HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アルファルファの品種生態に関する研究 ： 第４報　収量性と耐寒性の間の負の相関関係について
Author(s)	新関, 稔; 喜多, 富美治
Citation	北海道大学農学部附属農場報告, 19, 1-8
Issue Date	1974-03-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13326
Type	departmental bulletin paper
File Information	19_p1-8.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

アルファルファの品種生態に関する研究

第4報　収量性と耐寒性の間の負の相関関係について

新関　稔・喜多富美治

I. 緒　　言

多年生マメ科牧草であるアルファルファを南方型品種と北方型品種に大別した場合，南方型品種は一般に春や刈取後の再生速度が早く，また秋遅くまで生長を続け高収量性を示すが，反面冬期間の低温による凍害に弱く，北方地域での栽培が不適である場合が多い。一方北方型品種は冬期間の凍害に対する抵抗性は大きいが春や刈取後の再生速度が遅く，また秋に早く休眠するため収量性が低い欠点を有する。

最近，この収量性と耐寒性の負の相関関係を破り，北方地域のアルファルファ栽培のために高収量性を示しかつ高耐寒性を有する品種の育成が望まれ研究されている。その結果この収量性と耐寒性の負の相関関係は完全なものではなく高収量性，高耐寒性の品種育成の可能性が示されて来てはいるが，実現されていない。その理由にこの両形質間の負の相関関係が独立遺伝子の密な連鎖による場合，あるいは発育代謝に関与する多面発現による場合が考えられるが今のところ明らかでない。この実験はこの両形質を支配すると考えられる代謝関係を明らかにし負の相関関係の成因を考察することを目的とした。

尚，本実験の遂行過程に於いて北海道大学附属低温科学研究所の酒井昭および大塚宏二の両氏より多大な御指導を受けたこと，および文部技官渡会万治氏，赤川昭爾氏，飛渡正夫氏より絶大な協力を得たことをここに記して謝意を表する。

II. 実験材料および方法

アルファルファには *Medicago sativa* L.（紫花種），*M. falcata* L.（黄花種）とこの両種の交雑種である *M. media*（雑色種）が存在する。一般に南方型品種は *M. sativa* L. に属し，北方型品種は *M. media* に属する傾向があり，*M. falcata* L. は主に耐寒性を付与するための育種材料として用いられている。この実験では紫花種と雑色種に属する計19品種を用いた（表1）。播種は5月中旬に20cm畦幅で行われた。

また耐寒性は11月下旬における耐凍能力をもってその尺度とした。その方法は圃場より掘取ってきた各品種5個体を冠部3cmおよび根部12cmに調整し，ポリエチレン袋で密封した後，−5°C，1

Table 1. Varieties used in this study

Species	Variety	Country suppling the seeds
Medicago sativa	Hunter River	Australia
	Charta	France
	DuPuits	France
	Omega	France
	Polesana (I. N. G.)	Italy
	San Pastore (I. N. G.)	Italy
	Alfa	Sweden
	Cody	U. S. A.
	Moapa	U. S. A.
	Uinta	U. S. A.
	Bǎcka ZMS (I)	Yugoslavia
Medicago medium	Ladak	Canada
	Rambler	Canada
	Rhizoma	Canada
	Triesdorfer	Germany
	Narragansett	U. S. A.
	Ranger	U. S. A.
	Saranac	U. S. A.
	Vernal	U. S. A.

時間過冷却を防ぐための予備凍結を行い，後に−8°C，4時間の本凍結処理を行った。その後温室で栽培し細胞の生死，あるいは凍結処理後の地上部再生量の凍結無処理の地上部再生量に対する指数を持って各品種の耐凍能力とした。また耐寒能力付与の実験として温室内で鉢植栽培し，刈取，無刈取処理後3週間温室内で生育させた後，growth chamber内で温度条件0～4°C，日長条件8時間で5週間処理した。この場合耐凍能力測定は−5°C，−7.5°C，−10°C，4時間の凍結処理を行い，後温室内で生育させ処理個体の生死を判別した。

