

新たな用途をめざした稲の研究開発

平成 18 年度版



目次

はじめに	1
1. 米の需給の変遷	1
<コラム①> インド型と日本型	2
2. 研究開発目標の変化	2
<コラム②> 稲の品種に関する制度(「品種」って何?)	4
3. 一般食用向け品種の育成	4
(1) 良食味品種の育成	4
(2) いもち病抵抗性のマルチラインの育成	4
(3) 直播適性の高い良食味品種の育成	5
4. 新規用途向け品種の育成	5
(1) 新形質米	5
1) 低アミロース米・高アミロース米	5
2) 巨大胚米・糖質米(発芽玄米用米)	7
3) 加工用米	7
4) 有色素米、香り米	8
(2) 飼料用稲	8
1) エサ米	8
2) 稲ホールクロップサイレージ	9
5. 新たな研究展開	10
(1) イネゲノム研究の成果に基づく新たな稲育種研究	10
1) ゲノム情報を用いた交雑育種(DNAマーカー育種)	10
<コラム③> DNAマーカー育種とは	11
2) 遺伝子組換え技術	12
(2) 稲のバイオマス利用に向けて	13
1) エネルギー利用	13
2) マテリアル利用	14

はじめに

農林水産省農林水産技術会議では、国民に広く農林水産分野の研究開発についてご理解いただくため、農林水産研究開発レポートを発行、配布しています。稲の研究開発に関しては、平成15年に「新たな用途をめざした稲の研究開発」をNo.6として発行しました。その後、平成17年3月に、新しい「食料・農業・農村基本計画」(<http://www.maff.go.jp/keikaku/20050325/top.htm>)が閣議決定されました。これに沿って「経営所得安定対策等大綱」(http://www.maff.go.jp/syotoku_antei/index.html)においては、担い手に対して施策を集中する品目横断的経営安定対策を行うことが示されました。担い手を技術面で支えるためには、直播栽培などの省力・低コスト栽培で、かつ高品質の米を生産する技術、飼料自給率向上のための飼料用専用稲の開発などが考えられます。また「21世紀新農政2006」(http://www.maff.go.jp/shin_nousei/index.html)においては、新食品・新素材の市場規模を5年で3倍超に拡大すること等が目標として示されています。そのためには、新たな機能を備えた品種の育成・利用が必要です。そこで、研究開発の現状と今後を踏まえた前レポートの改訂版であるNo.18を発行します。

1. 米の需給の変遷

わが国の米の需要量は、明治半ば以降の産業近代化に伴って、急激に増加しました。その結果、米は国内での増産だけでは需要をまかないきれず、恒常的に輸入されるようになりました。大正の後半から太平洋戦争前まで100万トンを超える輸入・移入が続き、その量が総供給量の2割近くを占める年もありました。戦争が進むにつれて食糧不足は深刻化し、昭和17年には米を始めとする主要食糧を国家管理とする食糧管理法が施行されました。戦後の10年間は食糧逼迫の時代でした。米生産は需要に追いつかず、大量の麦や米が輸入されました。米の増産を図るため、用排水等の基盤整備や大規模な土地改良、化学肥料の増産、干拓事業等の新田開発などが国を挙げて行われました。こうした取組の結果、昭和30年以降は米の生産量が明確に上向き、昭和40年代の初めには、米の自給が完全に達成されました。

その後、国民生活の向上に伴って食生活の多様化が進み、米に替わって肉類や油脂類の消費が増加したため、米の需要量は、昭和38年の1,341万トンをピークとして減少傾向に転じました。これに対して米の生産量は昭和42年産から1,400万トンを超える高水準が続き、大幅な生産過剰となりました。昭和44年には自主流通米制度の導入とともに初の米の生産調整が試行され、昭和46年から本格的な実施が始まりました(図1)。

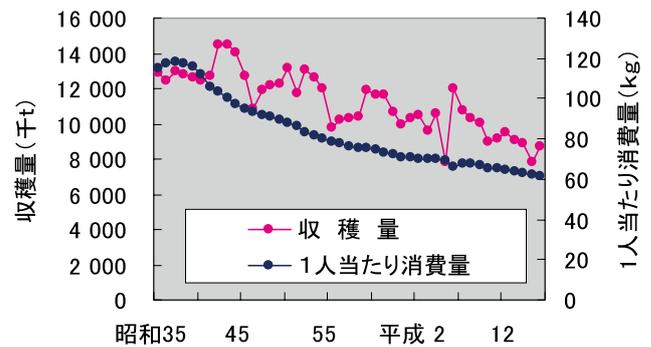


図1 米の収穫量と1人当たり消費量の変化

米の消費は現在も減少を続けています。平成16年の一人当たり消費量は61.5kgと、最も多かった昭和37年(118kg)の半分近くになりました。最近では一貫して生産調整規模は拡大し、平成15年度では全国で水田面積の39%に相当する106万haの生産調整に取り組んでいますが、大幅な生産調整にもかかわらず米の価格は低下し、一方で過剰米処理のための財政負担が増加しています。

しかし、米は、依然として供給カロリーのトップを占めており、わが国における食生活の主役です。米を主食として魚介類、大豆、野菜、畜産物などが組み合わされた日本型食生活は、栄養的にタンパク質(P)、脂質(F)、炭水化物(C)が適切なバランスを保ち、理想的な食生活とされています。近年では食生活の変化に伴って脂質の摂取過多等の傾向が見られ、栄養バランスの崩れや生活習慣病の増加が懸念されており、わが国における健康的で豊かな食生活を維持する上でも、米は重要な役割を担っています。

また、全国に広がる水田は今日の社会でも多様な機能を持っています。平成13年に日本学術会議から、農林水産大臣の諮問「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的機能の評価について」に対する答申が出され、農業の多面的役割としての経済的評価が行われました。この中では、急峻な国土の中で各地に

広く展開する水田が大きな役割を果たしている治水機能について、洪水防止機能として年間3.5兆円、河川流況安定機能として1.5兆円など高く評価されて

います。今後も水田の有効利用によって、こうした多面的機能を維持していくことが必要です。

コラム①

インド型と日本型

インド型(indica)と日本型(japonica)は、アジアの栽培イネ(Oryza sativa)の亜種として、加藤茂苞博士(1930)により分類されました。インド型はインド亜大陸やインドシナ半島といった熱帯地方に多くみられ、日本型は日本や朝鮮半島といった温帯地方に多くみられます。インド型と日本型の交雑は比較的簡単にできますが、その雑種第1代(F1)は様々な程度の不稔(種子ができないこと)を示します。これまで複数の研究者がアジアの栽培イネの分類を試みており、このほかに両者の中間的な亜種として、主にインドネシアに分布するジャワ型(javanica、熱帯日本型とも言われます)が見出されていて、現在はこの3つの亜種が存在するという見方で一致しています。

