

アルファルファの永続性に関する根および冠部形質の主成分分析

嶋田 徹・村上 馨

(帯広畜産大学草地生産学研究室)

1976年5月31日受理

Principal component analysis of root and crown characteristics of alfalfa varieties in relation to their persistence

Tohru SHIMADA* and Kaoru MURAKAMI*

アルファルファの根および冠部 (Crown) は、再生時における分枝更新の場であるとともに、永年生部分となり、この種に永年生をもたらしている重要な器官である。したがって、その生理学および形態学的な特性は生産性や永続性と密接な関係をもっていることが予想される。事実、根および冠部における貯蔵養分が再生や越冬性に重要な役割をもつことはよく知られている^{1~4)}。また、冠部を構成する分枝体系の在り方も再生現象をとおして生産性と密接な関係をもつことが報告されている^{5~7)}。

そこで本研究では育種学的な立場から、アルファルファの根および冠部に関する形態学的形質について、どの程度の品種間変異が存在するか、また、これらの形質についてどのような特性をもつ品種が優れた永続性を示すかを明らかにしようとした。

材料および方法

供試材料として1972年5月に単播で播種した30品種を用いた。圃場配置は畦幅50cmの条播、1区5m²、2反復、乱塊法であった。この4年目植物について、11月初旬、残存株数(個体数/m²)を調査したのち掘りとり、各品種について任意に選んだ30個体について冠部および根に関する11形質を測定した。測定に際しては、子葉節から地表面上5cmまでの地上部を冠部とし、子葉節から下位25cmまでの主根を根とした。また、根径は子葉節の直径、冠部の深さは地表面から子葉節までの長さ、冠部および根ぐされ程度は評点法(0~6)、収量は4年目収量(kg/5m²)により示した。

実験結果

各形質について品種間変異を表わす4種の統計量を示すとTable 1のようである。品種間

* Department of Grassland Production, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido, Japan.

Table 1. Means, standard deviations, coefficients of variability, and ranges of thirty varieties.

character	mean	standard deviation	coefficient of variability	range
no. of lateral roots	2.7	1.3	48.8%	0.9—6.4
root diameter	0.96	0.11	11.6	0.82—1.31
root weight	7.6	1.3	17.9	5.5—11.3
score of root rot	0.9	0.2	19.9	0.6—1.4
depth of crown	3.0	0.3	11.3	2.3—3.7
no. of shoots from aerial crown	16.7	3.3	19.8	11.0—24.9
no. of shoots from underground crown	6.3	1.7	28.0	3.1—10.0
total no. of shoots	22.9	4.1	18.0	15.6—32.3
crown weight	6.1	1.3	21.9	3.9—10.9
score of crown rot	1.7	0.3	18.6	1.3—2.4
total weight of root and crown	13.7	2.6	19.1	9.9—22.2
density of survival stands	63.2	16.1	25.5	25—90
crop yield	12.8	1.8	14.0	8.9—15.8

変異はいずれの形質においても著しく大きく、品種内個体間変異がかなり大きかったのにかかわらず品種間差はいずれも5%水準で有意であった。これらのうち側根数の変異はとくに大きかったが、これはいわゆる根型 (Types of root system)⁸⁾の変異を示しているものと思われる。またこの場合、残存株数は品種の永続性程度を示す形質と思われるが、この形質についても大きな変異が認められた。

また、残存株数および収量を含む13形質間で総あたりのに相関係数を求め、形質間の関係を見ると Table 2 のようであった。

Table 2. The correlation coefficients between all possible combinations of thirteen characters

character	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
no. of lateral roots (1)	.203	.563**	.306	.050	.278	.034	.242	.425*	-.047	.511**	-.174	-.045
root diameter (2)		.503**	.071	.023	.135	-.077	.079	.476**	.189	.499**	-.383*	-.346
root weight (3)			.368*	.129	.397*	.213	.414*	.881**	.017	.970**	-.406*	-.306
score of root rot (4)				.219	.291	.184	.314	.400*	.385*	.396*	-.209	-.198
depth of crown (5)					-.287	.210	-.142	.160	.214	.154	.318	.220
no. of shoots from aerial crown (6)						.243	.912**	.390*	.229	.405**	-.645**	-.195
no. of shoots from underground crown (7)							.619*	.077	.124	.154	-.165	-.179
total no. of shoots (8)								.352	.238	.396**	-.593**	-.236
crown weight (9)									-.025	.969**	-.496**	-.342
score of crown rot (10)										-.002	-.169	.014
total weight of root and crown (11)											-.466**	-.331
density of survival stands (12)												.655**
crop yield (13)												