8月中旬および10月初旬に刈取を実施したが，この2回の刈取後2週間の乾物再生量を各品種の生長速度即ち収量性の尺度とした。また秋期の草丈伸長の夏期の草丈伸長に対する指数をもって各品種の秋期生長能力の尺度とした。

尚収量性および耐寒性両形質に関与すると考えられる根および冠部の貯蔵成分の全有効炭水化物，全糖，還元糖の分析が行われたがその方法は前報（喜多，新関，1967）と同じである。また窒素化合物の分析はケルダール法によった。

III. 実 験 結 果

1. 貯蔵成分と耐寒性

19品種（表1）の11月下旬における根および冠部の炭水化物に関する各貯蔵成分と耐凍能力（凍結処理後の地上部再生量の凍結無処理後の再生量に対する指数）の相関関係を表2に示してある。これによると糖類および澱粉を包合した全有効炭水化物（T. A. C.）と耐凍能力は負の相関関係を示し，特に澱粉と耐凍能力は強い負の相関関係を示す。しかし還元糖，非還元糖を包合した全糖と耐凍能力は正の相関関係を示し，特に非還元糖と耐凍能力は強い正の相関関係を示している。

Table 2. Correlation coefficients between frost hardiness and chemical fractions of carbohydrate

Fraction	r
Total available carbohydrate (T. A. C.)	−0.6211 **
Total sugar	+0.7613 **
Reducing sugar	−0.3708
Nonreducing sugar	+0.7480 **
Starch	−0.7147 **

** significant at 1%.

また品種Rhizomaを用いて秋から冬へかけて（9月～11月）の澱粉と全糖の推移を調べた結果が図1に示してあるが，これによると澱粉濃度は減少し全糖濃度が次第に増加してくる傾向を示す。これはこの時期に澱粉から全糖への転化が行われることを意味していると考えられる。

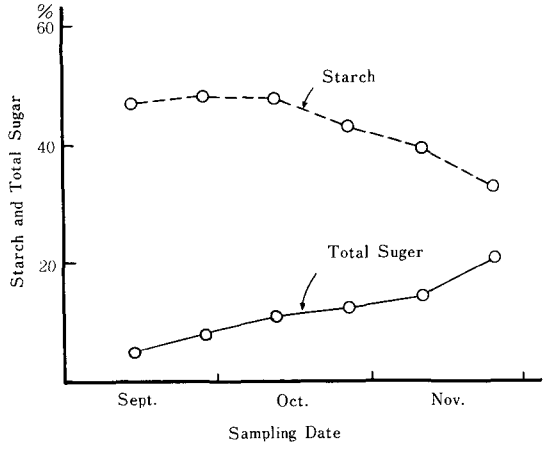

Fig. 1. Starch and total sugar in crowns and roots of alfalfa (var. Rhizoma) from autumn to winter.

また3品種Rhizoma, Narragansett, Hunter Riverについて11月下旬の根および冠部の部位別耐凍能力と澱粉，全糖の関係について図2に示してある。この場合−8°C，4時間の凍結処理後における各部位の細胞の生死をもって耐凍能力の尺度とした。耐凍能力は秋期の低温条件および短日条件に反応して増大すると報告されているが（TYSDAL, 1933; HODGSON, 1964），この図より部位別には低温に先にさらされる冠部より耐凍能力は増大し地下部へと進行することがわかる。しかし3品種の間で明らかに差があり，この凍結処理でRhizomaは地下12cm近くまで生存するのに較べHunter Riverは地下1cm程度までしか生存し得ない。3品種共通していえることは冠部ではそれ程全糖濃

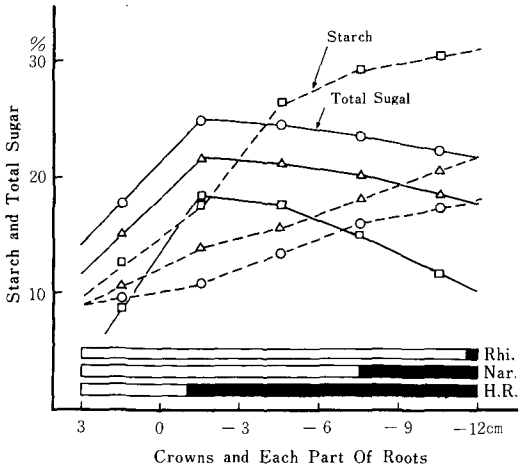

Fig. 2. Frost hardiness, starch and total sugar in crowns and each part of roots on three varieties, Rhizoma, Narragansett and Hunter River.
○, Rhizoma; △, Narragansett; ×, Hunter River. Rhi., Rhizoma; Nar., Narragansett; H. R., Hunter River. □, viable portion after frost treatment; ■ non-viable portion after frost treatment.

