HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Festuca 属における潜在的変異に関する研究 : VII. メドーフェスク同質４倍体と近縁野生種 （F. pratensis var. apennina) の雑種 F1 における収量性と種子稔性
Author(s)	杉山, 修一; 後藤, 寛治
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 15(4), 331-336
Issue Date	1987-10-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12075
Type	bulletin (article)
File Information	15(4)_p331-336.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Festuca 属における潜在的変異に関する研究

VII. メドーフェスク同質4倍体と近縁野生種 (*F. pratensis* var. *apennina*) の雑種 F_1 における収量性と種子稔性

杉 山 修 一
(北海道大学農学部附属農場)

後 藤 寛 治
(北海道大学農学部食用作物学教室)

(昭和62年5月1日受理)

Studies on Potential Variability in *Festuca*

VII. Yielding ability and fertility in the hybrid population from the crossing between synthetic autotetraploid of meadow fescue and natural tetraploid, *F. pratensis* var. *apennina*

Shuichi SUGIYAMA
(Experimental Farms, Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

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

緒　　論

メドーフェスク (*F. pratensis* Huds.) は，2倍体の寒地型牧草で，日本では主に北海道の混播草地に広く用いられている。しかし，メドーフェスクは越冬性や季節生産性にすぐれた能力を示すものの，オーチャードグラスやチモシーに比べ収量性が低いため，その利用は現在のところ2次草種の域にとどまっている。他方，北海道東北部では，オーチャードグラスは越冬性に，チモシーは季節生産性に欠点があるため，収量性を著しく向上させることができるなら，メドーフェスクはこれらの地域での主要草種になることも可能と考えられる。

メドーフェスクの育種研究については，川端ら[8]によって，まず既存品種の評価が行われた。その結果，メドーフェスクの種内変異が小さいこと，そして，そのため今後の育種の方向として，変異を拡大することの必要性が指摘された。その点，メドーフェスクは2倍体であることや，系統分化からみてもライグラス類と深い近縁関係にあること[6]などから，倍数化や種間交雑などの方法を利用して，変異を拡大できるという利点をもっている。実際に，2倍体であるライグラス類では多数の同質4倍体品種が育成されているし，近年，*Festuca-Lolium* 属間雑種由来の品種も市販されるようになっている。

著者ら[11,13]も，このような観点から，メドーフェスクの収量性を育種的に向上する試みとして，これまでコル

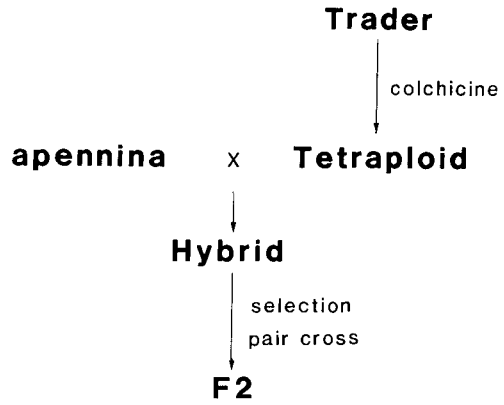

Fig. 1. A schematic representation of the past trials for improving productivity of meadow fescue.

ヒチン処理による同質4倍体の作成，近縁4倍体野生種 *F. pratensis* var. *apennina* (以下 *apennina*) の導入と評価，そして両4倍体雑種の育成と，一連の試験を続けてきている (Fig. 1)。その結果，同質4倍体と *apennina* の雑種後代には稔性が低いものの，著しく多収な個体が生じることが確認され，両4倍体間の雑種は，メドーフェスクの収量性を向上するための有望な方法になることを指摘した。本研究は，以上の可能性を検討するため，F_1 雑種集団から収量性と花粉稔性について，選抜，育成した雑種 F_2 集団の収量性と種子稔性を調査し，その実用化への可能性を検討したものである。

材料及び方法

メドーフェスク自然4倍体の *apennina* はヨーロッパの1000 m 以上の山岳地帯にのみ自生しており，外観上ほとんど2倍体のメドーフェスクとは区別できない[3]。しかし，*apennina* は強い自家不和合性システムをもつ2倍体のメドーフェスクと異なり[10]，70% 以上の高い自殖率を示したり[2]，種子休眠性や実生の耐寒性によって2倍体のメドーフェスクと標高分布を異にするなど[16]，繁殖特性や生態的特性に顕著な差異が認められる。また，農業的にも *apennina* はほふく型で栄養生長の割合が相対的に高く，放牧に適した草種であることが報告されている[14]。両者のゲノム関係についてもよく調べられており[4,9]，染色体の対合関係から *apennina* はメドーフェスクと近縁な2つのゲノムが結合した部分異質倍数体 (segmental allopolyploid) であると推察されている。

