

オオムギの雑種強勢に関する研究

安田 昭三*・林 二郎**・守屋 勇***

Studies on Heterosis in Barley Cultivars

Shozo YASUDA, Jiro HAYASHI and Isamu MORIYA

In cultivated barley, various hybrid injuries such as brittle rachis and hybrid weakness occur. Therefore, crossing must be done among cultivars to prevent the occurrence of such hybrid injuries. In the present study, we examined the magnitude of the heterosis in the crossings and geographical distribution of barley cultivars concerning heterosis. A few Japanese cultivars were used as the common parent for crossing.

- (1) In the six-rowed barley, 43 cultivars collected from Japan, China and Korea were crossed with non-uzu covered and naked cultivars, Shiroyoshigara 2 and Nami-Akashinriki, respectively. The largest magnitude of heterosis in grain yield per plant was obtained in the crossing between the Korean cultivar and one of the Japanese common parents.
- (2) Heterosis in two-rowed cultivars was investigated using a total of 156 F_1 s which were cross combinations of cultivars collected from the world with two common male parents, Amagi Nijo and Kawasaigoku. The heterosis was larger in the cross combinations with Turkish and Ethiopian cultivars. The largest F_1 /BP was 1.66 in Turkish and 1.45 in Ethiopian cultivars.
- (3) As to uzu or semi-dwarf cultivars peculiar to Japan, 34 cultivars were crossed with two common male parents, Sekitori (covered) and Akashinriki (naked). Expression of the heterosis was rather conspicuous in the crosses of covered $\times$ naked cultivars than those of covered $\times$

Research Institute for Bioresources, Okayama University, Kurashiki 710, Japan

平成5年10月20日受理 (Received October 20, 1993)

本研究の一部は昭和62～平成元年度文部省科研究費「栽培オオムギにおけるヘテロシスの評価：課題番号62560006」並びにビール酒造組合の研究助成寄付金によって行われた。

*岡山大学名誉教授, **倉敷市矢部527, ***岡山県吉備郡上二万174

covered and naked $\times$ naked ones.

- (4) Half diallel analysis using 10 two-rowed cultivars showed that one Ethiopian cultivar expressed a high grade of general combining ability and that one French cultivar was of higher specific combining ability.
- (5) The most effective agronomic character of the two-rowed cultivars to the grain yield per plant was number of ears in an ordinary year, while in the wet year it was 1000 grain weight. This was considered to be due to overluxuriant growth accompanied by lowering of the percentage of ripened grain. However, in some cultivars the percentage of ripened grain was not lowered under the overluxuriant growth condition.

Key words: Barley, Heterosis, Diallel analysis, Overluxuriant growth, Geographical variety

緒 言

飛躍的な多収穫をめざして自殖性作物でもヘテロシス（雑種強勢）利用が近年行われるようになり、世界的にはカナダのコムギに続いてイネでも中国で実用化されている。これらは何れも雄性不稔の細胞質と稔性回復遺伝子を利用したものである。オオムギの場合は、雄性不稔細胞質の発見が遅れたため、Wiebe and Ramage (1971) により、遺伝子支配の雄性不稔性と平衡三次の三染色体植物 (Balanced tertiary trisomics) を利用した採種システムが開発された。しかし、今のところ実用化されたとは言い切れない。1978年になって、Ahokas が近縁野生種の *Hordeum spontaneum* の系統から雄性不稔細胞質と稔性回復遺伝子を発見し、再び雑種オオムギ実用化の可能性が考えられるようになった。

栽培オオムギの場合、Takahashi (1955) によって提唱されたいわゆる東亜型、西域型の分化があり、2種の補足遺伝子 (Bt と Bt_2) によって支配される小穂脱落性はこの分化に深く関わっていて、東亜型と西域型品種の間の F_1 は、多くの場合小穂が脱落することが知られている。また、雑種黄化 (Takahashi and Hayashi 1971)、雑種弱勢 (Konishi 1987)、雑種矮性 (Hayashi and Yasuda 1987)、雑種致死 (高橋ら 1971) などいずれも補足遺伝子によって支配される F_1 の生育阻害現象が見出されている。このような点からみると、オオムギの場合は交雑の範囲が著しく狭められ、遠縁の品種間交雑が行えないくらいがある。

本研究では、自殖性作物であるオオムギでどの程度の雑種強勢が現れるか、優良交配組み合わせに特定の地域間、遺伝子型間の特異性があるかなどについて、少数の品種を共通親として交配し、その F_1 の評価を行った。ここに結果をとりまとめて報告する。

材料および方法

上述のように、オオムギでは種々の補足遺伝子系によって F_1 に障害が現れる場合があり、さらに、六条と二条品種の交雑では、 F_1 の側列粒の発育に程度の差を生じ、収量の正しい評価が困難である。このため、本研究では六条品種群と二条品種群とに分けて試験を行った。

また、日本特有の自然突然変異である渦性遺伝子 (*uz*) を保有する渦性品種についても、これらを一群として比較を行った。

(1) 東アジアの六条品種間の交雑

日本、朝鮮半島及び中国の並性六条品種43を片親にし、これらに日本の在来品種で並性六条の皮性品種、白ヨシガラ22号及び後述の渦性品種赤神力の準同質遺伝子系統である並性裸の並赤神力を交雑した。渦性品種については、日本各地の34品種を用い、それに東日本及び西日本でそれぞれ代表的な在来品種、関取2号（皮性）及び赤神力（裸性）を交雑し（計60交雑）、その F_1 と両親とを用いた。これらの品種はいずれも小穂脱落性に関して東亜型 (*Btbt₂*) であるため、 F_1 はすべて小穂非脱落である。以上の F_1 と両親をそれぞれ1区1 F_1 あるいは1品種あたり10個体ずつを2～3反復で11月中旬に圃場に播種し（個体植）、収量及びその関連形質を個体単位で調査した。なお、皮麦と裸麦との F_1 は皮性となるが、裸麦同士の交雑では裸性となる。したがって、裸性の場合は穀粒のふ歩合によって収量を修正し、皮性に換算して比較した。

