



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Festuca 属における潜在の変異に関する研究 : IV. 草地状態におけるメドーフェスクの乾物生産特性の変異
Author(s)	高橋, 直秀; TAKAHASHI, Naohide; 杉山, 修一 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 13(3), 317-323
Issue Date	1982-11-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11978
Type	departmental bulletin paper
File Information	13(3)_p317-323.pdf



Festuca 属における潜在の変異に関する研究

IV. 草地状態におけるメドーフエスクの乾物生産特性の変異

高橋直秀・杉山修一

(北海道大学農学部附属農場)

片岡政之・後藤寛治

(北海道大学農学部食用作物学教室)

(昭和57年3月26日受理)

Studies on Potential Variability in *Festuca*

IV. Variation in dry matter production of meadow fescue under sward condition

Naohide TAKAHASHI and Shuichi SUGIYAMA

(Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

Masayuki KATAOKA and Kanji GOTOH

(Laboratory of Field Crops, Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

緒 論

牧草の乾物生産に関しては、草種間の比較を扱った報告^{1,2)}は多いが、同一草種内における乾物生産特性の変異を扱った報告は比較的少ない。楠谷⁴⁾や RHODES⁹⁾は、同一草種内の品種間あるいは遺伝子型間には、吸光係数などの群落構造にかかわる形質に大きな変異のあることを報告している。したがって、今後、利用目的に応じた品種の選定や育種過程における選抜対象形質の選定等、実際の栽培、育種へ過去の知見を適用していくためにも、草種内レベルにおける乾物生産特性の変異についての研究がさらに必要と考えられる。

メドーフエスクは、オーチャードグラスやチモシーなどの主要草種に比し、諸形質の品種間変異の幅が狭いことが指摘されている¹⁰⁾。そこで、本試験は、生態型を含む、倍数性の異なるメドーフエスクの多様な系統を供試し、メドーフエスク品種、系統間にみられる乾物生産特性の差異を明らかにすることを目的として行なったものである。

材料及び方法

供試材料は6品種、4系統である。その内訳は、2倍

体として4品種 (Leto, Trader, First, Bundy) とウェールズ植物育種研究所 (Welsh plant breeding station) より分譲されたイタリア山岳地帯由来の1系統 (Bf 945)、4倍体として2品種 (Festina, Svalöfs 01225) と北海道大学で育成した2系統 (EE, M)、そして、メドーフエスクの自然4倍体 *F. pratensis* var. *apennina* と2倍体メドーフエスクの間に生じた3倍体雑種である。

1979年5月に、 m^2 当り2.5gの播種量で散播し、草地を造成した。なお、3倍体雑種は完全不稔であり、種子を得ることができなかったため、株分けにより栄養系を10cm×10cmの方形植で栽植し草地とした。区制は1区2m×4mで、2反復乱塊法とした。肥料は、N, P, K, 10aあたり、それぞれ越冬直後に4, 6, 7.5kg、1番草刈取後にN, K, それぞれ2, 3kgの割合で分施した。1980年、造成後2年目の草地を対象に出穂前2回、出穂期に1回、2番草刈取前に1回生育調査を行なった。刈取は出穂期と8月下旬の2回である。25cm×25cmの面積につき、地際から地上部を刈取後、葉身部と茎部(葉鞘を含む)に分け、葉面積と乾物重を測定し、あわせて形態形質の調査も行なった。また、出穂期には、Leto, Bundy, 生態型 Bf 945, Svalöfs 01225, 人為4倍体系統 EE, 3倍体雑種の6品種、系統につき、層別刈取を行な

Table 1. Heading date, culm length, weight of a heading tiller, no. of heading tillers, plant type index and ratio of heading part to total dry matter weight