同質4倍体と *apennina* 間の交雑は，1982年に切穂栽培法により温湯除雄を利用して行った[7]。*apennina* は極早生で，しかも開花期が短かく[13]，北大で育成した同質4倍体系統とは開花期があわないため，交雑親として同質4倍体早生品種である Festina を用いた。交雑により雑種種子が得られ，そのうち同質4倍体側からとられた種子を温室で育苗し，圃場に移植して，個体乾物重，花粉稔性，結実率について調査した。供試した13個体から，個体重と花粉稔性で高い値を示した2個体を選び，1983年に隔離圃 (林木育苗圃) に株を移し，ペアークロスを行って採種した。得られた種子は1984年早春より温室で育苗し，6月19日に2倍体品種 Trader, *apennina* とともに圃場に移植した。供試個体数は雑種約140, Trader と *apennina* は約30個体である。栽植密度は畦幅1 m，株間50 cm の個体植で，移植前に N, P_2O_5, K_2O それぞれ10 a あたり4, 10, 6 kg を，また2年目の早春にも同量施用した。

調査は2年目に行ない，1番草個体乾物重，稈長，出穂始日，草型，花粉稔性，結実率を調べた。1番草個体乾物重は7月10日の登熟初期に，また稈長は7月9日に調査した。草型は6月7日の出穂初期に1個体3茎の分げつ角度を測定して，ほふく型，立ち型の指標とした。花粉稔性は開花直前に1個体3小花をとり，カルノア液で固定した後，アセトカーミン液で染色し，約500粒の花粉につき，その染色程度から稔，不稔を調べた．結実率は登熟初期に一穂をとり，その稔実種子と不稔種子の割合から求めた。Trader と *apennina* については，花粉稔性，結実率ともに5個体のみを調べた。なお，*apennina* は脱粒性が高く，結実率の調査はできなかった。

結　　果

Table 1 に，Trader, *apennina*, 雑種各々の一番草個体乾物重，稈長，出穂始日，草型，花粉稔性，結実率の平均値と標準偏差を示した。また，Fig. 2 には，花粉稔性，結実率を除いた各形質のヒストグラムを示してある。まず，個体乾物重では，雑種は平均値で305 g と Trader (141 g), *apennina* (159 g) の2倍近い値をとり，著しい多収となった。さらに，標準偏差では雑種は Trader, *apennina* に比べ3倍近く大きくなっており，雑種個体間には収量性に著しく大きな変異が生じていることが認められる。しかも，Fig. 2 のヒストグラムにみられるように，Trader, *apennina* ではモードが100～200 g のところにあるのに対し，雑種集団では300～400 g と変異がむしろ多収な方向に広がっている。なかには，894 g と極めて多収な個体もみられた。

稈長では，雑種は平均値で Trader (104 cm) と同じ値を示した。他方，標準偏差はやはり雑種で大きく，Trader や *apennina* の約2倍以上となっている。しかし，変異は高低両方向にほぼ均等の広がりを見せている。出穂始日では，雑種は Trader, *apennina* の中間の値を示した。しかも，標準偏差は Trader に比べて低く，個体レベルでみても Trader より晩生の個体が生じていないなど，他の形質のような変異の拡大は認められなかった。草型については，Trader と *apennina* には顕著な差がみられ，Trader は分げつ角度が大きく立ち型の草型を示すのに対して，*apennina* は分げつ角度が小さく，匍匐型を示す。ヒストグラムでも両者の重なりはほとんどみられない。雑種は，平均値で Trader と *apennina* の中間の値をとり，標準偏差は両者のほぼ2倍となっている。

Table 1. Mean values and standard deviations (parenthesis) of main agronomic characteristics, plant dry matter weight at flowering time, culm height, first heading date, plant form, pollen fertility and seed setting rate in populations of diploid cultivar "Trader", natural tetraploid, var. *apennina* and tetraploid hybrid derived from crossing between artificially induced autotetraploid and var. *apennina*

