



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Festuca 属における潜在の変異に関する研究 : 第 I 報 メドーフェスク(<i>Festuca pratensis</i> Huds.)品種の主成分分析による分類
Author(s)	杉山, 修一; SUGIYAMA, Shuichi; 高橋, 直秀 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(4), 372-379
Issue Date	1979-11-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11932
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(4)_p372-379.pdf



Festuca 属における潜在の変異に関する研究

第I報 メドーフェスク (*Festuca pratensis* Huds.)

品種の主成分分析による分類

杉山修一・高橋直秀・後藤寛治

(北海道大学農学部食用作物学教室)

(昭和54年7月27日受理)

Studies on Potential Variability in *Festuca*

I. The classification of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) varieties by principal component analysis

Shuichi SUGIYAMA, Naohide TAKAHASHI
and Kanji GOTOH

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

緒 言

Festuca 属には、代表的草種、トールフェスク (*F. arundinacea* Schreb.) とメドーフェスク (*F. pratensis* Huds.) が含まれ、これらの草種はいずれも他の草種よりも不良環境に対するすぐれた抵抗性をもっている。特に、トールフェスクは耐冬性はやや劣るが、耐暑性、特殊土壌に対する耐性などきわめて広い抵抗性を持っている。他方、メドーフェスクはトールフェスクに比し一般に低収であるが、よりすぐれた耐寒性、他の草種との混播適応性を有し、嗜好性の劣る *Festuca* 属の中では比較的すぐれた嗜好性をもっているため、北海道などの寒冷地では有望な草種と考えられている¹⁾。しかし、メドーフェスクはチモシー、オチャードグラスなどの他の草種に比し、これまで研究があまり行なわれておらず、知見が著しく少ない現状である。特に日本では、川端ら^{1,2)}のメドーフェスク、トールフェスク、シーブフェスクの種間比較、また海外より導入したメドーフェスク品種間の生産力、諸特性の比較試験にとどまっている。その中で、川端ら²⁾は、メドーフェスクはトールフェスクに比しかなり変異性が小さいことを報告している。このことは、メドーフェスクの生態的分布や系統分化の点から興味ある問題であり、さらに今後、変異性の拡大の可能性を探ることが必要と考えられる。本試験は、主成分分析

を用い、メドーフェスク品種間の特性の比較、ならびにその変異性についての知見を得ることを目的としたものである。

本試験の計算の一部は、北海道大学大型計算機センターのライブラリープログラム SPSS を用いて行なった。

材料と方法

供試した品種数は52であるが、その中には seed lot の異なる同一品種が7つ含まれている。カナダで育成された Trader を除き、他はすべてヨーロッパ諸国で育成された品種である (Table 1)。また Festina (38) は供試品種中唯一の4倍体品種である。各品種ともペーパーポットで育成した苗を、1975年に実験圃場に移植し、翌1976年、77年に調査を行なった。試験区は、畦幅50cm、株間25cmとし、2反復乱塊法を用いた。調査形質は、草丈 (PH)、穂長 (EL)、止葉下第1葉の葉長 (LL)、同葉幅 (LW)、出穂茎数 (HTN)、出穂茎乾物重 (HTW)、栄養茎数 (VTN)、栄養茎乾物重 (VTW)、全茎数 (TTN)、個体乾物重 (PW)、出穂始日 (HD) である。いずれも個体あたりの平均値を用いた。なお、出穂始日の調査は、1977年に全個体について行なった。出穂始日を除く各形質は、1976年1反復より5個体をと、2反復につき調査した。

