Ⅳ　低アミロース性を利用した食味改善育種

1．低アミロース系統の育成

緒　　言

SM-1に由来する *lam*(t)やNM-391に由来する *du-a*(t)といった低アミロース性遺伝子により，北海道のように登熟温度の低い環境条件下でも，胚乳澱粉のアミロース含量を顕著に低下せしめることが可能となった。本節では，これらの突然変異遺伝子を実用品種中へ導入して優良品種の育成を計るため，突然変異系統と実用品種との間で交雑を行い，分離集団や交雑後代の固定系統についてアミロース含量と農業特性を調査した。

材料および方法

供試材料をTable 28に示した。前述のSM-1，N8 ES No. 58およびNM-391を用いて，キタアケ，イシカリおよびみちこがねの栽培品種や，空育107号（K-107），北海241号（H-241）および上育380号（J-380）の育成系統との間で交雑を行った。

交雑組合せと，固定系統の育成経過をTable 29に示した。SM-1 × H-241とSM-1 × みちこがねの2組合せについてはF_1養成を冬季間に温室で行い，F_2集団を岩見沢市で養成し，F_3以降は系統育種法に準じて選抜固定を進めた。N8 ES No. 58 × K-107またはイシカリの交雑組合せでは冬季間にF_1を養成した後，F_2とF_3集団を鹿児島市において世代促進栽培し，以後は系統育種法によった。NM-391 × イシカリについては鹿児島市における世代促進栽培を2ヶ年にわたって実施し，以後は系統育種法によった。

F_2集団は固体単位で栽培し，系統栽培は1系統あたり8～20個体とし，アミロース含量の測定を個体単位で行った。

生産力検定試験は道立中央農試（稲作部）と同上川農試においてそれぞれ通常の試験法に準じて実施した。

結　　果

(1)　F_2集団におけるアミロース含量と農業形質との関係

Fig. 31には，SM-1 × H-241とSM-1 × みちこがねのF_2集団についてアミロース含量比（農林20号のアミロース含量を100とした相対値）の頻度分布を示した。SM-1 × H-241では両親の中間値がF_2集団の平均値となる正規分布を示したのに対し，SM-1 × みちこがねでは高アミロース性の個体頻度がやや多くなった。しかし，いずれの組合せにおいても低アミロース個体を分離した。

これらF_2集団におけるアミロース含量と重要な農業形質の出穂期，稈長，品質などとの相関係数をTable 30に示した。なお，SM-1 × H-241の

Table 28. Strains used for the cross breeding of low amylose

Strain	Amylose type	Endosperm	Remarks
SM-1	Low	Normal	Mutant from Shiokari
N8 ES No. 58	do.	Dull	Mutant from Norin 8
NM-391	do.	do.	Mutant from Nihonmasari
Kitaake	Intermediate	Normal	Hokkaido cultivar
Ishikari	do.	do.	do.
Michikogane	do.	do.	do.
Kuiku-107 (K-107)	do.	do.	do.
Hokkai-241 (H-241)	do.	do.	do.
Joiku-380 (J-380)	do.	do.	do.

Table 29. List of the crosses used

Cross combination	Year of crossing	Generation F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9
SM-1 × H-241	1979	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85		
		Pedigree								
do. × Michikogane	1980	'80W[1]	'81	'82	'83	'84	'85			
		Pedigree								
N8 ES No. 58 × K-107	1978	'78W[1]	'79	'79	'80	'81	'83	'84	'85	
		Bulk		Pedigree						
do. × Ishikari	1978	'78W[1]	'79	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85
		Bulk		Pedigree						
NM-391 × Ishikari	1980	'81	'81	'82	'82	'83	'84	'85		
		Bulk			Pedigree					
do. × do.	1980	'80	'81	'82	'83	'84	'85			
		Bulk		Pedigree						
do. × Kitaake	1980	'80	'81	'82	'83	'84	'85			
		Bulk		Pedigree						
do. × Joiku 380	1980	'80	'81	'82	'83	'84	'85			
		Bulk		Pedigree						

1) W : F_1 plants were grown in the greenhouse during winter.

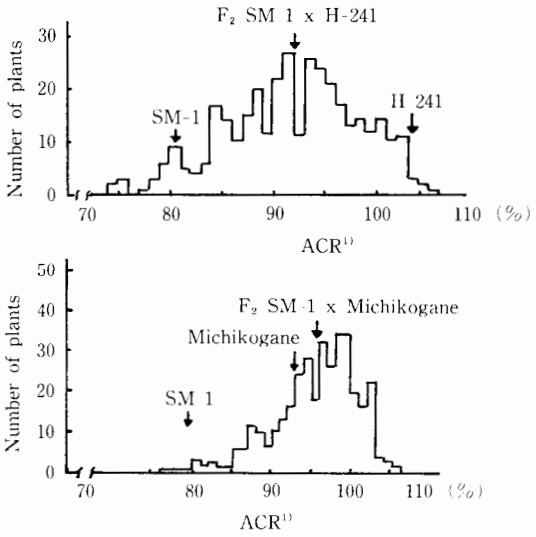


Fig. 31. Frequency distributions of amylose content in the F_2 populations of the crosses, SM-1 × H-241 and SM-1 × Michikogane.
1) ACR : Amylose content ratio (in perecent) to the standard amylose content of Norin 20.

F_2集団では出穂期の変異幅が小さかった。両集団においてアミロース含量と相関が認められたのは，稈長，千粒重，玄米品質，くびれ米歩合の4形質であり，低アミロース性のものほど，稈長が短く，千粒重が小さく，くびれ米発生が多くなり，玄米品質の劣る傾向がみられた。なお，SM-1 × みちこがねではアミロース含量と出穂期の間に相関が認められなかった。

Table 31には，アミロース含量比（ACR）と玄米の外見品質の関係を示した。ACR が90%以下ではみちこがねと同程度の良質性を有する個体はなかったが，ACR が90～100%，すなわち SM-1よりアミロース含量が多いが農林20号に比べると少ないような個体には，少数ながら良質個体が出現した。

(2) 交雑後代固定系統における特性調査

N8 ES Ne. 58 × イシカリの交雑組合せにおいてアミロース含量に関してほぼ固定したと思われる F_4系統中から，低アミロース系統と高アミロース（正常アミロース含量）系統をそれぞれ無作為

Table 30. Correlation coefficients between amylose content and agronomic characters in the F_2 populations of the crosses, SM-1 × H-241 and SM-1 × Michikogane

Character	Cross combination	
	SM-1 × H-241	SM-1 × Michikogane
Heading date	—	0.087
Culm length	0.180	0.343**
Panicle length	0.023	0.164*
No. of panicles	0.031	0.124
1000-grain weight	0.365**	0.323**
Grain shape index	0.118	0.128
Grain quality	0.156**	0.358**
Notched grain (%)	−0.323**	−0.455**
No. of plants	355	230
Year of experiment	1980	1981

*, ** : Significant at the 5% and 1% level, respectively.

Table 31. Relationship between amylose content and grain quality in the F_2 population of the cross, SM-1 x Michikogane

ACR[2] \ Grain quality[1]	No. of plants						
	1	2	3	4	5	6	Total
81— 85	3		1				4
86— 90	4	6	2	1			13
91— 95	4	16	13	5	3		41
96—100	4	11	37	29	15		96
101—105	8	11	43	40	43	4	149
106—110	5	10	14	24	14		67
111—115		1		1			2
Total	28	55	110	100	75	4	372

1) Visual observation: high score means good quality.
2) Amylose content ratio to the standard value of Norin 20.

に選抜し，F_5系統を養成した。Table 32にはこれらの系統の諸特性についての比較を示した。低アミロース系統のACRは高アミロース系統に比べて約30%（アミロース含量に換算して約6%）低かった。出穂期，稈長，穂数，玄米千粒重，玄米長，同幅については両群の間に有意差が認められなかったが，玄米の外見品質とくびれ米歩合については有意差が認められ，低アミロース系統では品質が悪く，くびれ米の発生も多かった。Table 33には，ACRと玄米の品質との関係を示した。ACRが100%以下の系統では品質が劣っていた。特にACRの低い，いわゆるdull性胚乳では粒の充実がやや不良であった。

Fig. 32には，ACRとくびれ米歩合の関係を示した。低アミロース系統であるN8 ES No. 58は原品種に比べてくびれ米の発生が多く，原品種の農林8号ではくびれ米の発生はほとんどみられなかった。F_5固定系統におけるACRとくびれ米歩合との相関係数は$r=-0.875^{**}$であり，くびれ米歩合は0%から50%にわたる連続分布を示した。

Table 32. Comparison of characteristics between low and high amlose groups of F_5 lines derived from the cross, N8ES No. 58 × Ishikari

Character	Mean±standard deviation		Difference	t-test
	Low amylose	High amylose		
Amylose content ratio (%)[1]	74.88±3.56	106.22±5.11	31.34	15.49**
Heading date (Aug.)	6.13±2.17	5.61±2.99	0.52	0.44
Culm length (cm)	52.00±2.83	50.47±4.50	1.53	0.87
Panicle length (cm)	17.95±1.43	17.01±1.78	0.94	1.31
No. of panicles	12.63±2.39	15.06±3.28	2.43	1.87
Grain quality[2]	1.50±0.76	3.50±0.81	2.00	3.35**
1000-grain weight (g)	21.90±1.18	22.59±1.48	0.69	1.16
Grain length (mm)	5.54±0.13	5.52±0.18	0.02	0.28
Grain width (mm)	2.86±0.12	2.90±0.10	0.04	0.83
Notched grain ($\sin^{-1}\sqrt{\%}$)	40.66±9.01	9.45±8.00	31.21	9.22**
No. of strains	8	36		

** : Significant at the 1% level.
1) Relative value to the standard amylose content of Norin 20.
2) Visual observation : high score means good quality.

Table 33. Relation between amylose content and grain quality in the F_5 lines derived from the cross, N8 ES No. 58 × Ishikari

ACR[2] \ Grain quality[1]	No. of lines					
	1	2	3	4	5	Total
61— 70	1					1
71— 80	3	2	1			6
81— 90	1					1
91—100		2	3			5
101—110		1	11	9	4	25
111—120			2	4		6
Total	5	5	17	13	4	44

1) Visual observation : high score means good quality.
2) Amylose content ratio to the standard value of Norin 20.

この他,低アミロース系統では稈質がやや弱く,また,圃場条件では不稔の発生の多い傾向が認められた。

(3) 交雑後代固定系統におけるアミロース含量の変異

Table 34には,NM-391 × J-380,NM-391 × キタアケ,NM-391 × イシカリの交雑後代より選抜固定された低アミロース系統の特性を示した。これらの系統におけるアミロース含量の変異幅は6.7～12.5%であり,品種間差が認められた。玄米はいわゆる dull 性を呈したが,玄米の充実度や光沢などの外見品質は良好であった。また糯米に準じた等級検査では半数以上が1等米となり,品質は良好であった。

玄米収量では多収のものがみられ,最高は57.5 kg/a であった。耐冷性については,実用品種に劣

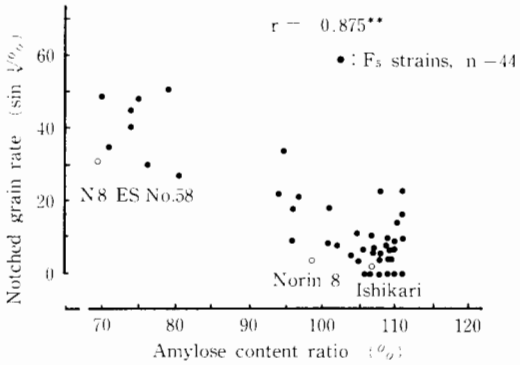


Fig. 32. Relationship between amylose content and rate of notched grains in the F_5 lines derived from the cross, N8 ES No. 58 × Ishikari.