Table 3. Normalized vectors obtained from principal component analysis and correlation coefficients between character and principal component

character	normalized vector			principal component		
	1	2	3	X 1	X 2	X 3
no. of larelar roots	.23	.22	-.05	.526*	.311	-.059
root diameter	.23	.22	.22	.515*	.304	.296
root weight	.39	.27	.01	.870**	.376	.010
score of root rot	.23	.04	-.37	.509*	.053	-.477*
depth of crown	.01	.36	-.52	.002	.511*	-.681**
no. of shoots from aerial crown	-.31	-.39	-.03	.690**	-.553*	-.036
no. of shoots from underground crown	.14	-.27	-.39	.327	-.375	-.498*
total no. of shoots	.31	-.43	-.18	.699**	-.604**	-.238
crown weight	.38	.28	.07	.852**	.390	.084
score of crown rot	.08	-.16	-.41	.187	-.222	-.524*
total weight of root and crown	.40	.28	.03	.887**	.394	.043
density of survival stands	-.33	.29	-.26	-.723**	.405	-.340
crop yield	-.23	.13	-.33	-.501*	.191	-.420
contribution %	38.1	15.1	12.8			

地上茎数、総茎数、冠部重および総重など根および冠部の生長のおう盛さを示す形質と残存株数の間にはいずれも高い負の相関係数が認められた。これは残存株数が減少した品種の株が個体間競争が少なくなったために大きく生長した結果に起因するものと考えられた。

そこで主成分分析を行い、このようなサイズ要因による変異を除いたのちの形質間関係をさらに検討した。主成分分析の結果を示すと Table 3 のようである。第1～第3主成分によって全変異の66.6%が説明された。第1主成分は残存株数と収量が負の、根および冠部のほとんどの形質が正の大きなベクトルを示し、予想どおり株のサイズ要因による成分を表わした。これに対し第2主成分では、冠部の深さが正で大きく、地上茎数および総茎数が負の大きな値を示している。したがって、この主成分は冠部の地中への埋没の程度が大きく、そのために地下茎は多くなるが、逆に地上茎数が減少する品種とそれと対称的な特性を示す品種間変異を表わす成分であると思われる。

一般にアルファルファは根の上部や冠部の基部の二次肥大がきわめておう盛であるが、そのためこれらの部位が短縮 (Contraction) をおこし、その結果として冠部が地中へ大きく埋没する。それゆえ、このような傾向が大きい品種では冠部構成茎のうち地上部分が少なくなるため、総茎数は減少し、再生に際しても既存分枝からのシュートに対して地下の冠部芽に由来するシュートの比率が増大する。これに対して冠部の地中への埋没の程度が少ない品種では、冠部構成茎は地上部の既存分枝の基部から発達する部分が多く、再生に際してもこれら既存分枝上から多くのシュートを発生する。いまこのような冠部の特性の品種間変異を冠部型 (Crown type)

と呼ぶことにすると、第2主成分は冠部型を表わす成分であるということが出来る。またそれぞれの冠部型を「地中型」および「地表型」と呼ぶとすると、第2主成分で残存株数のベクトルが比較的正の大きな値を示すことから、「地中型」品種は永続性に優れていることが認められる。また、この主成分に対する側根数の寄与はあまり大きくなく、したがって冠部型は根型の変異とは独立した別の特性であると考えられる。

第3主成分は冠部の深さおよび根・冠部ぐされの程度が大きな値を示していることから、「地中型」品種に根・冠部ぐされ病の発生が大きかったことを表わす成分であろう。アルファルファでは根よりも冠部構成茎でぐされの発生程度が大きい。それゆえ、地中により多くの冠部構成茎をもつ「地中型」品種は当然土壌菌による冠部ぐされの被害を受けやすく、それに比例して根ぐされ程度も大きくなるものと考えられる。

かくして主成分分析の結果から、根および冠部形質について品種間変異をもたらす要因としては、株数減少による競争効果の差異、株型および根・冠部ぐされ病であることが認められた。これらの要因のうち、株型は品種の永続性ともっとも関係が深く、注目すべき特性であった。

考 察

アルファルファの個体を枯死させる要因として競争^{9,10)}、冬枯れなどの不良気象の害^{11,12)}、病虫害^{13,14)}、不適な管理作業¹⁵⁾などが報告されているが、これらのうちもっとも一般的な要因は雑草や他草種あるいは同種個体間に生ずる競争による枯死であろう。

しかしながら、アルファルファが単一で栽培され、十分な管理が施された本実験のような場合には、競争効果や管理作業がアルファルファ個体を枯死させ、残存株数について品種間に著しい変異をもたらした大きな要因とはなりえなかったであろう。このような意味からは冬枯れおよび病害、とくに炭疽病 *Colletotrichum trifolii* と冠部ぐされ病がもっとも大きな原因をなしたものと推察される。