Table 1. Cultivars examined in the experiment and their originated countries

Cultivar	Country	Cultivar	Country
1. Tammisto	Finland	27. Marsk-2	Denmark
2. Valto	Finland	28. Øtofte	Denmark
3. Trader	Canada	29. Pajbjerg 68-2-13	Denmark
4. N.F.G. (A)*	W. Germany	30. Pajbjerg 68-2-27/71	Denmark
5. Neuga (A)*	W. Germany	31. Trifolium	Denmark
6. Neuga (B)*	W. Germany	32. Winge Pajbjerg	Denmark
7. Fiola	W. Germany	33. Leto Daenfeldt	Denmark
8. N.F.G. (B)*	W. Germany	34. Pajbjerg-pf-179	Denmark
9. Merbeen	Belgium	35. Pajbjerg-s68-2-13/72	Denmark
10. Daphné	France	36. Bundy	Netherlands
11. Nalade	France	37. Comtessa	Netherlands
12. Sequana	France	38. Festina**	Netherlands
13. Marbury	U.K.	39. Garanta (A)*	Netherlands
14. S. 53	U.K.	40. LW. 42-38	Netherlands
15. S. 215	U.K.	41. Sceempter	Netherlands
16. Løken	Norway	42. Barbarossa	Netherlands
17. Svalöfs Sena (A)*	Sweden	43. Barkas	Netherlands
18. Bottnia 2	Sweden	44. Dufa	Netherlands
19. Irene	Sweden	45. Garanta (B)*	Netherlands
20. Svalöfs 01225	Sweden	46. Largo	Netherlands
21. Svalöfs Sena (B)*	Sweden	47. Belimo (A)*	Netherlands
22. Svalöfs 01228 (A)*	Sweden	48. Bergamo (A)*	Netherlands
23. Svalöfs 01228 (B)*	Sweden	49. Remko	Netherlands
24. Weihestephan	Denmark	50. Rossa	Netherlands
25. Arva Øtofte	Denmark	51. Belimo (B)*	Netherlands
26. Joma	Denmark	52. Bergamo (B)*	Netherlands

Note. *: (A) and (B) show same variety, but their seed samples are originated from different seed lots.

** : Tetraploid.

結 果

1. 形質間の相関関係

各形質の分散分析の結果、葉長を除く各形質に有意な品種間差が認められた。Table 2 に 11 形質間の相関係数を示した。1 出穂茎の大きさに関係する草丈、穂長、葉長、葉幅は互いに正の有意な関係にあり、1 つの形質群を構成している。一般に、これら 4 形質と個体乾物重の間には正の関係が、また全茎数との間には負の関係がみられる。つまり、1 出穂茎の大きな品種は茎数が少なく、多収になる傾向がある。出穂始日は栄養茎数、栄養

茎乾物重、全茎数と正の有意な関係にあり、晩生品種は茎数が多く、1 番草に占める栄養茎の比率が高くなっている。

2. 主成分分析による分類

Table 2 の相関行列に基づき、主成分分析を行ない、その固有値、因子負荷量を Table 3 に示した。第 3 主成分までで全分散の約 80% が占められた。各主成分を生物学的に解釈するにあたって、各形質がただ一つの主成分にのみ大きく寄与する場合、解釈は容易になる。しかし、1 形質が 2 つ以上の主成分にわたって大きな値をとり、各主成分の生物学的意味が不明確になる場合が少

Table 2. Correlation coefficients among characters

Character	P H	E L	L L	L W	HTN	HTW	VTN	VTW	TTN	P W	H D
P H	1.000	0.383**	0.545**	0.383**	-0.533**	0.255	-0.351*	-0.084	-0.610**	0.244	-0.341*
E L		1.000	0.701**	0.456**	-0.180	0.391**	0.133	0.302*	-0.067	0.419**	0.271
L L			1.000	0.511**	-0.320*	0.473**	-0.150	0.085	-0.322*	0.478**	-0.100
L W				1.000	-0.473**	0.564**	0.020	0.323*	-0.360**	0.577**	-0.144
HTN					1.000	0.095	0.082	-0.236	0.821**	0.075	0.044
HTW						1.000	-0.042	0.100	0.046	0.992**	-0.210
VTN							1.000	0.847**	0.635**	0.011	0.610**
VTW								1.000	0.303*	0.164	0.507**
TTN									1.000	0.061	0.376**
P W										1.000	-0.181
H D											1.000

Abbreviation PH: Plant Height, EL: Ear Length, LL: Leaf Length, LW: Leaf Width, HTN: Heading Tiller Number, HTW: Heading Tiller Weight, VTN: Vegetative Tiller Number, VTW: Vegetative Tiller Weight, TTN: Total Tiller Number, PW: Plant Weight, HD: First Heading Date.