	Heading date ¹⁾	Culm length (cm)	Weight of a heading tiller (g)	No. of heading tillers (per m ²)	Plant type index ($\times 10^3$)	Heading part/total weight (%)
Bf 945	8.0	80	0.29	1960	2.92	71
Leto	8.5	77	0.42	2056	3.27	84
Trader	7.5	85	0.44	2128	3.27	80
First	7.5	83	0.33	1432	3.67	69
Bundy	12.5	62	0.38	1104	5.52	62
EE ²⁾	13.0	78	0.47	1136	6.54	61
M ²⁾	13.0	83	0.53	1280	6.57	79
Festina	8.5	83	0.53	1184	7.09	83
Sva. 01225	9.0	82	0.56	1128	7.89	71
Triploid	6.0	94	0.68	1088	10.02	72
Diploid mean	8.8	77	0.37	1736	3.73	73
Tetraploid mean	10.9	82	0.53	1182	7.02	73
L.s.d.	10.9	10	0.36	85.4	3.49	ns

Note. 1): Days from 1st June. 2); Induced autotetraploid strain derived from Trader.

い、各層別に部位別乾物重、葉面積、相対照度を測定した。

結 果

1. 出穂期における主要形質の差異

Table 1 に、各品種、系統の出穂期における主要形質の平均値を示した。出穂茎重割合を除き、すべての形質で有意な品種、系統間差異が認められた。また、出穂日、出穂茎重割合には、倍数性のちがいによる差異はみられなかったが、稈長、1 出穂茎重、出穂茎数、草型指数では、2 倍体と 4 倍体間に有意差が認められ、一般に 4 倍体は、稈長、1 出穂茎重が大きく、出穂茎数が少なくなる傾向にあった。栄養茎についても出穂茎と同様に、4 倍体は 1 茎重が大きく茎数が少なくなる傾向が認められた。

2. 栄養生長期における乾物生産特性

Table 2 に、早春の再生開始時 (T_0) から出穂 4 週間前 (T_1)、出穂 4 週間前から出穂 2 週間前 (T_2) の 2 つの stage における CGR, NAR, MLAI と主要形質との間の相関関係を示した。 T_0 から T_1 では、CGR と MLAI は 0.85 という正の高い関係にある。また、CGR, MLAI とともに、この時期には、1 茎重、草高、葉長との間に正

の有意な相関関係を示し、生育初期においては、1 茎重の大きなものが葉面積が大きく、乾物生産上有利となった。 T_1 から T_2 では、CGR は、MLAI, NAR とともに正の高い相関関係を示した。この時期では、CGR と 1 茎重との相関係数は $r=0.45$ と比較的低位が、 T_2 時における乾物重と 1 茎重の間には $r=0.67$ という有意な相関関係があり、1 茎重の大きなことの有利性は生育が進んでも維持されている。また、C/F 比と CGR, MLAI は正の高い相関関係を示し、茎の割合の多い程、葉面積が大きく、CGR が高いという結果となった。これは、 T_1 ~ T_2 にかけての平均気温が 14.5°C と比較的低温、茎が多くなることによる呼吸のロスが乾物生産を抑制するほど高くないこと、また、C/F 比と草高の間には正の高い相関関係 ($r=0.79$) があり、茎の割合の増加によって群落構造が改善されたことに起因しているものと推察される。

Table 3 に、2 番草収量と主要形質との間の相関関係を示した。2 番草収量と 1 茎重、葉身角度との間には、それぞれ $r=0.80$, $r=0.73$ という正の高い相関があり、2 番草においても、1 茎重の大きなものが高収を示すという結果となった。

以上のことから、栄養生長期においては、メドーフェ

Table 2. Correlation coefficients among crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), mean leaf area index (MLAI) and some morphological characters at vegetative stage

	T ₀ -T ₁			T ₁ -T ₂		
	CGR	NAR	MLAI	CGR	NAR	MLAI
NAR	.243			.881**		
MLAI	.853**	-.290		.826**	.470	
Weight of a tiller	.841**	.271	.694*	.446	.312	.506
No. of tillers	-.176	.288	-.043	.228	.287	.051
Plant height	.812**	-.172	.889**	.319	.024	.629
Leaf length	.768**	.219	.641*	.012	.061	.007
Leaf width	.883**	.427	.589	.063	-.125	.343
Leaf angle	.023	.116	-.020	-.304	-.509	.102
SLW	-.367	-.883**	-.092	-.387	-.360	-.348
C/F	.089	.262	-.098	.717*	.397	.880**

Note. T₀; 21th April. T₂; 4weeks before heading stage.