各亜種の大まかな特徴は下表のとおりで、日本型は短粒で米に粘りがあり、インド型は長粒～短粒で粘りがなく、ジャワ型が大粒で粘りが中程度とされます。しかし、各亜種間には連続的変異があることが認められていて、個別の分類は簡単ではありません。

米の新たな用途開発に際しては、これら栽培イネの遺伝的変異を十分に活用することで今まで思いもよらなかった新たな扉を開くことができるかもしれません。

形質	日本型	ジャワ型	インド型
葉身	狭く、濃緑	広く、剛、淡緑	広い～狭い、淡い緑
分けつ	中	少ない	多い
草丈	短～中	長い	中～長い
籾の毛茸	長く、密生	長い	短い、疎生
芒	無芒～長い芒	長い(bulu)、無芒(gundil)	無芒が普通
玄米	短く、円い	長く、幅も厚い	長～短、幅が狭い、薄い
脱粒性	難	難が多い	易
組織	硬い	硬い	柔らかい
感光性	無～低い	低い	高い～低い、無し
アミロース含量	10～24%	20～25%	23～31%
糊化温度	低い	低い	多様(低～中)
フェノール反応	なし	なし	染まる

Lu and Chang (1989) および小島一政他、インドネシアの稲作をもとに作成

(参考文献：イネに刻まれた人の歴史、池橋宏著、2000年、学会出版センター)

2. 研究開発目標の変化

戦後の稲の研究開発目標は、安定多収と軽労化でした。草丈の低い耐倒伏性品種の育成と多肥栽培は、収量

の向上に貢献し、除草剤や農業機械の開発・普及は労働生産性を飛躍的に高めました。昭和29年の10a当たり平年収量は338kg、労働時間は190時間でしたが、平成16年の10a当たり平均収量は530kg、労働時間は30時間と、50年間で単収は50%以上増加し、労働時間は6

分の1以下に短縮されました。米の生産が需要を上回るようになると、価格の銘柄間格差が拡大し、良食味品種に対する要望が高まりました。「コシヒカリ」は、このような背景から作付けを伸ばし、現在では水稲作付面積の38%を占めています(表1)。品種開発においても食味の

向上が第一目標とされ、「キヌヒカリ」、「ヒノヒカリ」、「ひとめぼれ」などの良食味品種が育成されました。また、道県においても独自に良食味のブランド米を開発する機運が高まり、「あきたこまち」、「きらら397」などが道県育成品種として広く作付けされています。

表1. 水稲の品種別作付け状況(平成17年産)

順位	品種名	育成年	育成地	作付比率 (%)	作付面積 (ha)
1	コシヒカリ	昭31	福井県農業試験場*	38.0	556345
2	ひとめぼれ	平2	宮城県古川農業試験場*	10.6	154929
3	ヒノヒカリ	平元	宮崎県総合農業試験場*	10.3	150779
4	あきたこまち	昭59	秋田県農業試験場	9.0	131751
5	キヌヒカリ	昭63	農林水産省北陸農業試験場	3.4	49304
6	きらら397	昭63	北海道立上川農業試験場	3.3	48992
7	はえぬき	平3	山形県農業試験場	3.1	45359
8	ほしのゆめ	平8	北海道立上川農業試験場*	2.5	36088
9	つがるロマン	平7	青森県農業試験場	1.7	25035
10	ななつぼし	平13	北海道立中央農業試験場	1.3	18691

*は指定試験地(国が都道府県に育種事業を委託した試験地)。
(作付け比率、作付け面積は農林水産省 米穀の品種別作付状況より)

水稲の安定多収や良食味のための研究開発の重要性は今でも変わりませんが、一方では、消費者ニーズの多様化に対応するため、新たな用途をめざした研究開発が始められました。平成元年からプロジェクト研究「需要拡大のための新形質水田作物の開発」(通称「スーパーライス計画」)においては、米のタンパク質やデンプンの特性の解明、新たな用途に向く品種の育成と加工・利用技術の開発が開始されました。その後、スーパーライス計画は、ブランド化を目指した高品質・高機能米の研究や、低コスト・省力稲作および飼料用稲の研究に引き継がれました。

これらの成果を踏まえ、新たな社会的ニーズに応えるため、平成18年度からは2つのプロジェクト研究が開始されました。食生活の変化に対応した加工・業

務用農産物の供給においては、輸入農産物が優位性を持つことから、国産農産物の品質と生産性の向上が求められています。そこで、プロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」の中では業務加工用の低コスト米の研究が進められています。また、平成17年3月に閣議決定された新たな「食料・農業・農村基本計画」では、食料自給率をカロリーベースで45%(現状40%)に向上することが目標とされています。この目標を達成するためには、現在24%にとどまっている飼料自給率を大幅に向上させることが重要です。そこで、プロジェクト研究「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」の中で高品質飼料稲生産の研究が行われています。

稲の品種に関する制度（「品種」って何？）

品種登録: 育成者の権利を保護するために設けられている種苗法に基づく登録で、特許と同様の知的所有権の一種です。登録が認められるためには、既存品種と重要な形質で区別できること（区別性）、同一世代で形質が十分類似していること（均一性）、増殖後も形質が安定していること（安定性）等の要件が必要です。

命名登録: 農林水産省の新品種として決定し、その普及に資するため、農業関係の試験研究を行う独立行政法人及び指定試験地（国が育種事業を委託した都道府県の試験地）が育成した特性が優良なものについて命名登録を行います。命名登録は昭和4年の農林登録制度発足（最初の登録は小麦でした）以来続いており、作物ごとに農林番号が付与されます。水稲農林1号は昭和6年に登録されました。「コシヒカリ」は水稲農林100号、「ササニシキ」は水稲農林150号として登録されています。

奨励品種: 主要農産物種子制度に基づく都道府県が普及すべき優良な品種です。奨励品種になると都道府県に原種・原々種の生産が義務づけられます。最も作付けの多い「コシヒカリ」は、40都府県で奨励品種に採用されています。低アミロース米の「ミルキーQueen」は、茨城県で奨励品種に採用され、全国で2,400ha を超える栽培面積があります。

3. 一般食用向け品種の育成

(1) 良食味品種の育種

一般食用品種の作付については、「コシヒカリ」を中心に売れる米であるブランド品種への作付けが集中しており、「コシヒカリ」に次いで、「ひとめぼれ」や「ヒノヒカリ」、「あきたこまち」が多く作付けされています。これらの品種は、いずれも「コシヒカリ」を親として育成された品種で、病気に弱い、倒れやすいなどの欠点を持っています。そこで、良食味を維持しながら、各種の耐性を備えた品種の育成が進められ、最近では、いもち病抵抗性の「ちゅらひかり」（平成15年、東北農業研究センター）、縞葉枯抵抗性の「さとじまん」（平成17年、作物研究所）、高温登熟でも品質が優れる「にこまる」（平成17年、九州沖縄農業研究センター）などが育成されました（写真1）。