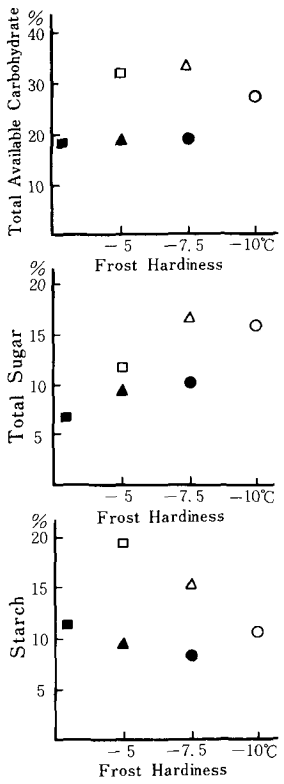

Fig. 3. Relationships of frost hardiness to carbohydrate fractions in crowns and roots after 5 weeks at low temperature and short day length in growth chamber. Top cutting treatment was carried out three weeks before transfer into growth chamber.
○, △, □, no cutting treatment; ●, ▲, ■, cutting treatment. ○, ●, Rambler; △, ▲, Vernal; □, ■, Hunter River.

度は高くないが，しかし澱粉から糖への転化割合はかなり高い。根部については地表に近い程全糖濃度が高く地下部へ行く程糖濃度が低く，澱粉から糖への転化割合は地表に近い程高い傾向を示している。また品種間での比較では各部位とも耐凍能力の高い Rhizoma が澱粉から全糖への転化が最も高く，耐凍能力の低い Hunter River が最も低い。このように澱粉の全糖への転化が耐凍能力を高める一つの要因であることが明らかに推定される。

次に地上部を刈取ることによりこの貯蔵澱粉をその後の再生に消費させた場合の耐凍能力への影響についての実験を試みた。用いた品種は Hunter River, Vernal, Rambler の 3 品種で鉢植栽培し刈取後温室内で 3 週間生育させた後 Growth chamber に移し低温，短日条件で耐凍能力を付与した。その結果は図 3 に示してある。予想される通り刈取区は無刈取区に比し 3 品種とも耐凍能力が低く，また根および冠部の T. A. C.については刈取区は無刈取区より明らかに低水準である。澱粉および全糖についても刈取区が無刈取区より 3 品種とも低水準である。この結果は刈取後の再生のため根および冠部の貯蔵炭水化物を消費させることにより澱粉の全糖への転化が抑制され耐凍能力の促進がさまたげられることを意味するものと考えられる。

2. 耐寒性および収量性と貯蔵成分の関係

供試した19品種間の収量性（8 月中旬および10月初旬の刈取後 2 週間の乾物再生量）と耐凍能力

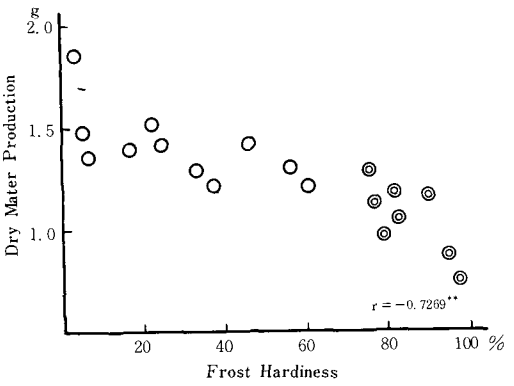

Fig. 4. Correlation between frost hardiness in mid-November and dry mater production in summer and autumn. The frost hardiness indicates as percent of plant top recovery after frost treatment to that of non-treatment.
○, *M. sativa*; ◎, *M. media*.