*: significant at 5% level, **: significant at 1% level.

Table 3. Eigen Values, Structure Vectors and Rotated Vectors

Characters	Structure Vector			Rotated Vector*			Communality
	Z1	Z2	Z3	F1	F2	F3	
P H	0.747	-0.274	-0.203	0.349	-0.699	-0.254	0.68
E L	0.607	0.464	-0.123	0.613	-0.323	0.345	0.60
L L	0.800	0.150	-0.025	0.663	-0.472	-0.002	0.62
L W	0.778	0.260	-0.087	0.667	-0.468	0.126	0.68
HTN	-0.538	0.205	0.750	0.035	0.937	-0.125	0.89
HTW	0.662	0.371	0.595	0.947	0.127	-0.116	0.93
VTN	-0.308	0.848	-0.282	0.017	0.258	0.909	0.89
VTW	0.046	0.810	-0.435	0.197	-0.085	0.895	0.85
TTN	-0.594	0.640	0.419	0.034	0.872	0.421	0.94
P W	0.661	0.419	0.560	0.953	0.117	-0.058	0.93
H D	-0.329	0.624	-0.415	-0.163	0.106	0.795	0.67
Eigen Value	3.89	2.91	1.91				
% of Variance	35.4	26.4	17.4				

Note. Symbols are the same as those in Table 2.

*: after Varimax Rotation.

なくない。本試験においても、全莖数、個体乾物重、出穂始日などの形質は3つの主成分で比較的大きな値をとっており、第2、第3主成分の生物学的意味が明確に解釈できなくなっている。品種特性の比較、あるいは品種分類を行なう場合、各主成分の生物学的意味がはっきりしていることが望ましい。そこで各因子の生物学的意味をさらに明確にするために、バリマックス法を用いて因子軸の回転を行なった。回転後の因子負荷量行列をTable 3の右側に示した。回転後の各形質の因子負荷量は、それぞれ1つの因子に大きな値を示すようになったため、各因子軸の解釈が容易になった。

第1因子(F_1)は、出穂莖乾物重、個体乾物重で、それぞれ0.947、0.953という正の高い値を示し、また個体乾物重と正の相関関係が認められた穂長、葉長、葉幅で0.6以上の値を示したのに対して、他の形質では0に近い値をとっている。したがって、第1因子は収量性を表わしていると考えられる。第2因子は、出穂莖数、全莖数でそれぞれ0.937、0.872という正の高い値をとっているの

に対して、草丈、穂長、葉長、葉幅では負の値をとり、特に草丈では高く(-0.699)なっている。個体乾物重がほぼ0に近い値をとり、重さに関係した形質が第2因子に寄与していないので、解釈はより単純になった。つまり、第2因子は草丈と出穂莖数の相対的割合、具体的には草型を表わしていると考えられる。そこで、便宜的に F_2 スコアが正の値をとる品種を莖数型品種、負の値をとる品種を莖長型品種とする。第3因子は、栄養莖数、栄養莖乾物重、出穂始日でそれぞれ0.909、0.895、0.795と正の高い値を示したのに対して、他の形質では0に近い値をとっている。これは F_3 スコアが大きくなるにつれて出穂期における栄養莖数が増加し、晩生化することを表わしている。したがって、第3因子は、早晩性と深い係わりをもつ出穂期における分けつ能力を表わしていると考えられる。