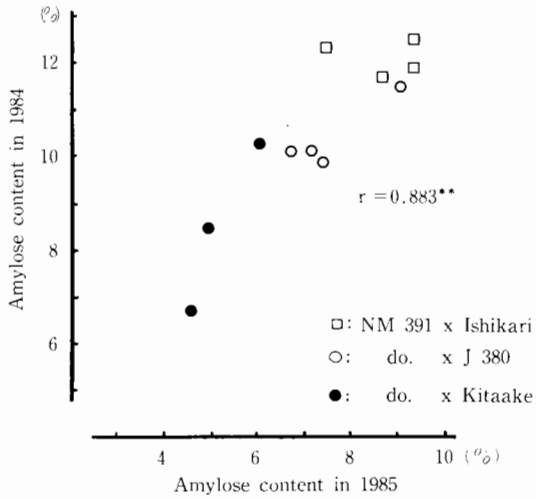


Fig. 33. Relationship between in 1984 and 1985 in amylose content of the F_5 or F_6 lines derved from the crosses, NM-391 × Ishikari, J-380 and Kitaake.

るものが多かったが，やや強程度に判定されたものもあった。

これらの系統について，アミロース含量の年次間（1984年と1985年）の関係を Fig. 33に示した。

Table 34. Grain characters and amylose content of the promising lines derived from the crosses between NM-391 and Hokkaido cultivars

Line No.	Cross combination	Heading date	Grain yield (kg/a)	Amylose content (%)	Protein content (%)	Grain quality[1] A	Grain quality[1] B	Degree[2] of cold torelance
E-84252	NM-391× J-380	Aug. 6	53.3	11.5	8.0	4	1	1
E-84254	do.	. 2	56.9	9.9	8.3	5	1	2
E-84255	do.	. 2	57.5	10.1	8.3	4	2	4
E-84258	do.	. 3	54.5	10.1	8.2	4	1	3
E-84264	NM-391 x Kitaake	Aug. 5	49.3	10.3	8.7	4	1	1
E-84265	do.	. 1	34.7	6.7	10.5	2	2	1
E-84266	do.	Jul. 31	50.0	8.5	9.1	4	1	1
E-84269A	NM-391 x Ishikari	Aug. 6	51.2	11.9	8.6	4	1	2
E-84269B	do.	. 4	48.0	12.5	8.6	3	1	2
E-84270	do.	. 3	54.1	11.7	8.0	3	2	4
E-84272	do.	. 6	50.6	12.3	8.3	4	1	1
Kitaake	Control	Jul. 31	50.9	19.8	9.5	4	1	5
Ishikari	do.	Aug. 2	52.6	22.4	7.9	3	2	4
Yukihikari	do.	. 5	54.2	19.8	7.4	5	1	5

1) Grain quality A : Visual observation ; high score means good quality.
B : Kernel grade ; low score means good quality.
2) Degree of cold torelance at the booting stage ; high score means torelance.

Table 35. Yield trial of promising lines developed by the use of low amylose mutants in Iwamizawa

Line or Culutivar	Heading date in July	Grain yield (Kg/a)	Seed fertility (%)	Amylose content (%)	Protein content (%)	1000-grain weight (g)	Grain quality[1]	
							A	B
SM-group								
SM-1	22	41.1	68.6	15.2	11.7	19.7	4	2H
K58469	24	37.8	87.8	15.5	9.7	20.3	6	2H
K58472	26	44.3	85.1	15.9	10.1	23.2	4	3H
K58473	25	44.2	81.6	16.9	9.5	21.4	6	2H
K583152	21	31.5	73.6	16.8	10.9	23.9	4	3L
K583154	23	43.3	91.8	16.9	9.4	21.2	6	2M
K583164	21	30.5	87.5	15.3	10.4	22.5	5	2M
Mean	23.1	39.0	82.3	16.1	10.2	21.7	5.0	2M
ES-group								
K583067	28	53.2	88.3	14.3	8.7	22.6	2	3L
K583074	26	49.1	92.0	13.4	9.8	20.9	4	OG
Mean	27.0	51.2	90.2	13.9	9.3	21.8	3.0	3L-OG
NM-group								
K58-pl-30-20	31	48.2	90.0	11.0	9.0	19.9	7	OG
5K58-pl-30-21	30	44.1	96.0	11.1	9.2	19.5	7	OG
E84258	30	50.2	93.7	10.7	8.8	21.6	8	OG
E84266	27	44.3	88.2	10.8	10.3	20.8	7	OG
Mean	29.5	46.7	92.0	10.9	9.3	20.5	7.3	OG
Normal cultivar (NC-group)								
Norin 20	22	51.7	84.0	18.8	10.1	21.1	5	2H
Shiokari	25	51.5	93.0	19.0	9.1	19.7	6	2H
Ishikari	27	51.3	95.5	20.4	8.2	23.1	7	2M
Yukihikari	27	52.4	95.7	17.8	8.4	21.5	9	1
Michikogane	28	54.7	89.7	19.2	8.5	22.1	9	1
Mean	25.8	52.3	91.6	19.0	8.9	21.5	7.2	2H

1) A : Visual observation ; high score means good quality.
B : Kernel grade ; low score means good quality. OG is the lowest quality. H, M and L indicate higher, medium and lower class in each grade.

両年のアミロース含量間には高い正の相関々係が認められた(r=0.883**)。NM-391×イシカリではアミロース含量がやや高く，NM-391×キタアケでは極端に低いものがみられた。

(4) 低アミロース系統に関する生産力試験

岩見沢市において1984年に実施された生産力試験の結果を Table 35に示した。SM-1の後代系統をSM-群とし，N8 ES No.58の後代系統をES-群，NM-391の後代系統をNM-群,栽培品種をNC-群として群間の比較を行った。

SM-群のアミロース含量は平均16.1%で，NC-群に比べて3%程度低かった。収量は平均39.0 kg/a と低収であった。SM-群では種子稔性がやや低く，千粒重は NC-群と変らなかった。また，

これらの外見品質はNC-群に劣ったが検査等級はほとんど同じであった。

ES-群は2系統であったが，これらの収量性はSM-群，NM-群に比べると高かった。アミロース含量は13～14%で，玄米はdull性を呈し，外見品質と等級は悪かった。

NM-群の収量はSM-群より高かったが，NC-群に比べ5.6kg／a低収であった。種子稔性は正常であったが，玄米千粒重がやや軽かった。検査等級は粳米としての判定のためにすべて規格外となった。しかし，dull性以外の玄米の外見品質は良好であった。

考　　察

低アミロース性遺伝子の利用を進める上で問題となるのは，それらの遺伝子作用が農業形質に影響を及ぼすか否かである。*wx*遺伝子の収量形質に及ぼす作用については，糯米は粳米に比べて小さく，1粒あたりのsink sizeの小さいことが明らかとなっているが（武田ら1975，武田1980，1981），dull遺伝子に関しても，特に，品質と収量形質に対する作用性の有無が実用品種育成のために最も重要な点である。

まず，品質についてみると，SM-1は玄米の外見が正常粳と同様であったが，光沢がやや少なく，くびれ米の発生が多く，その品質は原品種に比べるとやや劣った。

N8 ES No. 58はいわゆるdull性胚乳を呈し，玄米の充実度が不良で，SM-1と同様にくびれ米を多く発生した。このようにくびれ米の発生とアミロース含量との間に何らかの関連性が推測された。武田（1984）はくびれ米の発生原因は穎花と子房の発育的不平衡にあり，特に低温下では子房の伸長が助長され，くびれ米の発生を多くすることを明らかにした。くびれ米の発生は品質育種上重要な問題であるので，今後低アミロース性との関連をはじめ，その発生機構についてさらに解析を進める必要があろう。

NM-391に由来する低アミロース系統の玄米はdull性を呈したが，玄米の充実度や光沢など外見品質は良好であった。また，くびれ米の発生もほとんど認められなかった。なお，dull性の玄米の検査等級は糯米に準ずることも可能であり，NM-391由来の系統では一般に等級が良好であった。dull性胚乳を有する品種が，将来，従来の粳，糯のいずれにも属さない特異な品種として成立するか否かは不明であるが，検査等級の改善にも留意する必要があろう。

NM-391に由来する*du-a*(t)のアミロース含量については年次変動が大きく，NM-391の交雑後代の低アミロース系統群内にも品種間差異が見出され，年次間の相関も高かった。したがって，これらの低アミロース系統の遺伝的背景には，*du-a*(t)の他にアミロース含量にかかわる遺伝的要因が存在すると思われる。このことは，第Ⅰ章第3節の2)で見出された高アミロース性の*Wx*との交雑のF_2集団でみられた*du-a*(t)と*Wx*との相互作用とも関連し興味深い。

このように，dull性胚乳のアミロース含量については育種的な制御も可能とみられるのでさらに検討を進める必要がある。

次に，低アミロース系統の収量性についてみると，SM-1に由来する系統群では低収であったが，N8 ES No. 58およびNM-391の交雑後代系統中には通常の栽培品種と同等の収量性を示すものが含まれていた。ただし，これらの系統の耐冷性（障害型）は概して弱かった。したがって，今後これらの実用形質の改良をはかるとともに，各種の低アミロース遺伝子の人為誘発や導入を積極的に進める必要があるものと思われる。

2.　低アミロース米の食味特性

緒　　言

米の食味は胚乳澱粉のアミロース含量に影響され，低アミロース米ほど粘りがあって良食味であるとされている（Julianoら1965，Kurasawaら1967）。しかし，現在までアミロース含量が極端に低いか，逆に高いような突然変異体の食味に関する報告はほとんどない。

本節では，今回育成された低アミロース系統の食味特性を調査し，低アミロース米の育種素材としての検討を加えるとともに，食味にかかわる米の理化学特性間の相互関係について解析した。

材料および方法

供試材料とその特性，来歴をTable 36に示した。これらは，1983年と1984年は岩見沢市（道立中央農試）で，また1985年は旭川市（同上川農試）で，それぞれの試験場の生産力検定試験またはそれに準ずる方法によって養成された。

本実験では米の食味に関係する理化学的特性として，アミロース含量と蛋白含量に加えてアミログラム特性値とテクスチュログラム特性値を用いた。アミログラム特性は Brabender Amylograph

Table 36. List of strains used in the experiments

Strain	Gene	Amylose type	Origin	Generation 1983 '84 '85
Tanne-mochi	*wx*	Glutinous	Hokkaido cultivar	
Yuki-mochi	do.	do.	do.	
J-388	do.	do.	do. (test line)	
J-399	do.	do.	do. (do.)	
K-58-pl-30-20	*du-a*(t)	Low	NM-391 × Ishikari	F_5 F_6 F_7
K-58-pl-30-21	do.	do.	do.	do.
E-84258	do.	do.	NM-391 × J-380	F_4 F_5 F_6
E-84265A	do.	do.	NM-391 × Kitaake	do.
E-84266	do.	do.	do.	do.
E-84270	do.	do.	NM-391 × Ishikari	do.
E-84272	do.	do.	do.	do.
Dohoku-43	do.	do.	do.	do.
K-583063	*du-b*(t)	do.	N8 ES No. 58 Ishikari	F_7 F_8 F_9
K-583067	do.	do.	do.	do.
K-583073	do.	do.	N8 ES No. 58 K-107	do.
K-583074	do.	do.	do.	do.
SM-1	*lam*(t)	do.	Mutant from Shiokari	M_7 M_8 M_9
K-58469	do.	do.	SM-1 × Michikogane	F_4 F_5 F_6
K-58472	do.	do.	do.	do.
K-58473	do.	do.	do.	do.
K-58468	*lam*$^+$(t)	Intermediate	do.	do.
K-58470	do.	do.	do.	do.
K-58471	do.	do.	do.	do.
K-58476	do.	do.	do.	do.
K-58477	do.	do.	do.	do.
Norin 20	(Normal)	do.	Hokkaido cultivar	
Hayakogane	do.	do.	do.	
Shiokari	do.	do.	do.	
Ishikari	do.	do.	do.	
Yukihikari	do.	do.	do.	
Michikogane	do.	do.	do.	
Yukara	do.	do.	do.	
K-594583	*ham*(t)	High	Mutant from T-214 × K-114	M_3 M_4 M_5
K-60202	do.	do.	Mutant from (T-214 × K-110) × K-114	do.
YM-123	Unknown	do.	Mutant from Yukihikari	do.