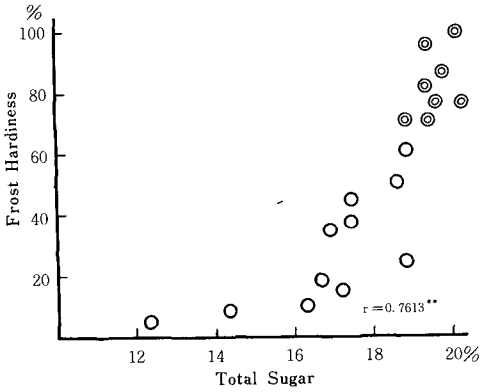

Fig. 5. Correlation between frost hardiness and total sugar in crowns and roots.
○, *M. sativa*; ◎, *M. media*.

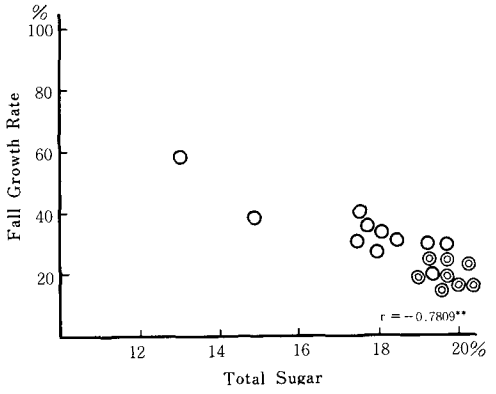

Fig. 6. Correlation between fall growth rate and total sugar in crowns and roots. The fall growth rate indicates as percent of plant height in autumn to that of in summer.
○, *M. sativa*; ◎, *M. media*.

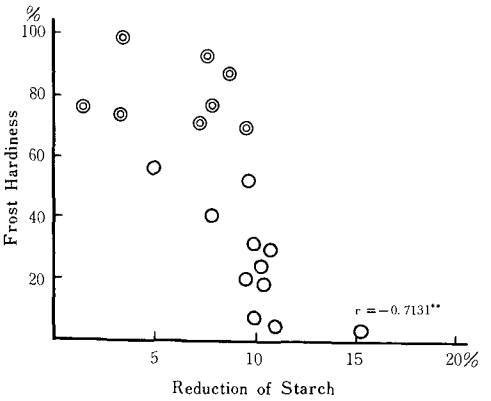

Fig. 7. Correlation between frost hardiness and reduction of starch in crowns and roots during 2 weeks after top cutting.
○, *M. sativa*; ◎, *M. media*.

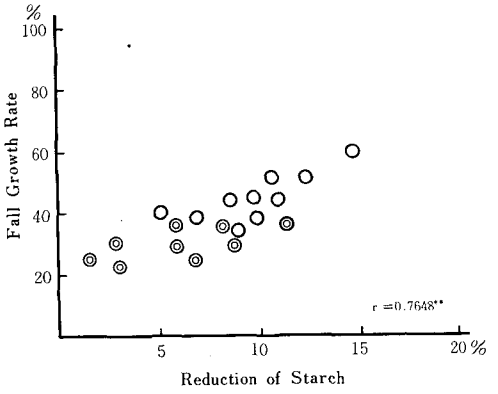

Fig. 8. Correlation between fall growth rate and reduction of starch in crowns and roots during 2 weeks after top cutting.
○, *M. sativa*; ◎, *M. media*.

の関係を図4に示してある。これによると両者の間に r = −0.7269（1%水準で有意）の高い負の相関関係が存在し *M. media* に属する北方型品種は低収量，高耐凍能力に位置し，*M. sativa* に属する南方型品種は高収量，低耐凍能力に位置していることが示される。

ところで表2より根および冠部の全糖と耐凍能力の間には有意な正の相関関係があり高全糖濃度の品種は高耐凍能力の関係にあることが示されたが，また図5より *M. media* の品種は高全糖濃度，高耐凍能力群に属し *M. sativa* の品種は低全糖濃度，低耐凍能力群に属することが示される。従って図2，図5より全糖と耐凍能力の関係は冠部および根の部位別においてもまた品種間においても

