

日本の品質育種について

奥野 員敏*

1. はじめに

米の商品としての価値を決定する品質や食味は重要な農業形質である。近年の米の過剰生産を反映して、他用途利用米品種の開発が求められる一方、良質・良食味品種への期待には根強いものがある。現在、わが国で広く栽培されているイネ品種の中で、コシヒカリやササニシキは特に食味についての評価が高く、全作付面積の約27%を占める(図1)。しかし、これらの品種はもち病に弱いことなど必ずしも栽培特性にすぐれているわけではなく、もち病抵抗性などの付与による改良が試みられてきた。また、これまで客観的な裏付けの乏しかった食味に対して科学的

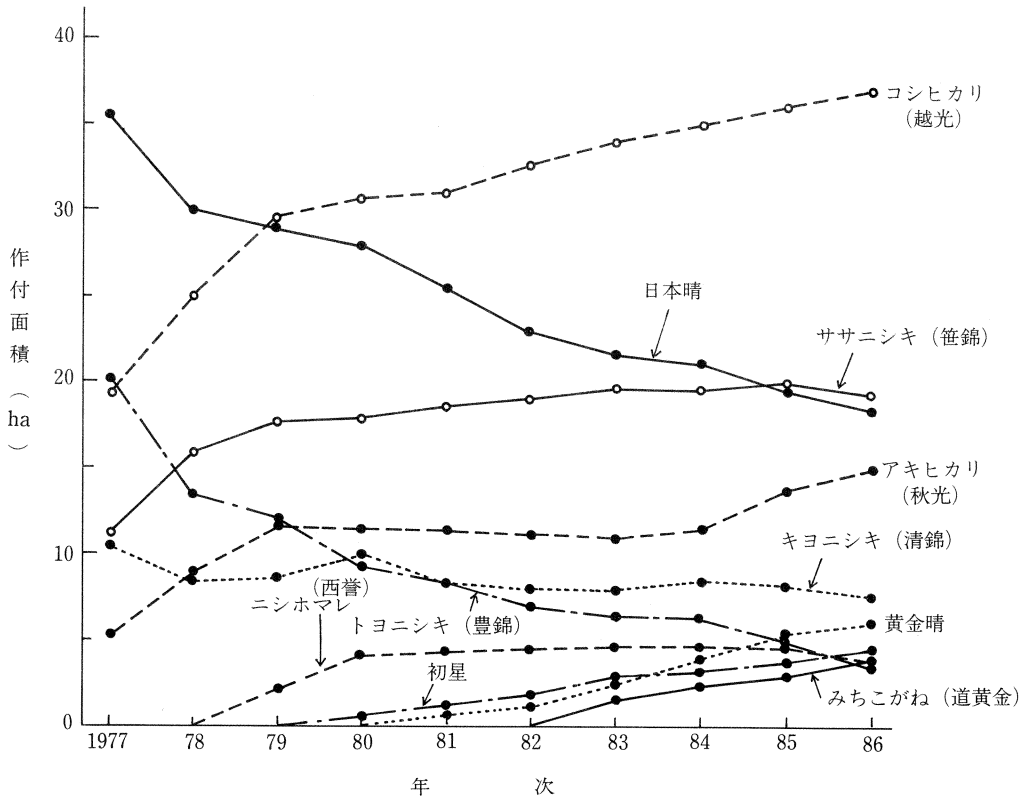


図1 わが国の主要品種の作付面積の推移

Fig. 1 Change in cultivated area of leading varieties in Japan

*主任研究官、北陸農業試験場作物部作物第一研究室、〒943-01 上越市稲田

な接近も図られてきており、低アミロース化による食味向上の育種はその好例である。

一方、米の過剰生産を打開するためには、その利用範囲を拡大することが重要である。もちろん、いかなる時代においても米の主食としての地位が変わることはないが、米の安定供給を確保するためにも用途を拡大する試みが要請されよう。そのためには、従来、十分に研究が行われていなかった米の成分についての遺伝資源の探索とその利用が推進されなければならない。米の成分特性を改変し新しい機能を付与した新品種を育成することも今後のイネ育種にとって課題の一つとなる。それらの達成には、新しい技術や未利用の遺伝資源を駆使することが不可欠であるが、何よりも育種家の卓越した観察力や先見性のある育種目標の設定に負うところが大きい。