を用いた。測定法は稲津（1982）の方法によった。すなわち90％程度に精白後，Brabender Test Millで50メッシュ以下に粉砕した米粉40g（乾物換算）に蒸留水450mlを加え，93℃まで一定速度（1.5°C/min.）で加熱し，93°Cに10分間保ち，アミログラムを作成した。なお，アミログラムの測定が米粉中に内在する酵素の作用により阻害される場合には，蒸留水に代えて，硫酸銅水溶液（$CuSo_4$，0.09％）を用いた。アミログラムの特性値としては，最高粘度（MV；Maximum viscosity）および最低粘度（Minimum viscosity）を用いた。ブレークダウン（BD；Break down）は最高粘度から最低粘度を差し引いた値である。なお，通常の方法による場合のMV，BDをそれぞれMV1，BD1とし，硫酸銅を添加した場合のそれを，MV2，BD2とした。テクスチュログラムの測定にはGeneral Foods社のTexturograph GTY-2型を使用した。測定は佐々木ら（1975）の方法によった。すなわち，20gの精白米を小型のアルミカップで炊飯し，室温に放置後，測定に供した。一回の測定には平均3粒を用いて5回測定し，その平均値を用いた。テクスチュログラム特性値としては，硬さ（H；Hardness）と粘着性（H_{-1}；Adhesiveness）を用いた。硬さと粘着性のバランスを示す指標としてH/H_{-1}を用いた。なお，H，H/H_{-1}は1V当量値，H_{-1}は5V当量値でそれぞれ表示した。

米粒中に含まれるα-アミラーゼの活性はPerkin-Elmer社製のGrain Amylase Analyzerモデル191により測定した。これはβリミットデキストリンに対するα-アミラーゼの分解作用による濁度の減少から，その活性を測定するもので（Campbell 1980），小麦のα-アミラーゼ活性等の測定に用いられている（Krugerら1981）。試料には50メッシュ以下に粉砕した精白米粉を用い，これより，0.02％ $Cacl_2$，0.5％ NaCl水溶液で抽出された粗酵素液を分析に供した。

食味の官能検査には90％程度に搗精した白米を用いた。水量は供試白米量に対し，1.3倍とし，洗米後約1時間吸水させ，電気釜（ナショナル電気炊飯器SR102型）で炊飯した。試食は炊き上がりから約30分～1時間後に行った。検査項目は，ごはんの「つや（Glossiness）」と「色（color）」また，ごはんを咀嚼したときの「なめらかさ（Smoothness）」，「かたさ（Hardness）」および「ねばり（Stickiness）」に総合評価としての「うまさ（Deliciousness）」を加えた合計6種とした。これらの判定は基準品種に対する相対評価により行った。すなわち基準に比べてまさる場合には＋1～＋3を，劣る場合には－1～－3を，差がない場合には0の評点を与えた。

結　　果

(1) 低アミロース米の理化学的特性

Table 37に，SM-1×みちこがねの交雑後代からの低アミロース系統と正常系統のアミロース含量，蛋白含量およびアミログラム特性値（MV1）を示した。前述のように，1983年は低温年，1984年は高温年であった。

低アミロース系統は正常系統に比べてアミロース含量が2～3％低く，この差は低温年に大きかった。すなわち，低温年の正常系統では24～25％であったのに対し低アミロース系統では20％前後であり，MV1も正常系統より75B.U.ほど高かった。これに対して高温年では，正常系統のアミロース含量が大きく低下した結果，両群のアミロース含量差は2.4％に減少した。また，MV1についてはほとんど差が認められなかった。

蛋白含量では低アミロース系統がやや高かったが，年次変動の大きさは群間差より小さかった。

アミロース含量と蛋白含量の年次間の相関係数はそれぞれ$r=0.86^{**}$と$r=0.93^{**}$といずれも高かったが，MV1では年次間の相関関係が認められなかった。

アミロース含量と他の特性との間の相関関係では，蛋白含量との間に両年とも有意な負の相関係数が得られた。一方，MV1との間には，1983年には有意な負の相関係数$r=-0.65^{*}$が得られたのに対し，1984年には相関関係が認められなかった。

Table 38には3種類の低アミロース系統の食味特性を示した。du-a(t)を有する系統群のアミロース含量は10％台で最も低く，次いで農林8号に由来するdu-b(t)を有する系統群が12～13％台で，SM-1に由来するlam(t)系統群は15％台であった。蛋白含量はSM-1が11.3％と顕著に高かっ

Table 37. Physicochemical properties of rice grains in the strains derived from the cross of SM-1 × Michikogane

Strain	Gene	Protein content(%)		Amylose content(%)		Amylogram(M. V. 1) (B. U.)	
		1983	1984	1983	1984	1983	1984
K-58469	*lam*(t)	9.4	9.2	19.5	15.3	495	517
K-58472	do.	10.2	9.4	21.4	15.8	492	524
K-58473	do.	9.6	9.0	20.9	17.0	460	503
Mean		9.7	9.2	20.6	16.0	482	515
K-58468	lam^+(t)	8.5	7.7	22.9	18.7	444	534
K-58470	do.	9.2	8.7	24.0	18.1	405	514
K-58471	do.	9.3	9.4	24.3	18.2	382	495
K-58476	do.	8.1	8.6	23.7	18.4	440	517
K-58477	do.	7.8	8.3	24.5	18.6	365	507
Mean		8.6	8.5	23.9	18.4	407	513
SM-1	control	11.1	11.3	17.8	15.2	429	442
Shiokari	do.	9.3	9.1	25.4	19.0	400	541
Michikogane	do.	8.3	8.6	24.4	19.1	416	500
Mean		8.6	8.5	23.9	18.4	407	513
Correlation coefficient	Year to year		0.86**	0.93**		0.15^{ns}	
do.	with amylose content	−0.73*	−0.07*	—	—	−0.65*	0.45^{ns}

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

たが，他の系統は8～9％であった。

アミログラム特性のうち，MV1については *du-a*(t)群の値が292～296と正常品種群に比べ約半分であった。2種の *du-b*(t)系統と *lam*(t)系統群のMV1も正常品種に比べてやや低い値となった。BD1については *du-a*(t)群でやや小さかったが，他の系統間差はほとんど認められなかった。

テクスチュログラムについては，*du-a*(t)群ではHが小さいが，H_{-1}が大きく，*du-b*(t)群ではHは正常品種程度であったがH_{-1}がやや大きく，NC群に比べてややねばりが強い結果が得られた。

これらの特性値間の相関関係についてはアミロース含量とMV1の間に r=0.85**なる正の相関関係が認められ，アミロース含量の低いもの程MV1も低い結果となった。また，アミロース含量とH_{-1}，H/H_{-1}との間にはそれぞれ r=−0.82**，r=0.84**なる相関係数が得られ，アミロース含量が低いほど粘りが強いという結果となった。

一方，蛋白含量とアミログラムならびにテクスチュログラム特性との間には有意な相関関係は認められなかった。

(2) 食味に関する官能検査

低アミロース米を実際に試食して評価を与えた結果をTable 39に示した。供試材料はTable 38とTable 40中に示した，ニホンマサリ，農林8号およびしおかりに由来する低アミロース系統である。

lam(t)群では基準（ゆきひかり）に比べて色のやや白い傾向が認められたが，つやが劣り，口あたりのなめらかさに欠け，総合評価も劣った。これに対し，*du-a*(t)群および *du-b*(t)群では基準に比べてつやがまさり，口あたりもなめらかでよく粘る結果となった。特に*du-a*(t)群では粘りが極めて強く，テクチュロノーターによる特性値とよく一致した。

(3) 硫酸銅($CuSo_4$)の添加によるアミログラム特性の変化

糯米の場合は米粒中に内在する α-アミラーゼ

Table 38. Physicochemical properties of rice grains in low amylose strains

Strain	Gene	Protein content (%)	Amylose content (%)	Amylogram[1)] (B. U.)		Texturogram[2)] (V. U.)		
				M. V. 1	B. D. 1	H	H_{-1}	H/H_{-1}
K-58-pl-30-20	*du-a*(t)	8.5	10.5	292	206	2.97	3.04	4.88
K-58-pl-30-21	do.	9.1	10.7	296	215	3.00	2.80	5.36
K-583074	*du-b*(t)	9.6	12.6	478	278	3.16	3.08	5.36
K-583067	do.	8.3	13.5	514	314	3.59	2.71	6.62
K-58469	*lam*(t)	9.2	15.3	517	277	3.18	2.42	6.57
K-58472	do.	9.4	15.8	524	286	3.60	2.69	6.69
SM-1	do.	11.3	15.2	442	217	3.04	2.41	6.30
Shiokari	Control	9.1	19.0	541	276	3.12	2.36	6.61
Norin 20	do.	9.4	18.6	564	298	3.24	2.44	6.64
Yukihikari	do.	8.2	18.2	541	277	3.46	2.50	6.92
Correlation coefficient								
with amylose content		0.07	—	0.85**	0.56	0.36	−0.82**	0.84**
with protein content		—	0.07	0.13	−0.32	−0.37	−0.25	−0.03

**: Significant at the 1% level.
1) M. V. 1 : Peak viscosity, B. D. 1 : Breakdown.
2) H : Hardness, H_{-1} : Adhesiveness.

Table 39. Eating quality of low amylose strains

Experiment	Strain	Gene	Amylose content (%)	Protein content (%)	Appearance of cooked rice		Palatability			Deliciousness
					Color	Glossiness	Smoothness	Hardness	Stickiness	
A	K-58469	*lam*(t)	15.3	9.6	0.00	−0.33	−0.56	0.11	0.11	−0.67
	K-583074	*du-b*(t)	12.6	9.6	0.78	0.89	1.33	1.00	1.89	0.33
	K-58-pl-30-20	*du-a*(t)	10.5	9.2	0.22	0.67	1.56	0.78	2.00	0.89
	Yukihikari	+, +	17.8	8.4	0	0	0	0	0	0
B	K-58473	*lam*(t)	16.7	9.3	0.50	−0.50	−1.50	−1.25	−1.38	−1.63
	K-583067	*du-b*(t)	15.0	8.6	−0.25	0.63	1.38	1.63	1.63	1.50
	K-58-pl-30-21	*du-a*(t)	11.5	8.9	1.00	1.63	2.00	2.25	2.63	2.13
	Yukihikari	+, +	17.8	8.4	0	0	0	0	0	0

の作用により精白米粉のアミログラムは著しく低粘度を示すが，硫酸銅（$CuSo_4$）などのα-アミラーゼの阻害剤の添加により粘度の上昇することが知られている（木原・梶川 1960, Horiuchi 1967, 食糧研究所 1969, 渋谷ら 1983）。そこで，本実験では，アミログラム特性に及ぼす $CuSo_4$ の効果を調べた。Table 40には，通常の方法と $CuSo_4$ を添加した場合のアミログラム特性を示した。*du-a*(t)群では $CuSo_4$ の添加によって最高粘度（MV2）とブレークダウン（BD2）が400単位以上も上昇した。また，*du-b*(t)群でも同様の現象が認められ，それらの MV2, BD2は *du-a*(t)群と同様の値となった。一方，*lam*(t)$^+$群と正常品種群においても $CuSo_4$ の添加によって MV2, BD2が上昇したが，その程度は *lam*(t)群や2種の *du*(t)群より小さかった。

Table 40. Effects of copper sulfate on the amylogram of rice flour

Strain	Gene	Amylose content (%)	Amylogram: Water M. V. 1[1]	Amylogram: Water B. D. 1[2]	Amylogram: $CuSo_4$ solution[3] M. V. 2	Amylogram: $CuSo_4$ solution[3] B. D. 2	Difference M. V. 2 −M. V. 1	Difference B. D. 2 −B. D. 1
Tanne-mochi	*wx*	0	118	85	676	442	558	359
Yuki-mochi	do.	0	93	58	695	427	602	369
K-58-pl-30-20	*du-a*(t)	10.5	292	206	720	556	428	350
K-58-pl-30-21	do.	10.7	296	215	707	548	411	333
E-84258	do.	10.7	292	199	709	536	417	337
E-84266	do.	11.5	245	158	734	566	489	408
K-583067	*du-b*(t)	13.5	514	314	760	545	246	231
K-583074	do.	12.6	478	278	722	499	244	221
SM-1	*lam*(t)	15.2	442	217	624	371	182	154
K-58469	do.	15.3	517	277	720	444	203	167
K-58472	do.	15.8	524	286	691	417	167	131
K-58473	do.	17.0	503	270	650	384	147	114
K-58468	*lam*$^+$(t)	18.7	534	262	636	367	102	105
K-58470	do.	18.1	514	261	656	380	142	119
K-58471	do.	18.2	495	237	626	373	131	136
K-58476	do.	18.4	517	247	631	345	114	98
K-58477	do.	18.6	507	256	640	387	133	131
Norin 20	+	18.6	564	298	683	394	119	96
Shiokari	do.	19.0	541	276	634	340	93	64
Michikogane	do.	19.1	500	244	601	331	101	81
Yukara	do.	20.3	497	236	561	291	64	55

1) M. V.: Peak viscosity.
2) B. D.: Breakdown.
3) $CuSo_4$ solution (0.009%) was used instead of water in amylography.