T₁; 2 weeks before heading stage.

*; Significant at 5% level. **; Significant at 1% level.

Table 3. Correlation coefficients between yield of 2nd crop and some morphological characters

	Weight of a tiller	No. of tillers	Plant height	Leaf length	Leaf width	Leaf angle	SLW	C/F
Yield of 2nd crop	.796**	-.452	.547	.513	.211	.729*	-.213	-.123

スクでは、季節にかかわらず、1茎重が大きく茎数が少ないもの(茎重型)が、1茎重は小さいが茎数の多いもの(茎数型)より乾物生産上有利といえる。4倍体は2倍体に比し、生育期間を通じて1茎重が大きいことから、メドーフェスクでは乾物生産の点で4倍体の利用は有望と考えられる。

3. 出穂期における乾物生産

Table 4 に、出穂期の収量と吸光係数、形態形質との間の相関関係を示した。なお、ここでは層別刈取に供試した6品種のみを扱っている。出穂期収量とLAIの間には $r=-0.94$ という負の、また、吸光係数との間には $r=0.92$ という正の極めて高い相関関係が認められた。さらに、吸光係数は、稈長、止葉着葉高、止葉下第一葉の着葉高との間には正の有意な、また、LAI、C/F比との間には負の有意な相関関係を示している。つまり、稈長や着葉位置が高く、葉面積が小さいほど、吸光係数が高く、高収になる傾向にあった。このように、吸光係数は、葉面積の大きさばかりでなく、群落内における葉面

積の垂直分布との間にも密接な関係にあるものと考えられる。そこで、群落内における光と葉面積の垂直分布パターン相互間の関係を調べるため、Table 5 に、吸光係数と高さ10 cm ごとの各層にある葉面積との間の相関関係を示した。吸光係数は、0~40 cm までの各層の葉面積とは負の、逆に50~70 cm までの各層の葉面積とは正の高い相関関係を示している。さらに0~40 cm までの群落の下層にある葉面積と50~70 cm までの上層にある葉面積とは互いに負の高い相関関係にある。つまり、本試験で供試した品種、系統間には、相対的に群落の上層に葉面積が多く、下層に少ない型と、逆に上層に少なく下層に多い型の2つのタイプがあり、そして、相対的に葉面積が上層に多く、下層に少ないタイプは吸光係数が高く、収量も高くなるのに対して、葉面積が上層に少なく下層に多いタイプは吸光係数が低く、収量も低くなる傾向にあった。

Fig. 1 に、供試した6品種、系統の葉群構造図と相対照度、SLWの垂直分布を示した。吸光係数には0.220

Table 4. Correlation coefficients among dry matter weight (DW), leaf area index (LAI), extinction coefficient (K), culm length (CL), flag leaf height (FLH) penultimate leaf height (PLH), C/F ratio and vegetative tillers to total dry matter weight (VWR) at heading stage

	LAI	K	CL	FLH	PLH	C/F	VWR
DW	-.942**	.921**	.902*	.944**	.986**	.766	-.627
LAI		-.956**	-.800	-.893*	-.943**	-.817*	.624
K			.817*	.930**	.965**	.723	-.570
CL				.966**	.920**	.440	-.394
FLH					.973**	.575	-.569
PLH						.713	-.531
LWR							-.822*
VWR							

Note. *; Significant at 5% level. **; Significant at 1% level.

Table 5. Correlation coefficients among extinction coefficient (K) and leaf area of each vertical layer

	leaf area						
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm	60-70 cm
K	-.602	-.872*	-.865*	-.780	-.176	.771	.943**
0-10 cm		.898*	.674	.042	-.596	-.797	-.713
10-20 cm			.818*	.395	-.295	-.829*	-.712
20-30 cm				.579	.181	-.734	-.712
30-40 cm					.632	-.375	-.834*
40-50 cm						.188	-.337
50-60 cm							.720
60-70 cm							

Note. *; Significant at 5% level. **; Significant at 1% level.