ここでは、米の品質や食味の評価法ならびに遺伝・育種についての既往の成果を概説し、ついで米の品質・食味・栄養価の向上に関連して米成分の遺伝的改変の可能性について述べる。

2. 米の品質の評価と育種

品質は、外観、貯蔵性、栄養価など収穫から利用にいたる各段階での商品としての価値を決定する形質として定義される。加工原料や家畜の飼料として用いられる穀物での品質は、加工適性や栄養価に関連した成分特性の適否を意味する。一方、生産高のほとんどを主食として利用する米の品質評価は主に肉眼観察により行われている。

森田（1984）によれば、米の品質は一次的品質と二次的品質に分けられる。前者は玄米検査規格の対象となる形態的・物理的品質であり、実際の評価にあたっては、容積重、整粒歩合、玄米の形質、水分含量、異種穀粒や異物の混入程度などが考慮される。後者は利用上の品質であり、搗精歩合、食味、貯蔵性、栄養価などの米の商品価値を規定するものである。以上のように、商品としての米の価値を決定する品質は多数の要因が関係する複雑な形質である。

イネの育種では品質を狭い意味に定義し、玄米の外観による品質の評価をもっとも重視している。実際の育種では、腹白・心白・乳白粒歩合、玄米の光沢や色沢、粒形、粒揃いなどに重点をおいて1（上上）～9（下下）の9段階に品質を分級し、指標品種と対比して品質の良否を判定している。一般に、4（中上）ないしは5（中中）以降の品質をもった系統や個体は淘汰される。これは玄米の見かけの品質に関連する上記の形質の遺伝性が高いことを根拠とする。

表1に示すように、育種家が品質調査を行う際に共通して重視している形質は光沢と腹白であり、ついで粒揃い、乳白・心白粒の多少、透明度、溝の深さなどを重視していることが分かった（伊藤1970）。さらに、玄米の見かけの品質に関連する腹白・心白・乳白粒歩合、粒形、粒揃いならびに光沢などは品種固有の性質であり、良質品種を育成する際に重視すべき形質であると結論した。

品質やその関連形質についての遺伝は主に親子相関を基に論議されている。総じて、見かけの品質やその関連形質に関しては高い遺伝率が得られ、遺伝的に安定した形質であることが明らかにされた。

米の品質は流通・利用過程での商品価値を決定する形質であり、育種上もっとも重要な形質の

表1 品質判定において重視される形質 (伊藤 1970)

Table 1. Primary characters for evaluating grain quality in rice breeding (Ito 1970)

	腹	心	溝	皮	色	光	透	粒	粒	乳	茶	胴	青	粒	発	胚	粒	食	死	畸	
	白	白	の	の		沢	明	大	揃	米	米	割	米	形	芽	の	張	味	米	形	
			深	厚			度					れ			粒	大					
◎	26	12	8	4	4	29	9	2	19	11	8	8		1							
○	12	20	23	11	22	9	27	16	16	21	20	9	3	2	1	1	1	1	1		
△	1	6	6	10	13	1	1	21	1	6	11	22	1	2							1
—	0	1	2	13	0	0	2	0	3	1	0	0									
場 合 に よ る					1																
計	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39									

[全国通して重視されている形質] 光沢, 腹白

[大部分では重視されているが関心を払っていない県もある形質]

