遺伝資源となっている(川端, 1973)。北海道においてもチモシー「センボク」(植田 ら, 1971)、オーチャードグラス「キタミドリ」(宝示戸, 1977)、アカクロバ「サッポロ」(村上 ら, 1970)等主要な草種の品種育成で生態型が遺伝資源として重要な役割を果たしてきた。

一般に北海道内の牧草の生態型は1874年以来導入されてきた外国産品種に由来し、その後幾世代かの淘汰・選抜を経て成立したとされる(村上, 1967)。アルファルファは近東及び中央アジアの原産であり、冬期冷涼、夏期高温乾燥な大陸性気候で排水良好な中性土地帯で進化してきた(BOLTON ら, 1972)。主要栽培地帯の年間降雨量は250~1,000mmであり北海道の1,000~1,500mm、府県の1,500~2,000mmに比べて少ないことが知られている(真木, 1975)。北海道へのアルファルファの導入はアカクロバ、チモシー、オーチャードグラス等とほぼ同時期の明治初期であるが(村上, 1967)、その後、北海道においてアルファルファに生態型が分化したか否かについては否定的見方が強い(杉信, 1980; 寺田, 1989)。これは本来不向きな北海道の気象土壌環境下で生態型が成立するほど十分な世代交番を重ねることができなかったと考えられるからである。根釧地域にアルファルファの導入が試みられてからかなりの歳月が経っていると思われるが、本地域で路傍にエスケープしたアルファルファ個体を認めることはないので、当然のことながら生態型が成立することは極めて困難と考えられる。このことは府県においても同様であり、暖地における梅雨期の多雨と夏期の高温多湿環境は導入品種を定着させず、生態型は成立していないとみられている(稲波, 1989; 神部, 1996)。以上のことからアカクロバ等と異なりアルフ

アルファの場合には育種母材として国内で成立した生態型を利用することは望めないと考えられる。

アルファルファの栽培分布は北半球では北緯30~60度、南半球では南緯20~27度の範囲、冬期(1月)の等温線では-12~+10℃、夏期(7月)は+16~+27℃となっている(真木, 1975)。1980年代における世界のアルファルファ栽培面積は3,200万haと推定されており大きく、中でもアメリカ合衆国(1,056万ha)、アルゼンチン(750万ha)、ロシア(338万ha)における栽培が多い(MICHAUD ら, 1988)。このような世界における栽培面積の拡大は新しい環境への適応的变化、耐寒性の強い野生種との交雑と淘汰・選抜などによる本種の遺伝的变化が大きな役割を果たしている。すなわち、生態反応の異なる多くの品種の分化がアルファルファの広範な分布を支えている(藤本, 1984)。BARNESら(1977)はこれら多数の品種を遺伝資源研究に基づき耐寒性、休眠性に特徴のある9群に、また、前述のように鈴木(

1969)は初期生育、春・秋の草勢および刈り取り後の再生等に基づき5群に分類した。品種分化の多様性は市販品種にも認めることができ、OECDの品種リストによればアルファルファの品種育成は26ヶ国で行われ、約400品種が登録されている(OECD, 1996)。以上のようなアルファルファ品種群がもつ多様性は根釧地域に適応する品種の育成に対しても優れた遺伝資源を提供することを期待させる。

一方、杉信ら(1980)は北海道内各地のアルファルファの永年生存株を収集しその特性を調べた結果、地域ごとに特徴ある生育特性を認めた。また植田ら(1985)はそれら収集したアルファルファの永年生存株を利用し、北海道初の品種「キタワカバ」(植田ら, 1985)を育成し、それらが北海道向け品種育成の有効な遺伝資源であることを示した。

さらに、愛知県総合農業試験場の育種グループは、北海道よりさらに湿潤(年間降水量 1,600mm)なわが国の暖

地に適応するアルファルファ品種の育成を試みるなかで幾世代かの選抜淘汰を繰り返し、導入品種にはみられない特性をもつ品種群を育成分化させることに成功してい

る(藤本, 1984; 稲波ら, 1981a, b; 神戸ら, 1993; 神戸ら, 1996a, b; KANE ら, 1997) ことは注目に値する。

3. 研究の目的

大きな栽培的バックグラウンドと酪農家の強い栽培志向にもかかわらずアルファルファ栽培が根釧地域に普及し定着しなかった最大の理由は、本地域に高度に適応する品種を欠いていたことである。それ故、本地域に適応するアルファルファ品種の育成は、本地域にアルファルファを導入するための必要条件であると考えられる。そのためにはこれまでの研究成果を踏まえるとともに、改めて本地域に対する品種の適応要因を解析し、場合によっては独自の観点から育成を進める必要があるかもしれない。

このようなことから、北海道立根釧農業試験場では

1987年より根釧地域に適応するアルファルファ品種育成のため農林水産省北海道農業試験場と連携して品種・系統等の選抜試験を実施している。その成果は北海道農業試験場による新品種「ヒサワカバ」(山口ら, 1995)の誕生となって実を結んだが、本研究は当地域向け品種育成のための基礎的知見を得る目的で育種と平行して行ったものである。本論文では、既報論文(竹田ら, 1997a, b, c; 竹田ら, 1998)に未発表の成績を加え、根釧地域に適応する品種特性と適応要因の解析、適応関連形質の変異解析と遺伝的統計量の推定、選抜試験による改良理論の検証について検討を行う。

Ⅱ．根釧地域に適応する品種の特性と適応要因の解析

1．導入品種比較試験による解析

1) 定着期における適応品種の特性と適応要因（試験1）

目 的

冬期の根釧地域は晴天が多いため、夜間の放射冷却が厳しい。さらに根雪始めが遅く、寡雪に経過するため土壌凍結が深く進行する（山田, 1951; 山田ら, 1953; 山田ら, 1955; 山口ら, 1981）。また、当地域の土壌は主として火山性土で構成されており、凍上を引き起こし易い。このような冬期環境から本地域に対してアルファルファの導入を制限している要因は、従来、凍害、凍上害、アイスシート害、雪腐れ病などのストレスによって引き起こされる冬枯れにあるとされてきた（早川ら, 1963; 堀川ら, 1987; KOMATSU ら, 1985; 仁木, 1953; SHIMADA, 1982; 山口ら, 1981）。しかし一方、夏期の根釧地域は無霜期間が約130 日間と極めて短かく、さら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、日照時間も極めて少ないなどの特殊性をもっている。それ故、本地域に対するアルファルファ導入の制限要因を検討する場合、冬期のみならず夏期の気象条件についても考慮する必要があると考えられる。そこで海外から導入した多数品種を用いて品種比較試験を行ない改めて適応要因について検討を行った。

なお、本論文では「耐冬性」を小林および西村(1987)の定義に準じ、冬期における複数のストレス要因によって引き起こされる冬枯れ（個体の部分的な損傷および枯死）に耐える能力とし、氷点下の凍結に耐える能力を示す「耐凍性」や、越冬後の再生力によって評価される「越冬性」とは区別して用いた。

材料及び方法

海外から導入された59品種と標準品種として国内育成の「キタワカバ」を加えた60品種を供試した。品種の主要な育成国はアメリカ、カナダ、フランスで、生育型はⅢ～Ⅴ型であった（表1-1）。なお、カナダ産品種「ANIK」は定着が著しく不良であったので調査から除外した。播種は1988年6月中旬で、畦幅30cmの条播、1区の面積は2.4㎡、4反復の乱塊法で配置した。施肥は基

肥をN:P₂O₅:K₂O=0.4:2.0:0.8kg/aとし、播種当年の刈取りは行わなかった。

造成年には草勢等の生育状況と越冬直前の地上部量を草丈により調査した。主な葉枯れ性病害であったそばかす病（病原：*Leptosphaerulina briosiana* (POLL) GRAHAM and LUTTRELL）の罹病程度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として秋季に観察した。2年目早春、萌芽後に10%単位で基底被度を調査し、個体の定着状況を評価した。凍上害程度は地表面からの個体の浮上程度により評価した。すなわち、2年目（1989年）の早春、土壌凍結の融解後に冠部および根部の地表面からの露出の程度を観察し、浮上が認められない場合を0、冠部がわずかに露出している場合を1、根部が半分程度露出している場合を5、根部がほぼ完全に露出し、抜根している場合を9として評点した。また、耐冬性は萌芽時における冬枯れ程度、すなわち地上部（冠部）の枯れ上がりの程度により無または微1～甚9として評価した。秋季の草勢は晩秋における地上部の伸長程度から不良1～良9として評価し、逆に秋季休眠性は秋季の伸長性が小さいものほど大きいとした。また草型は直立型1～開張型9として評価した。なお、前述のように初年目は刈り取りを行わなかったため、両形質については2年目以降の調査成績を用いた。

根重、根型、および耐凍性調査用の個体は、別に掘り取り調査用圃場を設けて養成した。前記品種比較試験と同様の耕種法により栽培し、造成年の土壌凍結が始まる直前(11月16日)に各品種約100個体を掘り取って調査した。根型は側根の発達程度に応じて個体毎に「主根型」と「側根型」に分類し、側根型個体比率をもって品種の側根型程度とした。耐凍性は冠部凍結法(嶋田, 1982)により測定した。すなわち、掘り取った個体を暗黒下-3.0℃で2週間ハードニングした後、-2℃/時間で-10.0℃まで降下させ、16時間凍結処理した。処理後10日間、室温にて再生させ、生存個体率を求めて耐凍性とした。耐凍性は1反復10個体の3反復で測定した。