Fig. 1に軸回転後における各品種の第1因子と第2因子の因子得点の散布図を示した。第1因子では、スウェーデンの2品種 Sva. 01225 (20)と Sva. 01228 (22, 23) およ

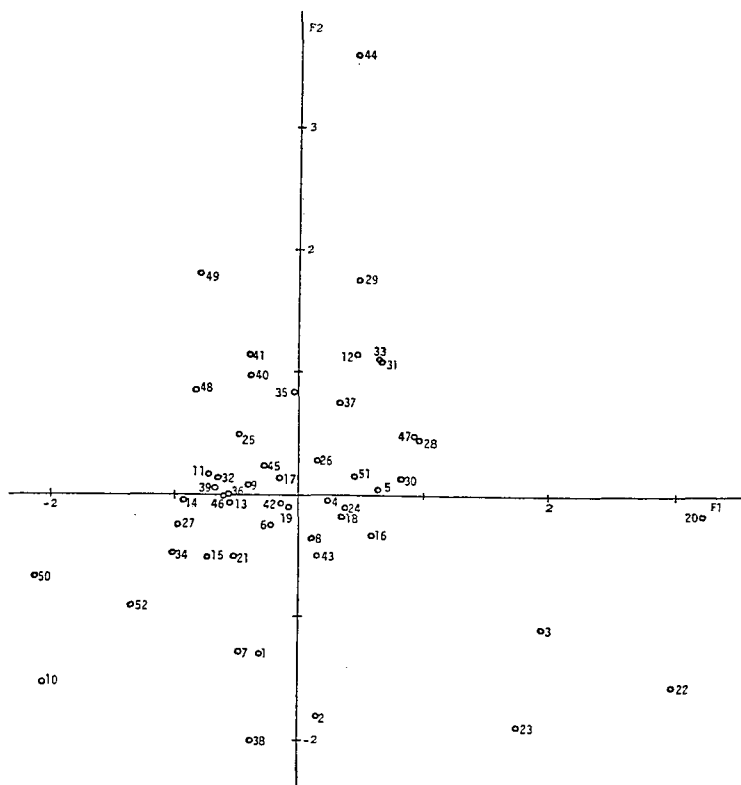


Fig. 1. Scatter diagram of the varietal scores weighted by rotated vectors in the F_1 - F_2 plane.

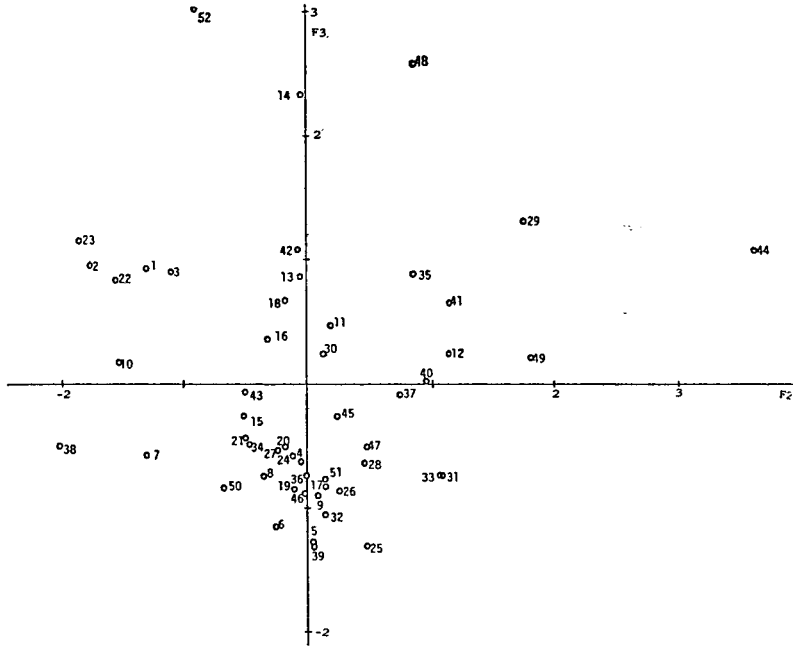


Fig. 2. Scatter diagram of the varietal scores weighted by rotated vectors in the F₂-F₃ plane.