粒揃, 乳白米多少, 透明度, 心白, 溝の深さ

一つであると考えられる。客観的に米の品質を評価する目的で、機械化が試みられた(榎淵 1973)。しかし、必ずしも再現性の高い方法として定着していない。それゆえ、米の品質評価は遺伝力の高い形質を対象に育種家の観察力に依存して行われているのが現状である。多収性や耐病性などの特性と良質性を組合せることは比較的容易であるので、これまでに数多くのすぐれた特性を兼ね備えた良質品種が育成されている。

3. 食味の評価と育種

米の消費の場面では、食味が品質と同一視されることもあるが、本来、食味は飯米特性の一つ

表2 食味評価と飯米の理化学的性質との相関 (谷・久保 1961)

Table 2. Correlation coefficients between eating quality and several physicochemical properties of cooked rice (Tani and Kubo 1961)

測定項目	総合評価	粘り	硬さ
飯の弾性	0.729**	0.586*	0.479*
冷却粘度 (糊化デンプン)	-0.665**	-0.431	-0.494*
米粒アルカリ抵抗性	0.495*	0.499*	0.376
水分	0.380	0.537*	0.479*
最高粘度 (糊化デンプン)	-0.377	-0.498*	-0.452
ミロン反応タンパク質沈澱量	0.305	0.523*	0.452

注) **, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す。

であり、品質とは別個のものとして扱う。

食味は官能試験により飯米の外観、香り、粘り、硬さ、味（うまみ）を基に総合的に評価されている。食味の客観的な評価法を確立する目的で、飯米の主成分であるデンプンの性状や理化学的性質ならびに炊飯時での米粒の物理的変化が調べられてきた。一例として表2に谷・久保(1961)の結果を示す。表2より食味評価に飯米の弾性、糊化デンプンの冷却度（冷却時における粘度の増加）、米粒のアルカリ抵抗性などが強く影響することが分かる。さらに、飯米の弾性や粘性の食味評価に対する寄与率は約50%と推定され、日本人の食味感覚にとって粘りは重要な要素である。飯米の粘弾性はプラストメータやテキスチュロメータなどにより分析できるが、食味評価のための決め手にはなっていない。その他にも食味に関連する諸特性とその検定法が検討されてきたが、いずれも客観性や再現性に問題を残しているため官能試験に代えて利用できる方法は確立されていない。その理由として、（1）食味は品種本来の特性であるが、栽培環境条件や収穫後の乾燥調整条件などにより変動しやすいこと（2）食味は多数の要因が複雑に絡み合った形質であるため、食味の良否を決定する制限要因を的確に抽出できないこと（3）食味は嗜好性と密接に関係する形質であり、人間の感覚に匹敵する程の微妙な差異を検出できる方法が確立していないことなどが考えられる。現在、近赤外分析を応用した各種成分の分析や食味評価のための方法が開発されつつあり、実用化されることを期待する。

食味は複雑な形質であり、官能試験により評価が行われているため、その遺伝に関する研究は乏しい。これまでに得られた遺伝に関する知見は断片的なものにすぎず、先ず食味を客観的に把握できる簡易検定法の開発が急務である。

最後に、食味向上への育種の対応について最近の成果を述べる。わが国の最北端に位置する北海道では、産米のアミロース含量が他の地域の産米に比較して高い（稲津ら1974）。飯米の粘りが重視される日本人の嗜好性からみて、食味向上のための育種目標として低アミロース化が取りあげられ、低アミロース遺伝子（*du*）を利用した良食味の有望系統が育成された。この成功にはオートアナライザーによるアミロース含量の簡易検定法が重大な役割を果たした（稲津 1982）。

4. 米成分の遺伝的改変の可能性

わが国では米の大半が直接食用に供されるために、米成分についての遺伝・育種学的な知見は、糯稈性デンプンに関するものを除けば皆無に等しかった。ところが、昨今の米の生産状況を反映して、米の利用範囲を拡大したり、利用目的に一層適した品種を育成しようとの気運が高まり、米成分を変更する遺伝子が相ついで発見された（表3）。