造成年の夏期は平年に比べて降水量が並であったが、

気温は低く、日照時間も少なかった。このため生育は全般に緩慢であった。1988-1989年の冬期は平年に比べて根雪始が約10日遅い12月26日、最深積雪は約20cm浅い40cmで、最大土壌凍結深は10cm深い40cmであった。

結 果

冬枯れ程度、凍上害、耐凍性のいずれの形質にも著しい品種間変異が認められた(表1-1)。冬枯れ程度と越冬後の被度との相関は極めて高く($r=-0.96^{**}$)、耐凍性と個体の定着の間に密接な関係が認められた(図1-1)。凍上害抵抗性が大きく耐凍性の大きな品種にはア

表1-1. 造成初年目における耐凍性、凍上害程度および冬枯れ程度の品種間差異。

品 種	育成 ¹⁾ 生育 耐凍 ²⁾ 凍上 ³⁾ 冬枯 ⁴⁾					品 種	育成 ¹⁾ 生育 耐凍 ²⁾ 凍上 ³⁾ 冬枯 ⁴⁾				
	国	型	性	害	程度		国	型	性	害	程度
RANGELANDER	CDN	V	77	9.0	9.0	GLOLIA	R	III	64	2.0	3.8
RAMBLER	CDN	V	64	9.0	9.0	WWB-13	S	III	47	2.0	3.3
ROAMER	CDN	V	0	9.0	8.5	MOHAWK	USA	III	23	2.0	3.8
DRYLANDER	CDN	V	3	8.5	9.0	C/W-100	USA	III	0	2.0	2.5
LADAK	USA	V	16	8.0	8.0	ONEIDA	USA	III	43	1.8	2.8
PEACE	CDN	V	16	7.8	8.3	EXPERIMENT412	USA	III	37	1.8	2.5
BEAVER	CDN	V	0	7.5	8.0	84-19	USA	III	43	1.8	2.5
RHIZOMA	CDN	V	13	7.3	7.8	JULUS	S	IV	49	1.8	3.5
PICKSTAR	CDN	IV	20	7.0	7.5	524	CDN	III	77	1.5	3.5
不明	USSR	V	79	7.0	6.5	532	USA	III	50	1.5	3.0
NAGYSZENASI	H	III	47	5.5	4.5	O. A. C. MINTO	CDN	IV	67	1.5	2.8
PLOWLER	CDN	V	90	5.0	5.8	ONEIDA VR	USA	III	78	1.5	1.5
NARRAGANSETT	USA	IV	23	5.0	5.5	MAYA	F	III	23	1.5	3.3
ELEVATION	USA	III	30	4.5	4.8	NY 8412	USA	III	64	1.5	2.3
ALGONQUIN	CDN	IV	73	4.5	4.0	EXCALIBUR	USA	III	86	1.5	2.5
PACER	CDN	IV	3	4.0	4.3	IROQUOIS	USA	IV	49	1.5	3.5
SPREDOR2	USA	V	13	3.8	5.5	CITATION	USA	III	87	1.5	2.3
THOR	USA	III	29	3.5	4.0	EUVER	F	III	57	1.5	1.3
LUTECE	F	III	30	3.3	2.3	WM 3006	USA	IV	65	1.3	1.5
COMMANDOR	USA	IV	30	3.3	4.3	VELA	DK	III	47	1.3	2.8
VALOR	CDN	IV	47	3.0	4.3	RESIS	DK	III	7	1.3	2.0
TOKAY	USA	III	37	3.0	3.5	8602	USA	III	80	1.0	2.8
キラカハ	J	III	47	3.0	3.3	PRESCOT	DK	IV	50	1.0	2.8
HUNTER	CDN	III	50	2.8	3.5	EUROPE	F	III	90	1.0	1.5
VERTUS	S	III	60	2.8	2.8	EAGLE	USA	III	77	1.0	1.8
ANGUS	CDN	IV	37	2.8	3.3	5444	USA	III	44	0.8	1.3
FUNDULEA	R	IV	49	2.5	3.0	SARANAC	USA	III	50	0.5	2.8
FORTRESS	USA	IV	13	2.5	3.5	VEKO	DK	III	53	0.3	2.8
SVERRE	S	III	3	2.3	2.3	ARROW	USA	III	35	0.0	4.0
LUTETIA	R	III	17	2.3	3.0	lsd (5%)			32	2.6	4.4

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

2) 人工凍結(-10°C, 16hrs)処理後の生存個体率(%).

3) 0(無) ~ 9(甚).

4) 1(無または微) ~ 9(甚).

表 1-2. 凍上害程度を従属変数とした重回帰分析(変数増減法)の結果¹⁾.

独立変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	単相関
晩秋の草量	-0.37	-0.50	-0.72**
根 重	-0.04	-0.47	-0.73**
R=0.83.	R ² =0.69.	標準誤差 1.37.	F=60.26** ²⁾

1) 根型(側根型個体比率)は式に組み込まれなかった。

2) **, P<0.01.

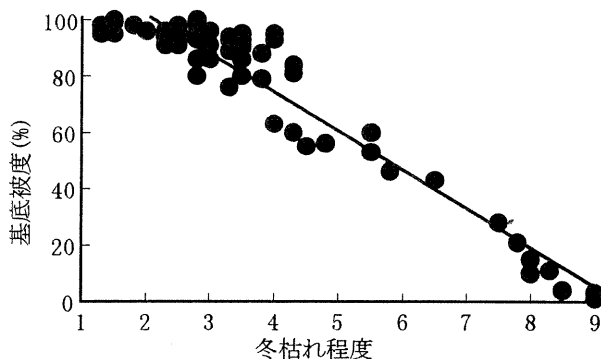


図1-1. 造成年における冬枯れ程度と春季の基底被度の関係($y=129.3-13.8x$, $r=-0.96^{**}$).

- 1) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 2) **, 1%水準で有意

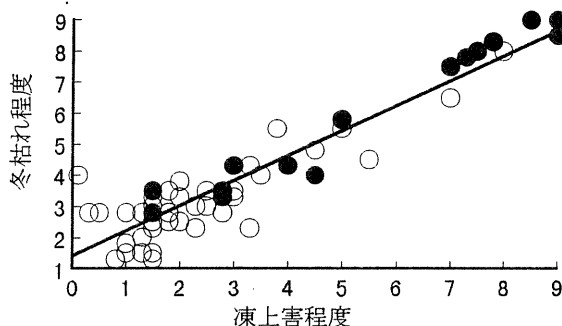


図1-2. 凍上害程度と冬枯れ程度との関係($y=1.41+0.80x$, $r=0.95^{**}$).

- 1) 凍上害程度, 0(無)~9(甚).
- 2) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 3) **, 1%水準で有意.
- 4) ●, カナダ産品種.

メリカ産, ヨーロッパ産品種の多くが含まれていた(表1-1)。これに対してカナダ産品種には凍上害抵抗性と耐凍性に著しく劣る品種が認められた(表1-1)。しかし, 全般には育成地と品種特性との関係はそれほど明確ではなく, このことは耐凍性についても同様であった。「北海道優良品種」として栽培が奨励されてきた品種は凍上害抵抗性と耐凍性のランクが上位であった。形質間との関係では, 凍上害と冬枯れ程度との間に極めて高い有意な相関係数(0.95**)が得られ, 造成年における耐

凍性と凍上害の密接な関係が示された(図1-2)。これらの関係においてカナダ産品種には凍上害抵抗性および耐凍性に広範な変異が含まれていることが注目された。耐凍性と冬枯れ程度との間には5%水準で有意な負の相関($r=-0.32^*$)が認められたが(図1-3), 両形質間との関係は必ずしも明確ではなかった。これは耐凍性の大きな品種に著しい冬枯れを生じた品種が含まれていたためであった。

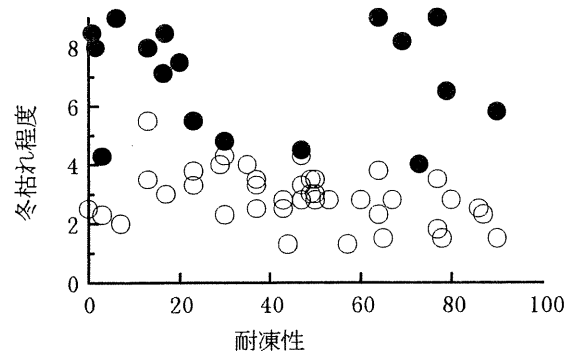


図1-3. 耐凍性と冬枯れ程度との関係($r = -0.32^*$).

- 1) 耐凍性, 人工凍結処理による生存個体率.
- 2) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 3) 凍上害程度, ○, 0~4; ●, 4.1~9.
- 4) *, 5%水準で有意.

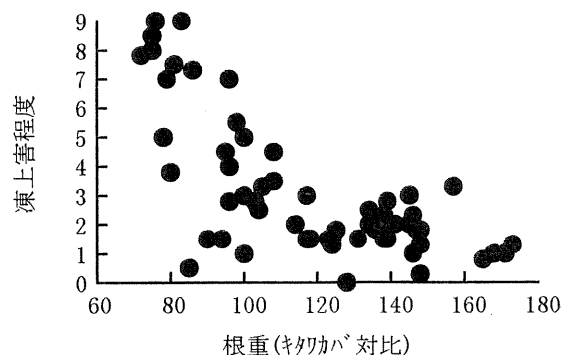


図1-4. 根重と凍上害程度との関係($r = -0.73^{**}$).

- 1) 凍上害程度, 0(無)~9(甚).
- 2) **, 1%水準で有意.