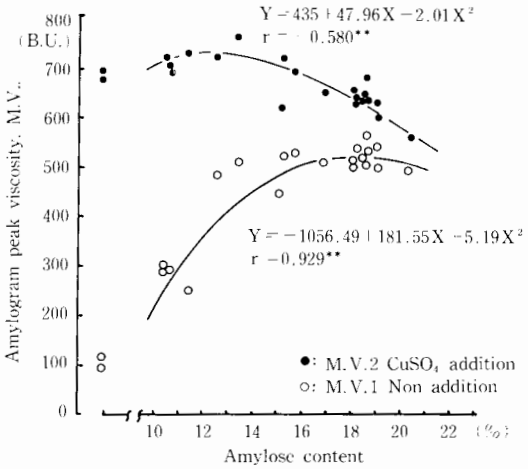


Fig. 34. Relationship between amylose content and amylogram peak viscosity, M. V. 1 and M. V. 2.

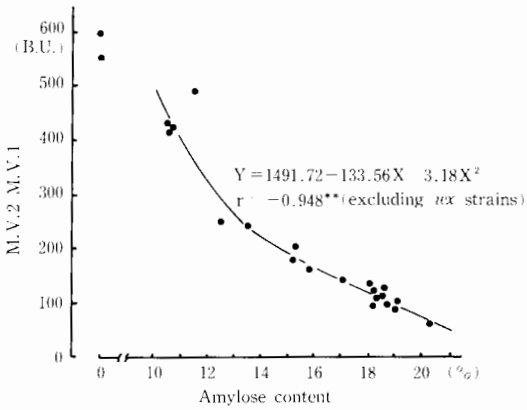


Fig. 35. Relationship between amylose content and M. V. 2-M. V. 1.

Fig. 34にはMV1，MV2とアミロース含量との関係を図示した。MV1はアミロース含量の低いほど低く，逆にMV2はアミロース含量が低いほど高いといった関係が認められた。したがって，MV2からMV1を差し引いた値(MV2－MV1)は，低アミロース米ほど大きく，高アミロース米では小さい結果となり（Fig. 35），MV2－MV1とアミロース含量との間にはr＝－0.948**なる負の相関が認められた。

(4) 米粒中に内在するα-アミラーゼ活性とアミログラム特性との関係

Table 41には，1985年における糯品種，低アミロース性および高アミロース性の各系統について，$CuSO_4$添加によるアミログラム（最高粘度）の変化と米粉中に内在するα-アミラーゼの活性（Grain Amylase Analyzerによる分析値）を示した。アミロース含量については，1984年とほぼ同様の値であったが，アミログラムの最高粘度（MV1）は*du-a*(t)群を除いて1984年に比べて全体的に低かった。*du-a*(t)群のMV1は1984年に比べてやや高かった。高アミロース系統のK-594583ではアミログラムの最高粘度は80単位と極めて低く，$CuSO_4$を添加しても約20単位ほど上昇したに過ぎなかった。K-60202の場合はさらにアミログラムの最高粘度が低く，$CuSO_4$の添加によってもほとんど上昇しなかった。YM-123については精白米の粉砕時に高水分であったために粒度の細かい米粉を得ることができず，アミログラフィーを行なわなかった。MV2-MV1とアミロース含量との関係については1984年と同様の結果が得られた。米粉中に内在するα-アミラーゼの活性については，粳品種の変異幅は99～209単位であったが，糯品種とdull性系統群はいずれもほぼこの変異幅内に含まれていた。ただし，*lam*(t)を有す

Table 41. α-amylase activity and amylograms of rice flour in the various strains

Strain	Gene	Amylose content (%)	Amylogram (B.U.)		Difference	α-amylase[3] activity
			M.V.1[1]	M.V.2[2]	(M.V.2-M.V.1)	
Onne-mochi	*wx*	0	90	662	572	143
J-398	do.	0	65	670	605	170
J-399	do.	0	70	598	528	184
Dohoku 43	*du-a*(t)	10.3	385	640	255	184
E-84270	do.	11.7	332	546	214	179
E-84272	do.	12.0	340	540	200	219
K-583063	*du-b*(t)	12.4	374	516	142	166
K-583073	do.	11.5	424	588	164	150
K-583074	do.	13.3	470	602	132	130
SM-1	*lam*(t)	15.4	500	582	82	83
K-58469	do.	15.8	456	554	98	90
K-58472	do.	16.3	488	556	68	93
Hayakogane	Normal	17.0	438	550	112	99
Ishikari	do.	21.3	395	443	48	209
Yukihikari	do.	18.1	480	575	95	161
K-594583	*ham*(t)	31.9	80	102	22	153
K-60202	do.	31.4	20	20	0	179
YM-123	Unknown	31.9	—	—	—	516

1) Amylogram, peak viscosity, water only.
2) Amylogram, peak viscosity, $CuSO_4$ addition.
3) Measured by the 'Amylase Analyzer'(Perkin-Elmer model 191).

る系統は正常品種に比べてやや低い傾向が認められた。高アミロース系統では，K-594583とK-60202がそれぞれ153および179単位となり正常品種と同様の値であったが，ゆきひかりより誘発された高アミロース系統のYM-123では516単位と極めて高い活性値を示した。

米粉中の α-アミラーゼ活性とMV2-MV1の関係を調べたところ，両者の間には相関関係がみられなかった(Fig. 36)。一方，MV2-MV1とアミロース含量の関係では r=−0.889** なる負の相関係数が得られ，MV2-MV1をY，アミロース含量をXとすると $Y=564-40.76X+0.76X^2$ なる回帰式によく適合した ($R^2=0.986$)。

Fig. 37には，アミロース含量とアミログラムの最高粘度との関係を示した。糯米と高アミロース米ではMV1が極端に低下し，MV1をY，アミロース含量をXとすると $Y=53+50.59X-1.54X^2$ な

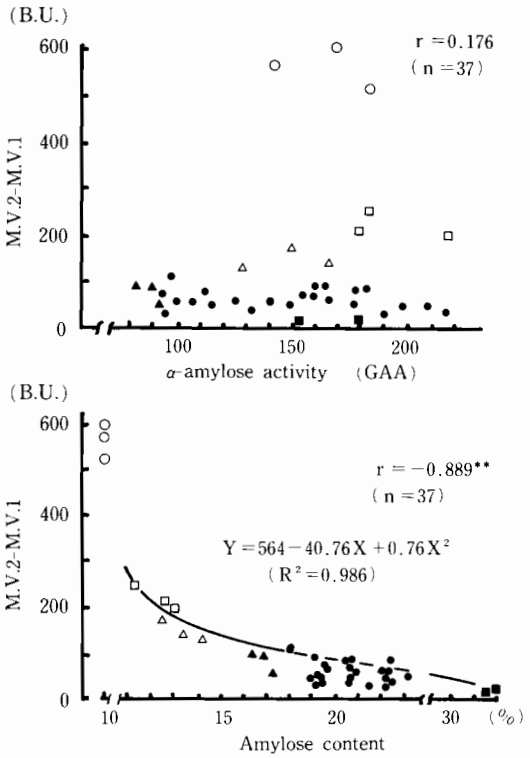


Fig. 36. Relationship between M.V.2-M.V.1 and α-amylase activity or amylose content in rice flour.
○ : *wx*
□ : *du-a*(t)
△ : *du-b*(t)
▲ : *lam*(t)
● : Normal cultivar
■ : High amylose mutant

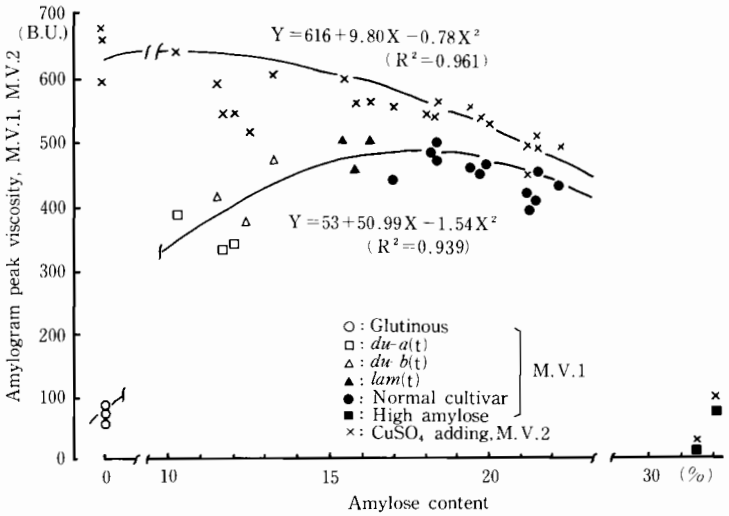
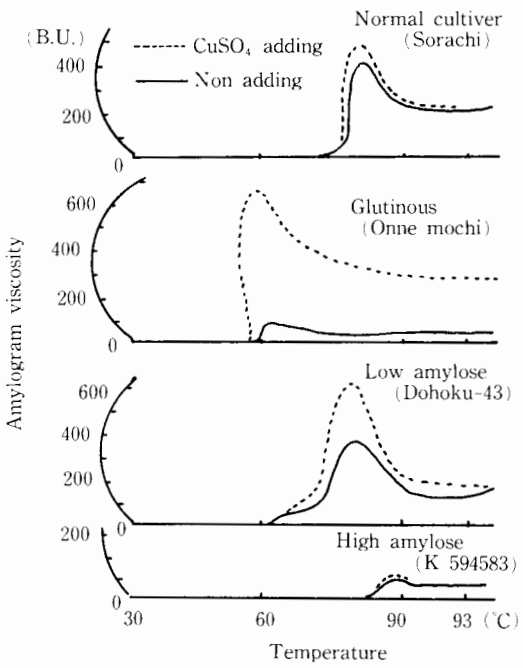


Fig. 37. Relationship between amylose content and amylogram peak viscosity, M.V. 1 or M.V.2.

る回帰式によく適合した（$R^2=0.901$）。この回帰式曲線によると，アミロース含量が16.4%の時，MV1は最大値を示した。一方，$CuSO_4$を添加した場合のMV2は糯米と低アミロース米で高く，正常品種や高アミロース米では粘度の変化は小さかった。この場合は $Y=616+9.80X-0.78X^2$ なる回帰式によく適合した（$R^2=0.939$）。なお，Fig. 34においてもMV1(Y)とアミロース含量(X)との間には $Y=-1056.49+181.55-5.19X^2$ なる回帰式が得られ，この場合にはアミロース含量が17.5%でMV1が最大値となった。

Fig. 38には，各変異体のアミログラムを示した。糯品種（おんねもち）は，供試品種中，糊化開始温度が最も低く（約60.3°C），通常の方法による粘度は極めて低かったが，$CuSO_4$の添加によって著しく上昇した。これに対して，高アミロース米では糊化開始温度が高く（約87°C），粘度がほとんど上昇せず，糊化し難かった。*du-a*(t)を有する



Fib. 38. Amylograms of rice flour in the normal, glutinous, low amylose and high amylose strains showing the effects of copper sulfate.