以下に、これらの遺伝子を利用した米の成分育種の可能性について論ずる。

（1）デンプン

デンプンは直鎖状のアミロースと分岐状のアミロペクチンから成る。一般的に、糯米はアミロペクチンのみを含むのに対して、粳米は15~25%のアミロースと75~85%のアミロペクチンを含む。Okuno(1976)や Satoh and Omura(1981)は、糯粳米の中間的な外観を呈する変異体を作成し

表3 イネ穀粒の成分特性を変更する遺伝子
Table 3. Genes modifying constituents in rice grains

遺伝子	形質	座乗染色体	成分特性
<i>ae</i>	amylose sxtender (高アミロース)		高アミロースおよびアミロペクチンの構造変化
<i>du-1</i>	dull endosperm-1 (くもり胚乳)	7	低アミロース
<i>du-2</i>	dull endosperm-2 (")		"
<i>du-3</i>	dull endosperm-3 (")		"
<i>du-4</i>	dull endosperm-4 (")	4	"
<i>du-5</i>	dull endosperm-5 (")		"
<i>flo-1</i>	floury endosperm-1 (粉質胚乳)		
<i>flo-2</i>	floury endosperm-2 (")		
<i>flo-3</i>	floury endosperm-3 (")	11	
<i>ge</i>	giant embryo (巨大胚)	10	脂質含量の増加
<i>rsp-1</i>	rice storage protein-1 (貯蔵タンパク質変異)	10	13kDa ポリペプチドの減少
<i>rsp-2</i>	rice storage protein-2 (")	9	57kDa ポリペプチドの増加
<i>rsp-3</i>	rice storage protein-3 (")		13kDa ポリペプチドの減少
<i>shr-1^s</i>	shrunk endosperm-1 (しわ胚乳)	3	糖含量の増加
<i>shr-1^a</i>			
<i>shr-2</i>	shrunk endosperm-2 (")	12	"
<i>sug</i>	sugary endosperm (")	12	糖含量と水溶性多糖の増加
<i>wx, wx^a</i>	waxy (glutinous) endosperm (糯性)	6	アミロースの欠損ないしは減少
<i>wx^a, wx^b</i>	wx protein and amylose content (wx タンパク質変異)	6	アミロース含量の増減

表4 dull 突然変異体の胚乳デンプンの特徴
Table 4. Characteristics of endosperm starch isolated from dull mutant of rice

材 料	デンプンの各画分の含量(%)				III / II
	I	中間	II	III	
糯 変 異 体	0.0	1.5	19.8	78.8	4.0
dull 変 異 体	10.5	1.3	17.6	70.6	4.0
原 品 種 (粳)	19.4	2.4	17.0	61.2	3.6

注1) 実験方法は Okuno ら(1983)を参照のこと。

注2) I, II, IIIは、それぞれアミロース、アミロペクチンの長い分岐鎖(平均重合度は約40)、アミロペクチンの短い分岐鎖(平均重合度は約15)を示す。

た。これらの変異体はアミロース含量が減少し、アミロペクチンの構造変化を伴わないデンプンを生成した(表4)。このデンプン特性は糯稈性を決定する遺伝子座 (*wx*) とは異なる新しい遺伝子 (*du*) により支配されることが判明した(Okunoら 1983)。今までのところ5個の *du* 座が確認されている。さらに、佐々木ら (1987) は中国・雲南省より導入した品種「大理早粳」が *du* 遺伝子を保持するとの結果を得た。

Asaokaら (1984, 1985) が明らかにしたように、アミロース含量は開花後5~15日の温度により著しく変動し、低温下では高アミロースとなる(表5)。高アミロース化は飯米の粘りを低下させるため、食味にとって不利である。それゆえ、登熟期の気温が低めに経過する地域での食味向