(2) 二条品種間の交雑

材料とした二条品種は、日本15品種、トルコ30品種、ヨーロッパ20品種及びエチオピア13品種の計78品種である。これらに日本のビール用二条品種あまぎ二条及び飼料用二条品種カワサイゴクを共通親としてそれぞれ交雑し、計156種の F_1 を作った。 F_1 と親品種は、1区各16個体ずつを慣行の播種密度の約1/2の疎植条件で、11月中旬に圃場に2反復で播種した。本実験に用いた品種は、小穂脱落性に関してすべて西域型であり、したがって F_1 の小穂はすべて非脱落型であった。

二条品種では、特にビール醸造用の場合、タンパク含量が問題になる。そこで本材料について穀粒の粗タンパク量を測定した。方法は、十分乾燥させた穀粒をスウェーデンのテイクーター社製のケルテックII型を用いて全窒素量を測定し、粗タンパク含有率（%）を算出した。分析測定は1試料に対して2回ずつ行い、その平均値を測定値とした。

(3) 二条品種のダイアレル分析

日本、トルコ、エチオピア及びヨーロッパの二条オオムギ10品種について総当たり交配（片面）を行い、親と F_1 を秋播き栽培（11月15日播種）して F_1 に現れるヘテローシスの程度を調べた。反復は3回、1区1交雑当たり10個体とし、株間8cmの1本植えとした。調査形質は、個体当たり子実収量とその関連形質で、ダイアレル分析はMorley-Jones (1965) の方法によった。

結 果

1. 東アジアの六条品種間の交雑

(1) 並性品種

Table 1 (A)には、収量及びその構成形質について、非共通親品種の各地域別の平均値と共通親の平均値を、(B)には F_1 の各地域別の平均値をそれぞれ示した。非共通親に用いた日本の品種は、他地域の品種に比べて平均的に短程であるが、多収で1000粒重は重い。これに対して、朝鮮半島からの品種は穂数が多く、中国の品種は程が長い特徴が見られる。小穂段数、1株穂数、地上部重については、平均値の差は認められない。次に Table 1 (B)により F_1 に

ついてみると、収量、小穂段数、1株穂数及び地上部重では各地品種との F_1 のあいだに平均値の差は認められない。しかし、中国の品種との F_1 は稈長が特に長く、また日本の品種との F_1 は1000粒重が多少とも大きい。

Table 2 には、Table 1 に示した 6 形質について、ヘテロシスの程度を F_1 と両親の平均値 (Mid-parent) との比 (F_1 /MP)、及び F_1 と優れた親 (Better-parent) との比 (F_1 /BP) によって表した。

Table 1. Means and standard deviations of six agronomic characters of parents(A) and their F_1 s(B) in non-uzu type of six-rowed cultivars

(A) Means of female parents and common male parents

Origin of female p.	No. of cvs	Grain y.(g) $\bar{x}$ (S.D.)	1000 g.w.(g) $\bar{x}$ (S.D.)	Stem l.(cm) $\bar{x}$ (S.D.)	Triplet n. $\bar{x}$ (S.D.)	Ear n./p. $\bar{x}$ (S.D.)	Top w.(g) $\bar{x}$ (S.D.)
Female parents							
Japan	10	29.6(4.07)	36.3(2.94)	111.5(10.15)	24.3(2.09)	13.0(1.64)	51.8(7.62)
Korea	22	27.7(3.62)	33.4(4.68)	117.0(11.30)	23.8(2.30)	13.7(1.45)	50.2(6.12)
China	11	26.3(2.50)	34.6(3.97)	126.4(12.11)	23.7(2.02)	13.2(1.95)	51.1(5.36)
Common male parents							
Shiroyoshi.		31.9	43.1	118.2	24.2	12.2	60.2
Nami-Akashin.		32.2	37.3	122.3	27.5	12.0	56.4
Mean		32.1	40.2	120.3	25.9	12.1	58.3

(B) Means of F_1 s

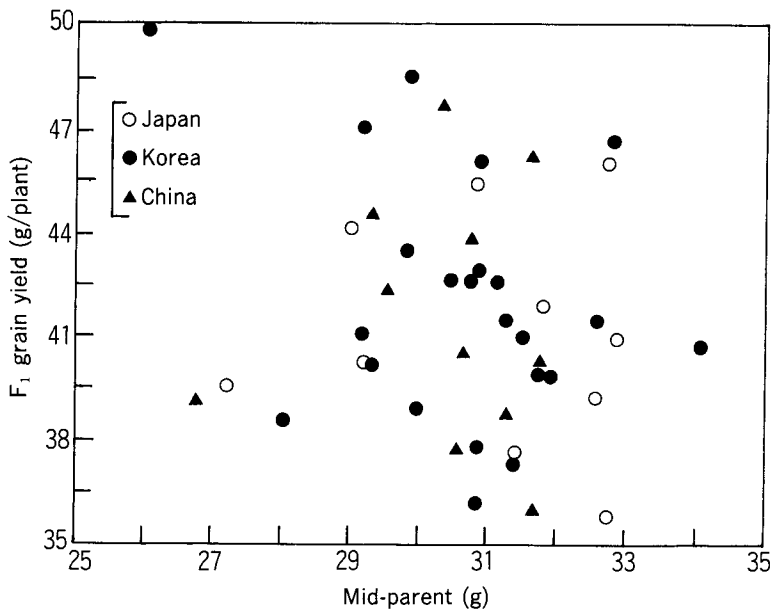
Origin of female p.	Grain y.(g) $\bar{x}$ (S.D.)	1000 g.w.(g) $\bar{x}$ (S.D.)	Stem l.(cm) $\bar{x}$ (S.D.)	Triplet n. $\bar{x}$ (S.D.)	Ear n./p. $\bar{x}$ (S.D.)	Top w.(g) $\bar{x}$ (S.D.)
Japan	41.1(3.35)	42.5(2.82)	121.2(6.00)	26.2(1.18)	14.4(1.34)	70.8(5.36)
Korea	41.8(3.52)	39.8(4.40)	123.8(6.61)	25.6(1.82)	15.4(1.47)	72.1(7.70)
China	41.5(3.71)	39.6(4.16)	130.3(6.44)	26.4(1.64)	14.9(1.02)	73.7(8.38)

Table 2 によると、収量及び地上部重ではヘテロシスが顕著に現れた。収量については、特に朝鮮半島の品種との間に高いヘテロシスを示す組み合わせがあり、 F_1 /BP の最高値は収量については1.56であり、地上部重では1.51あった。また1株穂数についても、上記2形質ほど顕著ではないが、高いヘテロシスが認められた。これに対して、稈長、小穂段数では多少ヘテロシスが認められたが、その最高値はかなり低く、おおむね1.1に近い値であった。1000粒重については、 F_1 /BP の平均値が1以下（朝鮮半島及び中国）の地域があり、これら6形質の中では最もヘテロシスの発現程度が低かった。