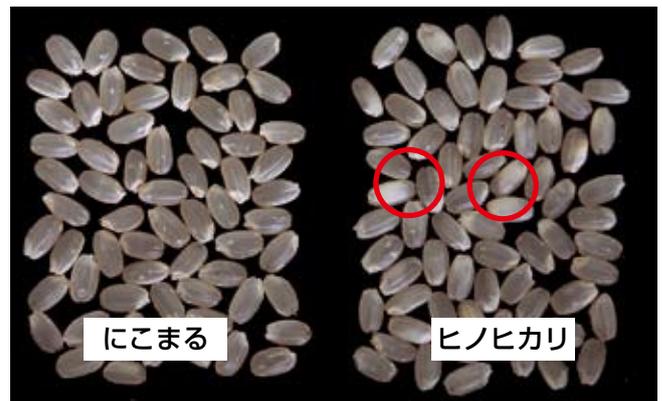


写真1 高温登熟耐性品種「にこまる」

「にこまる」は「ヒノヒカリ」よりも高温登熟条件下での外観品質が優れる。「ヒノヒカリ」では白米熟米（赤丸内）がみとめられる。

現在作付けられている品種の多くは「コシヒカリ」と近縁であり、稲の遺伝的な多様性が失われ、稲作が脆弱なものになっている恐れがあります。このような状況を打破するためには、多様な遺伝子源を用いて良食味品種の耐病虫性や生産性を向上するための育種を強化する必要があります。

(2) いもち病抵抗性のマルチラインの育成

ブランド品種の欠点の一つであるいもち病抵抗性を改良する手段として、抵抗性の多系品種（マルチライン）の育成があります。いもち病抵抗性には、ある病原菌の菌株にはほとんど感染しないが、別の菌株に

対しては罹病してしまう真性抵抗性と、多くの菌株に対してある程度の抵抗性を示す圃場抵抗性とがあります。マルチラインとは、真性抵抗性のみが異なり他の形質が片方の親と同一な数種の同質遺伝子系統からなります。過去の病害抵抗性育種の歴史の中では、一つの真性抵抗性遺伝子しか持たない品種が数年で罹病化してしまうことがしばしば問題となりました。一方、マルチラインでは、異なる抵抗性遺伝子の系統を混合しているために、長期間抵抗性を維持させることが可能であると考えられています。最初に育成され、普及したのは宮城県古川農業試験場(指定試験地)の「ササニシキBL」(BLはBlast resistance Lines(いもち病抵抗性系統)の略)です。その後、新潟県と富山県では「コシヒカリBL」が普及に移されました。新潟県と富山県では、「コシヒカリBL」は、収量や食味などの形質が従来の「コシヒカリ」と全く同じで、いもち病抵抗性のみが異なると考えられています。平成17年には新潟産「コシヒカリ」の98%が「コシヒカリBL」に切り替わりました。その他、「日本晴」「キヌヒカリ」「ハナエチゼン」「ひとめぼれ」などのマルチラインが育成されています。近年、マルチラインとなる同質遺伝子系統の育成では、DNAマーカーが用いられるようになり、より純度の高い同質遺伝子系統が短期間で選抜できるようになりました。

(3) 直播適性の高い良食味品種の育成

直播栽培は、稲作の規模拡大や生産コストの低減を考えると極めて重要な技術開発の対象です。直播の栽培面積は昭和49年の55,000haをピークに平成5年の7,184haまで減少しましたが、現在は15,752ha(平成17年)に回復しています。特に、北陸地域と東北地域では湛水直播栽培が増加しています。直播栽培がこれまで停滞した理由としては、出芽・苗立ちが安定しないこと、移植栽培に比較して倒伏しやすく収量が劣ることなどがあげられます。直播栽培の普及を促進するためには、出芽・苗立ちに優れ、耐倒伏性が強く直播栽培でも多収となる適性品種の開発が必要です。これまで、直播栽培に適した品種の育成は着実に続けられており、北陸農業試験場(現、中央農業総合研究センター北陸研究センター)が育成した「どんとこい」(平成7年)や「いただき」(平成12年)は、耐倒伏性に優れ、直播栽培に適した良食味の品種です。最近、九州沖縄農業研究センターが開発した「ふくいずみ」

(平成16年)は打ち込み点播方式の直播栽培に適し、耐倒伏性に優れ、病害抵抗性を備えた良食味品種です。また、東北農業研究センターでは、直播栽培で耐倒伏性に優れて多収の良食味系統「萌えみのり」(平成18年命名登録)を育成しました。さらに、現在、直播栽培での耐倒伏性の指標である押し倒し抵抗性が「どんとこい」の2倍以上あり、良食味の多収実用系統が育成されています。また、外国品種の土中出芽性を導入した中間母本が育成され、実用化の見通しです。寒冷地では低温出芽性の向上を目指して品種育成が進められています。

4. 新規用途向け品種の育成

(1) 新形質米

1) 低アミロース米・高アミロース米

米に含まれるデンプンは、タンパク質とともに食味を大きく左右します。デンプンにはグルコース(ブドウ糖)が直鎖状に連なったアミロースと、枝分かれした構造を持つアミロペクチンの2種類があり、アミロース含量が低い米は柔らかく粘りが強くなります。アミロース含量がゼロになったものがもち米です。わが国で一般に栽培されてきた米(もち米以外)のアミロース含量は15~20%で、世界的に見るとその幅は大きくありません。その中で「コシヒカリ」は最もアミロース含量が低い部類に属します。

昭和50年代からアミロース含量に関する遺伝子の解析と簡易定量法の研究が進んだことを契機として、食味改善のために低アミロース化を目指す研究が本格的に始まりました。わが国で初めての低アミロース米品種は、平成3年に北海道立上川農業試験場が育成した「彩」です。その後、「ミルキークイーン」(平成7年農業研究センター(現、作物研究所))などの低アミロース米品種が次々に育成されてきました(表2)。これらのアミロース含量は一般品種ともち品種との中間的な値(5~15%)を示し、外観も両者の中間的な半透明です(写真2)。低アミロース米は単品として利用されているほか、食味を向上させるブレンド用、冷めてもおいしいという特性を活かした中食用米飯、チルド寿司などにも利用されています。最も作付けが多いミルキークイーンは関東を中心に2,400haで栽培され、一般品種以上の高値で取引されています。米のアミロース含量は、品種特性だけではなく登熟時

の温度によっても影響されます。これまで育成された低アミロース米品種は高温年にアミロース含量が低くなりすぎる問題がありました。そこで、登熟温度に影響されない低アミロース米品種の研究が進められています。