本実験の結果では株型が残存株数の品種間変異を比較的よく説明したが、この株型の寒害や病害に対する適応的意味づけもまた論理的に可能であるように思われる。SMITH¹⁶⁻¹⁸⁾はアルファルファの冠部形質について大きな品種間差異を認め、越冬に対するこれら冠部の形態的特性の適応的重要性を指摘している。彼は冠部からの分枝の多くが全体的にあるいは部分的に土壌表面下にあるような品種または個体は、凍害、雪ぐされ病、アイスシートによる害などから保護されるという理由で生残る機会が大きいことを予想した。本実験に用いた材料は播種後2年目の冬期に厳しい寒さにそう遇して大きな被害を受けた。この年は冬期間全般にわたって積雪がなく、アルファルファは寒風と-30℃の寒気に直接さらされた。このときの被害は凍結害よりもむしろ地上部に露出した植物部分が寒風によって強制的に脱水されたのにかかわらず、65cmにもおよぶ土壌凍結のため吸水ができなかったことから発生した旱害によるものと考えら

れる。このような機構で発生する寒害に対しては地下に埋没した冠部を多くもつ品種、すなわち、「地中型」品種は大きな適応の有利性を持ったものと考えられる。このほか種々な原因と機構から生ずる障害に対する「地中型」品種の総合的有利性が、恐らく本実験において認められた株型と残存株数に相関をもたらしたものと考えられる。またこのことに関連して根型の変異のうち側根型個体が、凍上による断根に対して主根型個体よりも大きな耐性を示すことが他の実験において観察されている。本実験では断根の被害をあまり受けなかったためそのような関係は認められなかったが、この被害が常習的に起こる本地域のアルファルファ栽培に対して根型の変異もまた大きな適応的意義をもつものと推察される。

また、根および冠部ぐされの被害程度にも大きな品種間変異が存在することが認められた。根、冠部ぐされは土壌微生物によってひきおこされアルファルファ個体を枯死させるもっとも直接的で重要な原因である。しかし、その発病は本来二次的であって、凍害や虫害などの一次的原因のほか、植物自身の生活力に影響する多くの生理、生態的要因が関与する。それゆえ、品種の罹病性程度がどのような要因による被害を反映しているかはきわめて判定し難い。しかし、いずれにしても本病の発生程度と残存株数の関係は小さく、これが永続性に関する品種間変異の大きな変因でなかったと考えて良いであろう。

土壌条件や気象条件など生育環境がかならずしも好適でないわが国においては、アルファルファの立毛数は年次の経過とともに急激に減少する。そのため草地の生産性は株の残存密度に依存するようになり、本実験で認められたように、あるいは渡辺²⁾が認めたように収量と残存株数の間に大きな正の相関（それぞれ0.655**および0.933**）が認められるようになる。このようにわが国のアルファルファ栽培にとって品種の永続性はきわめて重要な特性であり、永続性ある品種の育成が必要である。しかし、永続性という特性はきわめて複雑な複合形質であり、それには生育型、攻げき性、耐病性、耐寒性など多くの形質が関与している。したがって永続性を制限する要因は地域によりあるいは年次により違っていると考えられる。本地域においては寒害（凍害、凍上による断根の害、雪ぐされ病、凍害や断根の被害部位からのぐされ病）や炭疽病および紫紋羽病 *Helicobasidium mompa* などの病害、造成時における雑草との競争などが個体枯死をもたらすもっとも大きな要因と考えられるが、アルファルファ栽培の普及とともにさらに種々の障害が生じてくることが予想される。いづれにしても、個体の枯死は、その永年生部分である根および冠部の衰退枯死であり、これに関与する総ての要因が品種間に永続性の変異をもたらす要因となりうる。したがってこれら総ての要因に抵抗性を示す遺伝子型をうることは恐らく不可能であるから、多年生部分のおう盛な生活力によって被害を減少させ、あるいは回避するような遺伝子型が望まれることになろう。この意味からクリーピングアルファルファは永続性ある品種の一つの理想型 (Ideal type) を示していると思われる。しかし、この特性を示す品種は一般に多収性に劣ることが知られている^{20,21)}。根および冠部のおう

盛な生育は物質分配の面からは、これらの部位の大きな SINK の結果であろうから、それに比例して収穫部分である地上部の生長は抑制されるであろう。多収性を犠牲にせずどの程度まで永続性を改良できるかが、検討されるべきである。このとき、本実験で認められた株型の変異は注目されるべき特性となるものと考えられる。

摘 要

アルファルファの冠部および根の諸形質と永続性（4年目における残存株数）との関係を検討し、永続性の優れた品種がどのような形態学的特性を示すか明らかにしようとした。

結果を要約すると以下のようであった。

1) 測定された冠部および根の 11 形質のすべてについて大きな品種間変異が認められたが、とくに側根数および地下茎数で著しかった。また、残存株数および収量についても大きな変異が認められた。

2) これらの形質間には多くの有意な相関係数が認められたが、とくに残存株数と4年目収量の間の高い相関係数 (0.655**) は、品種の永続性程度が主要な収量決定要因となっていることを示した。