表5 イネ胚乳デンプンの構造に対する温度の効果(Asaokaら1985)

Table 5. Effect of temperature on amylose content and fine structure of amylopectin in endosperm starch of rice(Asaoka *et al.* 1985)

温度処理 (温度℃-日数)	デンプンの各画分の含量(%)				
	I	中間	II	III	III/II
25-5 → 30-29	11.3	4.4	26.6	57.7	2.2
25-10 → 30-25	15.8	3.7	23.5	57.0	2.5
25-15 → 30-21	18.5	3.5	20.2	57.8	2.6
25-20 → 30-17	19.6	3.1	20.9	56.4	2.7
25-40 → 30-0	19.0	3.6	20.3	57.1	2.8
30-5 → 25-34	19.2	4.4	21.1	55.3	2.6
30-10 → 25-28	15.6	4.8	23.7	55.9	2.4
30-15 → 25-22	12.5	4.4	26.2	56.9	2.2
30-20 → 25-16	13.1	5.8	24.9	56.2	2.3
30-34 → 25-0	12.3	4.7	26.3	56.7	2.2

注1) 登熟期の積算温度を1000℃とした。

注2) 各画分の内容は表4の脚注に示す。

上をねらいとする育種にとって *du* 遺伝子は有効である。

(2) タンパク質

日本人は全摂取タンパク質の15%程度を米に依存する。したがって、米の栄養価を向上させることは米を主食とする民族にとって重要である。従来、米タンパク質に関する育種はタンパク質含量を高める方向で進められてきたが、今や質的な改良の重要性が指摘されている(田中 1985)。

胚乳中のタンパク質はプロテインボディ (PB) と呼ばれる顆粒中に集積する。プロテインボディには栄養価の劣るプロラミンが集積する難消化性のPB-Iと良質のグルテリンに富む易消化性のPB-IIがある。貯蔵タンパク質の面から米の栄養価を改善する場合、PB-Iを減少さ

せる一方、PB-IIを増加させることが課題である。表3に示すように、熊丸ら(1987)によりタンパク質の改良を可能にする遺伝子が発見された。近い将来これらの遺伝子を活用して米の栄養価を向上させるための育種が展開されるものと確信する。

(3) 脂 質

米は油脂資源としても重要である。油脂は主に胚と糊粉層に含まれるが、精白時に米糠として除かれる。米の油脂は良質であり食品素材としての価値が高いにもかかわらず、必ずしも有効に利用されていない。巨大胚遺伝子(*ge*)を活用して、さらに効率の高い油脂資源としてのイネ品種を開発することも今後取り組まなければならない課題の一つである(松尾ら 1987)。

また、油脂が集積する顆粒(スフェロゾーム)の傷害が貯蔵中での米の品質劣化(古米化)の原因あるいは引き金になっているとも考えられ(森田 1984)、リポキシゲナーゼ欠損変異の発見など米の貯蔵性に関連した油脂代謝に関する研究も重要である。

引 用 文 献

- ASAOKA, M., OKUNO, K. and FUWA, H. (1985) *Agric. Biol. Chem.* 49, 373-379.
- ASAOKA, M., OKUNO, K., SUGIMOTO, Y., KAWAKAMI, J. and FUWA, H. (1984) *Starke* 36, 189-193.
- 稲津 脩(1982)北海道立農試資料 15, 49-64.
- 稲津 脩・渡辺 公吉・前田 巖・伊藤 恵子・長内 俊一(1974)澱粉科学 21, 115-119.
- 伊藤 隆二(1970)育種学最近の進歩 10, 62-71.
- 熊丸 敏博・山本 美佳・佐藤 光・岩田 伸夫・大村 武・小川 雅広・田中 國介(1987)育種 37 (別1), 336-337.
- 榑淵 欽也(1973)農業および園芸 48, 1355-1356.
- 松尾 功・佐藤 光・尹景民・大村 武(1987)育種 37, 185-191.
- 森田 雄平(1984)化学と生物 22, 710-718.
- OKUNO, K. (1976) *Div. Genet., Nat. Inst. Agr. Sci. (Japan), Ann. Rep.* 1, 28-29.
- OKUNO, K., FUWA, H. and YANO, M. (1983) *Japan. J. Breed.* 33, 387-394.
- 佐々木 行雄・長峰 司・中川原 捷洋(1987)育種 37 (別1), 256-257.
- SATOH, H. and OMURA, T. (1981) *Japan. J. Breed.* 31, 316-326.
- 田中 國介(1985)遺伝 39, 57-62.
- 谷 達雄・久保 彰治(1961)育種学最近の進歩 3, 59-65.