写真2 低アミロース米品種
低アミロース米品種は白く濁る



表2. 最近育成された主な新形質米品種

新形質の種類		品種名	育成場所	育成年	備考
低アミロース米		彩	北海道立上川試験場	平成3年	12-15%
		ソフト158	中央農研(北陸)	平成7年	12%
		ミルクィクィーン	作物研究所	平成7年	9-12%
		夢ごち	(株)三菱化学	平成7年	16-17%
		はなぶさ	北海道農研	平成10年	8.5-14%
		スノーパール	東北農研	平成10年	7-9%
		柔小町	九州沖縄農研	平成12年	12%
		シルキーパール	東北農研	平成13年	6-8%
		朝つゆ	中央農研(北陸)	平成13年	8%
		あやひめ	北海道立上川試験場	平成13年	9%
		たきたて	宮城県古川農業試験場	平成13年	6%
		ミルクィプリンセス	作物研究所	平成15年	9-12%
		はなえまき	北海道農研	平成15年	10%
		おぼろづき	北海道農研	平成15年	14%
	ニューヒカリ	福井県農業試験場	平成18年	7%	
高アミロース米		ホシユタカ	近中四農研	昭和62年	27%
		夢十色	中央農研(北陸)	平成8年	30%
		ホシニシキ	作物研究所	平成9年	25%
GABA米	巨大胚	はいみのり	近中四農研	平成11年	
	巨大胚	めばえもち	中央農研(北陸)	平成14年	糯米
	巨大胚	恋あずさ	東北農研	平成17年	
	巨大胚	はいいぶき	近中四農研	平成18年	
	糖質米	あゆのひかり	中央農研(北陸)	平成17年	
有色素米	赤米	つくし赤もち	福岡県	平成7年	糯米
	赤米	ベニロマン	九州沖縄農研	平成8年	
	赤米	紅衣	東北農研	平成14年	
	赤米	紅染めもち	九州沖縄農研	平成15年	糯米
	赤米	タやけもち	東北農研	平成18年	糯米
	紫黒米	朝紫	東北農研	平成8年	糯米
	紫黒米	おくのむらさき	東北農研	平成12年	
香り米		サリークィーン	作物研究所	平成3年	
		はぎのかおり	宮城県古川農業試験場	平成3年	
		キタカオリ	北海道農研	平成4年	
		プリンセスサリー	作物研究所	平成9年	
		さわかおり	高知県	平成8年	

備考の%はアミロース含量.

一方、アミロース含量が30%前後の高アミロース米は、冷えると硬くなるため一般の飯米には適しませんが、さらさらとした食感からピラフ、リゾット、おかゆ、ドライカレーなどに利用されています(写真3)。高アミロース米として、「ホシユタカ」(昭和62年 中国農業試験場(現、近畿中国四国農業研究センター))、夢十色(平成8年 北陸農業試験場(現、中央農業総合研究センター北陸研究センター))、「ホシニシキ」(平成9年 農業研究センター(現、作物研究所))が育成されました。



写真3 高アミロース米「夢十色」で作ったクスクス

以上のように、アミロース含量の異なる品種は、米の用途を大きく拡大する可能性を秘めています。そこで、平成18年度から開始されたプロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」においては、DNAマーカー育種技術を利用して、他の特性はコシヒカリとほぼ同様で、アミロース含量が2%刻みで異なる系統群(アミロースライブラリ)を育成していく予定です。

2) 巨大胚米・糖質米(発芽玄米用米)

γ -アミノ酪酸(GABA)は動植物に広く分布するアミノ酸の一種で、神経伝達物質として重要な役割を果たしているほか、血圧上昇抑制効果などいくつかの薬理効果が知られています。GABAは玄米にはわずしか含まれていませんが、中国農業試験場(現、近畿中国四国農業研究センター)は玄米を水に漬けて発芽させると胚芽部分で顕著に増加することを発見し、平

成10年に「 γ -アミノ酪酸を富化した食品素材」として発芽玄米の基本特許を取得しました。発芽玄米の市場は急速に拡大し、その売り上げは110~130億円(平成16年度)と推定されています。

平成11年にはGABAを効率的に利用する高機能性品種として、巨大胚品種「はいみのり」が育成されました。「はいみのり」の胚芽は通常品種の3倍から4倍の大きさと、GABAも4倍程度蓄積されます(写真4)。平成14年には胚芽部分が大きくGABAの含有量も高いもち品種「めばえもち」も育成され、これを使った発芽玄米もちの商品開発が進められています。平成17年には、GABA含量の多い巨大胚米「恋あずさ」(東北農業研究センター)と糖質米「あゆのひかり」(中央農業総合研究センター北陸研究センター)が育成されました。さらに、「はいみのり」は出芽苗立ちが悪いという欠点を持っていたため、これに変わる品種として出芽苗立ちの優れた巨大胚米「はいいぶき」(近畿中国四国農業研究センター)が平成18年度に命名登録されました。



写真4 巨大胚品種「はいみのり」

○の部分は胚。

3) 加工用米

清酒は米の代表的な加工品です。清酒用の酒米としては、大粒でタンパク質含量が少なく心白の出やすい米が適するとされています。酒米品種としては「山田錦」、「五百万石」などが有名ですが、これらの既存の酒米品種は、晩生で倒伏しやすく、病気にも弱いという欠点がありました。そこで、こうした栽培特性の改良を図りながら、各地で地域の特徴ある酒造りを目指した酒米の品種開発が進められています。低グルテリン米の「春陽」(平成13年 中央農業総合研究セン

ター北陸研究センター)は、アミノ酸が少ないため、雑味が少ない綺麗な酒を作れることが分かりました。春陽から造った清酒は「初摘み春陽」の名前で商品化されています。

米の素材を活かした新たな加工法の研究も行われ、1994年に新潟県農業総合研究所で米を小麦粉並みの微細粒にする技術が開発され、米粉から高品質なパンを製造することが可能となりました。米粉パン用としては粉状質の米が適するといわれているため、これに向けた品種開発も始まっています。

4) 有色素米、香り米

東南アジアの市場などでは、私たちが見慣れている白米とともに赤米や紫黒米が売られています。赤米はわが国の古代の米であったともいわれ、明治の頃まで日本各地に広く存在していました。最近では各地で村おこしの材料として、有色素米から着色米飯、赤酒、菓子などが作られています。また、有色素米の赤や紫黒の色素は糠(ぬか)層にあるポリフェノールの一種で、抗酸化作用を持つため健康食品として需要が高まっています。従来有色素米は脱粒性や倒伏性の問題がありましたが、こうした欠点を改良した有色素米品種が次々と育成されています(表2、写真5)。

香り米は、通常の米とは異なる芳香を持つ米です。パキスタンやタイなどの国々に分布しており、「バスマティ370」など高価格で取引される品種があります。わが国でも、少量ながら古くから栽培され、祭事や接待用に使われていました。わが国の香り米品種には「サリークイーン」(平成3年 農業研究センター(現、作物研究所))などがあります。