から 0.336 までの変異が認められた。生態型 Bf 945 と 3 倍体雑種は吸光係数が高く、葉群構造もつり鐘型を示しているのに対して、Bundy は吸光係数が低く、下層の葉面積が著しく大きな三角形型を示している。また、Leto, Svalöfs 01225, EE は、両型の間となっている。また、すべての品種、系統で、SLW は下層から上層になるほど増加しており、しかも、その増加程度には、品種、系統間に差異がみられる。一般に、吸光係数の高い生態型 Bf 945, 3 倍体雑種では、上層の SLW が下層よりも著しく高い値をとっているのに対して、吸光係数の低い Bundy では、上層と下層の SLW の差が小さくなっている。さらに、全葉面積の平均 SLW と吸光係数との間には $r=0.71$ という正の高い相関関係があり、

吸光係数の高い品種、系統ほど葉が厚くなる傾向にあった。以上のように、吸光係数は、葉面積の垂直分布パターンばかりでなく、SLW やその垂直分布パターンとの間にも密接な関係にあることが認められた。

論 議

本試験では、吸光係数と出穂期乾物重の間には正の有意な相関関係が認められ、従来の知見とは異なる結果となった。しかし、従来の研究の多くは、マメ科とイネ科を含む異なる草種間の比較が¹⁾、または、同一草種内でも栄養生長期のみを扱ったものである⁹⁾。著者らは、トールフェスクを供試し、栄養生長期においては、吸光係数と CGR や乾物重との間に負の高い相関関係が認め

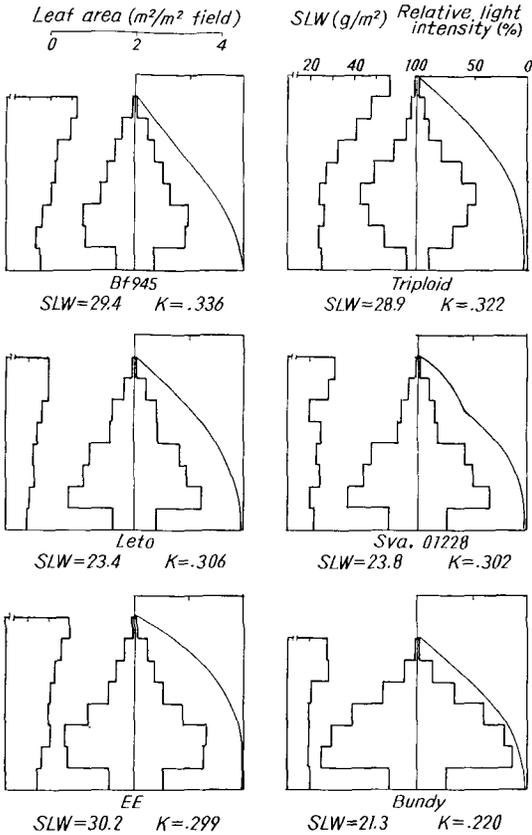


Fig. 1. Vertical distribution of leaf area, relative light intensity and specific leaf weight (SLW) through the canopy at heading stage.

Note. K is extinction coefficient.

られるものの、出穂、開花期には、両者の間に相関関係が認められなくなることを指摘している。出穂期には、出穂茎と栄養茎という2種類の分けつが存在し、出穂茎の節間伸長によって群落構造も著しく変化することから、出穂期では栄養生長期とは異なった要因が関与してくるものと考えられる。

MARSHALLら⁷⁾は、C¹⁴を利用した実験により、成熟葉をもつ分けつ間には同化産物の移動は認められず、個々の分けつは同化収支の点からは独立した単位であることを指摘した。したがって、イネ科牧草の草地は、エネルギー収支の点で独立した多数の分けつの集合体と考えられる。個々の分けつについて、同化と呼吸の収支が正となるなら、その分けつは生長し、負となるなら枯死し、個々の分けつの生長量の総和が群落の乾物生産量と