低アミロース米の道北43号では，糊化開始温度は63.3°Cであり，粳品種（そらち）の73.5°Cに比べて約10°Cも低く，糯品種より3°C高かった。糯や粳品種では，糊化開始後から急激に粘度が上昇するのに対して，道北43号の場合には，糊化開始後やや時間をおいてから粘度が上昇し，そのパターンは粳品種と明らかに異なっていた。なお，アミログラムより読み取った糊化開始温度は$CuSO_4$の添加によってほとんど影響を受けなかった。

考　　察

ニホンマサリと農林8号から誘発されたdull性遺伝子を有する低アミロース系統の炊飯米は，通常の栽培品種に比べて光沢がすぐれ，口あたりもなめらかで粘りの強いことが明らかとなった。したがって，これらのdull性遺伝子は炊飯米の粘りの向上に極めて有用な素材であると思われた。ただし，試食者によっては，dull系統の粘りに高い評価を与えながらも，総合評価では高い評点を与えなかった例もみられた。またdull性遺伝子の種類や系統のちがいによって，理化学的特性や官能検査の結果に差がみられたことから，食味に対するdull性遺伝子ならびにその遺伝的背景の効果については，さらに検討を進める必要があろう。

lam(t)系統の食味特性は上記のdull系統に比べて劣っていた。これは，*lam*(t)によるアミロース含量の低下が小さく，しかも，*lam*(t)系統の蛋白含量が高いためと考えられる。米の蛋白含量が高いと，一般に食味が劣るとする多くの報告がある（南・土居 1973，石間ら 1974，山下・藤本 1974）。したがって，*lam*(t)のようにアミロース含量の低下の小さい遺伝子の場合には，上記のdull性遺伝子以上に他の要因，たとえば蛋白含量などの影響を受けて，食味が劣ることもあると思われる。

アミロース含量とテクスチュログラムの H_{-1} と H/H_{-1} との間には，それぞれ，負と正の高い相関関係が認められ，低アミロースのものほど炊飯米の粘りの大きいことが明らかとなった。ただし，Hとは相関関係が認められず，また，蛋白含量とテクスチュロブラム特性の間にも相関関係が認められなかった。したがって，本実験の範囲内では，炊飯米のかたさはアミロース含量や蛋白含量以外

の要因による影響を受けるようであった。

米粉のアミログラム特性は，澱粉の糊化特性を反映しており，食味を推定する上で極めて重要であるが(谷ら 1969, Kurasawaら 1972)，道産米のアミログラムの特徴としては，最高粘度が低い，糊化温度が高い，コンシステンシーが高いことなどがあげられている(瀬戸・岡部1963, 竹生ら1970, 渡辺ら 1971, 南・土居 1971, 稲津ら 1975)。

澱粉の糊化や老化においては，アミロペクチンに比べて量的にははるかに少ないアミロースが，主導的役割を果たしていると考えられており（檜作ら 1972)，アミログラム特性とアミロース含量との間には密接な関係が認められる。一般にアミロース含量が低いほどアミログラムの最高粘度が高いとする報告が多い(Horiuch 1967, Kurasawaら 1972, 稲津ら 1975, 稲津 1986, 佐々木ら 1977, Juliano and Pascaul 1980)。本実験では，低アミロース米の最高粘度が正常粳米に比べて低いことが見出された。特に，*du-a*(t)を有する系統のアミログラムは正常粳品種に比べて糊化温度が低く，粘度の上昇パターンも2段階膨潤が顕著であることなど，糊化特性が正常粳の場合と異なっていた。

糯米粉では，米粒中に内在するα-アミラーゼの作用によって粘度が極めて低くなることが知られているので（木原・梶川 1960, Horiuchi 1967, 渋谷ら 1983)，本実験でもアミログラフィーの際に硫酸銅を添加したところ，低アミロース米の最高粘度が著しく上昇した。したがって，低アミロース米の最高粘度の低い原因としては，糯米同様，α-アミラーゼが関与すると推定される。なお，アミロース含量の正常な品種においても，硫酸銅の添加によって最高粘度が上昇し，その程度には品種間差異が認められた。

また，高アミロース米では，糊化温度が極めて高く，最高粘度が低く，硫酸銅の添加の効果はほとんど認められなかった。

Horiuchi (1969) は，米粉のアミログラム特性は米澱粉のそれに近似すること，ただし糯米の場合には米粒中に内在するα-アミラーゼの量が極めて多いため糯米粉の粘度が低くなると報告している。

本実験では，アミロース含量が16～17%以下になると，α-アミラーゼの作用によって最高粘度が低下するが，それ以上のアミロース含量では，アミロース含量と最高粘度との間に負の相関関係が認められた。したがって米粉のアミログラムは，アミロース含量とα-アミラーゼの両者による影響を受けるものと思われた。

米粒中より抽出されたα-アミラーゼ活性については糯と粳品種間に差がみられず，またMV2-MV1(みかけのα-アミラーゼ活性)との間にも相関関係が認められなかった。MV2-MV1はアミロース含量と負の相関関係にあったことから，糯米と低アミロース米で米粉のアミログラムの最高粘度が低下する現象は，米粉中に内在するα-アミラーゼの量的差異によるものではなく，基質としての澱粉の側にその原因があるものと推定された。

道産米の食味改善のための品種改良においては，生産力検定予備試験（F_5～F_6世代）から，アミログラムによる食味の間接選抜を実施しており，アミロース含量が低く，アミログラムの最高粘度の高いものが選抜されているが，既述のごとく，アミロース含量の低いレベルにおける米粉のアミログラム特性は，澱粉の糊化特性を正しく反映しない場合があるので注意を要する。

V 総 合 論 議

イネの主要な胚乳成分は澱粉と蛋白質であり，これらの成分の量と質は米の栄養価や食味特性に大きく影響する。本論文では特に食味と関連の深い胚乳のアミロース含量を中心に，遺伝機構，環境変動ならびに食味との関連について一連の研究を行った。

イネの胚乳の糯粳性には第Ⅰ連鎖群の *Wx* 遺伝子座が関与し，糯米ではアミロース成分をほとんど含まないが，粳米では7～33%のアミロースを含むとされる（Juliano 1972）。一般にインド型イネには高アミロース含量のものが多く，日本型イネでは20%前後の低アミロース含量のものが多い（Webbら 1968，Juliano and Pascaul 1980）。北海道品種のアミロース含量は，府県産米に比べて平均3%程度高く（稲津ら 1974，1976），その品種間差異は比較的小さい（稲津ら 1974，佐々木ら 1977）。

アミロース含量の遺伝については，高アミロース性が低アミロース性に対して優性または不完全優性を示し，1個の主働遺伝子と数個の変更遺伝子が関与するとした報告が多い（Bollich and Webb 1973，Somrithら 1979，Dwived and Nanda 1979，Chauhanら 1982，McKenzie and Rutger 1983）。

Sano（1984，1986）は，日印間のアミロース含量の差異が Wx^a および Wx^b の分化によって説明されると報告した。

本実験ではまず，北海道の在来種や北大検定系統について胚乳成分や玄米の形態的形質に関する変異性を調べて，多数の高アミロース系統を見出した。これらのほとんどは，インド型×日本型の交雑から育成された系統であった。しかし在来種の中にも少数の高アミロース品種が含まれていた。また北大検定系統では，粒大に関する遺伝変異も栽培品種に比べて極めて大きく，これらの検定系統が成分育種の遺伝子源として有用であることが明らかにされた。

近年，イネでもトウモロコシのように，胚乳成分に関する多様な突然変異が誘発され（Satoh・Omura 1981），低アミロース変異体は食味改善のための素材として注目される。しかし，これまで誘発された低アミロース性は dull 性の胚乳を示すものが多い（Satoh・Omura 1981，Okunoら 1983）。本実験では，人為誘発の低アミロース性突然変異体を選抜するにあたって，玄米の表現型が正常な M_2，M_3 代の多数の個体について，そのアミロース含量をオートアナライザーで測定し，低アミロース個体を選び，後代検定により突然変異体を見出した。このようにして，登熟温度の低い北海道においても，20%以下の低アミロース性を示す系統の育成が可能であることを明らかにした。なお，この他に dull 性の低アミロース性突然変異や高アミロース性（30%以上），大粒や心白，乳白といった多数の突然変異を得て，突然変異育種法が成分育種にとって有効なことを改めて示した。

次に，これらの低および高アミロース性突然変異体を中心に，アミロース含量に関する遺伝子分析を行った。まず，戻し交雑によって多数の品種から *wx* 座のアレーレを3種の糯の遺伝的背景に導入し，各 *Wx* アレーレのアミロース含量に及ぼす効果を調べた。その結果，高アミロース性の外国稲品種である Arpa Saly（ソ連原産）や上川農試の育成系統の上系6487からの *Wx* アレーレが高アミロース性に関与していることを明らかにした。これらの *Wx* 遺伝子が Sano（1984）の Wx^a と同一か否かは今後の同定にまつ必要がある。また，低アミロース性のコシヒカリや北陸110号ならびに北海道の低アミロース品種からの *Wx* アレーレはすべて同一と考えられることから，それらの低アミロース性は *wx* 座とは別の遺伝子（系）によって発現されるものと推定した。

突然変異系統 SM-1の低アミロース性には単純劣性遺伝子 *lam*（*t*）の関与することが明らかとなった。連鎖分析により *lam*（t）は *Wx* などとは独立で第Ⅴ連鎖群の *I-Bf* と連鎖することが推定さ

れた。*lam*(t)はアミロース含量を原品種の約80%にまで低下させるが，その低下度は dull 性遺伝子に比べると小さく，環境条件や遺伝的背景による影響を受けた。なお，Sanoら（1985b）は，SM-1の *Wx* 蛋白量が原品種に比べて顕著に低下することから，*lam*(t)は，*Wx* 遺伝子の発現にも影響を及ぼすような調節遺伝子であろうと推則している。SM-1にはさらに，優性の早生遺伝子 *Ef*(t)も含まれ，その多面作用として，アミロース含量の低下（原品種の約90%にまで減少）や蛋白含量を増加させることが検出された。米の蛋白含量の遺伝については，これまで比較的多数の遺伝子が関与すると推定されているが（東・櫛淵 1976，片岡 1978，上林ら 1984），米の蛋白含量は既述の如く，環境による変動が大きく，出穂時の稲体の窒素含有率に強く影響される。また草型の変異によって蛋白含量の変動することが指摘されている（東ら 1974）。*Ef*(t)の場合もおそらく，早生化による稲体の草型や窒素今有率などに変化を生じ，その結果として高蛋白となったと思われる。

ニホンマサリの突然変異系統の NM-391には単純劣性遺伝子の *du-a*(t)が開与していた。*du-a*(t)はアミロース含量を半分程度に減少させ，その玄米は dull 性の乳白状を呈した。*du-a*(t)の作用は登熟温度や遺伝的背景による影響を受け，アミロース含量と dull 性の程度が大きく変動した（付図）。

雑種集団より誘発された2種の高アミロース系統にはいずれも *wx* 座とは独立の単純劣性遺伝子 *ham*(t)が，また高アミロース性の北大検定系統には優性もしくは不完全優性の *Ham*(t)がそれぞれ関与していた。

農林20号×イシカリの交雑実験では，両品種のアミロース含量が互いに接近していたことから，F_2やその後代ではアミロース含量の交異が連続的で，かつ出穂期や千粒重との間に相関関係がみられた。アミロース含量と千粒重との間の正の相関関係は，佐々木ら（1977），McKenzieら（1983）も報告しており，本実験でも北大検定系統や同一品種に由来する粒大突然変異体，北海道の栽培品種について認められ，粒大などの器官の大きさがアミロース含量に影響することが示唆されたので，その生理的機構の解明が望まれるところである。

アミロース含量は登熟温度によって変動することが知られているが，Sanoら（1985）は *Wx* 蛋白の生成量が低温条件で増大することを認め，アミロース含量の温度反応は *Wx* 蛋白レベルで調節されていることを示唆した。

アミロース含量の温度反応に関する品種間差異については，Resrreccionら（1977）により，日本型（藤坂5号）では大きく，インド型（IR-20）では小さいと報告されているが，本実験では，*du-a*(t)を有する系統の年次変動が極めて大きく，これに対して同じ dull 性の *du-b*(t)では小さかった。このことは人工気象箱を用いた実験からも確認され，低アミロース系統の温度反応には品種間差異があった。同様の現象は高アミロース系統でも認められ，ゆきひかりからの高アミロース性変異体では温度反応が小さかった。