写真5 赤糯品種「紅染めもち」で作ったおこわ

(2) 飼料用稲

1) エサ米

昭和50年ころから、米を肉牛などの濃厚飼料として利用する、いわゆるエサ米に関心が高まり、米の飼料価値の検討とともに、超多収のエサ米の研究が行われました。エサ米の育種では、食用で重要視される食味をチェックする必要がありません。多収性や耐病性などに重点を置いた選抜により、昭和59年からの10年間で「アケノホシ」(昭和59年 中国農業試験場(現、近畿中国四国農業研究センター))など多収の7品種が育成されました。新品種の収量は標準品種に比べて6~20%多く、10アールあたりで570~800kgが得られました(表3)。これらのほとんどが外国品種を親に用いた交配から生まれたもので、粒がやや長く、食べると粘りが少ないというインド型品種の特徴を備えています。多収品種の栽培法に関する研究も行われ、生育段階に応じた施肥が多収を得るため重要であることが明らかになりました。この栽培法によって気象条件が良好な年には800~900kgの収量をあげ、中でも「タカナリ」(平成2年 農業研究センター(現、作物研究所))は研究期間中の最高収量が990kgという極めて高い水準に達しました。しかし、当時はコスト面で採算があわなかったことなどから、新品種が飼料用として普及することはありませんでした。その後、超多収育種の対象は次に述べるホールクロップサイレージに移りました。なお、超多収を狙うアプローチとして、雑種強勢を利用したハイブリッド品種の研究も行われています。

表3. 各地域で育成された超多収品種

品種名	育成年	育成地	収量 (kg/10a)	標準比率 (%)	標準品種
アケノホシ	昭59	中国農業試験場	630	117	日本晴
アキチカラ	昭61	北陸農業試験場	690	110	トドロキワセ
ホシユタカ	昭62	中国農業試験場	570	106	日本晴
オオチカラ	平元	北陸農業試験場	720	110	サチミノリ
ハバタキ	平元	北陸農業試験場	700	106	サチミノリ
タカナリ	平2	農業研究センター	800	120	むさしこがね
ふくひびき	平5	東北農業試験場	700	108	アキヒカリ

2) 稲ホールクロップサイレージ

エサ米に替わって注目されたのがホールクロップサイレージ(発酵粗飼料:WCS)です。WCSは稲が完全に実る前の黄熟期といわれる時期に茎葉と穂を一緒に収穫し、乳酸発酵させることによって栄養性、嗜好性、貯蔵性の高い飼料とするものです。稲体をすべて利用するため、穀実のみを利用するエサ米よりコスト的に有利ですが、水分を多く含むため長距離の輸送ではコストがかかります。

WCSの飼料的評価や機械作業体系に関する研究は昭和50年代から行われていましたが、平成3年に三重県農業技術センターでコンバインの刈取り部分とロールベール作成部分を合体させた飼料稲専用収穫機が開発されて以来関心が高まりました。この機械は、その後に開発された自走式のベールラップとともに一般に市販されています。

WCSは転作作物として積極的に奨励されていることもあって栽培面積が増加しており、平成17年度は全国で4,600haの作付けがありました。農業研究センターと草地試験場(現、作物研究所と畜産草地研究所那須研究拠点)においては、平成11年度から、茎葉と穂の合計収量が多く、かつ家畜が利用できる栄養分(可消化養分総量:TDN)が多い稲の品種開発を目指した研究を開始され、これまでに東北から九州まで

の各地をカバーする飼料用イネ品種が育成されました(図2、写真6)。農林水産研究基本計画においては、平成22年度までに北海道～東北でTDN収量0.9～1.0t/10a、関東～九州でTDN収量1.1t/10aを達成することが目標として定められおり、この目標に向けて、現在もWCS用稲品種の育成が進められています。



写真6 茎葉部の大きい飼料用新品種「リーフスター」

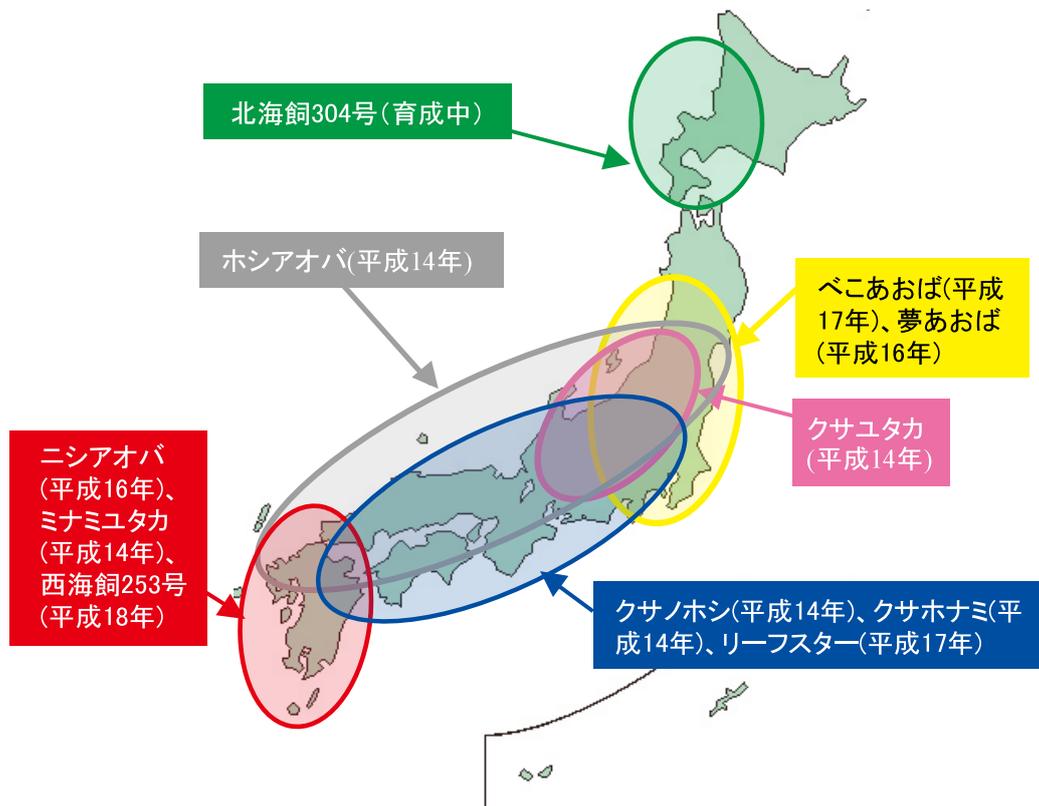


図2 近年育成された飼料用イネ品種とその栽培適地

() 内は育成年次

稲をWCSとして利用する際の調製、給餌に関する研究も進められています。稲は茎が中空で付着する乳酸菌が少ないために、乳酸菌よりも酪酸菌や酵母などが増殖しやすく、良質なサイレージ化が難しいという性質を持ちます。この問題を解決するため、WCSの密封初期に急速に増殖して良質なサイレージ化を可能にする乳酸菌「畜草1号」(平成14年特許出願)を開発・市販化しました。また、乳牛への給餌試験の結果から、適切に収穫・調製された稲WCSは嗜好性が良く、粗飼料としては乳牛に一般的に給餌されている輸入チモシー乾草に代替して使える結果が得られています。