Fig. 1 には収量について、MP と F_1 の関係を示した。これによると、 F_1 の収量は、MP の値とは直接関係が認められなかった。すなわちこの場合は、 F_1 の収量は共通親でない他方の親の収量の多少と関係がないことを示し、この傾向は供試した F_1 全体でも、各地域単位でも変わらなかった。

Table 2. F_1 /MP and F_1 /BP in the crosses between six-rowed cultivars from East Asian countries and 2 Japanese six-rowed cultivars

Female (No. cvs)	Item	Grain y.	Stem l.	Triplet n.	Ear n./p.	1000 g.w.	Top w.
		$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)
Japan (10)	F_1 /MP	1.33(1.53)	1.06(1.12)	1.07(1.14)	1.15(1.34)	1.08(1.16)	1.27(1.44)
	F_1 /BP	1.25(1.38)	1.02(1.11)	1.04(1.08)	1.09(1.30)	1.00(1.07)	1.18(1.31)
Korea (22)	F_1 /MP	1.37(1.92)	1.05(1.17)	1.05(1.13)	1.19(1.59)	1.07(1.15)	1.32(1.83)
	F_1 /BP	1.27(1.56)	1.01(1.06)	1.00(1.08)	1.11(1.50)	0.96(1.07)	1.22(1.51)
China (11)	F_1 /MP	1.37(1.55)	1.06(1.10)	1.07(1.22)	1.17(1.31)	1.05(1.13)	1.34(1.51)
	F_1 /BP	1.25(1.39)	1.03(1.07)	1.03(1.21)	1.11(1.21)	0.98(1.07)	1.26(1.45)

Fig. 1. Relationship between F_1 s with common male parents and their mid-parents in Japanese, Korean and Chinese six-rowed barley cultivars.

(2) 渦性品種

渦性品種は34品種を材料としたが、関取2号（皮性）を共通親とした場合の F_1 は非共通親に34品種全部を、赤神力（裸性）を共通親とした場合の F_1 は、非共通親として34品種中の26品種を用いた。Table 3 (A)には非共通親の、(B)には F_1 の平均値と標準偏差を示した。

Table 3 (A)によると、赤神力との交雑に用いた品種は、関取2号との交雑に用いた品種より8品種少なかったが、両者の間には平均値にほとんど差が認められなかった。一方 F_1 の場合 (Table 3B) は、平均値からみると共通親によって差が認められ、赤神力との F_1 は関取2号との F_1 に比べて長稈となり、地上部重も増加したが、1000粒重は多少低くなる傾向があった。

Table 3. Means and standard deviations of six agronomic characters of female parents(A) and their F₁s(B) in uzu type of six-rowed cultivars

(A) Female parents

Crossed	No. of	Grain y.(g)	1000 g.w.(g)	Stem l.(cm)	Triplet n.	Ear n./p.	Top w.(g)
with	cvs	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)
Sekitori	34	15.5(2.90)	30.5(1.97)	101.3(10.11)	24.8(2.32)	8.6(1.19)	28.1(5.16)
Akashinriki	26	15.8(2.68)	30.3(1.88)	103.5(8.94)	25.4(2.22)	8.5(0.86)	28.7(5.03)

(B) Means of F₁s

Crossed	No. of	Grain y.(g)	1000 g.w.(g)	Stem l.(cm)	Triplet n.	Ear n./p.	Top w.(g)
with	F ₁ s	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)	$\bar{x}$ (S.D.)
Sekitori	34	20.0(2.49)	34.3(2.01)	104.8(6.38)	25.4(1.44)	9.6(0.85)	35.0(4.49)
Akashinriki	26	21.3(1.99)	32.1(1.55)	111.2(6.58)	26.4(1.34)	9.5(0.73)	37.8(3.57)

次に、これらの交雑におけるヘテローシスの発現程度を見ると (Table 4)、日本のしかも渦性という限られた草型の品種同士のF₁雑種ではあるが、収量や地上部重ではヘテローシスが顕著であった。そしてその他の形質についても、平均的にBPと同等かMPを多少上回る値を示した。また、共通親に関取2号と赤神力を用いたが、同じ品種をそれぞれの相手親とした場合の2種のF₁の間の相関は、どの形質についても有意ではなかった。なお、MPとF₁の収量の関係を共通親別にFig. 2に示した。これによると、関取2号を共通親にした場合はかなり高い正の相関 ($r=0.64^{**}$) が見いだされたが、赤神力を共通親にした場合は相関はごく低かった。

渦性品種については、次に皮麦同士、裸麦同士及び皮麦と裸麦との交雑の間で、ヘテローシス発現の程度が異なるかどうかを調べた。Fig. 3によると、皮麦同士、裸麦同士の交雑によるF₁より、裸麦×皮麦あるいはその逆交雑のF₁のほうがヘテローシス (F₁/MP) の程度が高い組合せの多いことが認められた。

Table 4. F₁/MP and F₁/BP in two kinds of crossings (A, B) of uzu cultivars and correlation coefficients between the A and the B of the F₁/MP

Crosses	Item	Grain y.	Stem l.	Triplet n.	Ear n./p.	1000 g.w.	Top w.
with		$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)	$\bar{x}$ (Max.)
(A)	F ₁ /MP	1.22(1.45)	1.07(1.14)	1.05(1.12)	1.08(1.20)	1.09(1.20)	1.22(1.49)
Sekitori	F ₁ /BP	1.13(1.36)	1.02(1.12)	1.01(1.10)	1.02(1.23)	1.05(1.19)	1.14(1.37)
(B)	F ₁ /MP	1.23(1.66)	1.10(1.17)	1.03(1.09)	1.06(1.28)	1.06(1.18)	1.22(1.64)
Akashin.	F ₁ /BP	1.11(1.43)	1.04(1.13)	1.00(1.07)	1.00(1.18)	1.00(1.17)	1.12(1.39)
Cor.coef.	r	-0.132	-0.169	0.000	0.346	-0.320	-0.211