高アミロース性の *Wx* 同質遺伝子系統の温度反応は，低アミロース系統に比べて小さく，さらに，北大検定系統中に高温条件下でもアミロース含量の低下しない系統が見出された。

アミロース含量などの成分比率が，年次や地域によってあまり変動しない品種を育成することは，成分そのものが重要であるような加工用原料米の場合にもっとも望まれる安定性に寄与するであろう。特に，北海道では登熟温度の年次変動や地域間変動が極めて大きいため，成分比率の安定性に関する遺伝的制御機構の解明が今後の重要な課題となろう。

低アミロース性の突然変異遺伝子の育種的利用をはかるため，それらの遺伝子を用いて低アミロース系統を育成した。

通常の栽培品種のアミロース含量が24～25%となる低温年においても，それらの低アミロース系統では20%以下となった。したがって北海道のような登熟温度の低い寒冷地においては，低アミロース性突然変異の利用が有効であると考えられた。ただし，dull 性の突然変異では，玄米が糯と粳の中間状に濁ること，また *lam*(t)と *du-b*(t)をもつ系統にはくびれ米の発生が多いなどの問題点が認められた。

また，低アミロース育成系統では，収量性，耐冷性が通常の栽培品種に比べて劣ったので，品質を含め，これらの実用形質の改良が必要である。

アミロース含量の低下度が大きいdull性系統では炊飯米の粘りが極めて強かった。しかし，米の食味は粘りのみによって決定されるものではなく，飯の物理性（テクスチャー）に関連する各要素のバランスが重要であるので（江幡・平沢 1982），今後はこれらdull性遺伝子による粘りの程度についても育種的制御を検討する必要があろう。

低アミロース米の理化学的特性の中で，米粉のアミログラムの最高粘度が，粳品種に比べて顕著に低いことがわかった。これは硫酸銅（$CuSO_4$）の添加によって上昇したことから，糯米粉で報告されているように（木原・梶川 1960，Horiuchi 1967，渋谷ら 1983），米粉中に内在するα-アミラーゼの作用のためと考えられる。従来，粳米においては，米粉と米澱粉のアミログラム特性の相関が強く（Horiuchi 1967），粳米のアミログラフィーに際しては，α-アミラーゼの作用を考慮する必要がないとされてきたが（農水省食糧研究所 1967），低アミロース米の場合には，澱粉の糊化特性と一致しない可能性がある。なお，α-アミラーゼの作用によるアミログラムの粘度低下は，いわゆる穂発芽小麦で広く知られている現象であるが（A. A. C. C. 1962，農水省技術会議事務局 1968，平野 1971，長内 1985），本研究の結果では，アミログラムから推定される見かけのα-アミラーゼ活性と実際に米粉より抽出されたα-アミラーゼ活性との間に相関関係が認められなかった。したがって米粉の粘度低下は，α-アミラーゼの量的変化によるものではなく，基質の澱粉にその原因があるものと思われた。

以上，本研究によって，米の胚乳成分の育種を進める上での重要な知見が多数得られた。しかし，今後の解明にゆだねられた課題も多い。道立農試で現在進められている食味改善育種では，胚乳成分としてアミロース含量と蛋白含量を選抜の対象としているが，今後さらに食味改善を進めたり，あるいは特殊な成分比率を有する品種を開発するにあたっては，単に成分の量のみならず，それらの質の改良も重要となろう。

また，胚乳成分の生合成過程にかかわる遺伝的制御機構の解明は，胚乳における同化産物の集積機能の改善による作物の生産性向上にも大きく貢献すると思われる。したがって，イネの成分育種は単に食味改善のためのみならず，今後は収量性の改善をも指向した新展開が望まれる。

VI 摘　　要

本論文では，北海道産米の食味の改善をはかるために，食味と関連の深い胚乳のアミロース含量と蛋白含量に関して，その遺伝機構と環境変動を調べた。また，両形質と食味との関連性について調査した。

1. 胚乳のアミロース含量に関する遺伝分析

1) 北大検定系統中には，玄米の形態や色に関する種々の標識遺伝子が含まれ，胚乳成分に関しても極めて多様な変異に富んでいた。

2) これらの系統中には，外国稲から導入された遺伝子によると考えられる高アミロース系統が多数見出され，それらのアミロース含量は25%以上にも及んだ。

3) 14～15%という極めて高い蛋白含量の系統が見出された。

4) 北海道の栽培品種のしおかりとゆきひかりを用いて，γ 線や EMS 処理によって，米質に関する多数の突然変異体を誘発した。

5) しおかりから誘発された低アミロース性変異体の後代である SM-1では，アミロース含量が原品種の約80%であった。しかし，玄米の表現型は正常型であった。

6) ゆきひかりおよび，渡育214号 (T214)×空育114号 (K114，ゆきひかり) の雑種集団に対する γ 線処理によって，高アミロース性変異体を誘発した。これらのアミロース含量は30%以上で，玄米の外観は心白米に類似していた。

7) アミロース含量に関する *wx* 座のアレーレの作用を調べるため，低および高アミロース性の10品種からの *Wx* アレーレを戻し交雑法により3種の糯品種（おんねもち，道北糯18号，渡育糯213号）の遺伝的背景下へ導入した。

8) 高アミロース系統の Arpa Saly と上系6487由来の *Wx* アレーレはいずれも高アミロース性であり，また，低アミロース系統のコシヒカリ，北陸110号，北海早生1号，走錦，Century Patna 231，NM-391，N8ESNo. 58およびSM-1由来のアレーレはすべて同一の Wx^b（低アミロース）を有していた。

9) したがって，上記の低アミロース系統は *wx* 座以外の遺伝子（系）が関与すること，また，*Wx* 座アレーレは北海道品種と府県品種で同一であることが明らかとなった。

10) *SM*-1の低アミロース性には，単純劣性遺伝子 *lam*(t)が関与しており，*lam*(t)と第V連鎖群の *I-Bf* との間に連鎖関係が推定された。

11) SM-1に *lam*(t)とともに含まれている早生の優性遺伝子 *Ef*(t)が見出された。*Ef*(t)の多面作用として，子実の蛋白含量の増加とアミロース含量の低下が認められた。

12) ニホンマサリの突然変異体である NM-391の低アミロース性には，単純劣性遺伝子の *du-a*(t)が関与していた。

13) *du-a*(t)によるアミロース含量の低下は著しく，正常型の半分程度となり，その玄米は dull 性を示した。

14) K-594583と空系60202 (K-60202) における高アミロース性には同じ単純劣性遺伝子 *ham*(t)が関与していた。また，北大検定系統 H-337の高アミロース性には優性または不完全優性遺伝子の *Ham*(t)の関与することが明らかにされた。

15) 農林20号とイシカリとの交雑 F_2 集団では，アミロース含量について連続変異を示し，アミロース含量と出穂期，玄米千粒重との間に正の相関関係がみられた。

2. アミロース含量の温度反応

1) アミロース含量の年次変動(1982～1984年)は登熟温度により説明できたが，アミロース含量の低かった高温年（1984年）では出穂期とアミロース含量との間に相関が認められなかった。

2) 蛋白含量の年次変動はアミロース含量の場合に比べて小さく，その品種間差異は品種の早晩性との深い関係があり，一般に早生種ほど高蛋白であった。

3) 北海道の栽培品種内では，アミロース含量

と千粒重の間に正の高い相関関係が認められ，一般に小粒ほど低アミロースとなる傾向がみられた。

4)　高アミロース性の *Wx* アレーレは低アミロース性の *Wx* アレーレに比べて，アミロース含量に関する温度反応が小さかった。

5)　低アミロース性遺伝子による温度反応にも遺伝子の種類により明らかな差異が認められ，*du-a*(t)は *du-b*(t)および *lam*(t)に比べて温度反応が大きかった。

9)　高アミロース系統でも温度反応には系統間差が認められ，K-594583では大きく，反対にYM-123では小さかった。

7)　栽培品種では，はやこがねが高温下におけるアミロース含量の低下度が大きかった。

8)　北大検定系統の中には高温条件下でもアミロース含量の低下しない系統があった。

3.　低アミロース性を利用した食味改善育種

1)　交雑育種により *lam*(t)，*du-a*(t)および *du-b*(t)を導入して，多数の低アミロース系統を育成した。

2)　*lam*(t)と *du-b*(t)をもつ系統ではくびれ米の発生が多かった。*du-a*(t)はdull性の玄米となるが，その他の外見上の品質は比較的良好であった。

3)　低アミロース系統では一般に，収量性や耐冷性などの実用形質が栽培品種に劣っていたが，中には収量が栽培品種並で，耐冷性の強いものもあった。

4)　*du-a*(t)と *du-b*(t)を有する低アミロース系統では炊飯米の粘りが強く，食味改善の育種素材として有望と思われた。

5)　低アミロース米では米粉のアミログラムの粘度が低く，アミロース含量が16～17%以下ではアミロース含量と最高粘度との間には正の，それ以上では負の相関関係がそれぞれ認められた。

6)　この低アミロース米における粘度低下には糯米と同様に α-アミラーゼが関与すると推定され，糯米における如く硫酸銅の添加によって最高粘度が上昇した。

7)　アミログラムにより推定された α-アミラーゼ活性と米粒中より抽出された α-アミラーゼ活性との間には相関関係が認められなかった。

8)　高アミロース米では糊化温度が高く，最高粘度は極めて低かった。また，硫酸銅を添加しても最高粘度は上昇しなかった。

胚乳成分のうちで，特に食味に大きな影響を及ぼすアミロース含量と蛋白含量について，それらの特性にかかわる遺伝機構と温度反応を検討した。また，突然変異により，低アミロース性や高蛋白性にかかわる遺伝子を人為的に誘発し，特に3種の低アミロース性遺伝子の品質，収量および食味に及ぼす作用を明らかにした。その結果，低アミロース性は環境変動に対して安定しており，試行的な交雑育種により将来，食味の良い品種を育成するためにも役立つという基礎資料が得られた。また，今後の成分育種の問題点やその進め方についても論議した。

引　用　文　献

天野悦夫　1984．誘発中間モチ遺伝子の同定．育雑 34(別1)：84—85

American Association of Cereal Chemist 1962. Cereal Laboratory Methods 22—10, Diastatic Activity of Flour with Amylograph. Amer. Asso. Cer. Chem. Inc. 7th Ed.

新井利直・佐々木忠雄・稲津脩・菊地治己　1980．水稲における低アミロース品種の探索，第1報，道内種および北陸・古川両農試の最近の系統について．育種・作物学会北海道談話会報20：23．

———　1982．インフラライザーの原理と測定．北海道立農試資料15：65—71．

Bollich, C. N. and B. D. Webb 1973. Inheritance of amylose in two hybrids population of rice. Cereal Chem. 50：631—636.

Campbell, J. A. 1980 A new method for detection of sprout damaged wheat using a nephelometric determination of alpha-amylase activity. Cereal Res. Commun. 8：107—113.

茶村修吾・金子平一・斉藤裕幸　1979．登熟期の気温と米の食味の関係—登熟温度を一定温度とした場合—．日作紀　48：475—482．

Chauhan, J. S. and J. S. Nanda 1982. Inheritance of amylose content and its association with grain yield and yield contributing characters in rice. Oryza 20：81—85.

竹生新治郎・遠藤勲・谷達雄　1986．米の炊飯嗜好特性に関する研究（第3報），北海道産米の特性について．栄養と食糧　21：265—269．

Dwivedi, J. L. and J. S. Nanda 1979. Inheritance of amylose content in three crosses of rise. Indian J. Agric. Sci. 49：753—755.

江幡守衛・平沢恵子　1982．米飯のテクスチャーに関する研究，第1報テクスチャーと食味との関係について．日作紀　51：235—241．

江部康成　1982．優良米早期開発の現状．北海道立農試資料　15：6—13．

———・本間昭・国広泰史・新橋登・丹野久　1985．低アミロース突然変異遺伝子をとりこんだ稲育成系統の理化学的特性．育種・作物学会北海道談話会報　25：10．

Echt, C. S. and D. Schwart 1981. Evidence for the inclusion of controlling elements within the structumal gene at the waxy locus in Maize. Genetics 99：275—284.

Gomez, K. A., and S. K. De Datta 1975. Influence of environment on protein content of rice. Agron. J. 67：565—568.