びカナダの品種 Trader(3)が正の高いスコアをとり、多収を示している。また、これらの多収品種は Sva. 01225 (20) を除き茎長型を示し、茎数型で多収の品種は見られない。4 倍体品種 Festina (38) は多収ではないが、著しい茎長型を示した。またフィンランドの 2 品種 Tammisto (1), Valto (2) 及び西ドイツの品種 Fiola (7) も著しい茎長型を示した。非常に低収であるフランスの品種 Daphné (10) を除き、著しい茎長型を示した品種は、一般に高緯度の国で育成された品種である。残りの品種は、数品種を除きほとんど中心付近に集まり、供試品種間には収量性と草型に関して大きな変異は認められなかった。Fig. 2 に第 2 因子と第 3 因子の散布図を示した。第 3 因子では、Bergamo (48, 52) と S. 53 (14) は、著しく高い正のスコアをとり、分けつ能力はすぐれているが、一般に低収であった。その他の品種は、第 3 因子に関して大きな変異は認められない。第 2 因子と第 3 因子でそれぞれ大きな絶対値をとっている数品種を除いた残りの品種は、ほとんど中心付近に集まっており、Fig. 1 と同じ分布パターンを示している。また、第 2 因子で負の高い値をとった品種のうち、Tammisto (1), Valto (2), Trader (3), Sva. 01228 (22, 23) の 4 品種も第 2 象限で 1 群を成して分布している。このように、今回供試したメドーフェ

スク品種の多くは、収量性 (第 1 因子)、草型 (第 2 因子)、早晩性と出穂期における分けつ能力 (第 3 因子) に関して比較的類似した遺伝的背景をもっているものと思われる。

3. 草型の品種間変異

前述したように、草型を表わす第 2 因子で負の高いスコアをとる (茎長型) 品種は、一般に高緯度の国で育成された品種であった。そこで、草型の一般的指標である草型指数⁴⁾ [出穂茎乾物重/(出穂茎数)²] を算出し、さらに検討を加えた。Fig. 3 に標準正規変量で表わした草型指数と F₂ スコアの関係を示した。主成分分析で得られた第 2 因子が草丈と出穂茎数の相対的關係を表わしているのに対して、草型指数は 1 出穂茎重と出穂茎数の相対的關係を表わしている。そこで、F₂ スコアで表わされる草型と区別するため、草型指数で正の値をとるものを茎重型、負の値をとるものを茎数型とする。F₂ スコアと草型指数の間には高い相関関係 (-0.70) があり、両者の間にはかなりの適合が認められる。しかし、F₂ スコアが負 (茎長型) で、草型指数も負 (茎数型) の値をとる品種もあり、茎長型を示す品種が必ずしも茎重型を示すわけではない。ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、カナダなどの高緯度に位置する国や西ドイ

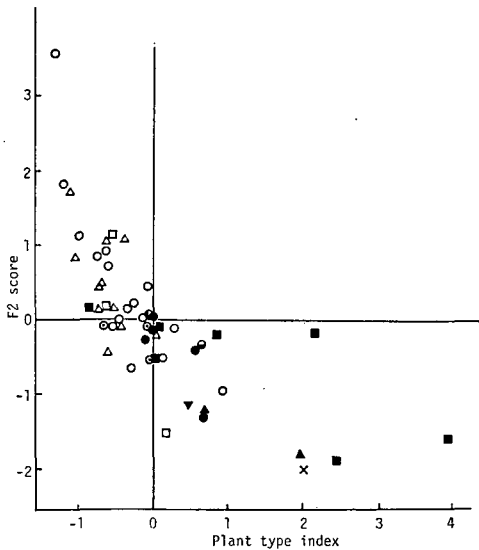


Fig. 3. The relationship between F2 score and plant type index transformed into standard normal deviation.