	No. of plants examined	Plant dry weight (g/pl.)	Culm height (cm)	First[1] heading date	Plant[2] from (degree)	Pollen[3] fertility (%)	Seed[3] setting rate (%)
Trader	29	140.8 (48.4)	104.0 (7.4)	32.2 (2.4)	72.0 (5.9)	98.6	74.7
apennina	27	159.0 (55.7)	93.4 (6.2)	2.50 (0.6)	37.4 (5.2)	98.6	……
Hybrid	140	304.9 (156.0)	104.1 (16.5)	28.1 (1.9)	57.9 (10.5)	45.4	13.5

Note 1): days from May 1.
2): tiller angle on June 7. Low value indicates prostrate habit, and high one does errect habit.
3): Only five plants were measured for pollen fertility and seed setting rate in Trader and *apennina*.

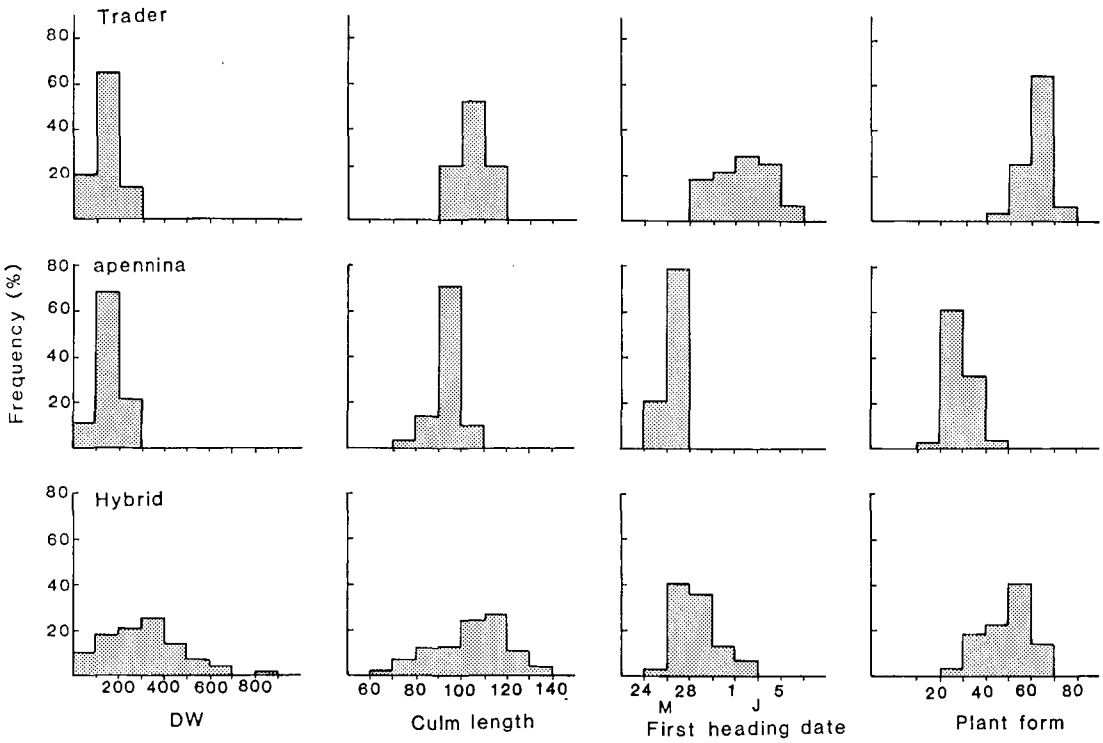

Fig. 2. Histograms of DW of the first crop, culm length, first heading date and plant form in Trader, *apennina* and hybrid population.