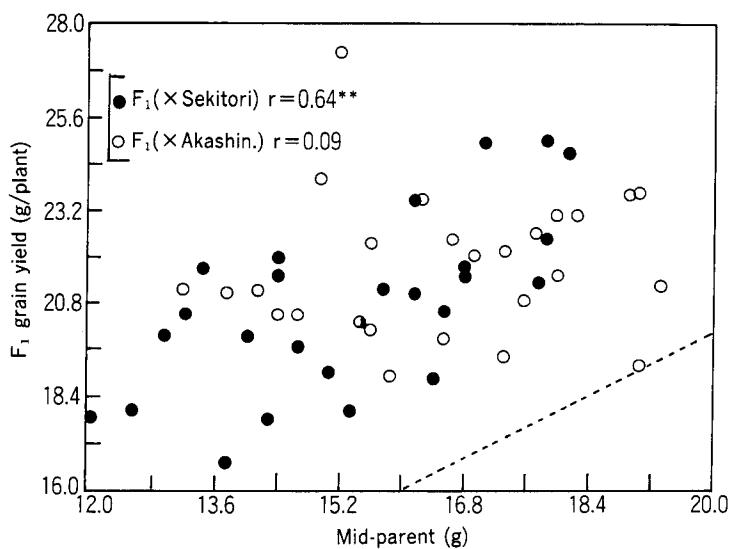


Fig. 2. Relationship between F_1 s and their mid-parents in grain yield per plant of uzu or semi-brachytic cultivars. Sekitori 2 (covered) and Akashinriki (naked) were used as the common parents. (* *: Significant at 1% level).

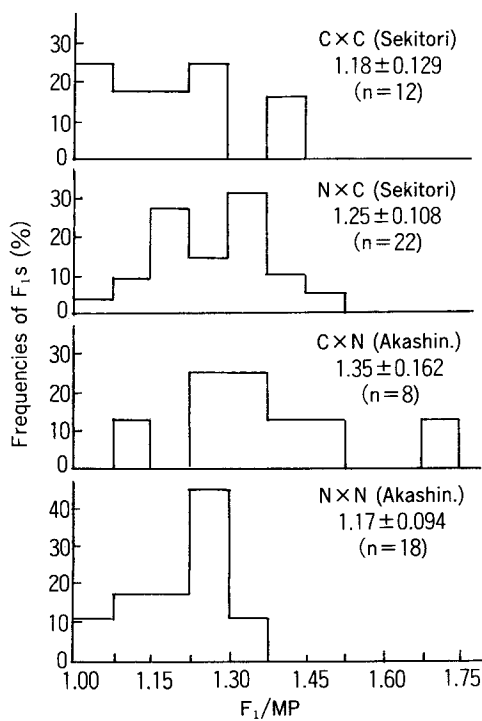


Fig. 3. Heterosis in grain yield per plant of F_1 s with two common parents, Sekitori 2 and Akashinriki. (C: covered, N: naked).

2. 二条品種間の交雑

(1) 収量と構成要素のヘテローシス

二条品種については、共通親にあまぎ二条とカワサイゴクとを用いた。収量及びその構成要素について、非共通親及び両 F_1 の結果を Table 5 に地域別に示した。この表で、非共通親における各形質の平均値を見ると、1000粒重はエチオピアの品種が平均的に重く、稈長はヨーロッパの品種が概して長稈で、トルコやエチオピアの品種は短稈であった。穂と茎葉を含めた地上部重はヨーロッパの品種が最も重かった。 F_1 における結果は Table 5 (B) と (C) に示したが、これによると、両種 F_1 の値は稈長で多少の差が認められたが、他の形質ではごく類似した値であった。そして、非共通親の値と比べると、どの形質についても F_1 は非共通親を上回る平均値を示した。すなわち、 F_1 では何れの形質についても、またどの地域の品種との交雑についても強勢が現れたといえる。

Table 5. Means and standard deviations of six agronomic characters in the two-rowed female parental cultivars and their F_1 s(B, C) with two different two-rowed male parents

Origin of female p.	Grain y.(g) $\bar{x}$ (S.D.)	Stem l.(cm) $\bar{x}$ (S.D.)	1000 g.w.(g) $\bar{x}$ (S.D.)	Triplet n. $\bar{x}$ (S.D.)	Ear n./p. $\bar{x}$ (S.D.)	Top w.(g) $\bar{x}$ (S.D.)
(A) Female parents						
Japan	13.9(1.89)	116.1(14.05)	43.7(3.23)	29.3(3.00)	12.3(1.78)	30.9(4.26)
Turkey	15.1(1.91)	112.4(9.38)	44.0(3.72)	28.6(1.71)	14.3(2.46)	32.1(3.15)
Europe	15.0(1.75)	119.5(12.14)	44.0(4.01)	29.8(2.68)	12.9(1.81)	34.0(4.55)
Ethiopia	14.3(1.69)	111.3(6.67)	49.1(4.14)	26.2(2.15)	11.9(1.65)	29.6(2.60)
(B) F_1 crossed with Amagi Nijo						
Japan	16.5(1.23)	116.5(6.20)	44.5(1.36)	30.6(1.61)	13.4(1.16)	34.3(2.45)
Turkey	19.4(1.89)	117.0(5.26)	46.0(2.27)	31.2(0.99)	15.5(1.66)	39.8(3.62)
Europe	18.2(1.65)	120.3(5.22)	45.6(2.29)	31.1(1.05)	14.3(1.16)	38.6(3.38)
Ethiopia	19.9(1.80)	116.0(4.62)	48.5(1.77)	31.2(1.16)	14.8(1.82)	39.7(3.39)
(C) F_1 crossed with Kawaigaoku						
Japan	16.2(1.54)	117.3(8.06)	43.9(1.21)	39.7(1.58)	13.6(1.01)	34.2(3.61)
Turkey	19.8(2.23)	121.0(4.45)	46.6(1.80)	31.6(1.13)	15.5(1.98)	40.9(4.20)
Europe	18.1(1.78)	120.8(7.13)	45.9(2.37)	31.2(1.23)	14.0(1.05)	38.5(3.61)
Ethiopia	19.4(2.25)	119.4(4.29)	48.6(2.48)	31.8(0.92)	14.3(1.51)	39.5(4.03)