また冠部および根の諸形質の間に得られた有意な相関係数の多くは、残存株数の少なくなった品種の個体が競争がなくなったために大きく生長した結果を反映していた。

3) そこで主成分分析を行い、このような効果を除いた後の形質間の関係を検討した。その結果アルファルファには「地表型」および「地中型」と呼ぶことができるような株型に関する変異が存在することが認められた。このうち「地中型」の特性を持つ品種は優れた永続性を持つ傾向を示したが、これは凍害など冬の不良環境条件に対する「地中型」の適応的有利性のためであろうと推察された。

謝 辞

本研究の統計処理を行うにあたり、帯広畜産大学助教授久保嘉治博士の多大なる助言と御指導をいただいた。記して謝意とします。

引用文献

- 1) NELSON, C. J. and D. SMITH: Crop Sci., 8, 21-25 (1968).
- 2) NELSON, C. J. and D. SMITH: Crop Sci., 8, 25-28 (1968).
- 3) BULA, R. J. and D. SMITH: Agron. J., 46, 397-401 (1954).
- 4) JUNG, G. A. and D. SMITH: Agron. J., 53, 359-364 (1961).
- 5) LEACH, G. J.: Aust. J. Agric. Res., 19, 517-530 (1968).
- 6) LEACH, G. J.: Aust. J. Agric. Res., 20, 425-434 (1969).
- 7) LEACH, G. J.: Aust. J. Agric. Res., 21, 583-591 (1970).
- 8) 上野昌彦: 日草誌 12, 117-121 (1966).
- 9) 高崎康夫・高橋直秀・横山 琄: 日作紀 39, 144-149 (1970).

- 10) JARVIS, R.H.: J Agric. Sci., 59, 281-286 (1962).
- 11) SPRAGUE, M.A. and L.F. GRABER: J. Amer. Soc. Agron., 35, 881-894 (1943).
- 12) JONES, F.R.: J. Agric. Res., 37, 189-211 (1928).
- 13) O'ROURKE, C.J. and R.L. MILLAR: Phytopatology, 56, 1040-1046 (1966).
- 14) LUKEZIE, F.L., BLOOM, J.R. and R.B. CARROLL: Phythopathology, 59, 1575-1579 (1969).
- 15) SMITH, D.: Alfalfa Science and Technology, Amer. J. Agron. (1972).
- 16) SMITH, D.: Agron. J., 43, 573-574 (1951).
- 17) SMITH, D.: Agron. J., 44, 469-473 (1952).
- 18) SMITH, D.: Agron. J., 47, 588-589 (1955).
- 19) 渡辺亀彦・中嶋紘一・堀内慎一: 日草誌 15, 112-119 (1969).
- 20) MORLEY, F.H.W.: Canad. J. Plant Sci., 40, 424-433 (1960).
- 21) DADAY, H.: Aust. J. Agric. Res., 13, 813-823 (1962).

Summary

In relation to the persistence of alfalfa plants eleven characteristics of the root and the crown were studied with two additional characteristics: namely, density of survival stands and crop yield. The evaluation was made on the fourth year crop on 30 varieties. Thirty samples of each variety were used for each characteristic evaluation.

The interpretation of the results of the experiment are as follows;

1) There were distinct variations in these eleven characteristics among the varieties. Notable variations were in the number of lateral roots and the number of shoots which originated from the underground part of the crown. The density of the survival stands was considered to be the index of varietal persistence in this experiment. Variations in density of survival stands and crop yield among varieties too were great.

2) Significant correlation coefficients were observed between characteristics in many of the combinations among the thirteen characteristics. The high positive correlation obtained between stand density and crop yield indicates that persistency is an important factor contributing to crop yield.

3) During the four years there was a remarkable change in plant density. The differences in spacing within each variety caused large variation in plant size of each variety during the experimental period. The result of the principal component analysis indicated that this effect was the most probable reason for highly significant correlations obtained in this study.

4) When prejudices of spacing effects were avoided, among the varieties under consideration there were two types of crowns, viz: where the crown was deep seated in the soil, "The deep crown type", and in the other, where the crown was comparatively shallow in the soil, "The shallow crown type". "Deep crown type" varieties showed an increase in diameter in the upper part of the root and basal part of the crown. This condition caused the crown and the root to be deep seated in the soil. In the "deep crown type" many shoots originated from below the soil surface, as the major part of the crown

is buried. In "shallow crown type" plants, there were many shoots which originated above ground, as a relatively major portion of the crown is above the soil surface.

5) Longevity and persistence of "deep crown type" varieties were found to be high. We are of the opinion that the "deep crown type" variety, then compared with the "shallow crown type", is more adaptable and resistant to environmental hazards, especially winter damage which is prevalent in this district.