凍上害がどのような特性をもつ品種に大きかったかをみると、まず、凍上害は根重の小さい品種で大きい傾向にあった($r=-0.73^{**}$) (図1-4)。一般に、凍上害抵抗性と側根の発達程度との間には密接な関係が知られているが (AVENDANO ら, 1966; HEINRICHS 1973; MCINTOSH ら, 1981; PEDERSON ら, 1984; PERFECT ら, 1987; PORTZ, 1967; SHIMADA ら, 1982), 本試験では品種の側根型程度と凍上害の間には全く有意な相関は認められなかった (図1-5)。また、凍上害を従属変数とし、越冬前の地上部量,

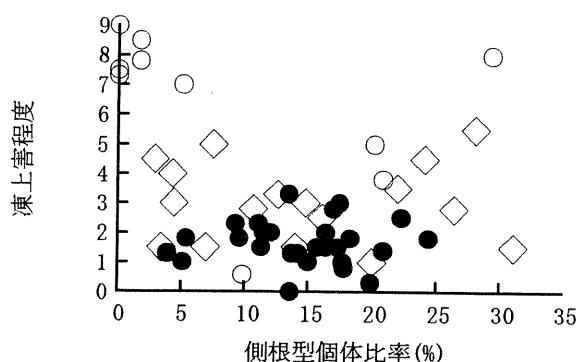


図1-5. 側根型個体比率と凍上害程度の関係.

- 1) 凍上害程度, 0 (無)~9 (甚).
- 2) 図中のマーカーは根重の「キタカバ」対比により,
○, 90%以下; ◇, 90~120%; ●, 120%以上.

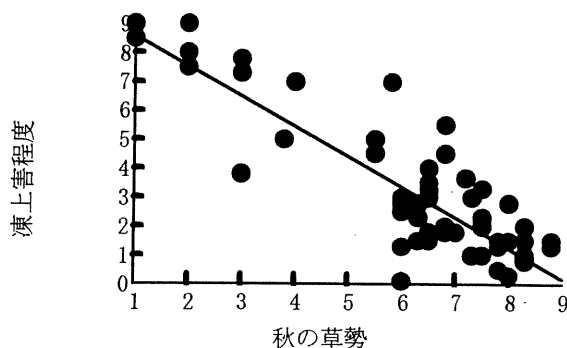


図1-6. 秋の草勢と凍上害程度の関係.
($y = 9.67 - 1.06x$, $r = -0.85^{**}$).

- 1) 秋の草勢, 1 (不良)~9 (良).
- 2) 凍上害程度, 0 (無)~9 (甚).
- 3) **, 1%水準で有意.

根重および側根型程度を独立変数とする重回帰分析を変数増減法で行った結果でも、越冬前の根重と地上部量とともに重要で、2変数で凍上害の変異の約70%が説明された (表1-2)。これらの結果は根型に関係なく、初期生育が旺盛で大きな根を発達させた品種ほど凍上害抵抗性であったことを示している。根重には秋の草勢($r = 0.40^{**}$) およびそばかす病罹病程度($r = -0.60^{**}$) との間に有意な相関が得られ、根重は秋季休眠性が弱く、そばかす病罹病程度の小さな品種ほど大きい傾向が認められ

た。

また、秋の草勢と凍上害との間に大きな負の相関($r = -0.85^{**}$, 図1-6)が、そばかす病罹病程度との間にも大きな負の相関($r = -0.89^{**}$, 図1-7)が認められ、秋の草勢の大きい、すなわち、秋季休眠性の弱い品種ほど凍上害、病害が小さかった。一般にアルファルファ品種の生育型は耐凍性ばかりではなく根型、根重とも密接な関係があり、開張型で秋季休眠性が強い品種ほど側根の発達が旺盛で根量も多いことが知られている (SMITH, 1951; 上野, 1967; BARNES ら, 1988, JOHNSON ら, 1998)。

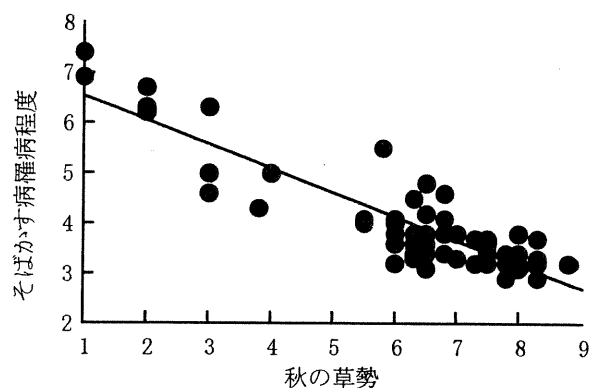


図1-7. 秋の草勢とそばかす病罹病程度の関係
($y = 7.00 - 0.48x$, $r = -0.89^{**}$).

- 1) 秋の草勢, 1 (不良)~9 (良).
- 2) そばかす病罹病程度, 1 (無または微)~9 (甚)
- 3) **, 1%水準で有意.

しかしながら、本試験ではそのような傾向は認められなかった。一般に秋季休眠性の強い品種ほど秋の草勢が小さい傾向がみられることから、これらの結果は秋季休眠性の強い品種ほど葉枯れ性病害にもかかり易く、草勢が劣り、根量も少ないために凍上害を受け易かったことを示している。このことは秋季休眠性が当地域に対する品種の適応性を検討する上で重要な特性であることを示唆している。

考 察

鈴木ら (1969) の生育型の分類に従えば、本試験に用いた品種は秋季休眠性が中位なⅢ型から秋季休眠性が最も強く、秋の草勢が小さなⅤ型に属していた。北海道東部では根雪が遅く、寡雪で冬の寒さに曝され易いためⅢ型が有する平均的な耐冬性では越冬には無理があり、むしろ開張型で休眠性の強いⅣ型の品種に優れた永続性と多収性が期待できるとされている (堀川ら, 1987; SHIMADA ら, 1982; 杉信ら, 1980)。したがって、Ⅳ型、Ⅴ型品種

の高い耐冬性が期待されたが、試験結果では、優れた耐冬性を示した品種は「RESIS」，「5444」，「EUROPE」，「SARANAC」，「EUVER」など北海道優良品種を主体としたⅢ型に属する品種群であり，最も耐冬性が劣った品種はカナダ産を主とするⅤ型に属する品種であった。定着期における冬枯れは凍害ではなく主として凍上害によって決定されていたが，最も厳しい冬期の低温環境に耐えられると考えられていたこれらカナダ産品種の耐冬性が本試験において最も劣った原因は，これら品種の未発達な根系，地上部に因っていた。本試験に供試した品種の範囲では，凍上害抵抗性が優れた品種は造成年の生育が旺盛で弱い秋季休眠性を示し，越冬前に大きな個体を発達させた。これに対してⅤ型品種は初期生育が遅いうえ，秋季休眠により早く生育を停止したことから，根部，地上部とも小さな個体しか発達させることができなかった。また，秋季休眠性の強い品種ほど葉枯れ性病害が著しかったことは，この傾向を一層助長し，凍上害を顕著にした可能性があった。したがって，当地域において初年目

の凍上害を回避するためには，Ⅲ型品種において認められるような，夏期の冷涼湿潤条件下でも良好に生育し，短い生育期間の内に根量が十分確保される生育特性をもつことが必須条件であると思われる。

摘 要

北海道根釧地域に適応するアルファルファ品種の特性を明らかにする目的で，生育型がⅢ～Ⅴ型に属する60品種の比較試験を行い，適応品種の特性と適応要因を解析した。造成当初における個体の定着，維持には耐冬性が重要であった。造成年の耐冬性は，被害が凍害よりも凍上害に原因していたため，適応形質としては耐凍性よりも凍上害抵抗性がより重要であった。優れた凍上害抵抗性を示した品種は，生育が旺盛で根量が多く，生育型がⅢ型に属し秋季休眠性が小さく，葉枯れ性病害に強い特性をもっていた。

2) 定着期以降における適応品種の特性と適応要因(試験2)

目 的

試験1の結果から根系が未発達な定着期における適応形質として凍上害抵抗性の重要性を認めた。本試験では根系がある程度発達した2年目以降の維持段階における植生確保、個体維持に必要な品種特性について検討を行った。

材料及び方法

試験1において用いた品種比較試験(以下試験Aとする)ならびに新たに造成した品種比較試験(以下試験Bとする)の2年目以降のスタンドを用いた(表2-1, 表2-2)。供試品種数は試験Aおよび試験Bそれぞれ60で、内10品種は両試験に共通であった。北海道農試が育成した「キタワカバ」を標準品種とした。供試品種の生育型はⅢ～Ⅴ型に属していると推定された。播種は試験Aが1988年、試験Bが1989年であり、調査は試験Aが播種後2～5年目までの4年間、試験Bが播種後2～4年目までの3年間、いずれも1992年まで行った。なお試験Aは試験1をそのまま引き継いだので、凍上害により著しく欠株が生じた9品種および造成年の定着が著しく不良な1品種、いずれもⅤ型の計10品種を除く50品種について調査を行った。

試験Aおよび試験Bとも畦幅30cmの条播、試験区の大きさは1区2.4㎡、4反復の乱塊法で配置した。刈取り回数は年2回、時期は1番草が開花始期の6月下旬～7月上旬、2番草が開花期の8月下旬～9月上旬とした。2年目以降の施肥量は年間0.4-1.0-2.2-0.2 kg/a (N-P₂O₅-K₂O-MgO)を早春と1番草刈取り後の2回に均等に分施した。