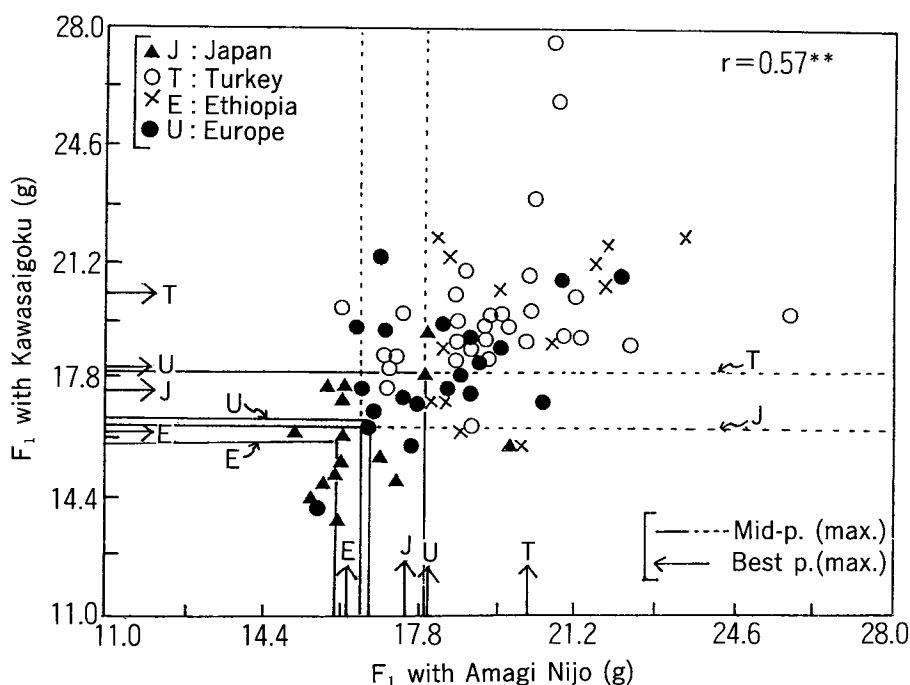
Number of female parental cultivars tested: Japan 15, Turkey 30, Europe 20, Ethiopia 13

Fig. 4 には、あまぎ二条とカワサイゴクをそれぞれ共通親とした 2 種の F_1 の収量の分布状況を示した。これによると、日本の品種との F_1 は概して低収で、ついでヨーロッパ品種との F_1 が低く、エチオピアやトルコ品種との F_1 は高収であった。特にトルコ品種との F_1 の中には飛び抜けて高収を示す組み合わせが認められた。同一品種を母親とし、それにあまぎ二条及びカワサイゴクをそれぞれ交配した 2 種の F_1 の間の相関は高く (0.57)、あまぎ二条との交雑で高収を示す組み合わせは、カワサイゴクとの交雑でも高収を示す傾向がある。稈長その他についても、両種 F_1 間には高い相関関係が認められた (Table 6)。これはあまぎ二条とカワサイゴクとの近縁係数 (酒井 1957) が 0.22 とごく近縁であったためと考えられる。

Table 6. Correlation coefficients between two kinds of F_1 s with different male parents*

Grain yield	Stem length	No. of ear/p.	1000 grain weight	No. of triplet	Top weight
0.570**	0.775**	0.606**	0.775**	0.740**	0.464**

*: Amagi Nijo and Kawaigaoku ** : Significant at 1% level

Fig. 4. Relationship of grain yield per plant in two kinds of F_1 s having common female parents. (** : Significant at 1% level).Table 7. F_1 /MP and F_1 /BP in the crosses between two-rowed cultivars from different countries and 2 Japanese two-rowed cultivars

Origin of female p.	Item	Grain y. $\bar{x}$ (Max.)	Stem l. $\bar{x}$ (Max.)	No. ear $\bar{x}$ (Max.)	No. triplet $\bar{x}$ (Max.)	1000 g.w. $\bar{x}$ (Max.)	Top w. $\bar{x}$ (Max.)
Japan (30)*	F_1 /MP	1.11(1.39)	1.08(1.16)	1.02(1.17)	1.03(1.10)	1.04(1.10)	1.09(1.40)
	F_1 /BP	1.04(1.27)	1.01(1.15)	0.95(1.16)	1.00(1.06)	1.01(1.07)	1.05(1.27)
Turkey (60)*	F_1 /MP	1.28(1.66)	1.12(1.22)	1.09(1.37)	1.07(1.14)	1.08(1.20)	1.05(1.27)
	F_1 /BP	1.23(1.66)	1.06(1.21)	1.02(1.32)	1.04(1.12)	1.05(1.13)	1.22(1.67)
Ethiopia (26)*	F_1 /MP	1.32(1.57)	1.11(1.19)	1.05(1.27)	1.04(1.15)	1.07(1.21)	1.17(1.55)
	F_1 /BP	1.23(1.45)	1.06(1.13)	1.03(1.39)	1.05(1.12)	0.99(1.10)	1.21(1.41)
Europe (40)*	F_1 /MP	1.19(1.53)	1.10(1.19)	1.05(1.27)	1.04(1.15)	1.07(1.21)	1.17(1.55)
	F_1 /BP	1.14(1.42)	1.02(1.14)	0.98(1.16)	1.01(1.10)	1.03(1.19)	1.11(1.45)

* Number of F_1 s

Table 7 には収量とその構成要素についてのヘテロシスの程度を示したが、共通親のあまぎ二条とカワサイゴクが近縁であったため、ここでは両方の F_1 の平均値で表示した。この表によると、各地域の品種とも種々の程度のヘテロシスを示した。ヘテロシスの発現は収量や地上部重で特に顕著であり、各地域間ではトルコ及びエチオピア品種で高い値が認められた。トルコ品種の中にはその F_1 が高収親 (BP) の1.5倍以上を示す組合せもあった。これらに比べて日本とヨーロッパの品種の場合は、ヘテロシスの程度が低かった。

(2) 収量と構成要素との関係

非共通親と F_1 について、収量とその構成要素との関係は Table 8 に示してある。Table 8 の各相関係数及び標準偏回帰係数からみると、収量に関係する形質の中で、最も関与の程度が高かったのは穂数であった。これは非共通親品種の場合も F_1 の場合も全く同様な関係を示しているため、二条型のオオムギを疎植した場合は、過繁茂の問題はあるにしても、穂数に対する配慮が必要であろう。本研究の結果では (Table 7)、日本やヨーロッパの品種群では平均的に穂数の F_1 /BP が1以下であったが、トルコやエチオピアの品種の中には、組み合わせによっては1.3~1.4程度のものが含まれていた。