討 論

池橋 宏(千葉大): アルカリ崩壊度と食味との関係は重要と思われるが、表3にアルカリ崩壊遺伝子が載っていない理由は。

回答：米のアルカリ崩壊度が米粒で異なることは20年前に工藤の報告がある。アルカリ崩壊度と食味は直接的な関係がないというのが専門家の意見である。アルカリ崩壊性の物質的基礎は現在でも明確になっていないと理解している。表3の遺伝子リストにアルカリ崩壊度を載せてないのは、成分育種の対象となりうる遺伝子とは当面考えられなかったからである。

池橋：インディカはアルカリ崩壊しにくい、これが食味に関係しているのではないか。

回答：アルカリ崩壊性の難易は胚乳細胞の表面構造、デンプン粒やデンプンの性状、構造及び未知の要因を含めた複数の要因により決定されると考えられる。同様に食味も多くの要因が絡み合った形質である。両者の間に密接な関係があるか否かについては、インディカを含めても明確になっていないと思う。アルカリ崩壊性の食味への寄与を知るには、崩壊度を異にする isogenic lines を作出し、食味評価を行う必要があろう。

廖昌禮(貴州省農科院)：1)日本の消費者の好みに合う良質米はどういう基準、たとえばアミロース含量、糊化温度、膠稠度、タンパク質含量(玄米及び精米の)によって評価されているのか。2)日本では品質に関する主な形質は育種のどの段階からどのような方法で評価、選抜されているのか。3)アミロース含量の単粒分析はどういう機械で行うか。測定分析の詳しい資料を提供して、あるいは詳しく説明していただけないか。

回答：1)日本の主要品種について、米成分の量的及び質的な評価はまだ体系的には行われていないので、良質といわれる品種が成分からみて、どのような特性をもっているかは明言できない。今後の課題である。2)品質評価は個体選抜の段階から開始する。3)アミロース含量の測定法(テクニコン社製オートアナライザーを使用)

- ①精白後、米粒を一粒ずつ秤量する(重量の測定)。
- ②一定量のKOH溶液を加え、一晩放置する(デンプンを糊化させる)。
- ③水を加えながら様な懸濁液をつくる。
- ④オートアナライザーにより自動測定(ヨードヨードカリ液で染色し、600mmの波長での吸収を自動的に測定する)。
- ⑤標準試料を用いてあらかじめ製作した回帰式からみかけのアミロース含量(重量%)を算出する。

横尾政雄(農研センター)：栄養的にみれば米粒の蛋白質含量を高くすることは品質向上に寄与するが、蛋白質含量が高くなると食味が低下すると言われている。この点について、今後、日本の米の成分育種の中で両者をどう按配していけばよいか。

回答：食味を低下させずに米の栄養価を向上させるためには、リジンやトリプトファンに富むグルテリン・タンパク質を主成分とし、それ自体、人の消化系で分解・吸収されやすいプロティンボディーIIの含量を増加させる一方、栄養価の劣るプロラミン・タンパク質を主成分とし難消化性のプロティンボディーIの含量を減少させることが目標になる。この場合、蛋白質含量を増加させずに栄養価の向上が期待できる。