- : France
- : W. Germany
- : Sweden
- ▼: Canada
- : Netherlands
- △: Denmark
- ▲: Finland
- ⊙: U.K.
- : Belgium
- ⊖: Norway
- ×: Tetraploid

ツのような大陸型気候に属する国で育成された品種は、一般に茎長型で茎重型を示している。逆に、それより低緯度に位置し、あるいは海洋型気候に属するフランス、オランダ、デンマークなどの国で育成された品種は茎数型を示した。しかし、イギリスの3品種は茎長型を示したが茎重型ではなかった。このように、メドーフェスク品種間には育成国間に草型のクラインの変異が生じていると思われる。Table 4 に草型指数、草丈、出穂茎数、出穂茎乾物重、平均1出穂茎重(出穂茎乾物重/出穂茎数)の国別平均値を示した。これらの形質の国別平均値の比較により、草型のクラインの変異はさらに明らかに認められる。草型指数でみると、前述したようにフィンランド、カナダ、ノルウェー、スウェーデン、西ドイツの品種は茎重型を示し、イギリス、デンマーク、オランダ、ベルギー、フランスの品種は茎数型を示している。さらに、茎数型を示した5カ国に比べて茎重型を示した5カ国の品種平均値は、草丈、出穂茎乾物重、平均1出穂茎重が大きく、逆に、出穂茎数が少なくなっている。つまり、高緯度に位置し、気候が冷涼な国の品種ほど1出穂茎が大型化し、出穂茎数が少なくなっており、一方、緯度が低下し、気候が温暖になるにつれ1出穂茎が小型化し、出穂茎数が増加する傾向が認められる。

Table 4. The differences between countries in mean values of some characters relating with plant type

Country	PH (cm)	HTN	HTW (g)	Weight of a tiller (g)*	PI**
Finland	118.8	127.5	205.6	1.63	1.29
Canada	125.2	160.6	255.6	1.59	0.44
Sweden	117.7	148.4	252.9	1.78	1.24
Norway	121.4	151.5	243.3	1.60	0.63
W. Germany	114.5	156.9	219.9	1.41	0.19
U. K.	110.0	157.5	188.0	1.20	-0.21
Denmark	113.0	187.1	217.3	1.17	-0.59
Netherlands	108.5	177.6	206.5	1.18	-0.41
Belgium	108.4	164.0	216.7	1.32	-0.09
France	108.5	163.6	189.1	1.15	-0.33
Tetraploid	113.9	110.0	190.5	1.72	2.01
Grand Mean	112.5	167.6	216.7	1.32	0.00
Standard deviation	5.96	28.77	34.22	0.32	1.00

Note. *: HTW/HTN.

** : Plant type index, $HTW/(HTN)^2$, showed by standard normal deviation.

考 察

川端ら²⁾は、メドーフェスク品種比較試験を行ない、メドーフェスクはトールフェスクに比べ、変異の幅が狭いことを報告した。本試験の結果、主成分分析により抽出された3つの因子間それぞれの散布図に関して、52品種のうち約40品種は中心付近に集まり、残りの約10品種も数群をなして分布する傾向を示した。これらの結果から、メドーフェスク品種の育成には限られた遺伝子源しか使われておらず、多くの品種は比較的狭い遺伝的背景を共有しているものと推察される。この点、川端ら²⁾が指摘したように、メドーフェスクでは4倍体の育成、生態型の評価などを通じて変異拡大の可能性を探る研究が必要と思われる。