なる。

ところで、出穂期の群落は、同化産物の分配様式の異なる出穂茎と栄養茎という2種類の分けつより構成されている。出穂茎は同化産物を主に穂や茎の節間伸長に、他方、栄養茎は新葉や新分けつの形成あるいは茎葉の生長に利用している。このような同化産物の分配様式の差異は、各々の分けつその後の同化能力に強い影響を与えることは容易に推察される。節間伸長によって、出穂茎に着生する葉（出穂茎葉）は群落の上層に位置するようになり、下層に位置する栄養茎に着生する葉（栄養茎葉）との光に対する競争が減少して受光条件が改善される。また、上層に位置することによって、出穂茎葉のSLWも高くなる。一般に、SLWと個葉の光合成能力の間には正の相関関係が認められている^{3,6,8)}。したがって、出穂茎葉の受光条件の改善とSLWの増加による個葉の光合成能力の増加によって、個々の出穂茎の同化量は著しく高まるといえる。それに対して、栄養茎では、同化産物を新葉や新分けつの形成、茎葉の生長に利用するために、出穂茎葉ばかりでなく栄養茎葉相互間の遮蔽が増し、それによって、受光条件の悪化とSLWの低下が生じて、個々の栄養茎の同化量は著しく低くなる。以上のように、出穂茎葉と栄養茎葉では、同じ葉面積であっても、同化能力の点で著しく異なると考えられる。

本試験で供試した品種、系統は、相対的に上層に葉面積が多く、下層に少ない型と、上層に少なく下層に多い型の2種類の葉群構造に分けることができた。前者は、出穂期の乾物重、吸光係数、稈長、出穂茎葉の着生位置、SLWがともに高く、LAIが低くなり、後者は逆の傾向を示した。窪田ら⁹⁾は、群落光合成の理論式から群落各葉層の光合成量を求めた。それによると、吸光係数の比較的高い群落では光合成量が上層に片寄り、下層では著しく小さくなるのに対して、吸光係数の比較的低い群落では光合成量が各層に分散している。出穂期の乾物増加量の多くは出穂茎の増加によってもたらされていることから、出穂期の乾物生産では、出穂茎葉の貢献は著しく高くなる。したがって、出穂期の群落光合成量を最大にするためには、群落全体への光の透過率をよくすることより、むしろ出穂茎葉の光合成量を最大にすることが重要と考えられる。その場合、出穂茎葉が分布する群落上層での光の吸収が最大になること、つまり、吸光係数が高くなることが群落光合成量を増大させるために重要となる。このように、栄養茎だけによって構成されている栄養生長期においては、群落内への光の透過の良否が乾物生産上重要となってくるが、出穂期においては、

群落内への光の透過が良くなること(吸光係数の低いこと)が必ずしも乾物生産上有利となるとは限らない。

しかし、オーチャードグラスにおいては、出穂期の乾物重と吸光係数との間に負の相関関係が認められており⁴⁾、出穂期の乾物生産と吸光係数との関係は、草種自身の特性をふまえ、今後さらに検討を加える必要があるものと考えられる。

摘 要

倍数性の異なるメドーフエスクの10品種、系統を供試し、草地状態における乾物生産特性の差異を検討した。

1. 倍数性は、2倍体に比べ、栄養茎、出穂茎ともに1茎重が大きく茎数が少なくなる傾向にあった。

2. 栄養生長期では、春、夏を通じ、CGRと乾物重は1茎重と正の高い相関を示し、1茎重の大きな品種、系統が乾物生産上有利であった。

3. 出穂期収量は、吸光係数と正の高い相関関係を示し、従来の知見と異なる結果となった。吸光係数はLAIと負、止葉、止葉下第一葉の着葉位置とは正の高い相関を示し、吸光係数は葉面積の量ばかりでなく、その垂直分布パターンとも密接な関係にあった。

4. 葉面積の垂直分布パターンには、相対的に上層に葉面積が多く、下層に少ない型(吸光係数が高い)と上層に少なく、下層に多い型(吸光係数が低い)の2つのタイプが認められた。

