

作物育種の現状と展望

丸山清明（農林水産省農林水産技術会議事務局）

The present status and prospect of crop breeding
Kiyooki MARUYAMA
Agr. Forest. Fish. Council, MAFF

はじめに

世界の人口はこの30年間に30億人から25億人増えた。この間、穀物生産量は倍増し、現在は19億トンに達している。しかし、収穫面積は1970年代半ばから減っている。それにも関わらず生産量が増え続けているのは、単収が順調に伸びていることを示す。一人当たりの穀物生産量は1980年代半ばより減少しており、1970年頃の水準に戻っている。しかし、最近は飢饉もない。世界的には340kg/年/人もあれば十分なのであろう。

30年後の2025年には85億人に達すると予想されている。この人口を養えるだろうか。収穫面積は、生産調整しなければ、現在の7億haから8億haまでは無理なく増やせると考えられる。単収は現在平均値を下げている発展途上国の単収の増加が期待される。30年後には、

$$\underline{115\%(\text{収穫面積}) \times 130\%(\text{単収}) = 150\% = 28\text{億トン}}$$

程度の穀物生産量が期待できる。不安定要因は発展途上国の食生活の変化であろうか。発展途上国の動物質カロリー摂取量（240kcal/day/man、1988-1990）が日本並（616kcal、米国は1107kcal）になると、植物から動物へのエネルギー変換率を1/5として、1880kcal分の飼料穀物が必要となる。発展途上国の45億人の食生活が日本並に変化するとして、

$$\underline{(45\text{億人} \times 2000\text{kcal} \times 365\text{日}) / 3.5\text{kcal} = 9\text{億トン/年}}$$

9億トンは今後見込まれる増産分にほぼ相当するので、発展途上国の食生活の変化が世界の食糧事情と強く関連することになる。

育種家の立場からは、育成した品種が農家に普及することが前提であるので、農家収入を増やす品種が求められる。

$\begin{aligned} \text{農家収入} &= \text{収穫量} \times \text{価格} - \text{生産費} \\ \text{収穫量} &= f(\text{多収性、環境耐性}) \\ \text{価格} &= f(\text{品質、相場}) \end{aligned}$

この式からわかるように、品質は多収性・環境耐性と同等に重要である。生産費の低減にも、育種は機械化適性形質などを通じて関連している。我が国の水稲を例にとれば、直播適性品種の開発が重要である。

1 育種による収量の向上

(1) 多収性

多収化はsinkとsourceの拡大と、収穫指数の増加により実現してきた。sinkの拡大に最も寄与したのは窒素肥料であり、それを利用可能とした耐肥性品種である。品種の耐肥性の足らざる点はきめ細かな分施肥技術によっておぎなわれてきた。育種面からは、耐肥性は半矮性遺伝子によってもたらされた。イネでは *sd-1* 座の遺伝子が世界各地で独立に利用されてきた(表1)。コムギでは *Rht 1* ~ *Rht 9* が利用されている。今後とも半矮性の利用は多収育種のキーテクノロジーと考えられる。

表1 各国のイネ育種に用いられた *sd-1* 座の半矮性遺伝子源

国・機関	遺伝子源	由来
日本	十石	日本在来
	白千本	"
	レイメイ	フジミノリの人為突然変異
中国	矮仔占	中国在来
	矮脚南特	南特16号の自然突然変異
米国	Calrose76	Calroseの人為突然変異
I R R I	低脚烏尖	烏尖の自然突然変異?
	台中在来1号	低脚烏尖/菜園種

これらの半矮性遺伝子は、短稈の割に穂長が長く、同時に直立した長い葉身を持ち、それが良好な leaf canopy を形成し、受光態勢を改良し、sourceの拡大とともに、収穫指数の向上に寄与している(表2)。

ハイブリッド化も多収化に大きく寄与してきた。特に米国におけるトウモロコシの育種では決定的役割を果たしてきた。1920年に組織的にF1育種が開始されて以来、米国の単収は1.5 t/ha水準から現在は7トンを超え、米国の輸出を支えている。

イネやコムギは自家受粉性が強く、実現は遅れているが、イネでは中国で約5割がF1化し、食糧自給に大きな役割を果たしている。

自家受粉のイネやコムギでハイブリッド品種が広く普及するためには、採種法の改良がと品質の改良が重要である。

表2 メキシコにおける半矮性コムギの収穫指数 (Borlaug, 1982)

品種	草丈 (cm)	矮性	子実収量 (ト/ha)	収穫指数 (%)
Yaqui 48	143	T	5.22	33
Mentana	127	T	6.43	35
Nainari	127	T	6.90	40
Jupateco 73	112	S D	8.60	43
Pitic 62	110	S D	7.95	41
INIA 66	107	S D	7.48	44
Siete Cerres	106	S D	8.68	42
Jaral 66	102	S D	7.73	38
Cajemi 71	88	D D	9.16	48
Yecora 70	85	D D	8.71	50
Yaqui 50	82	D D	8.26	48
Hira(India)	77	D D	7.78	50
Olsen Dwarf	50	T D	8.10	50

T:長稈、S D:半矮性、D D:二重矮性

T D:三重矮性、収穫指数=子実重/全乾物重×100

(2) 環境耐性

多肥下で安定した多収を得るためには、病虫害等の生物的環境と気象災害等の非生物的環境に対する抵抗性を品種に付与する必要がある。また、環境耐性は生産費の低減、環境負荷の軽減、消費者のアクセプタンスにも重要である。