花粉稔性では雑種は平均値で45.4% と Trader (98.6%), *apennina* (98.6%) の半分以下の値であった。個体間でみても雑種は0% から90% までと広くばらついている。さらに，結実率になると，雑種は13.5% と，Trader (74.7%) の1/5程度と著しく低くなっている。個体レベルでも30% 以上の結実率を示したのは140個体中6個体しかなく，多くの個体は20% 以下の低い値であった。花粉稔性と結実率の間には $r=0.425$ と1% 水準

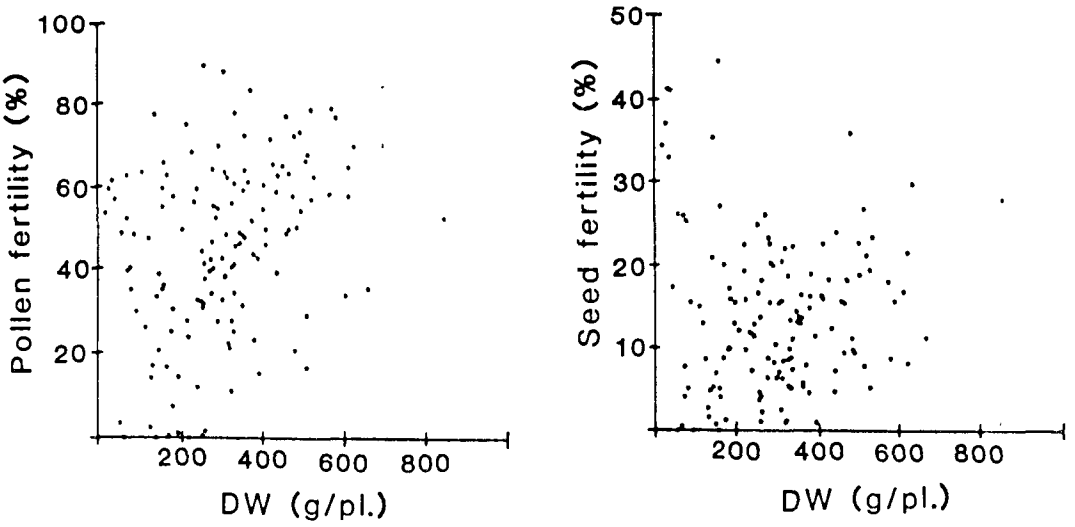

Fig. 3. The relations of the DW of the first crop to pollen fertility and to seed setting rate.

で正の高い相関関係がみられ，一般に花粉稔性の高い個体が結実率も高くなる傾向にあった。Fig. 3 には，個体乾物重と花粉稔性，結実率の間の関係を示した。個体乾物重と花粉稔性の間には $r=0.328$ と1%水準で有意な正の相関関係があり，一般に多収な個体は花粉稔性も高くなる傾向にあった。他方，個体乾物重と結実率の間には明らかな相関関係は認められなかった。

論　　議

牧草種の多くは他殖性であるため，今までの育種には主として合成品種法が用いられてきた。合成品種法の特徴は，後代検定によってすぐれた相加的遺伝子を多く含む個体を選抜することによって，集団中に優良な遺伝子の頻度を高めてゆくことにある。遺伝子頻度の世代変化は，選抜係数，優性度とともに対象となる遺伝子の頻度によって決められる[1]。したがって，この方法は育種の初期段階のように対象とする遺伝子の頻度が集団中でまだあまり高くない場合には集団の改良には効果的である。しかし，集団の改良が進み，対象とする遺伝子の頻度が高くなってくるにつれ，その遺伝子の頻度をさらに高めることは難しくなり，育種の効率は低下してくる。特に，収量のように多数の遺伝子が複雑に関与している形質では，今後合成品種法によって大きな成果をあげてゆくことがしだいに難しくなるものと思われる。

牧草種の他の育種法として倍数体育種法と種間交雑法があげられる。倍数体育種法は，2倍体であるライグラスや赤クローバ[5]でよく利用され，その有効性はすでに実証されている。他方，種間交雑法は，本試験でみられたように収量性の著しい向上をもたらす可能性を含んでいるものの，交雑種子が得にくい，得られた雑種の稔性が低い，不良形質が導入されることによって個体間に著しい不均一性が生じるなど，いくつかの問題点を含んでいる。しかし，種間交雑法はこのような欠点にもかかわらず，牧草種では将来的に有望な育種方法と考えられる。というのは，牧草では茎葉を収穫対象とし，さらに，多年生であるため毎年播種をしなくてよいなど子実作物に比べ稔性に対する厳密な要求がないこと，草地という非常に密植な条件で栽培され，定着の段階で多くの個体が死亡するため個体間の不均一さが表われにくくなるなど，種間交雑法の欠点が他の作物ほど，実際栽培上大きな障害にならないからである。