Table 8. Correlation coefficients (r) between grain yield (Y) and four characters (xi) and standard partial regression coefficients (b') of Y on xi

Item	Female parents		F_1 s with Amagi Nijo		F_1 s with Kawasaigoku	
	r	b'	r	b'	r	b'
x1: Stem length	0.201	0.139	-0.043	0.049	0.270*	0.058
x2: No. of ear	0.662**	1.076	0.770**	0.857	0.798**	0.779
x3: No. of triplet	0.223	0.514	0.136	0.013	0.344**	0.186
x4: 1000 grain wt.	-0.028	0.660	0.452**	0.483	0.518**	0.418
R^2	0.818		0.894		0.914	

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively

Table 9. Percentage of mean crude protein per plant (A) and mean crude protein yield per plant (B)

Item	Japan(n=15)*		Turkey(n=30)*		Europe(n=20)*		Ethiopia(n=13)*	
	A(%)	B(g)	A(%)	B(g)	A(%)	B(g)	A(%)	B(g)
Female parents	10.79	1.43	9.65	1.42	10.11	1.47	10.61	1.46
F_1 with Amagi Nijo	9.84	1.57	9.21	1.76	9.55	1.69	9.55	1.85
F_1 with Kawasaigoku	10.03	1.59	9.44	1.83	9.74	1.72	9.83	1.86
Male parent:								
Amagi Nijo	9.8	1.53						
Kawasaigoku	10.4	1.72						

*: No. of F_1 s

(3) 粗タンパク含量

次に穀粒の粗タンパク含有率について述べる。Table 9 には非共通親と F_1 の粗タンパク含有率(%)を地域別に示した。これによると、どの地域の場合も、 F_1 のタンパク含有率は非

共通親のそれより低く、含有率に関しては少なくとも F_1 の増加方向へのヘテロシスは認められなかった。そこで実用上の見地から個体あたりのタンパク収量を算出した (Table 9)。これをみると、非共通親の地域間では差がほとんど認められない。しかし F_1 平均値は親の平均値を上まわり、ヘテロシスが明らかに認められた。そして日本の品種群の平均値は概して低く、エチオピア品種群の平均値がもっとも高かった。

3. 二条品種のダイヤレル分析による組合せ能力の評価

用いた材料は、ゴールデン埼 1 号、春星、トルコ 156、トルコ 372、エチオピア 35、ロシア 80、Cygne、Primus、Bonus 及び Palma の計 10 品種と、これらの総当たり片面交配の F_1 である。

Table 10 には、Morley-Jones (1965) の方法による片面ダイヤレルの分散分析の結果を示した。

Table 10 によると、収量及びその構成 4 形質の何れの場合も、いわゆる一般組合せ能力 (a : 遺伝子相加効果) 及び特定組み合わせ能力 (b) は有意であった。特に特定組合せ能力については、これを分割した平均優性効果 (b_1)、特定親系統における優性効果 (b_2) 及びその他の優性効果 (b_3) も、何れも有意な値を示した。いま、Griffing (1955) の方法により一般組合せ能力 (GCA) と特定組合せ能力 (SCA) の検定を行うと (Table 11)、GCA はすべての形質で有意であったが、SCA は穂数では有意でなかった。したがって、本実験では、穂数の場合に多少問題があるが、その他の収量形質については、遺伝子の相加的効果及び優性

Table 10. Variance analysis for half diallel cross using 10 cultivars in two-rowed barley

Source	d.f.	Grain yield	1000grain w.	No.of ear/p.	No.of triplet
		M.S.	M.S.	M.S.	M.S.
a	9	23.929**	145.775**	24.374**	27.653**
b	45	23.390**	10.576**	2.523**	2.197**
b_1	1	490.106**	66.129**	42.050**	29.410**
b_2	9	13.800**	14.863**	2.313	2.949**
b_3	35	12.522**	7.886**	1.448	1.227**
Error	108	4.931	2.117	1.266	0.221
Total	162				

* : After Morley-Jones (1965), ** : Significant at 1% level

Table 11. Variance analysis for general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA)#

Item	d.f.	Grain yield	1000 gain weight	No. of ear	No. of triplet	Significance
		M.S.	M.S.	M.S.	M.S.	
GCA	9	31.491*	128.858**	20.872**	15.380**	(GCA/SCA)
SCA	35	12.522	7.886**	1.447	2.398**	(SCA/Error)
Error	88	11.299	4.885	2.881	0.511	

: After Griffing (1955), *, ** : Significant at 5% and 1% levels, respectively

効果の存在が示唆されたと言える。

次に10品種のうち代表的な5品種について、Table 10に示した4形質に稈長及び収穫指数を加えた6形質のアレー平均値とアレー内の変異係数とをFig. 5に示した。この図によると、平均的にもっとも多収であったのはエチオピア35とのF₁で、1000粒重についてもその平均値は最も高かった。そして、エチオピア35とのF₁の収量や1000粒重についてのアレー内での変動は他に比べて小さく、個々の成績を検討した結果、エチオピア35とのF₁は常に多収であり、一般的な組合わせ能力の高い品種であることが推定された。一方、Cygne(フランス)を片親としたF₁は平均的に低収であったが、アレー内の変異係数は大きく、この組合せの中には多収のF₁も含まれた。したがって、Cygneは組合せによって多収のF₁を得る可能性のある特定組合せ能力の高い品種と考えられる。