引用文献

1. 梶 和一・窪田文武・鎌田悦男： 牧草の乾物生産，第3報 牧草の乾物生産と最適刈取回数におよぼす吸光係数の影響，日草誌，**17**：235-243. 1971
2. COOPER, J. P., RHODES, I. and SHEEHY, J. E.: Canopy structure, light interception and potential production in forage grasses, Rep. Welsh Pl. Breed. Stn. for 1970: 57-69. 1971
3. DELANEY, R. H. and DOBRENZ, A. K.: Morphological and anatomical features of Alfalfa leaves as related to CO₂ exchange, *Crop Sci.*, **14**: 444-447. 1974
4. 楠谷彰人・杉山修一・後藤寛治： オーチャードグラスの生産性に関する研究，第IV報 草地状態における乾物生産特性の品種間差異，**25**：7-15. 1979
5. 窪田文武・梶 和一・鎌田悦男： 牧草の乾物生産，第4報 牧草の乾物生産におよぼす吸光係数の影響—理論的解析—，日草誌，**17**：243-250. 1971
6. 窪田文武・植田精一： チモシーの個葉の光合成速度とSLA(比葉面積)との関係，日草誌，**23**：101-107. 1977
7. MARSHALL, C. and SAGER, G.: The influence of defoliation on the distribution of assimilates in *Lolium multiflorum* LAM., *Ann. Bot. N. S.*, **29**: 365-370. 1965
8. PEARCE, R. B., CARLSON, G. E., BARNES, D. K., HART, R. H. and HANSON, C. H.: Specific leaf weight and photosynthesis in Alfalfa, *Crop Sci.*, **9**: 423-426. 1969
9. RHODES, I.: The relationship between productivity and some components of canopy structure in ryegrass (*Lolium* spp.). II. Yield, canopy structure and light interception, *J. Agric. Sci., Camb.*, **77**: 283-392. 1971
10. 杉山修一・高橋直秀・後藤寛治： *Festuca* 属における潜在の変異に関する研究，I. メドーフエスク (*Festuca pratensis* HUDS.) 品種の主成分分析による分類，北大農邦文紀要，**11**：372-379. 1979

Summary

Variation in characteristics of dry matter production of the canopy were examined in 10 diverse strains of meadow fescue including different ploidy levels during vegetative and reproductive growth stages. Materials used were 4 diploid varieties (Trader, Leto, Bundy and First), 1 diploid ecotype (Bf 945), 4 autotetraploid varieties and strains (Festina, Svalöfs 01225, EE and M) and 1 triploid. Ecotype originated from a mountain region in Italy and triploid came from a cross between diploid and naturally occurring tetraploid species of meadow fescue (*F. pratensis* var. *apennina*). Only 6 strains (3 diploid, 2 tetraploid and 1 triploid) were examined at heading stage.

Triploid and tetraploid strains had larger but fewer tillers than diploid strains throughout the season (Table 1).

During vegetative growth stage, populations with large tillers were more productive than those with small tillers, indicating the feasibility of polyploid varieties (Table 2 and 3).

At heading stage, dry matter yield correlated positively with extinction coefficient (K). This contrasted with results reported by other researchers. Extinction coefficient correlated negatively with LAI ($r = -0.96^{**}$) and positively with the heights of the flag and penultimate leaves ($r = 0.93^{**}$ and $r = 0.97^{**}$, respectively). This indicated that extinction coefficient was closely associated with both

the amount of leaf area and its vertical distribution through the canopy.

With regard to the vertical distribution of leaf area through the canopy, it was found that there were 2 distinct types in the strains examined. One had relatively more leaf area in the higher layers of the canopy (above 50 cm) and less in the lower layers (below 40 cm) while the other type

had less leaf area in the higher layers but more in the lower layers. The former type had higher extinction coefficient than the latter.

Factors which possibly determine dry matter production at heading stage were discussed in relation to the structural and functional differences between leaves of heading tillers and those of vegetative tillers.