メドーフェスクの同質4倍体と *apennina* は，交雑によって雑種種子が容易に得られ，さらに，得られた雑種集団は結実率は低かったが，非常に多収であった。本試験で供試された雑種集団の F_1 と F_2 の稔性を比較すると，F_1 では花粉稔性，結実率それぞれ22.2%，10.2%，F_2 では45.4%，13.5%と，F_2 は F_1 に比べ稔性が向上する傾向がみられた。LEWIS[9]も同様にメドーフェスク同質4倍体と *apennina* 間の雑種をつくり，その染色体対合パターンと稔性を詳細に調べている。それによると，雑種 F_1 の花粉稔性は平均61%と本試験の材料より高かったが，結実率は同じように10%程度の値であった。

さらに，彼はF_1の多交配によってF_2系統を育成し，その結実率を比較した。その結果，結実率はF_1よりF_2で平均して高く，F_2系統間にも大きな差異がみられた。このことから，結実率の向上には選抜が有効に働くことが示唆され，本試験で扱った雑種集団についても，戻し交雑や系統選抜などの方法によって，今後結実率を高めてゆくことは可能と思われる。実際 WEBSTER[17] らも，さらに遠縁な *Festuca-Lolium* 雑種の後代から減数分裂の安定した稔性の高い系統を育成することに成功している。

個体植条件で多収な品種であっても，必ずしも群落条件では多収になるとは限らない[12]。また，採草，放牧利用という管理様式によっても生産力が異なってくることが報告されている[15]。一般に，採草条件では Trader のように一茎重が大きく，稈長が高いことが，逆に放牧条件では *apennina* のように分げつ数が多く，ほふく型で，生殖生長に比べて栄養生長の程度が高いことが有利となる[12]。本試験の雑種集団には，Trader を超える稈長をもつ個体や，*apennina* に似て，ほふく型で，しかも著しく高い収量性をもつ個体が生じており，これらは，個体植条件ばかりでなく，採草，放牧など多様な管理を受ける草地条件下でも同様に高い生産力を示すものと考えられる。

最後に，本研究を遂行するにあたり，材料の育成に協力いただいた九州農業試験場片岡政之氏，また圃場の管理に御援助下さった北海道大学農学部附属農場技官，青木宏氏，河合孝雄氏，佐藤浩幸氏に深く感謝いたします。

摘　　要

メドーフェスクの収量性を向上することを目的に，メドーフェスクの人為同質4倍体と自然4倍体変種 *F. pratensis* var. *apennina* 間の交雑により育成した4倍体雑種F_2集団について，収量性と種子稔性を調査し，今後の育種材料としての可能性を検討した。試験は個体植条件下で，2年目の個体を対象に行われた。

得られた結果は次のとうりである。

1) 雑種集団は，2倍体比較品種 Trader や *apennina* より平均して2倍近く多収となった。しかし，雑種集団は，個体間の変異も著しく拡大し，標準偏差は3倍近い高い値を示した。

2) 雑種集団は，稈長，出穂始日，草型などの形質では，平均値でみると Trader や *apennina* とは大きく異ならなかったが，個体間変異は2倍程大きかった。

3) 本試験の雑種集団 (F_2) は，F_1集団に比べ花粉稔性，種子稔性は高くなる傾向にあったが，花粉稔性45.4%，種子稔性13.5%と，まだ極めて低い値をとっており，今後さらに稔性を向上していく方向への改良が必要である。