密接に関係していることが示唆される。

また図6は秋の耐凍能力増大期に於ける地上部生長能力（秋期の草丈伸長の夏期の草丈伸長に対する指数）と根および冠部の全糖濃度の関係を示したものであるが，これによると秋の地上部生長能力の高い品種ほど全糖濃度は低く，生長能力の低い品種ほど全糖濃度が高い負の相関関係を示しており，*M. media* の品種は高全糖濃度，低生長能力群に属し，*M. sativa* の品種は低全糖濃度，高生長能力群に属していることが示される。

一方根および冠部の貯蔵澱粉は前報（喜多，新関，1967，1968）で報告したように刈取後の地上部再生に消費されるが図7に見られる如く耐凍能力と秋の地上部生長のための貯蔵澱粉消費の関係は品種間で負の相関関係が存在し，また図8のごとく秋の地上部生長能力と澱粉消費の間には品種間で正の相関関係が存在する。これは耐凍能力の低い *M. sativa* の南方型品種は秋の生長が旺盛でまたそのために多くの貯蔵澱粉を消費し，耐凍能力の高い *M. media* の北方型品種は秋の生長は低くまた貯蔵澱粉をそれ程消費しないことを示している。

以上のことから，根および冠部の部位別においてもまた品種間においても秋から冬にかけて澱粉から転化された全糖は耐凍能力と密接に関係する成分であり，また一方全糖の基質となる澱粉は刈取後の再生や秋の生長のための重要な役割を果していることが示される。したがって地上部刈取により澱粉を消費させると，その後耐寒性増大のための低温，短日条件下でも全糖への転化が十分行われず，耐凍能力も十分増大することが出来ない。したがって生長能力と耐凍能力の品種間の負の相関関係は根および冠部の貯蔵澱粉が秋から冬にかけて *M. sativa* の南方型品種のように地上部生長に消費されるか，また *M. media* の北方型品種のように生長を抑制して糖へ転化し耐凍能力を高めるか，すなわち貯蔵澱粉に対して生長能力と耐凍能力が拮抗する生理的必然性が関与するためと推察される。

IV. 論　　議

HEINRICHS と NIELSEN（1966）は *M. sativa, M. media* および *M. falcata* に属する20品種を用いた研究で秋の生長力と刈取後の再生力は正の相関関係また耐寒性とは負の相関関係が存在することを明らかにしている。即ち収量性と耐寒性は相反する形質であることを意味し，図4の我々の結果と一致する。この両形質の間の負の相関関係を打破し北方型品種の冬の高耐寒性の特性と南方型品種の刈取後の速い再生および休眠に入る時期が遅く秋遅くまで生長を続ける特性を合せ持った品種育成の試みが多く行われその可能性が示唆されている。（ELLING, HANSON and GRAUMAN, 1960；THEURER and ELLING, 1963；KOHEL and DAVIS, 1960）。特に BUSBICE と WILSIE（1965）は Vernal と DuPuits 2 品種の交雑実験より，F_2 において両親と違ってこの両形質には負の相関関係が存在しないと報告している。また DADY, Hunor（1964）は Hunter River と Rambler 2 品種の F_1，および F_2 においてこの両形質の遺伝的変異はかなり大きくまた低い相関関係にあり，この両形質を支配する因子の組換の可能性があるとし，両親に於ける両形質の強い負の相関関係は多面発現や密な遺伝子の連鎖によるものではなく，おそらくこの両形質が自然淘汰に独立に反応した結果によるものであろうと説明している。このように高収量性と高耐寒性を備えた品種育成の可能性が示唆されているにもかかわらず現在の世界の代表的19品種にはこのようなものは見出されていない。

BONNER と GALSTON（1952）によると凍害とは植物体中に氷の結晶が生成するために起る組織の損傷であり，原形質や原形質膜の物理的構造が機械的に破壊されることによるとし，秋から冬にかけての低温条件および短日条件による耐凍性増大の機構とは原形質が丈夫になり，原形質分離およびその復帰の際に損傷を蒙ることが少なくなり，またそれと同時に原形質膜の透過性が増大してくるが，さらに著しいことは細胞の滲透圧および組織蛋白の濃度が増大してくるとしている。滲透圧