東正昭・櫛淵鉄也・伊藤隆二　1974．高蛋白米品種の育種に関する基礎的研究，I．玄米蛋白含有率の品種間差異および諸形質とくに収量との関係について．育雑 24：88—96．

———・———　1976．——————，II．高一低蛋白品種間交雑による高蛋白性の遺伝分析．育雑 26：17—24．

Hillerislambers, D., J. N. Rutger, C. O. Qualset, and W. J. Wiser 1973. Genetic and environmental variation in protein content of rice (Oryza sativa L.). Euphytica 22：264—273.

平野寿助　1971．小麦登熟期の遭雨による品質低下とその機作に関する研究．中国農試報　A—20：27—28．

檜作進・伊藤恵子・前田巌・二国二郎　1972．でんぷん糊の老化の温度依存性．澱粉科学　19：70—75．

本庄一雄　1971a．米の蛋白含量に関する研究，第1報タンパク質含有率の品種間差異ならびにタンパク質含有率に及ぼす気象環境の影響．日作紀　40：183—189．

———　1971b．——————，第2報　施肥条件のちがいが玄米のタンパク質含有率およびタンパク質総量に及ぼす影響．日作紀　40：190—196．

Horiuchi, H. 1967. Correlations among amylographic characteristics of rice starch and flour. Agr. Biol. Chem. 31：1003—1009.

稲津脩・渡辺公吉・前田巌・伊藤恵子・長内俊一　1974．北海道産米の品質改善に関する研究，(第1報) 米澱粉のアミロース含有率の差異．澱粉科学　21：115—119．

———・———・長内俊一・佐々木忠雄　1975．米粉ならびに米澱粉のアミロース含有率とアミログラム特性との関係．育種・作物学会北海道談話会報　15：27．

———・———・前田巌　1976．北海道産米の品質改善に関する研究，(第2報) 米澱粉のアミロース含有率の差異．澱粉科学　23：175—178．

———　1979．北海道産米の品質改善に関する研究．澱粉科学　26：191—197．

———　1982．米の食味検定，食味の理化学性．北海道立農試報告資料　15：49—64．

———　1986．米の食味向上による品質向上に関する研究．東京大学学位論文　pp. 287.

石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次　1974．米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中の蛋白質含有

率の影響．食糧研報 29：9—15．

石塚喜明・田中明 1969・水稲の栄養生理．養賢堂．pp. 307，東京．

Juliano, B. O., Lu U. Onate, and A. M. del Mundo 1965. Relationship of starch composition, protein content and gelatinization temperature to cooking and eating quality of milled rice. Food Technol. 19：1006—1011.

——— 1971. The rice carytpsis and its composition. Rice, Chemistry and Technology. Amemican Association of Cereal Chemists, Inc. Monograph series IV. 16—74.

——— and C. C. Pascual 1980. Quality characteristics of milled rice grown in different countries. IRPS No. 48. 25pp.

上林美保子・鶴見功・笹原健夫 1984．玄米の蛋白質含量向上に関する育種学的研究．育雑 34：356—363．

片岡勝美 1978．米の蛋白質含有率の遺伝分析．育雑 28：263—268．

木戸三夫・梁取昭三 1968．米粒蛋白質集積過程の組織化学的研究．日作紀 34：204—209．

木原芳次郎・梶川靖子 1960．早期栽培米の性状に関する研究(第2報)，早期栽培米の貯蔵，乾燥および加工における性状の変化について．農産加工技術研究会誌 7：1155—1158．

菊地治己・佐々木忠雄・新井利直・稲津脩 1981．水稲品種「しおかり」より誘発された低アミロース突然変異について．育雑 31(別冊2)：190—191．

——— 1982．水稲品種「しおかり」より誘発された低アミロース突然変異体の育種的利用．北海道立農試資料 15：103—108．

———・木下俊郎 1982．稲の粒大に関する変異体の特性．育種・作物学会北海道談話会報 22：24．

———・佐々木忠雄・稲津脩 1985．数種の水稲低アミロース遺伝子の食味特性に及ぼす影響．育種・作物学会北海道談話会報 25：9．

小山八十八・渡辺公吉・稲津脩・今野一男 1971．北海道産米に対する米質検定方法の適用について．北農 38(5)：10—41．

Kruger, J. E. and H. Tipples 1981. Modified procedure for use of the Perkin-Elmer Model 191 Grain Amylase Analyzer in determing low levels of α-amylase in wheats and flours. Cereal Chem. 271—274.

Kurasawa, H., Y. Kanauchi, I. Yamamoto, T. Hayakawa and I. Igaue 1967. Some physicochemical properties of non-waxy paddy rice starch in Niigata prefecture, Part 1. Relation of properties of starch to eating and cooking qualities of milled rice. Agric. Biol. Chem. 33：798—806.

———, ———, K. Takei, S. Ogawa, T. Hayakawa, and I. Igaue 1972. Correlation analysis between eating quality, rheological property and amylose content of starch. Agric. Biol. Chem. 36：1809—1813.

McKenzie, K. S. and J. N. Rutger 1983. Genetic analysis of amylose content, alkali spreading score, and grain dimensions in rice. Crop Sci. 23：306—313.

南松雄・土居晃郎 1971．北海道産米の品質に関する物理化学的研究，第1報 米の食味特性値と栽培環境要因との関係．北海道立農試集報 24：43—55．

———・——— 1973．———，第2報 米の食味特性と蛋白質含量との関係．北海道立農試集報 26：49—58．

西村実・山内富士雄・大内邦夫・浜村邦夫 1985．北海道の最近の水稲品種及び系統の食味特性の評価，—低温年および高温年産米における理化学的特性と官能試験結果の対応—．北海道農試研報 144：77—98．

農林水産技術会議事務局 1968．小麦品質検定法—小麦育種試験における—．研究成果 35．7．

農林省食糧研究所 1969．米の品質と貯蔵，利用．食糧技術普及シリーズ 第7号．21—22．

Okuno, K., H. Fuwa and M. Yano 1983. A new mutant gene lowering amylose content in endosperm starch of rice, *Oryza sativa* L. Japan J. Breed. 33：387—394.

長内俊一 1985．道産小麦の安定生産条件〈第2回〉．3．低アミロ問題と穂発芽抵抗性．北農 52(4)：1—19．

Resurreccion, A. P., T. Hara, B. O. Juliano, and S. Yoshida 1977. Effect of temperature during ripening on grain quality of rice. Soil Sci. Plant Nurt. 23：109—112.

Sano, Y. 1984. Differential regulation of waxy gene expression in rice endosperm. Theor. Appl. Genet. 68：467—473.

———, M. Maekawa, and H. Kikuchi 1985a. Temperature effects on the Wx protein level and amylose content in the endosperm of rice. J. Heredity 76：221—222.

———, ———, and ——— 1985b. A trans-acting regulatory gene controlling the Wx gene expression and its temperature responses. Rice Genet. Newsl. 2：65.

佐野芳雄・勝又光子 1985．イネにおける *Wx* 遺伝子発現の調節機構，Wx^a と Wx^b の温度反応．育雑 35（別2）：112—113．

Sano, Y., M. Katsumata and K. Okuno 1986. Ge-

netic studies of speciation in cultivated rice, 5. Inter and intraspecific differentiation in the waxy gene expression of rice. Euphytica 36：1—9.

佐々木忠雄・江部康成・稲津脩・長内俊一 1975. Texturometer 利用のための炊飯方法の検討，一水稲育種試験における一．育種・作物学会北海道談話会報 15：28.

————・長内俊一・稲津脩・江部康成 1977. 北海道水稲品種の理化学的食味形質についての育種的一考察．北海道立農試集報 37：1—10.

————・新井利直・稲津脩 1980. 水稲品種系統ならびに雑種集団におけるアミロース含有率の変異と選抜上の知見．北海道立農試集報 44：72—78.

Satoh, H. and T. Omura 1979. Induction of mutation by the fertilized egg cell with N-methy-N-nitrosourea in rice. J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 24：165—174.

———— and ———— 1981. New endosperm mutations induced by chemical mutagens in rice, *Oryza sativa* L. Japan J. Breed. 31：316—326.

徐錫元・茶村修吾 1979. 玄米蛋白質含有率の品種間差の発現．日作紀 48：34—38.

瀬戸良一・岡部勇 1963. 北海道産米の品質に関する研究，第1報 北海道産米の理化学的性状について．北海道立農試集報 11：59—67.

渋谷直人・鈴木信隆・岩崎哲也 1983. 精白米粉末のアミログラフィーに対する内在性のアミラーゼの影響．澱粉科学 30：284—287.

Somrith, B., T. T. Chang and B. R. Jackson 1979. Genetic analysis of traits related to grain characteristics and quality in two crosses of rice. IRPS No. 5. 14pp.

平宏和・松島省三・松崎昭夫 1970. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究，第92報 窒素施肥による米の蛋白質の収量およびその栄養価増大の可能性の栽培試験．日作紀 39：33—40.

————・平春枝 1972. 北海道産水稲うるち玄米のタンパク質含量．日作紀 41：44—50.

————・星川清親・平春枝 1972. 矮性水稲玄米のタンパク質含量．日作紀 41：155—159.

————・平春枝・山崎一彦 1977. 水稲玄米のタンパク質・脂肪および灰分含量におよぼす土壌型および品種の影響．日作紀 46：157—163.

武田和義・中山林三郎・斉藤健一 1975. 糯粳性が玄米の大きさに及ぼす影響（イネにおける穎と子房の相互関係IV）．育雑 25：87—92.

————・斎藤健一 1980. イネの粒大を支配する主働遺伝子．育雑 30：280—282.

———— 1980. 糯粳性同質遺伝子イネ系統における玄米の登熟経過．育雑 30：329—334.

———— 1981, 糯粳性同質遺伝子イネ系統ならびにその F_1 における登熟の環境反応．育雑31：1—8.

———— 1984. 低温による子房の伸長促進とくびれ米の発生（イネにおける穎と子房の相互関係X.）．育雑 34：346—355.

Tanaka, K., T. Sugimoto, M. Ogawa and Z. Kasai 1980. Isolation and characterization of two types of protein bodies in the rice endosperm. Agric. Biol. Chem. 44：1633—1639.

谷達雄・吉川誠次・竹生新治郎・堀内久弥・遠藤勲・柳瀬肇 1969. 米の食味評価に関係する理化学的要因(1)．栄養と食糧 22：452—461.

渡辺公吉・稲津脩・今野一男 1971. 栽培条件の異なる米澱粉組成の差異について．北農 38(2)：8—16.

Webb, B. D., C. N. Bollich, C. R. Adair, and T. H. Johnston 1968. Characteristics of rice variety in the U. S. Department of Agriculture collection. Crop Sci. 8：361—365.

山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と品質に関する研究，2 窒素肥料が米の食味，炊飯特性，デンプンの理化学的性質等に及ぼす影響．東北農試報告 48：65—79.

山内富士雄・大内邦夫 1982. 北海道産米の化学成分組成に関する研究，第1報 玄米化学成分と品種・栽培年次及び窒素施用量．北海道農試研報 134：127—132.

————・————・浜村邦夫 1982. ————，第3報 精白米におけるたんぱく質含量とアミロース含量の関係．北海道農試研報 134：139—145.

矢野昌裕・佐藤光・大村武・奥野員敏 1984. イネの *Wx* 遺伝子座における複対立遺伝子．育雑 34(別1)：82—83.

Yano, M., K. Okuno, J. Kawakami, H. Satoh and T. Omura 1985. High amylose mutant in rice, *Oryza sativa* L. Theor. Appl. Genet. 69：253—257.

Fundamental Breeding Study on Physico-chemical Characters in Rice Endosperm

by

Harumi KIKUCHI

Summary

It is a well-known fact that the amylose content of rice kernels are closely related with the taste of rice. In Japan, the so-called "sticky and delicious rice" means that the amylose content around 20% as found in the cultivar, "Koshihikari". In Hokkaido where the rice cltivation was extensively carried out close to the north limit of the rice cropping, even modern cultivers possess a higher amylose consent thas those of the cultivars on the mainland. Therefore, it is one of the most important points in Hokkaido cultivars to attempt to reduce the amylose content from the stand point of the improvement of eating, cooking and processing quality.