調査形質は早春の草勢および秋の草勢、冬枯れ程度、1番草の茎葉乾物収量、当地域の主要な葉枯れ性病害で

あるそばかす病の罹病程度および調査最終年(1992年)晩秋の被度である。冬枯れ程度、秋の草勢、そばかす病罹病程度は試験1の方法に準じて調査した。被度は10%単位で観察評価した。茎葉乾物収量は「キタワカバ」対比で示した。各調査形質とも試験終了まで数回調査したが、調査回次間の相関が極めて高く、品種と年次の交互作用は認められなかったため、主としてそれらの平均値を解析に用いた。

本試験の調査が行われた期間の最大土壌凍結深は20～30cmで、平年並みかやや浅かった。しかし、アルファルファ個体は根雪始の遅延や浅い積雪深の影響で初冬期には相当程度の低温に曝された。

結 果

4年目あるいは5年目まで調査を継続したが、2年目以降いずれの年次においても冬枯れは全品種に認められ、冬枯れ程度の品種間変異は大きかった(表2-1, 表2-2)。冬枯れ程度の年次間相関係数は試験A($r=0.70^{**}$ ～ 0.81^{**})、試験B($r=0.70^{**}$)ともに大きく、いずれの年次においても同様の要因が耐冬性に関与していたことを示唆した。造成年における冬枯れの主要な原因であった凍上害は発生が認められず、また、雪腐れ病害やアイスシート害も観察されなかった。安定して良好な耐冬性を示した品種は試験Aでは「EUROPE」、「5444」、「EUVER」、「RESIS」、「ONEIDA VR」、「キタワカバ」および「PROGRESS」などで、アメリカ、ヨーロッパ、日本産品種であった。これらはいずれも北海道において栽培が奨励されてきたⅢ型品種に属していた。Ⅴ型品種の耐冬性はいずれの試験においても最も劣っており、Ⅳ型品種の耐冬性も前述のⅢ型品種より劣っていた(表2-1, 表2-2)。

表2-1. 2年目以降における冬枯れ程度の品種間差異（試験A）.

品種	育成 ¹⁾ 生育		冬枯れ程度 ²⁾				品種	育成 ¹⁾ 生育		冬枯れ程度 ²⁾			
	国	型	'90	'91	'92	平均		国	型	'90	'91	'92	平均
EUROPE	F	III	2.7	2.0	2.0	2.2	HUNTER	CDN	III	5.2	2.0	3.5	3.6
5444	USA	III	2.7	1.7	2.5	2.3	GLOLIA	R	III	5.2	2.2	3.3	3.6
EUVER	F	III	3.5	1.5	2.0	2.3	LUTECE	F	III	5.0	2.2	4.0	3.7
RESIS	DK	III	3.2	1.7	2.5	2.5	PACER	CDN	IV	5.7	2.0	3.5	3.7
C/W-100	USA	III	4.2	1.7	2.3	2.7	MOHAWK	USA	III	5.2	2.5	3.9	4.0
VELA	DK	III	3.7	1.5	3.0	2.7	TOKAY	USA	III	5.7	2.2	4.0	4.0
CITATION	USA	III	3.0	2.0	3.3	2.8	THOR	USA	III	6.2	2.2	3.8	4.1
EAGLE	USA	III	4.5	1.7	2.5	2.9	ELEVATION	USA	IV	6.2	2.2	3.8	4.1
NY 8412	USA	III	4.7	1.7	2.4	2.9	COMMANDOR	USA	IV	5.7	2.0	4.5	4.1
ONEIDA VR	USA	III	3.7	1.7	3.5	3.0	NAGYSZENASI	H	III	6.7	2.2	3.5	4.1
EXCALIBUR	USA	III	4.7	1.5	2.8	3.0	IROQUOIS	USA	IV	6.5	2.0	4.0	4.2
EXPERIMENT412	USA	III	4.2	1.7	3.3	3.1	JULUS	S	IV	6.2	2.2	4.3	4.2
WWB-13	S	III	5.2	1.7	2.3	3.1	PRESCOT	DK	IV	6.2	2.5	4.0	4.2
SARANAC	USA	III	4.7	1.7	2.8	3.1	VALOR	CDN	IV	6.7	2.0	4.0	4.2
P 532	USA	III	4.7	2.0	2.5	3.1	524	CDN	III	6.2	2.5	4.5	4.4
8602	USA	III	4.2	2.0	3.0	3.1	O. A. C. MINTO	CDN	IV	6.7	2.2	4.8	4.6
ONEIDA	USA	III	5.0	1.5	2.8	3.1	NARRAGANSETT	USA	IV	7.7	2.2	4.5	4.8
WM 3006	USA	III	4.7	2.0	2.8	3.2	ALGONQUIN	CDN	IV	6.5	3.0	5.0	4.8
VEKO	DK	III	4.5	2.2	3.0	3.2	SPREDOR 2	USA	V	8.2	3.2	5.8	5.7
84-19	USA	III	4.5	2.0	3.3	3.3	不明	USSR	V	8.0	3.0	6.8	5.9
MAYA	F	III	5.7	1.7	2.5	3.3	PLOWLER	CDN	V	8.5	3.2	6.3	6.0
LUTETIA	R	III	4.2	2.2	3.5	3.3							
VERTUS	S	III	4.5	2.0	3.5	3.3	1sd (5%)			2.1	0.8	1.8	-
SVERRE	S	III	4.7	2.0	3.3	3.3	最大			8.5	3.2	6.8	6.0
FORTRESS	USA	IV	4.5	1.7	4.0	3.4	最小			2.7	1.5	2.0	2.2
ARROW	USA	III	5.2	2.2	3.0	3.5	レンジ			5.8	1.7	4.8	3.8
FUNDULEA	R	IV	4.2	2.2	4.0	3.5	平均			5.2	2.1	3.5	3.6
ANGUS	CDN	IV	5.0	2.0	3.5	3.5	標準偏差			1.33	0.40	1.01	0.85
キタカバ	J	III	5.2	2.5	3.0	3.6							

1) CDN, Canada; DK, Denmark; F, France;

H, Hungary; J, Japan; R, Rumania;

S, Sweden.

2) 1(無または微) ~ 9(甚).

表2-2. 2年目以降における冬枯れ程度の品種間差異(試験B).

品種	育成 ¹⁾ 国	生育 型	冬枯れ程度 ²⁾			品種	育成 ¹⁾ 国	生育 型	冬枯れ程度 ²⁾		
			'91	'92	平均				'91	'92	平均
ONEIDA VR	USA	III	2.7	2.0	2.4	MAYA	F	III	6.0	2.5	4.3
キタリハ ^o	J	III	3.2	1.8	2.5	ALOUETTE	CDN	IV	5.7	3.0	4.4
PROGRESS	USA	III	3.0	2.0	2.5	WM 3004	USA	IV	4.7	4.0	4.4
CARDINAL	F	III	3.2	2.5	2.9	SITEL	F	III	5.7	3.0	4.4
AF21	USA	III	3.0	2.8	2.9	L7855	F	III	5.0	3.8	4.4
FD8701	F	III	4.0	2.3	3.2	5432	USA	III	5.7	3.5	4.6
EUROPE	F	III	4.0	2.5	3.3	LIVIA	F	III	6.2	3.3	4.8
ARROW	GB	III	4.5	2.0	3.3	WM 0006A	USA	IV	6.0	3.5	4.8
EXCALIBUR	USA	III	3.7	2.8	3.3	ALEGRO	F	III	6.0	3.5	4.8
STAR	F	III	4.2	2.5	3.4	531	USA	III	6.0	3.5	4.8
GRACIER	F	III	4.5	2.3	3.4	GEMINI	F	III	6.7	3.0	4.9
EAGLE	USA	III	5.0	1.8	3.4	MAGNUM	CDN	IV	5.2	4.8	5.0
EUVER	F	III	4.0	2.8	3.4	TRIUMF	R	III	6.2	3.8	5.0
WM 1008A	USA	IV	4.5	2.5	3.5	545	USA	IV	6.0	4.3	5.2
VERTUS	S	III	4.5	2.8	3.7	555	USA	III	6.5	3.8	5.2
ALIZE	F	III	3.5	3.8	3.7	VANGARD	?	III	7.0	3.5	5.3
JX 95V	USA	III	4.5	2.8	3.7	ARC	USA	III	6.5	4.0	5.3
YAL72	USA	III	4.7	2.8	3.8	JUBILEE	USA	IV	6.5	5.0	5.8
DERBY	F	III	5.2	2.3	3.8	CINNA	F	III	7.5	4.3	5.9
520	USA	III	5.0	2.5	3.8	TRUMPETOR	USA	IV	8.0	3.8	5.9
NY 8413	USA	III	5.0	2.8	3.9	MARIS KABUL	GB	III	6.7	5.3	6.0
HONEOYE	USA	III	5.0	2.8	3.9	BARRIER	CDN	IV	7.7	4.3	6.0
XAR64	USA	III	5.0	3.0	4.0	VANCOR	USA	IV	7.7	5.0	6.4
526	USA	IV	4.0	4.0	4.0	DIABLO.VERDE	USA	III	7.7	7.0	7.4
JX 90R	USA	III	5.0	3.0	4.0	CHOUTON	CHINA	V	8.0	7.0	7.5
DART	GB	III	4.2	3.8	4.0	NPI	USA	III	7.2	8.0	7.6
ATRA 55	USA	III	5.2	2.8	4.0						
JX 80R	USA	III	4.5	3.5	4.0	1sd5%			2.4	1.8	-
THOR	USA	III	5.0	3.0	4.0	最大			8.0	8.0	7.6
WM 3012	USA	IV	4.7	3.3	4.0	最小			2.7	1.8	2.4
EVEREST	F	III	4.7	3.5	4.1	レンジ			5.3	6.2	5.3
CITATION	USA	III	4.7	3.5	4.1	平均			5.3	3.5	4.4
SARANAC	USA	III	5.2	3.0	4.1	標準偏差			1.34	1.26	1.19

1,2) 表2-1 参照.