飼料生産としての水田の利用は、耕畜連携による持続型農業を志向する視点からも期待が大きく、稲のWCSは有望な材料です。品種育成では、茎葉を含めた全体収量とTDN収量が多いことに加えて、農薬散布を減らすための病虫害抵抗性の強化を図り、併せて低コスト生産のための直播栽培技術、効率的な給餌技術の開発を進めることが重要です。なお、飼料イネに関する研究成果の詳細については、農林水産研究開発レポートNo.15(2006)「イネで牛を育てるー飼料イネによる国産牛生産ー」に掲載されています。

5. 新たな研究展開

(1) イネゲノム研究の成果に基づく新たな稲育種研究

ゲノム情報は、画期的なイネ新品種を開発するうえで不可欠です。我が国を中心とする国際イネゲノム配列コンソーシアムは、平成16年12月に、イネ「日本晴」ゲノムの完全解読を達成しました。我が国は全配列のうち55%の解読に貢献しました。これらの基盤研究は、収量性、草型、出穂期などに関連する遺伝子の単離に利用されるとともに、ゲノム情報を利用した交雑育種や遺伝子組換え技術などにも応用されています。

1) ゲノム情報を用いた交雑育種 (DNAマーカー育種)

ゲノム研究の発展によって、DNAマーカーを用いた効率的な品種育成が可能となりました(コラム3)。DNAマーカー育種によって、コシヒカリに縞葉枯病抵抗性と穂もち抵抗性を導入した「コシヒカリ愛知SBL」(愛知県農業総合試験場)が平成17年に品種登録され、ついで「コシヒカリ」に半矮性遺伝子を

導入して草丈を低くした「コシヒカリつくばSD1号」(植物ゲノムセンター)が出願公表中です。平成18年には、「コシヒカリ」にインド型品種の早生遺伝子を導入にした「関東IL1号」(作物研究所)が出願公表予定です(写真7)。次年度以降も、「コシヒカリ」に晩生遺伝子を導入した品種や「ヒノヒカリ」にトビイロウンカ抵抗性遺伝子を導入した品種などを育成していく予定です。現在、耐冷性、食味、バイオマスを含めた収量性、直播適応性、高温登熟性など、より複雑な特性についてDNAマーカーの開発を進めており、DNAマーカーによる遺伝子の集積技術により稲の低コスト生産や用途拡大に資する品種の育成を目指していきます。



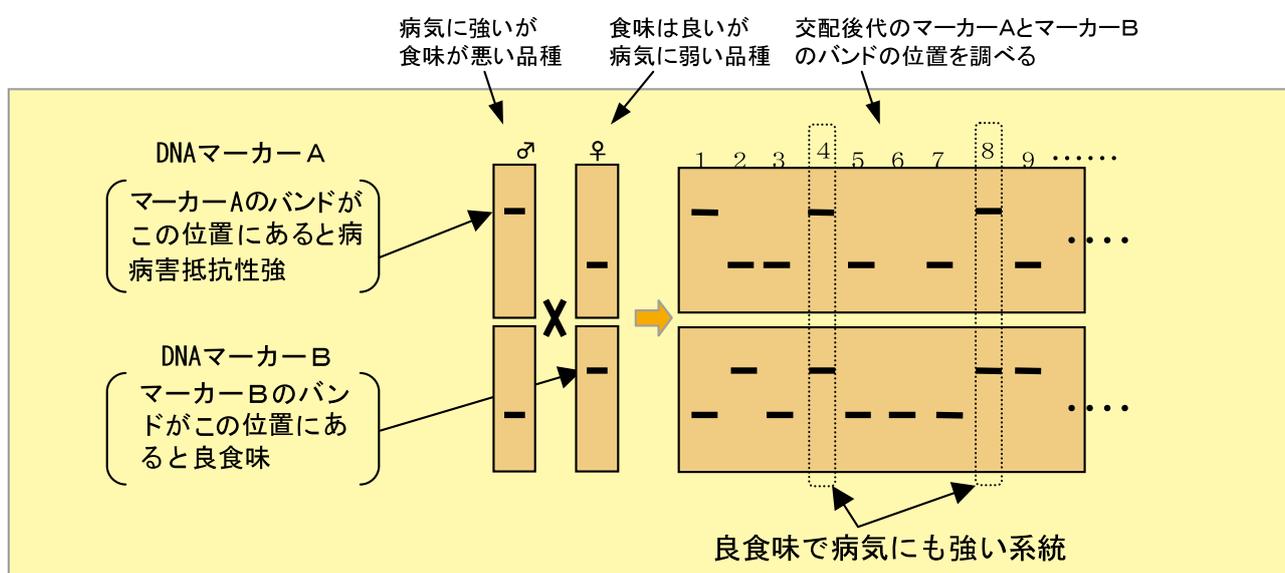
写真7 関東IL1号の草姿

関東IL1号は早生遺伝子以外はコシヒカリとほぼ同じゲノムを持つ。コシヒカリより約12日出穂が早い。

コラム③

DNAマーカー育種とは

ゲノム研究の発展は、交雑育種による品種育成を効率的に行うことを可能としました。従来の育種では、交配などで変異を拡大した多くの材料から、実際に食味や発病程度を年数を重ねて評価することによって、食味と耐病性を備えた系統を選抜していました。一方、DNAマーカー育種は、食味や耐病性の遺伝子に連鎖する分子レベルの目印(DNAマーカー)によって目標とする形質や染色体領域を間接的に選抜する育種技術です。例えば、良食味品種に耐病性を導入するためには、良食味品種と耐病性品種を交配します。そして、その後代にさらに良食味品種を交配し、DNAマーカーによって、耐病性遺伝子を持ちそれ以外は良食味品種の染色体領域を持つ個体を選抜します。この操作を数回繰り返すことによって、耐病性遺伝子の領域以外は良食味品種を遺伝的背景とする同質遺伝子系統を育成することができます。DNAマーカー育種によって、目標とする形質の正確な選抜が可能となったばかりでなく、選抜に必要な圃場面積を縮小することや育種年限を短縮することが可能となりました。なお、DNAマーカー育種は、遺伝子組換え技術ではない育種法です。



DNAマーカーを用いた育種方法

2) 遺伝子組換え技術

近年は遺伝子を直接操作する遺伝子組換え技術が急速に発展しています。遺伝子組換え技術は、ある生物から特定の有用遺伝子を取り出し、目的とする他の生物に組み込むことにより新しい形質を付与する技術です。この技術の特徴としては、交雑育種では導入が不可能な異なる生物の遺伝子や人工的に改変した遺伝子が導入できる点にあります。わが国では、これまで遺伝子組換えによって育成された稲の品種が実用栽培された例はありませんが、世界的には大豆、トウモロコシなどで遺伝子組換え作物の栽培面積が増加しています。この技術は将来の地球規模での食糧問題の解決、農薬、肥料等の削減を通じた持続的農業の発展、新産業の創出など多くの分野での貢献が期待されています。