が上昇すれば凍結点が低下するから組織の耐寒性は当然増すことになると考えられる。JUNG と Dale SMITH (1961) によるとアルファルファとレッドクローバーの根および冠部の秋から冬にかけての

Table 3. Correlation coefficients between frost hardiness and chemical fractions of nitrogen

Fraction	r
Total nitrogen	−0.1004
Water soluble protein nitrogen	+0.7619**
Water soluble non-protein nitrogen	−0.3231
Water soluble nitrogen	−0.3907

** significant at 1%

貯蔵成分の推移と耐寒性の間で，全糖および窒素化合物が強い相関関係を示すことを報告している。我々の実験においても19品種間で全糖と耐凍能力は強い正の相関関係にあり，また窒素化合物についても表3に示すように水溶性蛋白と強い正の相関関係を示している。しかし全糖あるいは窒素化合物が直接的に耐寒性と関係しているかどうか明白ではない。特に図2より根と冠部の全糖濃度を比較すると量的差異が耐凍能力の差異と必ずしも一致していない。しかし品種間でのこれら成分と耐凍性の相関関係からこれら成分が少なくとも間接的には耐凍性に関与しているといえる。

一方刈取後の再生や秋の生長と根および冠部の貯蔵成分との関係についての研究も多くの研究者によつて行われ(GRANDFIELD, 1935 ; Dale SMITH, 1962) 特に貯蔵澱粉はその主要な役割を演じていることは確かである。前報（喜多，新関，1967, 1968）で報告したように刈取後2週間は地上部再生が T. A. C. に強く依存していることを示している。また図8より秋期の生長の旺盛な品種ほど貯蔵澱粉の消費率が大きく，また図3より刈取りにより貯蔵澱粉を消費させると全糖への転化が十分行われず，耐凍能力を低下させることがわかる。

したがって根および冠部の貯蔵澱粉の地上部再生のための転流および耐凍能力を高めるための糖への転化の拮抗的経路の存在が，品種間の収量性と耐凍能力の間の負の相関関係に寄与しているものと推察される。ひとつの量的制限因子に関与する2つの形質の遺伝的背景が独立に存在し得ても，結果的には両形質の間には負の相関関係が生ずるものと考えられ，貯蔵澱粉に対する生長と耐凍能力はこのような関係にあると考えられる。したがってたとえ遺伝的研究が両形質の間の遺伝相関は低いとしても，高収量性および高耐凍能力を備えた品種の育成にはこのような生理的拮抗をいかに打破するかという問題解決なくしては達成され得ないであろう。

摘　　要

アルファルファの収量性を決定する生長能力(再生力）と厳しい低温条件下で植物体を維持し越年するための耐凍能力の間には負の相関関係が存在することが多くの研究者により報告されているが，これが遺伝子の強い連鎖によるものか，あるいは生理的必然性によるものか明らかでない。そこで南方型および北方型に属する計19品種を用いてこの両形質の関係を代謝経路の観点から検討した。

その結果供試された品種間で明らかにこの両形質が有意な負の相関関係を示すことがわかった。秋から冬にかけて澱粉から全糖へ転化するが，この転化割合の高い冠部および根の上部程耐凍能力が高く，また地上部を刈取ることにより澱粉を消費させると全糖への転化が十分行われず耐凍能力の増大が制限された。また根および冠部の全糖濃度の高くなる品種程耐凍能力が高く，全糖と耐凍能力が密接な正の相関関係を示した。しかし全糖濃度と秋の生長能力とは負の相関関係を示した。一方秋の生長能力の高い品種程根および冠部の貯蔵澱粉の消費率が高くなり正の相関関係が認められた。従ってこの根および冠部の貯蔵澱粉を秋から冬にかけて地上部生長に消費するか，または生長を止めて糖へ転化し耐凍能力を高めるか，すなわち貯蔵澱粉に対して生長能力と耐凍能力が競争的に働くことがこの両形質の間の負の相関関係のひとつの原因と推察される。

引 用 文 献

BONNER, J. and A. W. GALSTON: Principles of Plant Physiology. 高宮 篤, 小倉安之 (訳), 1952.