冬枯れ程度は調査最終年次の秋の被度との間に $r = -0.85^{**}$, -0.89^{**} (図2-1), 早春の草勢との間に $r = -0.91^{**}$, -0.95^{**} (図2-2) の極めて高い相関を示し, 1 番草茎葉収量をほぼ決定した ($r = -0.72^{**}$, -0.78^{**})

(図2-3)。以上のことから, 耐冬性は個体の維持のみではなく, 多収性の最大の制限要因となっていることが推察された。冬枯れ程度と高い相関を示した形質は秋の草勢 ($r = -0.85^{**}$, -0.60^{**}) (図2-4) およびそばかす病罹病程度 ($r = 0.61^{**}$, 0.84^{**}) (図2-5) であった。そばかす病罹病程度と秋の草勢との間には負で有意な相関係数 ($r = -0.65^{**}$, -0.47^{**}) が認められた (図2-6)。

以上のように, 耐冬性は秋季休眠性が小さく, そばかす病の罹病程度が小さな品種ほど勝り, 逆の特性を有する品種ほど劣る傾向があった。

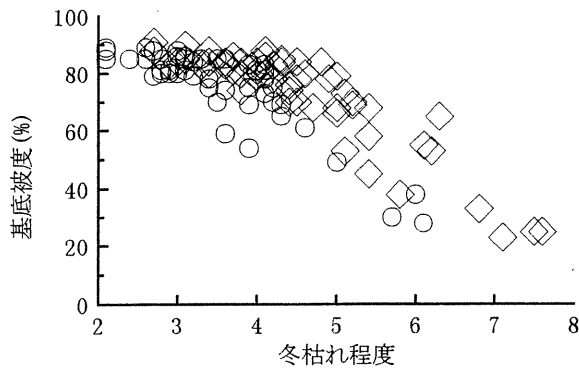


図2-1. 冬枯れ程度と個体維持(調査最終年における基底被度)の関係。

- 1) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 2) ○, 試験A, 5年目 $r = -0.85^{**}$; ◇, 試験B, 4年目 $r = -0.89^{**}$.

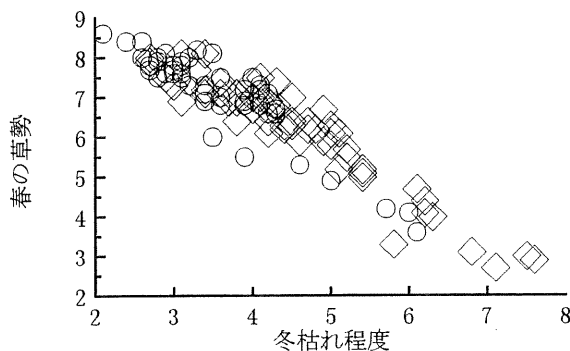


図2-2. 冬枯れ程度と春の草勢の関係。

- 1) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 2) 春の草勢, 1(不良)~9(良).
- 3) ○, 試験A, $r = -0.91^{**}$; ◇, 試験B, $r = -0.95^{**}$.

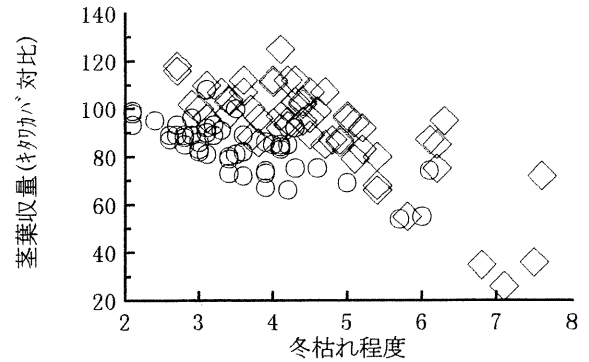


図2-3. 冬枯れ程度と1 番草茎葉収量の関係。

- 1) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 2) ○, 試験A, $r = -0.72^{**}$; ◇, 試験B, $r = -0.78^{**}$.

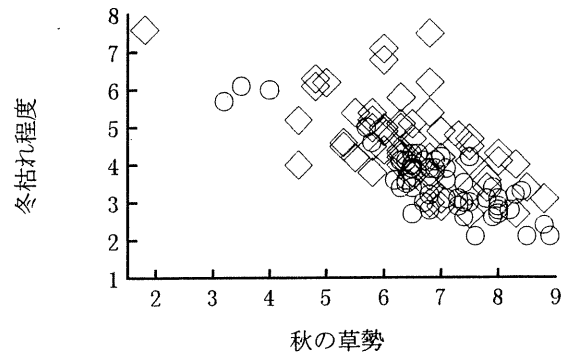


図2-4. 秋の草勢と冬枯れ程度の関係。

- 1) 秋の草勢, 1(不良)~9(良).
- 2) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 3) ○, 試験A, $r = -0.85^{**}$; ◇, 試験B, $r = -0.60^{**}$.

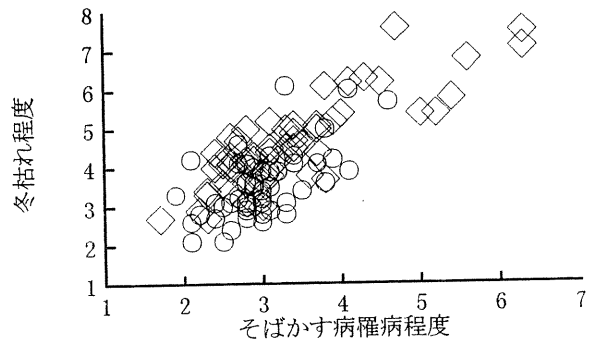


図2-5. そばかす病罹病程度と冬枯れ程度の関係。

- 1) そばかす病罹病程度, 1(無微)~9(甚).
- 2) 冬枯れ程度, 1(無または微)~9(甚).
- 3) ○, 試験A, $r = 0.61^{**}$; ◇, 試験B, $r = 0.84^{**}$.

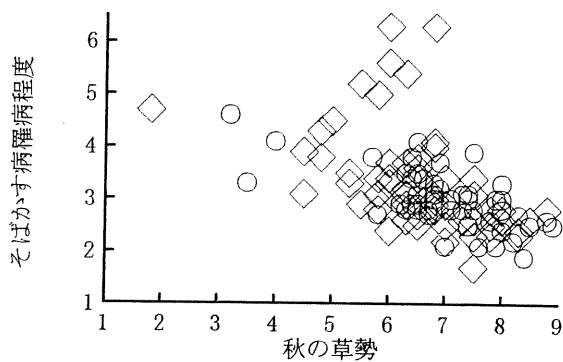


図2-6. 秋の草勢とそばかす病罹病程度の関係.

- 1) 秋の草勢, 1(不良)~9(良).
- 2) そばかす病罹病程度, 1(無または微)~9(甚).
- 3) ○, 試験A, $r = -0.65^{**}$; ◇, 試験B, $r = -0.47^{*}$.

考 察

北海道東部の土壤凍結地帯におけるアルファルファの耐冬性に関わる要因として凍上害、雪腐黒色小粒菌核病(病原, *Typhula ishikariensis* S. Imai)による被害、凍害、アイスシート害が重要である(KOMATSU ら, 1985)。

試験1の結果では根釧地域の造成年においては凍上害が極めて重要で、凍上害の回避には、夏期の冷涼湿潤条件下においてそばかす病害の発生が少なく、旺盛に生育し、短い生育期間内に十分な根量が確保できるⅢ型品種の生育特性が有利であった。2年目以降においても冬枯れの発生が認められたが、造成年と異なり、凍上害の発生は認められなかった。さらに、雪腐黒色小粒菌核病害やアイスシート害も観察されなかったことから、本試験に

おける耐冬性には軽度または重度の凍害(KOMATSU ら, 1985)が関与していたと考えられる。

耐冬性は秋季休眠性が強く、高い耐凍性が期待されるⅣ型およびⅤ型品種で劣り、逆に秋季休眠性が中位で、前者より耐凍性が低いとされるⅢ型品種で勝る傾向があった。一般に耐冬性が主に耐凍性によって左右される場合、耐冬性の品種間変異はⅢ型<Ⅳ型<Ⅴ型となるが(HEINRICHS ら, 1960; 堀川ら, 1985; KOHEL ら, 1960; LARSON ら, 1963; SHIMADA ら, 1982; SMITH, 1961; STOUT, 1989; STOUT ら, 1992), 本試験では逆の傾向を示した。耐冬性に勝る品種は秋季休眠性が中位なⅢ型でそばかす病に強い特性を有することから、そばかす病害と耐凍性が密接に関連していることが示唆された。

摘 要

生育型がⅢ型~Ⅴ型に属する50, 60品種からなる2つの品種比較試験を用いて2年目以降における地域適応性を検討した。造成年とは異なり凍上害は発生しなかったが、冬枯れ程度は早春の草勢($r = -0.91^{**}$, -0.95^{**}), 1番草茎葉収量($r = -0.72^{**}$, -0.78^{**}) および最終年次の被度($r = -0.85^{**}$, -0.89^{**}) との間に高い相関を示し、同様に最も重要な適応要因であった。また、冬枯れ程度は秋の草勢($r = -0.85^{**}$, -0.60^{**}), 葉枯れ性病害(そばかす病)罹病程度($r = 0.61^{**}$, 0.84^{**})との間にも高い相関を示した。これらのことからⅢ型の生育型をもち、秋季休眠性が中位で、そばかす病抵抗性の大きい品種特性が2年目以降でも重要であることが認められた。