In this study, first the author explored the genetic sources of grain quality and then perfommed the artificial induction of mutation on low amylose and high protein rice. By the development of technology and instruments, it is possible to measure both the amylose and protein contents instantly on the basis of a single plant. The Autoanalyzer and Infraalyzer from Technicon Co. were used for this purpose and the selection of promising plants was conducted by using the segregating populations.

As a result of an extensive survey of old and new cultivars in Hokkaido and various genetic testers which are preserved in Hokkaido University, it was shown that a noticeable variation exists in both amylose and protein contents especially among the genetic testers. Most of them are derived from the crosses between distantly related strains in an attempt to introduce the major genes of coloration and morphological characters from Indica strains to Japanese testers. As suggested by Sano (1984), it is probable that high amylose testers possess an allele at *Wx* locus for high amylose which was introduced from Indica strains. In addition, there was also a wide range of variation in the morphological traits ranging from minute to big or long grains.

Secondly the mode of inheritance of biochemical traits was examined by using two kinds of low amylose mutants,namely, SM-1 arising from the progenies of Shiokari by mutagen (gamma -ray and EMS) treatments and a dull endosperm mutant, NM-391. Amylose content of SM-1 was reduced to 80% of the original Shiokari and a single recessive gene named *lam*(t) was found responsible for the nature of low amylose because of the bimodal distribution in F_2 and the 1 : 2 : 1 segregation ratio of the genotypes confirmed by F_3 progeny test. It was also found that *lam*(t) has an independent relation with *wx* (glutinous endosperm, no amylose), *du-a*(t) and *du-b*(t) of dull endosperm (low amylose). In the relation with the linkage markers representing each linkage group, it was estimated that *lam*(t) belongs to the fifth linkage group showing a rare recombinant of low amylose in the genotype $I\text{-}Bf^+$ $I\text{-}Bf^+$ in a repulsion phase. SM-1 also

possessed a mutant gene *Ef*(t) for earliness that accelerates the heading date about a week from the original Shiokari. A pleiotropic action was expressed for the reduction of the amylose content and the increment of the protein content. It was also confirmed that there is an independent relation between *lam*(t) and *Ef*(t). In addition, the both genes worked cumulatively for the reduction of amylose content in the genetic background of the cultivar, Shiokari. It is already known that the dull endosperm remarkably decreases the amylose content. Mutants from Norin 8 and Nihonmasari having dull endosperm genes were crossed with SM-1 to examine the genic relation. It was found that the high amylose plants having dull endosperm and the low amylose plants having transparent non-glutinous endosperm segregated in F_2 populations, because of an independent association of the both dull and low amylose genes. NM-391, a mutant having dull endosperm and low amylose, was induced from Nihonmasari and it was shown that a single gene, *du-a*(t) was responsible for the dull endosperm. On the other hand, Okuno *et al*. (1983) also found a gene for dull endosperm from Norin 8 which is tentatively called *du-b*(t) in this paper. The genes, *du-a*(t) and *du-b*(t) acted to reduce the amylose content up till about a half of that of Nihonmasari. In the F_2 segregations from several crossings involving *du-a*(t), a marked reduction of the homozygous genotype *du-a*(t) from the theoretical value was frequensly recognized. F_2 segregation of dull endosperm from the crossing with BC-17 having an allele of high amylose at *Wx* locus, resulted in 9 : 6 : 1 ratio suggesting the action of polymeric genes.

The gene action of the alleles at *Wx* locus was examined in relation to its low amylose content. A series of isogenic lines for the amylose nature investigation having the three genetic backgrounds of Onne-mochi, Dohoku-mochi 18 and Toiku-mochi 213 were produced by the successive backcrossing method of using 10 kinds of non-recurrent parents. As regards the amylose content, the alleles introduced from high amylose cultivars, Arpa Saly and Jokei 6487 exhibited an action of increasing the amylose content, while the alleles from Koshihikari, SM-1 and the other 8 strains were responsible for the low amylose content. Therfore it is surmised that the genetic variation contained in the low amylose strains depend upon different gene(s) or gene systems other than the genes at *Wx* locus. In the case of high amylose variants, a single recessive gene, *ham*(t) was contained in both K-594583 and K-60202, while the other genes, *Ham*(t) that showed an imcomplete dominace was responsible for the character of Hokudai genetic tester, H-337.

A crossing experirent was made between the low and high amylose cultivars in Hokkaido and a normal distribution having a relatively narrow range was observed in the F_2 population. In this case, a positive correlation was recognized between the amylose content and heading date or 1,000 grain weight.

It is widely accepted that the amylose contents of rice kernel are significantly affected by the temperature during the maturing time. In general, high temperatures are favorable for low amylose content and low temperatures seem to raise the amylose content. In this experiment, it was indicated that the high temperature in 1984 attributed to decrease the amylose content in most of the strains used. In addition there was a high positive correlation between grain size and amylose content showing a low amylose content in the small grains in Hokkaido cultivars. As to the genic actions, *du-a*(t) was more sensitive to temperature than *du-b*(t) and *lam*(t). In the high amylose strains and the Hokkaido cultivars used, it was noted that K-594583 and Haya-

kogane responded to the change of temperature while YM-123 was less responsive to the temperature.

From the stand point of breeding the genes related to the low amylose kernel are important sources for the breeding objective of good eating quality in Hokkaido cultivars. Trial cross breedings were performed by using the mutants of low amylose and dull endosperm strains. It was suggested that an occurence of notched grain is related with the pleiotropic actions of *lam*(t) and *du-b*(t), while *du-a*(t) contributed to the fine appearance of cooked rice. The yield trials were carried out by using the selected lines at F_5 generation. Although most of the lines were inferior in the productivity and other economical characters from the common cultivars, there was an indication that the few lines selected are promising from the stand point of average yield and high tolerance for low temperature.

As to the eating quality of low amylose rice, cooking quality from dull endosperm due to *du-a*(t) or *du-b*(t) was generally recommended as delicious and glutinous although the personal scoring was still varied as individual choice varies. However, the low amylose kernel due to *lam*(t) was not ranked highly because of the high protein content in the low amylose lines impaired the eating quality. From the previous experiment, readings by amylogram and texturogram are related to the eating quality. The correlations with the amylose content were examined using the representative strains of low and high amylose contents. In the low amylose below 16 or 17%, the maximum viscosity positively correlated with the amylose content, while a negative correlation existed in the case of high amylose content over 17%. The decrease of viscosity in the low amylose flour was related with the activity of α-amylase which is recognized in the endosperm. The inactivation of the enzyme by the treatment with $CuSO_4$ raised the viscosity of low amylose flour and contributed to evaluation of the true eating quality.

In the case of high amylose flour, it was indicated that the gelatinization temperature is relatively high and the viscosity was extremely reduced. Thus the physico-chemical properties are also deeply related with the amylose and protein contents.

From the present studies, it may be pointed out that the strategy depending on the scientific findings on the inheritance modes, correlations among agronomic and grain characters and the environmental fluctutions related with the mutant genes is required to achieve an efficient and successful breeding programme.

る系統は正常品種に比べてやや低い傾向が認められた。高アミロース系統では，K-594583とK-60202がそれぞれ153および179単位となり正常品種と同様の値であったが，ゆきひかりより誘発された高アミロース系統のYM-123では516単位と極めて高い活性値を示した。

米粉中の α-アミラーゼ活性とMV2-MV1の関係を調べたところ，両者の間には相関関係がみられなかった(Fig. 36)。一方，MV2-MV1とアミロース含量の関係では r=−0.889** なる負の相関係数が得られ，MV2-MV1をY，アミロース含量をXとすると $Y=564-40.76X+0.76X^2$ なる回帰式によく適合した ($R^2=0.986$)。

Fig. 37には，アミロース含量とアミログラムの最高粘度との関係を示した。糯米と高アミロース米ではMV1が極端に低下し，MV1をY，アミロース含量をXとすると $Y=53+50.59X-1.54X^2$ な

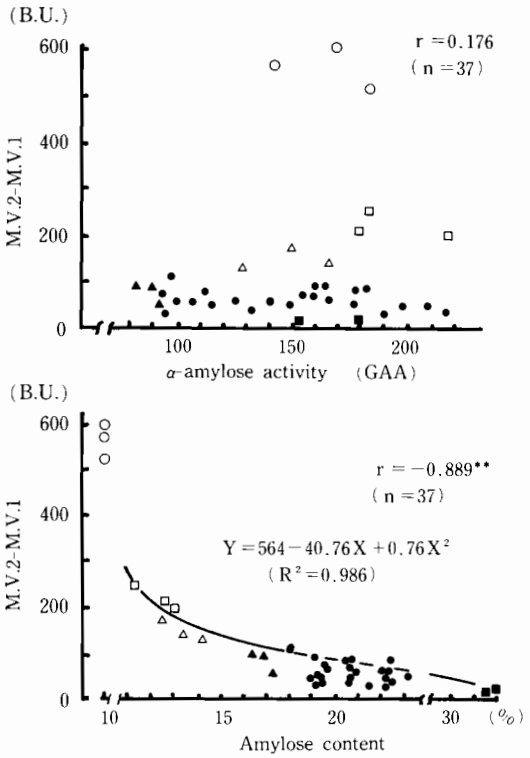


Fig. 36. Relationship between M.V.2-M.V.1 and α-amylase activity or amylose content in rice flour.
○ : *wx*
□ : *du-a*(t)
△ : *du-b*(t)
▲ : *lam*(t)
● : Normal cultivar
■ : High amylose mutant

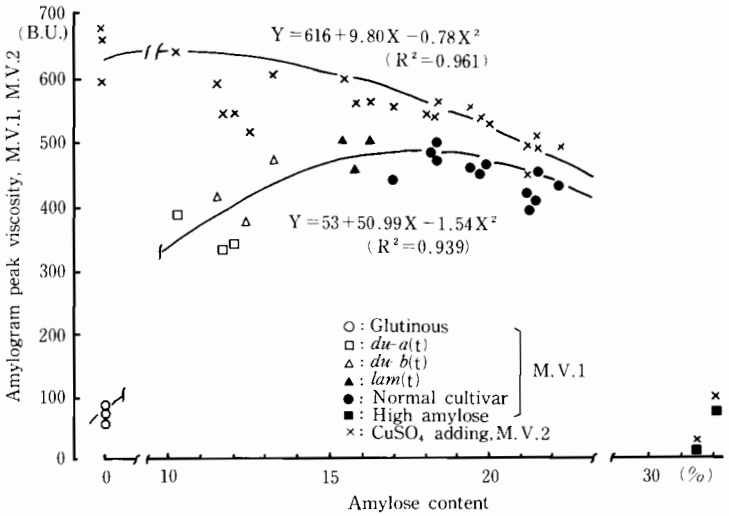


Fig. 37. Relationship between amylose content and amylogram peak viscosity, M.V. 1 or M.V.2.

Plate 1

a b c d e

Plate 2

a b c

Plate 3

a b c d e

Plate 4

a b c d

Plate 5

A B C

L M H

5. Phenotypic changes due to the temperature treatments during ripening period in phyto toron.
From the upper: A. Tannemochi (*wx*), B. Dohoku 43 [*du-a*(t)] and C. Ishikari (Normal). Temperature treatment (day-night), from left to right: L. (24-18°C), M. (26-20°C) and H. (28-24°C).

Explanation of plate (1-5).

1. Mutation for endosperm characters.
From left to right: a. Shiokari (control).,b. SM-1 [low amylose, *lam*(t)] , c. SM-2 (low amylose), d. SM-3 (chalky) and e. SM-14 (white core).

2. Mutation for high amylose grains.
From left to right: a. Yukihikari (control), b. YM-123 (high amylose), and c. K-594583 [high amylose *ham*(t)] .

3. Mutation for grain shapes in the cultivar, Yukihikari.
From left to right: a. Yukihikari, b. YM-137 (round grain), c. YM-132 (fairly big), d. YM-146 (big grain) and e. YM-154 (big grain).

4. Mutation for grain shapes in the cultivar, Shiokari.
From left to right: a. Shiokari: (control), b. SM-8 (small grain), C. SM-13 (fairly big) and d. SM-14 (big grain).