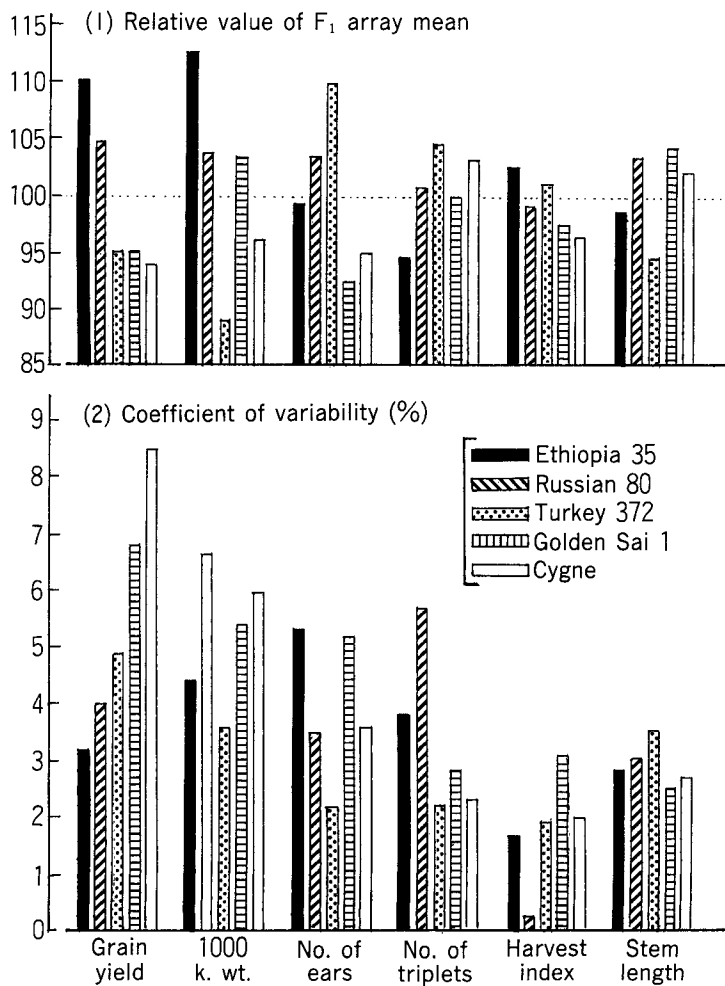


Fig. 5. Relative values of F₁ array means to over-all F₁ mean, and coefficients of variability (genetic) in F₁ array of six characters in diallel cross.

Table 12 には、収量とその構成要素との関係について、相関係数と標準偏回帰係数を示した。この表によると、 F_1 の場合も親品種の場合も収量ともっとも関係が深かったのは1000粒重であった。そして、ヘテロシス (F_1/MP) についても、1000重におけるヘテロシスと収量におけるヘテロシスの関係は密接であった。

Table 12. Correlation coefficients (r) between grain yield (Y) and four characters (xi) and standard partial regression coefficients (b') of Y on xi

Item	F_1		P		F_1/MP	
	r	b'	r	b'	r	b'
x1: 1000 grain w.	0.71**	1.13	0.77**	0.73	0.80**	0.58
x2: No. of ear	0.21	0.59	-0.61*	-0.00	0.50**	0.36
x3: No. of triplets	-0.09	0.41	0.19	0.15	0.52**	0.19
x4: Stem length	-0.03	-0.13	0.50	0.10	0.59**	0.21

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively

次に、エチオピア35を片親とする F_1 が多収であった原因を調べるため、エチオピア35と Cygne の F_1 のアレーを比較した (Fig. 6, Table 13)。これらの結果によると、エチピア35を片親とする F_1 の1000粒重は、Cygne を片親とする F_1 より常に大きく、また登熟歩合は、 F_1 の場合もエチオピア35自身も、Cygne のそれらより高かった。この結果から見ると、エチピア35は、過繁茂の状態で生産性を高める特性を持つ品種と言えるだろう。

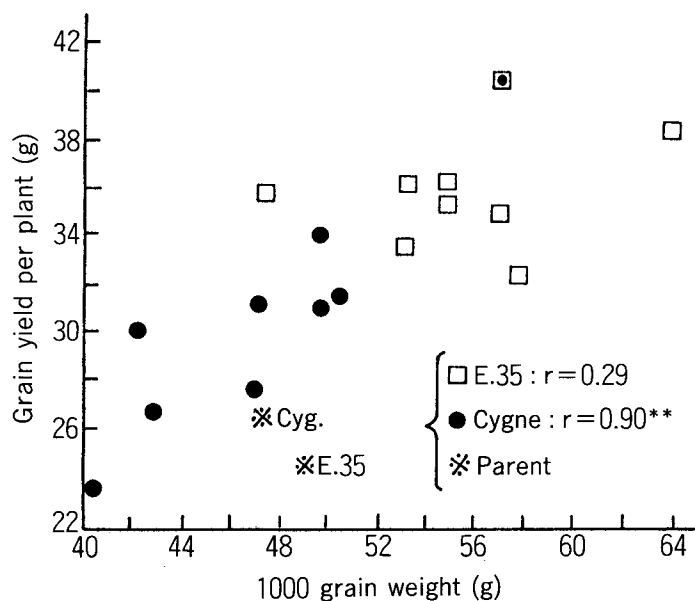


Fig. 6. Relationship of 1000 grain weight and grain yield per plant in F_1 arrays with Ethiopia 35 and with Cygne.

Table 13. The mean values of 1000 grain weight and those of percentage of ripened grain in Ethiopia 35 and Cygne and their F_1 array

Parent	Grain weight(g)		Ripened grain(%)	
	F_1	P	F_1	P
Ethiopia 35	55.5	49.0	90.7	98.0
Cygne	47.3	47.1	85.0	86.0
Difference#	8.2**	1.9*	5.7**	12.0**

#: Significance of the differences in the percentage of ripened grain were estimated from arcsine $\sqrt{\%}$

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively

考 察

本研究の主な目的の一つは、自殖性作物のオオムギで品種間の交雑によりヘテローシスがどの程度現れるかを知ることであった。栽培オオムギの場合は、初めに述べたように、2種の補足遺伝子によって発現される多くの障害がある。したがって、それらの障害の発現しない品種間交雑を行わざるをえない。またもう一つの目的は、ヘテローシスの発現には品種分布の地域性があるかどうかということを確認することであった。その理由は、オオムギではTakahashi (1955)の示した東亜型、西域型などの品種の分布特異性があるからである(Konishi 1987)。このような目的でなるべく多くの品種を検定するために、限られた日本の品種を共通的な交雑親とした。

以上のような限定された範囲の交雑にもかかわらず、本研究ではヘテローシスの存在が認められた。一般的に言うと、六条品種では朝鮮半島の品種の中に優れた親(BP)以上に F_1 雑種が多収を示す組合せがあった。二条品種の場合はトルコやエチオピア品種の中にBPをはるかに凌ぐ組合せがあり、また両地域の品種は日本の共通親品種との間に平均的に高いヘテローシスを示した。