育成国の緯度や気候に対して品種間に草型のクラインの変異が認められた。この原因として、育種過程での人為選抜と自然淘汰の2つが考えられるが、現在の知見ではどちらの要因が支配的かはわからない。しかし、草型に強い選抜圧が働いていることは確かであり、自然環境に対する適応と草地の利用形態の両面から検討を要する問題である。また、草型が季節生産性と密接な関係にあることが報告されている⁵⁾。川端ら³⁾は、オーチャードグラス品種を用いて季節生産性の変異を解析している。それによると、フランスのような温暖な国で育成された品種は生育期間全般にわたり比較的均一な生育をするのに対して、フィンランドのような冷涼な国で育成された品種は春の生育はすぐれるが夏と秋の再生が劣る傾向にあった。このように、季節生産性にも草型と同じような変異パターンが生じていると思われ、今後これらの問題についてさらに解析を進める必要があると思われる。

供試品種中、唯一の4倍体品種は著しい茎長型を示し、茎数が極端に少ないため低収であった。しかしながら、メドーフェスク品種では、多収品種は一般に茎長型を示す傾向がみられるので、4倍体品種の育成にあたっては、茎数を増す方向に選抜することにより、多収な品種が生ずる可能性もあると思われる。

摘 要

メドーフェスク52品種を供試し、形態的、生理的形質を測定して、その変異性を検討した上、主成分分析を適用して品種の分類を試みた。各主成分の生物学的意味をより明確にするため、バリマックス法を用いて因子軸の回転を行なった。

1. 主成分分析の結果得られた第1因子は収量性を、

第2因子は草型を、第3因子は出穂期における分けつ能力を表わすものと推察された。

2. 各因子間の散布図において、50品種中約40品種は中心付近に集まり、残りの約10品種もその周辺でいくつかの類似した分布パターンを示した。したがって、メドーフェスク品種の育成には限られた遺伝子源しか使われておらず、多くの品種は比較的狭い遺伝的背景を共有しているものと推察された。

3. 品種間に草型のクラインの変異が認められた。高緯度に位置し、または大陸型気候に属する国の品種は1出穂茎が大型化し、出穂茎数が少なくなり、逆に低緯度に位置し、または海洋型気候に属する国の品種は1出穂茎が小型化し、出穂茎数が増える傾向を示した。

引用文献

1. 川端習太郎: *Festuca* 属牧草の生産力に関する種ならびに品種間差異, 北農試彙報, 90: 99-103. 1966
2. 川端習太郎・後藤寛治: 最近海外より導入したトールフェスクおよびメドーフェスク品種の生産力と諸特性にみられる変異性, 北農試研究資料, 2: 1-52. 1973
3. KAWABATA, S. and GOTOH, K.: Variations of seasonal production in cultivars of orchard-grass (*Dactylis glomerata* L.) *Jap. J. Breed.*, 20: 146-150. 1970
4. 楠谷彰人・後藤寛治: オーチャードグラスの生産性に関する研究, 第1報, 個体植えにおける茎葉系の収量に対する貢献, 日草誌, 24: 102-107. 1978
5. RHODES, I.: The relationship between productivity and some components of canopy structure in ryegrass, I. Leaf length. *J. Agric. Sci., Camb.*, 73: 315-319. 1969

Summary

Varietal classification was attempted in 52 cultivars of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). Cultivars examined are mainly originated from European countries. Based on data taken for several characters, principal component analysis firstly applied and after that the axes were rotated by varimax method for obtaining more reasonable biological meaning of each factor.

1. The first, second and third factors seemed to be representing yielding ability, plant type and tillering ability, respectively.

2. About 40 cultivars of 52 ones examined were distributed on central part of both scatter diagrams

regarding the first and second factors, and second and third factors. And the other 10 cultivars were belonging to few groups with similar characteristics. Thus, it is surmised that so far as materials are concerned, they are originated from a restricted genetic background.

3. It was found that in the plant type index, heading tillers weight/(no. of heading tillers)², there

was difference among means of each country, and there was a kind of latitudinal cline. Cultivars originated from northern latitude or continental climate tended to have few larger heading tillers (tiller weight type), and those from lower latitude or maritime climate have more smaller heading tillers (tiller number type).