3) 耐冬性に及ぼすそばかす病害の影響(試験3)

目 的

試験1, 試験2の結果から根釧地域におけるアルファルファの適応には, 本地域で多発するそばかす病による被害が重要であることが示唆された。そばかす病害は秋季における越冬態勢の確立を阻害し, 耐冬性を低下させ, 個体の定着と維持を困難にしていることが考えられる。そこで, 本試験ではそばかす病の罹病が個体の生育および耐冬性に及ぼす影響を検討した。

材料及び方法

供試品種としてそばかす病罹病程度が高く, 秋季休眠性が強いV型の「BEABER」, 「RAMBLER」および「DRYLANDER」(以下V型群とする) とそばかす病罹病程度が低く, 秋季休眠性が中位のⅢ型の「THOR」, 「CITATION」, および「P524」以下Ⅲ型群) を用いた。そばかす病害が個体の生育や耐凍性に及ぼす影響は殺菌剤(チオファネートメチル水和剤)処理区と無処理区(対照)との差から推定した。試験圃場は1988年7月に播種造成し, 初年目個体に

ついて自然発病によるそばかす病罹病程度, 生育・定着状況および耐凍性を調査した。薬剤散布量はチオファネートメチル水和剤の1000倍液を100ml/m²とし, 8月中旬～10月中旬までの期間, ほぼ10日おきに7回散布した。耐凍性は冠部凍結法を用いて試験1と同様に検定した。処理後約10日間室温で再生させ, 部位別(冠部, 根部, 再生芽)に組織の崩壊の程度を無または微を1, 甚を5として観察し, 凍結被害程度として次式により算出した。

$$\text{凍結被害程度}(\%) = \frac{\Sigma(\text{調査個体の組織の崩壊程度})}{5 \times \text{調査個体数}} \times 100$$

検定は10個体を1単位とし, 3反復で実施した。

なお, V型群およびⅢ型群とも群内における品種間差異は極めて小さかったので, 統計処理は主区(薬剤散布の有無)2水準, 細区(V型群, Ⅲ型群)2水準の分割区法(3反復)として行った。

表3-1. 殺菌剤チオファネートメチル水和剤の散布処理が品種のそばかす病罹病程度, 個体の生育および凍結被害程度に及ぼす影響。

殺菌剤 ¹⁾	品種群	そばかす病 ²⁾ 罹病程度		草丈 (cm)	被度 (%)	根重 (g)	凍結被害程度 ³⁾ (11月16日)		
		9月2日	9月30日				冠部	主根	再生芽
処 理	V型群 ⁴⁾	4.8	6.7	34	77	10.2	30	29	20
	Ⅲ型群 ⁵⁾	2.0	3.7	39	100	16.1	58	62	42
無処理	V型群	6.0	7.8	30	54	7.6	66	58	58
	Ⅲ型群	2.9	5.0	40	99	15.7	60	67	46
処 理平均		3.4	5.2	37	88	13.2	44	45	31
無処理平均		4.4	6.4	35	77	11.7	63	62	52
V型群平均		5.4	7.2	32	66	8.9	48	43	39
Ⅲ型群平均		2.4	4.3	39	99	15.9	59	64	44
F 値	殺菌剤	11.3**	27.7**	1.4 ^{NS}	8.7**	0.9 ^{NS}	8.1*	8.9**	11.1**
	品種	87.8**	154.5**	21.5**	73.3**	21.3**	2.7*	13.6**	0.6 ^{NS}
	交互作用	0.3 ^{NS}	0.2 ^{NS}	2.9*	7.1**	0.5 ^{NS}	7.0**	4.4*	6.8**

1) チオファネートメチル水和剤。

2) 1(無または微)～9(甚)。

3) 人工凍結後の部位別器官の崩壊程度, 0～100 完全崩壊。

4) 強い秋季休眠性をもち(生育型V型), そばかす病に弱い品種群。

5) 中位の秋季休眠性をもち(生育型Ⅲ型), 相対的にそばかす病に強い品種群。

6) 有意水準; #, 0.10; *, 0.05; **, 0.01。

結 果

そばかす病の罹病程度は品種群間の差異が大きく、V型群がⅢ型群に比べて大きかった。薬剤処理の効果が認められ、罹病程度は処理区が無処理区より有意に低かった。品種群と薬剤処理間の交互作用は有意ではなく、V型群、Ⅲ型群ともに薬剤処理によって罹病程度が同程度に低下した(表3-1)。晩秋の被度には品種群と薬剤処理との間に交互作用が認められた。これは薬剤処理による定着促進の効果がそばかす病に強いⅢ型群に比べて同病に弱いV型群でより大きいためであった。このような傾向は草丈および根重にも同様に認められた(表3-1)。耐凍性を表す3形質のうち2形質(冠部および冠部芽)の凍結被害程度について品種群と薬剤処理間に交互作用が認められた(表3-1)。冬期の低温に曝されやすい冠部、冠部芽の耐凍性は薬剤無処理条件ではⅢ型群がV型群より強かったが、薬剤処理によりそばかす病の発生を抑制するとV型群がⅢ型群より強くなった。このことはそばかす病が多発する条件では休眠性の強い品種群が本病害のために耐凍性も劣る結果となるが、そばかす病が抑制された条件では本来の優れた耐凍性(MCKENZIE ら, 1988)を発揮することを示している。

考 察

そばかす病は当地域のような冷涼湿潤条件で発生しやすいが、特に、秋季に多発し(成田, 1963)、小葉が枯死、落葉する(LEATH ら, 1988)。この時期は越冬に備えてハードニングが開始される時期にあたり(内山ら, 1994)、この時期における光合成および炭水化物の蓄積の阻害は耐凍性の増大・維持を著しく制限するものと推察される(SMITH, 1964; MCKENZIE ら, 1988)。したがって、試験1、試験2において認められた耐凍性の品種間変異は、そばかす病害の影響を強く受けている可能性がある。

本実験の結果はこのことを明確に示した。薬剤による本病害の抑制は秋の生育と耐凍性を増大させたが、その効果は本病に感受性が高いV型品種でより大きく、Ⅲ型品種より高いV型品種本来の耐凍性を発現させた。これらの結果から本地域に適応する品種の特性として耐凍性、秋季休眠性およびそばかす病抵抗性が重要であることが改めて示された。しかし、品種比較試験の結果では本来耐凍性に優れたIV型、V型品種群にはそばかす病抵抗性品種は見出せず、そばかす病抵抗性に勝るⅢ型品種群には逆に十分な耐凍性をもつ品種が見出せなかった(試験2)。したがって、本地域に最も適応する品種を得るた

めにはⅢ型品種がもつ旺盛な初期生育とIV型、V型品種が本来有しているⅢ型品種以上の耐凍性を兼ね備えた品種の育成が必要であると考えられる。

そのためにはまず、そばかす病抵抗性の改良が必要であるが、本病に対する抵抗性育種の成果については、現在までのところ否定的な見方が強い(ELGIN ら, 1970;

ELGIN, 1988)。また、そばかす病抵抗性と秋季休眠性との間に負の相関関係が認められたことから、そばかす病抵抗性と耐凍性の間に相反的な遺伝的関係が存在することも懸念される。

したがってそばかす病抵抗性と耐凍性を合わせ持つ品種を得るためには、これらの形質の変異と形質間関係の遺伝的基礎について詳しく検討することが必要と考えられる。

摘 要

殺菌剤処理の有無からそばかす病害がアルファルファの生育、耐凍性に及ぼす影響を検討した。その結果、そばかす病害は品種が本来もっている個体の生育、耐凍性の発現を抑制していることが認められた。耐凍性は殺菌剤無処理条件ではⅢ型>V型であったが、処理により発病を抑制するとV型>Ⅲ型となり、V型が本来有する強い耐凍性が発現した。

2. 葉枯れ性病害で予備選抜した育成系統による解析（試験4）

目 的

これまでの試験結果から当地域に適応するアルファルファ品種には何よりも先ず耐冬性（凍上害抵抗性、耐凍性）が重要であること、また最大の耐冬性を発現させるためにはそばかす病抵抗性であること、しかし、両特性を併せ持つ品種は見出せないことから新たに育成する必要があることが明らかとなった。また結果では、耐凍性、秋季休眠性とそばかす病抵抗性との間に強い負の相関関係が認められたことから、耐冬性とそばかす病抵抗性を併せもつ品種を育成することの困難さが予想された。そこで本試験ではそばかす病抵抗性が中位な品種「キタワカバ」以上の抵抗性を有する北海道農業試験場育成の系統群を供試し、高い耐凍性とそばかす病抵抗性を併せ持つ系統が見出せないか、耐凍性・秋季休眠性とそばかす病抵抗性の間の負の相関関係がこのように高い同病害抵抗性をもつ系統間にも認められるか否か検討した。

材料及び方法

北海道農業試験場で葉枯れ性病害抵抗性、多収性を主要な育種目標として育成された248系統に「キタワカバ」（標準品種）、「VERTUS」等8品種を加えた256品種系統を供試して、8年間にわたる圃場試験を行った。供試系統の内134系統は主として葉枯れ性病害（そばかす病、いば斑点病（病原、*Pseudopeziza medicaginis* (Lib.) Sacc.））によって、また、別の80系統は主として耐冬性とその関連形質である春の草勢、生育型により選抜・育成さ

れている。播種は1987年6月で、試験区設計は3重格子型配列法(16²)、3反復とした。施肥は2年目以降0.4-1.0-2.2-0.2 kg/a (N-P₂O₅-K₂O-MgO)を早春と1番草刈り取り後に均等に分施した。

茎葉乾物収量、そばかす病抵抗性、草型、早春および秋の草勢、1番草刈り取り後の再生草勢、耐冬性、および永続性を調査した。茎葉の収量調査は播種後2年目（1988年）から5年目（1991年）までの4年間行った。刈り取り回数は年2回で、1番草が開花始期の6月下旬～7月上旬、2番草が開花期の8月下旬～9月上旬とした。そばかす病抵抗性はその罹病程度を褐色斑点およびハローの分布から観察し、無または微を1～甚を9として評点を付けた。調査は計6回（1987年9月21日、1988年7月8日、1989年6月28日、1990年10月15日、1990年10月23日、1991年8月13日）行った。草型は直立を1～開張を9とし、1991年9月24日に調査した。草勢は不良を1～良を9とした。春の草勢は1988～1991年の5月に計4回、秋の草勢は1991年9月24日に、再生草勢は1988年、1991年の7月下旬の2回調査した。耐冬性は冬枯れ程度から推定した。冬枯れ程度は無または微を1～甚9として、雪腐れ病害や凍上害の発生が認められなかったことから冬枯れ程度が耐凍性の差異を表すと考えられる1990年4月22日に調査した。永続性は播種後8年目の1994年8月の基底被度（以降、被度とする）を調査することによって評価した。データの解析に当たっては、複数回の調査成績がある形質についてはその平均値を用いた。

表4-1. 供試256系統・品種における調査8形質の統計量.