BUSBICE, T. H. and C. P. WILSIE: Fall growth, winter hardiness, recovery after cutting and wilt resistance in F_2 progenies of Vernal x DuPuits alfalfa crosses. Crop Sci. 5 : 429-432, 1965.

DADY, Hunor: Genetic relationship between cold hardiness and growth at low temperatures in *Medicago sativa*. Heredity 19 : 173-179, 1964.

ELLING, L J., C. H. HANSON and H. O. GRAUMANN: Winter killing in diallel crosses of alfalfa. Alfalfa Improv. Conf. Report 17 : 23-26, 1960.

GRANDFIELD, C. O: The trend of organic food reserves in alfalfa roots as affected by cutting practices. Jour. Agr. Res. 50 : 697-709, 1935.

HEINRICHS, D. H. and K. F. NIELSEN: Growth response of alfalfa varieties of diverse genetic origin to different root zone temperatures. Canadian Jour. Plant Sci. 48 : 291-298, 1966.

HODGSON, H. J: Effect of photoperiod on development of cold resistance in alfalfa. Crop Sci. 4 : 302-305, 1964.

JUNG, G. A. and Dale SMITH: Trends of cold resistance and chemical changes over winter in the roots and crowns of alfalfa and medium red clover. I. Changes in certain nitrogen and carbohydrate fractions. Agron. Jour. 53 : 359-364, 1961.

喜多富美治, 新関 稔: アルファルファの品種生態に関する研究. 第1報, DuPuits, Rambler, Rhizoma 3品種に於ける貯蔵養分の推移と再生の関係. 北海道大学農学部附属農場報告 15 : 44−53, 1967.

喜多富美治, 新関 稔: アルファルファの品種生態に関する研究. 第2報, DuPuits, Rambler, Rhizoma 3品種と2年目草地に於ける貯蔵養分の推移と再生の関係. 北海道大学農学部附属農場報告 16 : 1 − 9, 1968.

KOHEL, R. J. and R. L. DAVIS: The inheritance of cold resistance and its relation to fall growth in F_2 and BC. generations of alfalfa. Agron. Jour. 52 : 234-237, 1960.

SMITH, Dale: Carbohydrate root reserves in alfalfa, red clover and birdsfoot trefoil under several management schedules. Crop Sci. 2 : 75-78, 1962.

THEURER, J. C. and L. J. ELLING: Comparative performance of diallel crosses and related second generation synthetics of alfalfa. II. Winter hardiness and persistence. Crop Sci. 3 : 245-248, 1963.

TYSDAL, H. M: Influence of light, temperature, and soil moisture on the hardening process in alfalfa, Jour. Agr. Res. 46 : 483-515, 1933.

Studies on the Negative Correlation between the Ability of Growth and Cold Hardiness on Alfalfa

Minoru NIIZEKI and Fumiji KITA

(Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Summary

Bv many investigators the negative correlation has been found on alfalfa between the ability of top growth or of regrowth which may be the most important diterminative factor of performance and the cold hardiness by which the plant can survive over cold winter. It is still unclear whether this correlation is due to the close linkage of genes responsed to each traite or the result of inevitable combination of physiogical processes of both traites.

The purpose of this study is to make clear of the causativeness of this correlation by using 19 varieties including both southern and northern types of alfalfa spreaded over the world.

Preliminary test on these varieties indicated high negative correlation between these two traites, namely the ability of growth and the cold hardiness. It was found on the indi-

vidual plant of alfalfa that the crown and the higher parts of roots were much more hardy to cold temperature and that those parts indicated the higher rate of invertion to total sugar from storaged starch during autumn to winter. The same tendency was assured among the 19 varieties. On the other hand, the sugar content in the crown and root and the ability of top growth were negative relationship among varieties. There was a tendency that the varieties of the higher ability of top growth in autumn indicated the higher level of consumption of the starch as the energy of this growth. Consequently, the fact, that whether the storaged starch is used to the top growth or to convertion to the sugar for cold hardiness, in other words, that the growth and the cold hardiness are competitive each other to the storaged starch, may give rise to the negative correlation between these two traites.