以下、イネを例に環境耐性育種を紹介する。

耐病虫性：昭和30年代に、いもち病真性抵抗性遺伝子を導入したクサブエ、ユーカーなどが罹病性レースの出現により抵抗性が崩壊したため、以後の育種はレース特異性の小さい圃場抵抗性を利用してきた。トヨニシキやトドロキワセはその傑作である。真性抵抗性を連続戻し交雑で導入した同質遺伝子系統によるマルチライン品種は上手に利用すると防除がいっさい不要になる。平成6年に日本の第1号品種としてササニシキBLの普及が開始した。現在、ササニシキ以外の基幹品種の同質遺伝子系統の育種が進められている。縞葉枯病は南インドの在来種、Modanに由来する抵抗性が導入され、本病の被害はほぼなくなった。今後は、多種類の抵抗性遺伝子を基幹品種に集積した複合抵抗性品種の開発をめざす。

縞葉枯病ウイルス外皮タンパク質をコードする遺伝子を日本晴に導入した抵抗性系統が得られている。紋枯病やニカメイチュウのように、近縁野生種を含めた遺伝資源に抵抗性遺伝子を発見できない場合には、このような、遺伝子組換えによる育種が必須である。ニカメイチュウにはBTトキシン産生遺伝子が利用されている。

耐冷性：平成5年の冷害に見られるとおり、品種の抵抗性水準はまだ不十分である。今後は、国内抵抗性遺伝子の集積に加え、海外遺伝資源からの抵抗性の導入も含めて耐冷性育種を進める。また、耐冷性の分子レベルでの発現機構の解明により一層高度な耐冷性品種の開発をめざしている。

雑草耐性：品種の中にはアレロパシーによりコナギの生育を抑制し、稲株の回りに阻止円を形成するものが存在することが明らかになった。また、品種によっては、旺盛な初期生育で雑草の発生を軽減することも知られている。今後は、全ての雑草には無理としても、一部の雑草については抵抗性の利用が期待できる。

耐塩性：大腸菌のグリシンベタイン合成遺伝子を導入したイネが作られている。耐塩性を期待通りに発揮するか否かは未確認だが、淡水性のラン藻を形質転換し、0.4MのNaCl中で生育可能に改変することに成功している。

2 育種による品質の向上

品質の内容は、①食味（味、物理性、外観、香り等）、②栄養性（消化性、タンパク含量、アミノ酸組成等）、③機能性（ビタミン、健康増進成分、低アレルゲン等）、④流通貯蔵特性（日持ち、水分、耐虫性等）、⑤加工適性（目的成分、製粉・精米歩留り、製めん適性、製パン特性、色等）などに分けられる。これらの特性の大部分は育種による改良が可能である。効率的に育種を進めるためには、簡便で的確な検定法の開発が重要であり、画期的な品質特性をもつ品種の開発にはバイオテクノロジーに期待するところが大きい。

(1) でんぷん組成の改変

イネではモチとウルチの中間のアミロース含量（5～15%程度）を示す半モチが多数見いだされている。半モチ遺伝子では $du-1 \sim du-5$ が同定されている。平成7年にはコシヒカリの半モチ突然変異系統のミルキークイーンなどが新たに命名登録された。また、6倍体のコムギでは劣性形質のモチ性を誘発することは困難であったが、平成6年にモチコムギが東北農業試験場と農業研究センターで独立に開発された。モチコムギの利用法は未知であるが、粘弾性の向上が期待でき、めんなどへの加工利用が検討されている。

（2）たんぱく質含量・組成の改変

コムギではタンパク質含量が用途と関連している。菓子用・てんぷら粉（6%以下）、めん（8～9%）、ラーメン（9～10%）パン（12～13%）、スパゲティ（13～14%）がその例である。最近、製パン性（パンの膨らみ）にはグルテニンの特定サブユニットが重要なことが解明された。我が国に向けた本格的パン用品種の開発がこのような研究を契機に進展することが期待される。

（3）脂肪の含量・組成の改変

今後の世界の食生活の変化の動向から、脂肪含量と組成の改良は重要な育種目標である。イネでは胚芽油用の巨大胚系統開発済みである。80世代にわたる選抜実験の結果から、トウモロコシでは脂肪成分を20%まで向上させることが可能なことが示された。ダイズも重要な脂肪資源で、量と質の改変が期待される。ナタネでは無エルシン酸のCanolaが一般的になってきたし、最近では脂肪酸合成酵素の改変によりラウリル酸など、他の油料作物が産生する脂肪酸をもつナタネが米国で育成された。

3 育種による生産費の低減

水稻の育苗、移植は労働時間の26%を占め、生産費の押し上げのみならず、大規模化の隘路となっている。従って、直播適性品種の開発は最も重要な育種目標である。直播適性に関わる形質は、低温発芽性、低酸素出芽性、低温伸長性、初期生育性、早生多収性、耐倒伏性、休眠性など多岐にわたる。日本品種は長年にわたり移植に適應してきたため直播適性は不十分である。開発戦略としては、短期的には良質な基幹品種を育成するなかで、直播適性に少しでも優れた系統を選抜すること、長期的には海外遺伝資源も用いて直播適性に極めて優れた中間母本を育成し、それに良質性を付与する育種を重ねることである。

おわりに

作物品種に求められる形質は、栽培される地帯の自然環境に加えて、社会経済条件によって異なる。これらの点を配慮しつつ、様々な育種法を駆使して求められる遺伝子型を出きる限り短期間で開発することが育種である。しかし、品種の特性は、利用する品種の特性を十分に引き出す栽培法や、その品種が不十分な特性を補う栽培法や加工法があって始めて発揮されるものである。また、作物研究者からの品種に対する提言は育種を実施するにあたり不可欠のものである。今後とも、作物と育種の研究者が一層密接に連携をとることを期待したい。