形 質	平均	標準偏差	変動係数(%)	レンジ
冬枯れ程度 ¹⁾	5.3	1.17	22.2	2.0-8.7
春の草勢 ²⁾	6.1	0.59	9.7	4.0-7.3
秋の草勢 ²⁾	4.7	0.92	19.6	2.3-7.7
草 型 ³⁾	4.1	0.98	24.2	1.6-7.0
再生草勢 ²⁾	5.8	0.72	12.4	3.4-7.4
2番草収量比 ⁴⁾	38.6	2.42	6.3	30.5-45.0
そばかす病罹病程度 ¹⁾	3.8	0.85	22.4	1.9-6.4
茎葉乾物収量(%) ⁵⁾	101.0	13.4	13.4	53.5-134.0

1) 1(無または微)～9(甚).

2) 1(不良)～9(良).

3) 1(直立)～9(開張).

4) 年間収量に占める2番草収量の比率(%).

5) 2～5年目合計収量を「キタワカバ」対比(%)で示した.

表4-2. 調査形質の相関行列.

形 質	冬枯れ 程度	春の 草勢	秋の 草勢	草型	再生 草勢	2 番草 収量比	そばかす病 罹病程度
冬枯れ程度 ¹⁾	-						
春の草勢 ²⁾	-0.35**	-					
秋の草勢 ²⁾	0.12	0.24**	-				
草 型 ³⁾	-0.09	-0.08	-0.45**	-			
再生草勢 ²⁾	-0.27**	0.63**	0.19	-0.09	-		
2 番草収量比 ⁴⁾	0.20**	0.06	-0.62**	-0.51**	0.14	-	
そばかす病罹病程度 ¹⁾	0.03	-0.32**	-0.37**	0.24**	-0.13	-0.28**	-
茎葉収量(%) ⁵⁾	-0.21**	0.73**	0.24**	-0.04	0.49**	0.04	-0.56**

1) 1(無または微)～9(甚).

2) 1(不良)～9(良).

3) 1(直立)～9(開張).

4) 年間収量に占める2 番草収量の比率.

5) 2～5年目合計収量を「キタカバ」対比で示した.

結 果

供試系統の90%以上が「キタワカバ」以上のそばかす病抵抗性を示した。草勢、草型、耐凍性の差異を表す冬枯れ程度などの系統間変異もまた大きく(表4-1), 形質間には多くの有意な相関関係が認められた(表4-2)。そこで得られた8形質間の相関係数をもとに主成分分析を行い, 変異の傾向を検討した。

結果では第1, 第2主成分までで全変動の60%が説明できたことが示された。第1主成分は春の草勢, 再生草勢, 秋の草勢, および播種後5年目までの茎葉乾物収量と正の大きな相関を, そばかす病罹病程度と負の大きな相関を示した。したがって, この成分は, そばかす病抵抗性が優れ, かつ草勢, 収量性でも勝る系統とその逆の特性を有する品種系統間変異を示す成分と考えられた(表4-3)。

また第2主成分は冬枯れ程度, 秋の草勢および2番草の収量割合と負の大きな相関を, 草型と正の大きな相関を示した。したがって, 第2主成分は生育型と耐凍性を総合的に示し, 開張型で秋季休眠性が大きい耐凍性系統とその逆の特性をもつ品種系統間変異を表す成分と考えられた(表4-3)。

主成分分析に基づく系統の散布図をみると, 第1主成分と第2主成分が共に正の領域に分布する系統, すなわち耐凍性とそばかす病抵抗性を併せ持つと考えられる系統がかなり存在するのが認められた。また選抜形質との関連では, 第1主成分スコアが正の領域に分布する系統, すなわち年間を通じて旺盛な草勢を示し多収である系統は, 耐凍性およびその関連形質(春の草勢、開張型の草型)で選抜された系統群にも, 葉枯れ性病害抵抗性で選抜された系統群にも認められた(図4-1)。これに対

し第2主成分スコアが正の領域に分布する品種系統, すなわち開張型で秋季休眠性が強く, 耐凍性に優れている系統は, 耐凍性とその関連形質によって選抜育成された系統群に多く, そばかす病抵抗性によって選抜された系統群は第2主成分スコアが負の領域に偏って分布した。

表4-3. 因子負荷量(相関), 固有値, 寄与率.

調査形質	主 成 分	
	第 1	第 2
冬枯れ程度 ¹⁾	-0.219	-0.589
春の草勢 ²⁾	0.775	0.455
秋の草勢 ²⁾	0.630	-0.547
草 型 ³⁾	-0.428	0.601
再生草勢 ²⁾	0.652	0.361
2 番草収量比 ⁴⁾	0.479	-0.701
そばかす病罹病程度 ¹⁾	-0.651	0.118
茎葉収量(%) ⁵⁾	0.778	0.381
固有値	2.988	1.950
累積寄与率	36.3	61.3

1) 1(無または微)～9(甚).

2) 1(不良)～9(良).

3) 1(直立)～9(開張).

4) 年間収量に占める2 番草収量の比率(%).

5) 2～5年目合計収量を「キタカバ」対比(%)で示した.

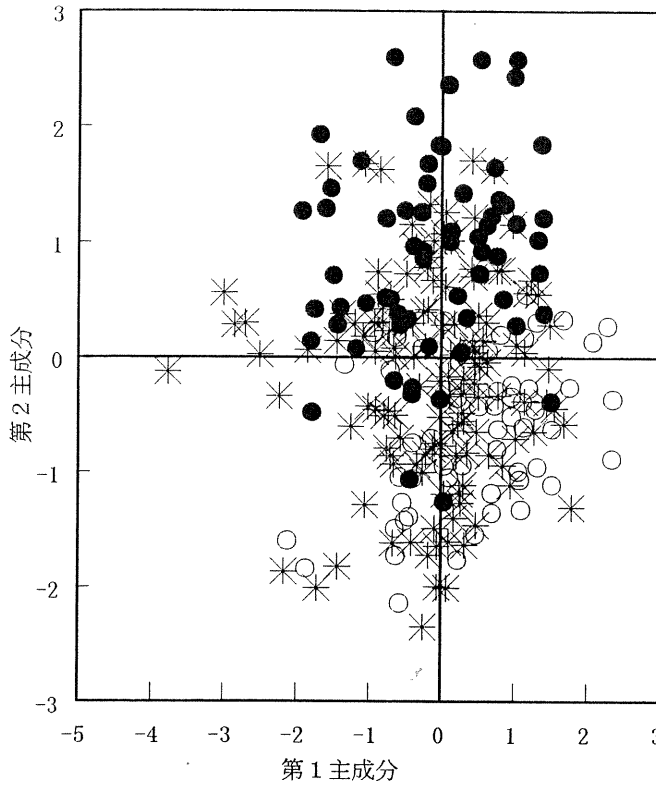


図4-1. 主成分分析に基づく256系統・品種の散布図.

- 1) ●, 耐冬性, その関連形質で選抜・育成された系統.
- 2) ○, 葉枯れ性病害抵抗性で選抜・育成された系統.
- 3) *, その他.

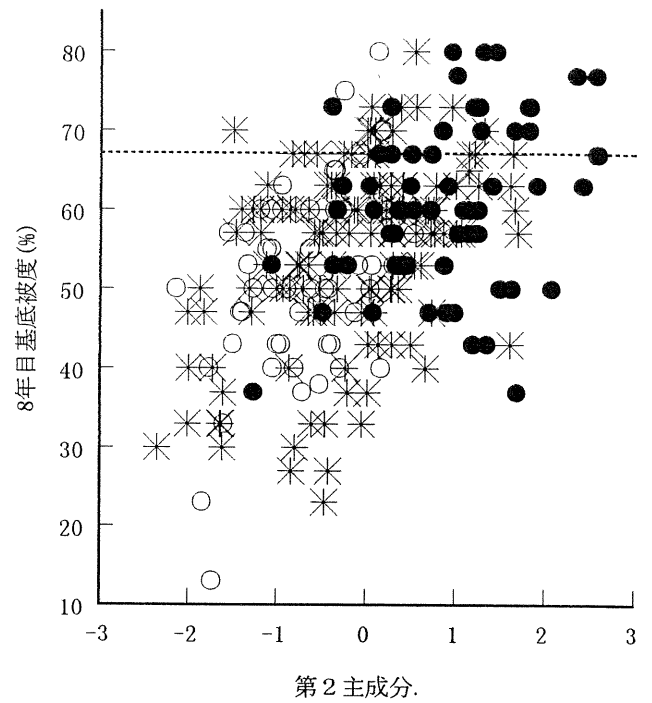


図4-3. 第2主成分スコアと永続性の関係($r=0.49^*$).