一方、遺伝子組換え技術は、その安全性に配慮することが重要です。平成15年9月には、遺伝子組換え生物等の安全な移送、取扱い及び利用に関する措置を講ずることを目的とした「生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」(<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/cartagena.html>)が国際発効されました。我が国では、同議定書の早期締結を目指して国内体制

を整えるべく、同年6月に「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」(カルタヘナ法)の成立・公布を経て、同年11月に議定書を締結しました。平成16年2月にこの法律が施行され、遺伝子組換え生物の使用がこの法律により規制されることとなりました。この法律では、生物の多様性の確保が主目的となっています。現在は、この法律に従い、十分な安全性の確認と国民的理解の下に、情報公開を徹底しながら研究開発が進められています。

稲に関しては除草剤耐性、病害虫抵抗性のほか、必須アミノ酸であるトリプトファンを多く含み飼料価値の高い米、米アレルギー原因物質を除去した米、スギ花粉症を緩和する米、中性脂肪を低下させる米などの研究が進んでいます。農業生物資源研究所では、遺伝子組換え技術によって、スギ花粉症のエピトープ(抗原認識部位)の集合体(7crp)を含む米を開発することに成功しました(図3)。この米を一定期間食べ続けると、スギ花粉を外敵ではなく食物と認識するようになり、アレルギー反応を抑えることが期待できます。平成15年にはマウスを用いた実験によるスギ花粉症緩和米の効果が確認され、平成17年からは隔離圃場における試験が始められています。

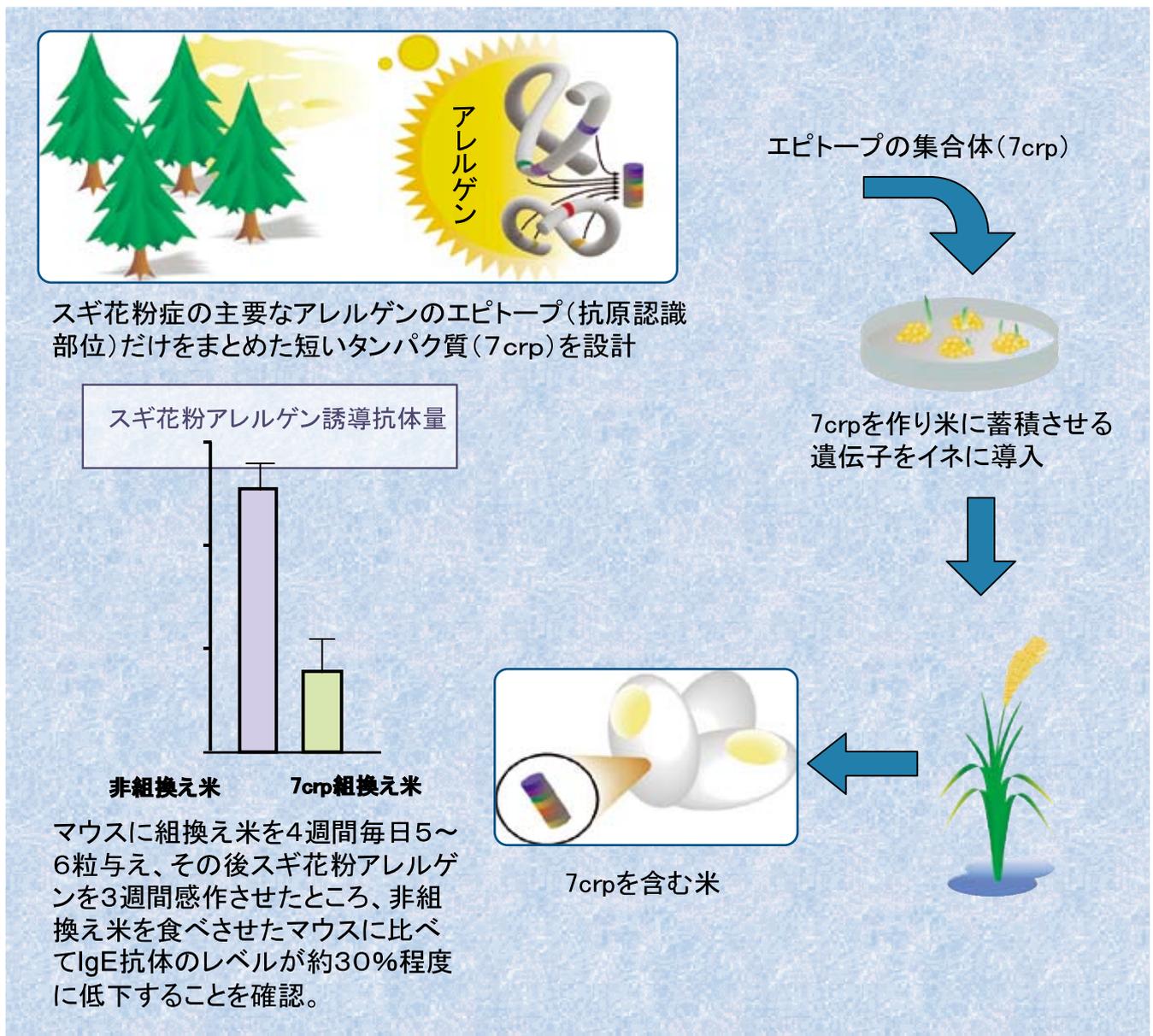


図3 花粉症緩和米の開発

(2) 稲のバイオマス利用に向けて

近年、生活基盤の多くを化石資源に依存するようになった結果、地球温暖化や廃棄物の増加など様々な環境問題が深刻化しています。こうした問題に対処するため、平成14年12月には、内閣府、文部科学省、農林水産省など関係省庁の下で、地球温暖化の防止、循環型社会の形成などに向けた「バイオマス・ニッポン総合戦略」がとりまとめられました。その後、京都議定書の発効やバイオマス利用の進捗状況等の新たな情勢変化を踏まえて見直しが行われ、平成18年3月に新たなバイオマス・ニッポン総合戦略(<http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm>)が閣議決定されました。ここでは、バイオマスエネルギーの導入、未利

用バイオマス利用の促進、バイオマスタウン構想の加速化が具体的目標として設定されています。日本の国土全体に広がる水田は、広く整備されたバイオマス生産装置でもあり、水田からは、玄米のほかに、約900万トンの稲わら、約200万トンの籾殻、約90万トンの米糠が毎年生産されています。稲のバイオマス利用は、「新たなバイオマス・ニッポン総合戦略」の重要な課題の一つと位置づけられています。