日本の二条品種は明治以降欧米から導入された二条品種をもとにして育成されたことはよく知られている(目黒 1967, 高橋 1980)。したがって、日本の二条品種を共通親とした時に、トルコやエチオピア品種よりヨーロッパ品種においてヘテローシスの発現程度が低かったのは、このような事実が関係しているのかもしれない。また本研究では、過性品種の間のヘテローシスについても調べたが、ここでも供試品種の間にヘテローシスの発現程度に地域性が認められた。この場合、共通親として皮麦の関取2号と裸麦の赤神力とを用いたが、皮麦同士あるいは裸麦同士の交雑の F_1 より、皮麦×裸麦の F_1 の場合にヘテローシスが顕著に現れた。過性品種の場合、従来皮麦は東日本、裸麦は西日本に主として栽培されていたが、それが両種の間の遺伝的分化の違いに関係したものと考えられる。

次に二条品種については、各地域よりの10品種を用いて片面ダイヤレル分析を行った。その結果、全体的に一般組合せ効果(遺伝子相加効果)は、収量、1000粒重、1株穂数及び小穂段数の何れについても認められ、特定組合せについては優性効果が有意であった。具体的には、供試品種の中ではエチオピア35との F_1 が常に多収であり、一般組合せ能力が特に高かった。また、フランスのCygneは、平均的には低収であったが、アレー内の変異係数は大き

く、組合せによっては多収の F_1 を得る可能性のある特定組合せ能力の高い品種であった (Fig. 5)。これらの品種の存在は雑種オオムギの実用化の可能性を示唆するものであろう。

本研究では二条性の非共通親及び F_1 について、収量とその構成要素の関係を解析した。その結果、世界各地の78品種を非共通親とした試験では、親品種も F_1 も収量に最も関係の深い構成要素は1株穂数であった。しかし、10品種のダイアレル分析の試験では1000粒重が収量に最も寄与の程度が高かった。両試験は年次を異にし、ダイアレル分析を行った年は、春の降雨が多く、稈が例年になく伸長し過繁茂の状態になった。したがって登熟歩合が低下し、1000粒重が収量の重要な要素になったものと考えられる。ところで、エチオピア35のように、過繁茂の状態で登熟歩合がそれほど低下しない特性を持つ品種の存在は、 F_1 が過繁茂に陥りやすい雑種強勢の場合有用な遺伝子資源と思われる。

最後に、オオムギのヘテローシス利用の実用性についてであるが、雑種コムギの場合、20%以上の収量の増収があれば経済的には栽培可能という推測がある(常脇 1969)。コムギとオオムギでは利用目的も異なるため、単純な比較はむずかしいが、もしこの程度の増収ということであれば、採種技術さえ確立されれば雑種オオムギの実用栽培は可能であろう。

摘 要

自殖性作物のオオムギでは、小穂脱落をはじめ補足遺伝子によって発現する多くの障害が知られている。このような障害の生じない交雑組合せで F_1 にどの程度のヘテローシスが現れるか、ヘテローシスの発現と品種分布の地域性との関係があるかどうかについて試験を行った。そのため日本の数品種を共通親とし、世界各地の品種との交雑を行った。結果の概要は以下の如くである。

1. 六条品種(並性)の交雑では、日本、中国及び朝鮮半島の43品種に、日本の六条皮及び裸麦をそれぞれ交雑し、ヘテローシスの程度を調べた。その結果個体当り収量に最も高いヘテローシスを示したのは朝鮮半島の品種で、 F_1 /MP の交雑平均値は1.37、最大のヘテローシスを示した組合せは F_1 /BP が1.45であった。
2. 二条品種の場合は、世界各地からの78品種に共通親として日本の2品種を交雑した F_1 156を調査した。トルコやエチオピアの品種との交雑でヘテローシスが強く、個体当たり収量に対するヘテローシスの最大値を示した組合せは、 F_1 /BP がそれぞれ1.66と1.45であった。
3. 日本に特有の半矮性を示す渦性品種の場合は34品種を用い、これらに皮及び裸性の渦性2品種を共通親とした F_1 を調査した。これらの交雑でもヘテローシスが発現し、皮麦×裸麦の F_1 でヘテローシスが高かった。
4. 世界各地の二条品種10を用いた片面ダイアレル分析の結果、一般組合せ能力の高い品種(エチオピア)や特定組合せ能力の高い品種(フランス)が見いだされた。
5. 二条オオムギで収量への寄与が最も大きかった形質は、一株穂数であったが、降雨の多い年次に行った試験結果では1000粒重の影響が大であった。これは、過繁茂による登熟歩合の低下が主因と考えられたが、品種により過繁茂でも登熟歩合がほとんど低下しない組合せがあった。

キーワード：オオムギ，雑種強勢，ダイアレル分析，過繁茂，地域品種

引用文献

- Ahokas, H. 1978. Cytoplasmic male sterility in barley. I. Anther and pollen characteristics of *msm1*, restored and partially restored *msm1* genotypes. Z. Pflanzenzüchtg. 81: 327-332.
- Hayashi, J. and Yasuda, S. 1987. Effect of low-temperature on growth inhibition controlled by complementary genes in barley. Barley Genet. Newsl. 17: 74-76.
- Griffing, B. 1955. A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity 10: 31-50.
- Konishi, T. 1987. Genetic studies on hybrid weakness in barley with special reference to phylogenetic differentiation. Barley Genetics V: 145-153.
- 目黒友喜. 1967. わが国における醸造用大麦育種の概観. 農業 6, 7号.
- Morley-Jones, R. 1965. Analysis of variance on the half diallel table. Heredity 20: 117-121.
- Takahashi, R. 1955. The origin and evolution of cultivated barley. Adv. Genet. 7: 227-266.
- 高橋隆平. 1980. ビール用オオムギ品種ゴールデンメロンの由来. 育種学雑誌 30: 272-275.
- Takahashi, R. and Hayashi, J. 1987. Studies on chlorotic plants of barley by dominant complementary genes and geographical distribution of the genes concerned. Barley Genetics V: 139-144.
- 高橋隆平・林二郎・守屋勇. 1971. 補足遺伝子による大麦雑種の幼苗致死の研究. I. その遺伝様式と関与遺伝子の地理的分布. 農学研究 53: 197-204.
- Wiebe, G. A. and Ramage, R. T. 1971. Hybrid barley. Barley Genet. II: 287-291.
- 常脇恒一郎. 1969. 一代雑種コムギの育成に関する研究. 育種学最近の進歩 10: 3-21.