引 用 文 献

1. ALLARD, R. W. (1960): Princilpes of plant breeding. Wiley, New York and London 485 pp.
2. BEAN, E. W. (1974): Seed production characteristics of tetraploid meadow fescue. *Rep. Welsh Plant Stn.* for 1973, **53**
3. BORRILL, M., B. F. TYLER and W. G. MORGAN (1976): Studies in *Festuca* VII. Chromosome atlas (part 2), An appraisal of chromosome race distribution and ecology, including *F. pratensis* var *apennina* (De Not) Hack, tetraploid. *Cytologia* **41**, 219–236
4. CLARK, J. P., CHANDRASEKHAN and H. TOHMAS (1976): Studies in *Festuca* IX. Cytological studies of *Festuca pratensis* var. *apennina*. *Z. pflanzenzuchtg*, **77**, 205–214
5. FRAME, J. (1976): The potential of tetraploid red clover and its role in the United Kingdom. *J. Br. Grassld. Soc.* **31**, 139–152
6. JAUHAR, P. P. (1975): Chromosome relations between *Lolium* and *Festuca*. *Chromosoma* **52**, 103–121
7. 片岡政之，杉山修一，高橋直秀，後藤寛治 (1984): メドーフェスク (*Festuca pratensis*) と自然4倍体変種，*F. pratensis* var. *apennina* の交雑，九州農業研究 **46**, 182
8. 川端習太郎，後藤寛治 (1973): 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，北海道農試研究資料 **2**, 1–52
9. LEWIS, E. J. (1977): Studies in *Festuca* IV. A phyletic study of *Festuca pratensis* var. *apennina* (De Not) Hack., hybridization with synthetic tetrpaloid *F. pratensis* Huds. *Genetica* **47**, 59–64
10. LUNDQVIST, A. (1961): Self-incompatibility in *Festuca pratensis* Huds. *Hereditas* **47**, 542–562
11. 杉山修一，高橋直秀，後藤寛治 (1979): *Festuca* 属における潜在的変異に関する研究 II. メドーフェスク人為4倍体における多交配後代検定，北大農学部邦文紀要 **11**, 380–385
12. SUGIYAMA, S. (1987): Adaptive strategy and

its agronomic implications of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) II. The relationship between plant type and yielding ability under the different cultural conditions. *Res. Bull. Univ. Farm.* **25**, 43-54

13. 高橋直秀, 杉山修一, 後藤寛治 (1982): *Festuca* 属における潜在的変異に関する研究 V. メドーフェスクにおける出穂, 開花習性の変異, 北大農学部邦文紀要 **13**, 460-465
14. 高橋直秀 (1985): メドーフェスクの潜在的変異に関する研究, 北大農学部農場研究報告 **24**, 1-52
15. 田中弘敬, 宝示戸貞雄, 佐藤信之助, 池谷文夫 (1980): 来歴を異にするオーチャードグラス栄養系の放牧, 刈取に対する反応と季節生産性, 日草誌 **25**, 285-294
16. TYLER, B. F., M. BORRIL and D. CHOLTON (1978): Studies in *Festuca*. X. Observation and seedling cold tolerance in diploid *Festuca pratensis* and tetraploid *F. pratensis* var. *apennina* in relation to their altitudinal distribution. *J. Appl. Ecol.* **15**, 219-226
17. WEBSTER, G. T. and R. C. BUCKNER (1971): Cytology and agronomic performance of *Lolium-Festuca* hybrid derivatives. *Crop Sci.* **11**, 109-112

Summary

Meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) is one of the main pasture species of Hokkaido. Although meadow fescue has good winter hardiness and seasonal pattern of growth, this species shows lower yielding abililty than another pasture species like orchardgrass (*Dactylis glomerata*) and timothy (*Phleum pratense*). Thus, we have tried to improve the yielding ability of meadow fescue by the following methods:

a) evaluation of the existing cultivars, b) raising autotetraploid by colchicine treatment, c) introduction and evaluation of naturally occuring tetraploid *F. pratensis* var. *apennina* and d) raising hybrid populations from crossing between autotetraploid and the natural tetraploid. As a result of these experiments, we found that although hybrid populations between the two tetraploids showed lower fertilities of pollen and seed, they have a large poptential for improving yielding ability of meadow fescue. In this experiment, therefore, we raised F_2 hybrid derived from pair crossing between F_1 hybrid plants with high yielding ability and high pollen fertility, and tried to evaluate the main agronomic characters of them under the spaced planting conditions.

The results obtained are as follows:

1) Although the hybrid population was very variable in productivity, they generally showed much higher productivity (the mean value of 305 g per plant in the first crop) than diploid cultivar, Trader (141 g) and *apennina* (159 g).

2) The hybrid population did not show higher mean values for culm length, first heading date and plant form, but was more variable in these characteristics than Trader and *apennina*.

3) The hybrid population (F_2) showed low pollen fertility (45.4%) and seed setting rate (13.5%), but showed slightly higher ones than F_1 hybrid (22.2% for pollen fertility and 10.2% for seed setting rate). Pollen fertility positively correlated with yield of the first crop ($r=0.425^{**}$), but seed setting rate did not show clear correlation with it.