- 1) ●, 耐冬性, その関連形質で選抜・育成された系統.
- 2) ○, 葉枯れ性病害抵抗性で選抜育成された系統.
- 3) *, その他.
- 4) 永続性, 播種後8年目の基底被度.
- 5) 点線は「キタワカバ」の基底被度.

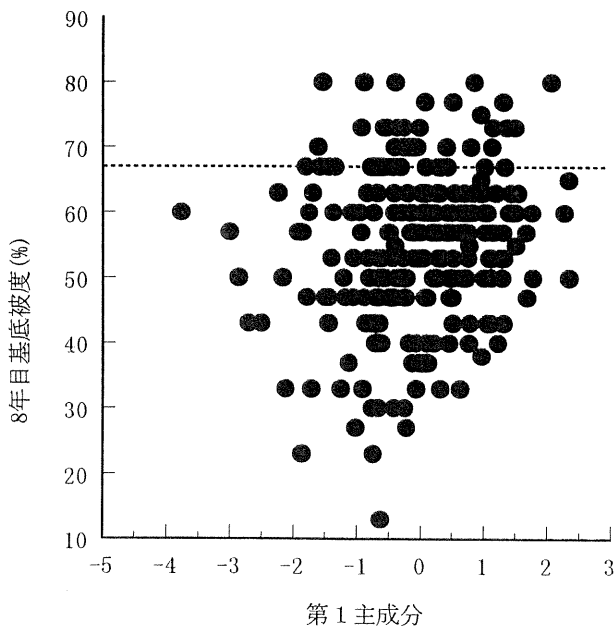


図4-2. 第1主成分スコアと永続性の関係($r=0.17$).

- 1) 永続性, 播種後8年目の基底被度.
- 2) 点線, 「キタワカバ」の基底被度.

すなわち, そばかす病抵抗性で選抜・育成された系統群には直立型で秋季休眠性が弱く, 耐凍性が劣る傾向が認められた。

次に系統の地域適応性の大きさを示すと考えられる永続性(8年目の被度)についてみると, 標準品種「キタワカバ」以上の永続性を示した系統が50系統認められた。主成分スコアと永続性の関係では, 第1主成分スコアと永続性の間に相関は認められず(図4-2), 生育旺盛でそばかす病抵抗性であることが永続性の重要な変動因となっていないことが認められた。これに対し第2主成分スコアと永続性の間には 0.49^* の正の有意な相関係数が得られ(図4-3), 開張型で秋季休眠性が大きい耐凍性系統でないと根釧地域では永続性が劣る傾向が示された。

これらの結果は本試験材料のようにそばかす病抵抗性がすでに一定水準以上にある系統群では, そばかす病抵抗性がもはや永続性の重要な変動因とはならず, 耐凍性がより重要となっていることを示唆している。このことは選抜形質と永続性の関係で(図4-3), 「キタワカバ」以上の永続性を示した系統の多くが耐冬性, および

その関連形質で選抜された系統群であるのに対し、葉枯れ性病害のみで選抜された系統群は永続性が劣る傾向がみられたことから推察される。

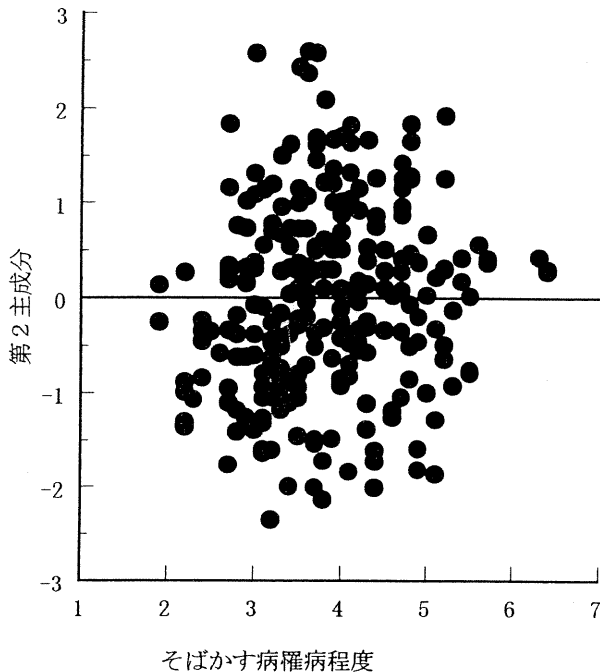


図4-4. そばかす病罹病程度と第2主成分スコアの関係 ($r=0.12$).

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)～9(甚).

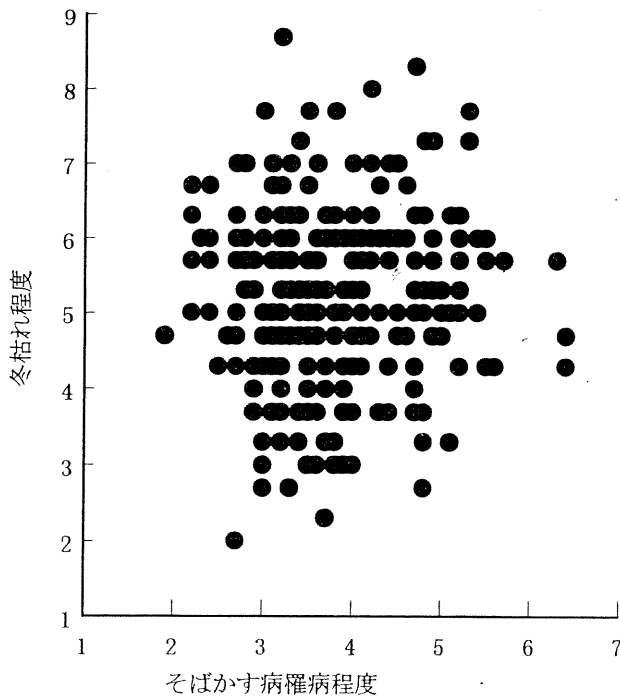


図4-5. そばかす病罹病程度と冬枯れ程度の関係 ($r=0.03$).

1) そばかす病罹病程度, 1(無または微)～9(甚).
2) 冬枯れ程度, 1(無または微)～9(甚).

またそばかす病抵抗性と第2主成分間 (図4-4), あるいは冬枯れ程度間 (図4-5) に有意な相関関係がみられなかったことは、これらの系統群にはもはやそばかす病抵抗性と耐凍性の間に負の相関関係が存在していないことを示している。

したがって、両特性を併せ持つ系統の出現は可能であり、実際にそのような系統が図4-4, 図4-5に多く認められる。

考 察

そばかす病抵抗性について供試系統の90%が抵抗性中位の「キタワカバ」以上の抵抗性を有していた。また結果では直立型で秋季休眠性が相対的に弱い系統に耐凍性、永続性が劣る傾向が、逆に開張型で秋季休眠性が大きな系統に耐凍性、永続性に勝る傾向がみられ、品種比較試験の結果とは逆な関係が認められた。このことはそばかす病抵抗性が比較的高い系統群からなる供試材料のような集団では、秋季休眠性の強い系統ほど同病害によって耐凍性の発現が阻害されという関係が緩和される結果、強い秋季休眠性をもつ系統ほど耐凍性・耐冬性が大きいという本来の傾向が発現したことを示している。

また品種比較試験の結果では、秋季休眠性・耐凍性とそばかす病抵抗性との間に負の相関関係が認められたが、本試験の結果では秋季休眠性および耐凍性を総合的に示す第2主成分とそばかす病抵抗性の間に有意な相関は認められず (図4-4), そばかす病抵抗性と耐凍性の相関関係も有意でなかった (図4-5)。このことは品種比較試験において秋季休眠性・耐凍性とそばかす病抵抗性との間にみられた相反関係がそれ程強いものではなく、秋季休眠性が強く、耐凍性が大きいという特性とそばかす病抵抗性が両立した変異が存在していることを示している。しかし、主として葉枯れ性病害抵抗性で選抜・育成された系統は直立型で、秋季休眠性が弱く、耐凍性、永続性が劣る傾向が認められたことから、そばかす病抵抗性と耐凍性の両特性を具備する系統の選抜に当たっては、個々の形質を別々に選抜することは避け、それらを同時に選抜する必要があることが重要と考えられる。

摘 要

根釧地域に適応するアルファルファ品種には、そばかす病抵抗性と耐凍性の両特性を併せ持つことが必要である。そばかす病抵抗性および多収性を主要目標に選抜育

成された 248系統と 8品種からなる 256品種系統を供試し、8年間にわたる圃場試験を行って、そのような系統を得ることの可能性について検討した。供試した90%の系統が中位以上のそばかす病抵抗性を示したが、それらの中には優れた耐冬性と永続性を示した系統が多く認められた。優れた永続性を示した系統は、草型が開張型で強い秋季休眠性を有し、優れた耐凍性を持つ系統であった。また主成分分析の結果でも、生育型および耐凍性を示す第2主成分スコアとそばかす病抵抗性との間には相関が認められなかった。これらの結果から両特性を具備する系統の育成は可能であること、そのためには生育型または耐冬性と秋季休眠性に着目しながらそばかす病抵抗性の選抜を平行して行う必要があることが示唆された。