1) エネルギー利用

バイオエネルギーとしては、サトウキビ等の糖質、トウモロコシ等のデンプン質、木質系のセルロース等から製造されるバイオエタノール、菜種油、大豆油、

パーム油等の植物油をメチルエステル化して製造されるバイオディーゼルなどが挙げられます。サトウキビやトウモロコシを利用した世界におけるバイオエタノールの生産量はブラジル、アメリカを中心に3,400万キロリットル以上と推定されています。稲のバイオエタノール生産への利用に関しては、低コスト化が課題です。そのためには、古米、くず米等の利用や超多収品種の低コスト直播栽培などの手段が考えられます。バイオディーゼルへの変換に関しては、米糠油をエステル変換する方法が考えられます。しかし、この場合もコストが問題となるため、米糠からバイオディーゼルの製造すると同時に、その残渣からトコトリエノール等の有用物質を抽出する多段階利用システムが模索されているところです(図4)。籾殻のエネルギー利用に関しては、籾殻を燃焼して発電するシステムがマレーシアやタイで実用化しており、わが国でも、籾殻による発電と燃え滓の有効利用に関する研究が進められています。

2) マテリアル利用

稲バイオマスのマテリアル利用に関しては、米のデンプンからバイオプラスチックを作ることが考えられます。バイオプラスチックは易分解性であり、石油を原料とする難分解性のプラスチックよりも環境にやさしい素材であると言えます。アメリカではトウモロコシからバイオプラスチックの原料であるポリ乳酸を製造する技術が開発されています。我が国の食用米からバイオプラスチックを製造するためには、低コスト化が課題です。稲の収穫残渣や精米残渣の利用に関しては、米糠に含まれるトコトリエノール、フェルラ酸、 γ -オリザノール、イノシトール、植物ステロール、フィチン・フィチン酸などの機能成分を医薬品、化粧品、食品添加物として利用する研究が進められています。また、市販されているもみがら成型育苗マットの改良や稲わらを素材とする生分解性のマルチシートの試作などの研究が農林水産省の委託研究プロジェクトで実施されています。

初版担当：研究開発企画官 佐々木昭博
 研究調査官 森田 敏
 改訂担当：研究開発企画官 中谷 誠
 研究調査官 福嶋 陽

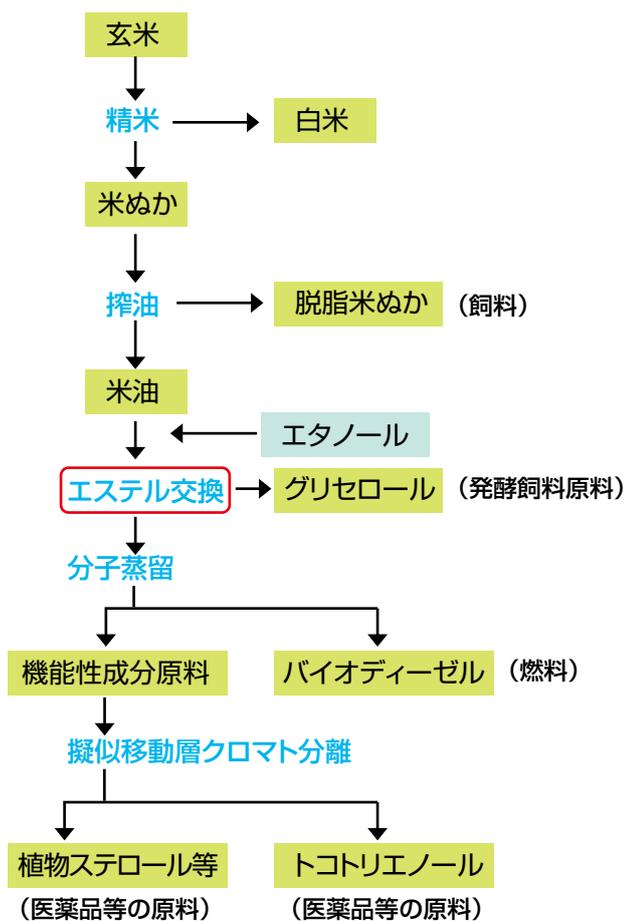


図4 稲バイオマスの多段階利用の一例

①米ぬかから米油を搾取、②エタノールを加えエステル交換を行いバイオディーゼルの製造、③その残渣からトコトリエノール等の有用物質を抽出。

図等の出典

コラム1：Lu and Chang及び小島一政他 「インドネシアの稲作」 を元に作成

表 1：農林水産省「米穀の品種別作付状況」より

写真1：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター

写真2：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所

写真3：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター北陸研究センター

写真4：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 近畿中国四国農業研究センター

写真5：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター

写真6：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所

写真7：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所

図 3：(独) 農業生物資源研究所

ご協力いただいた方々（敬称略）

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所 井邊 時雄
安東 郁男

『農林水産研究開発レポート』 既刊リスト

- No.1 (2001.10) 麦の高品質化を目指して
- No.2 (2002. 1) イネゲノム情報を読む
- No.3 (2002. 5) 循環する資源としての家畜排せつ物
- No.4 (2002. 9) 機能性食品の開発
- No.5 (2002.12) バイオマスエネルギー利用技術の開発
- No.6 (2003. 3) 新たな用途をめざした稲の研究開発
- No.7 (2003. 5) 昆虫テクノロジー研究
- No.8 (2003. 9) 地球温暖化の防止に関わる森林の機能
- No.9 (2004. 2) 海洋生態系と水産資源－持続的水産資源管理の高度化を目指して－
- No.10 (2004.11) 食品の品質保証のための研究開発
- No.11 (2004.12) 食料・環境問題の解決を目指した国際農林水産業研究
- No.12 (2005. 3) 病害虫の総合的管理技術－化学農薬だけに依存しない病害虫防除－
- No.13 (2005. 7) 大豆の安定・多収を目指して
- No.14 (2005.11) 進化する施設栽培－大規模施設から植物工場まで－
- No.15 (2006. 3) イネで牛を育てる－飼料イネによる国産牛生産－
- No.16 (2006. 3) 魚と貝のバイオテクノロジー－安全で信頼できる魚と貝を目指して－
- No.17 (2006. 7) 野生動物による農林業被害を防ぐ技術

本レポートについてのご意見・ご感想を募集します

今後のレポート作成の参考とさせていただくため、皆様からのご意見・ご感想をE-mail、FAX、郵便などによりうけたまわっておりますので、下記宛までお寄せ下さい。

宛 先：〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1
農林水産省 農林水産技術会議事務局 技術政策課 広報班
(担当) 児玉、相川
T E L：03-3502-8111 (内線5079、5088)
F A X：03-3507-8794
E-Mail：www@s.affrc.go.jp

インターネットでのご利用について

1 本レポートは、次のURLでご覧いただけます。

< URL > <http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report.htm>

2 前年度までに発行した本レポートのビデオ版「食と農の未来を拓く研究開発」は、次のURLでご覧いただけます。

< URL > <http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/other/MediaDB/mediadb.html>

なお、ビデオ版DVD「食と農の未来を拓く研究開発」は、公立図書館等でもご覧になれます。詳細については、最寄りの施設へお問い合わせ下さい。

3 この他、農林水産研究成果等に興味をお持ちの方は、以下のURLをご覧ください。

農林水産省農林水産技術会議

< URL > <http://www.s.affrc.go.jp/>

研究成果情報

< URL > <http://www.affrc.go.jp/ja/db/seika/index.html>

農学情報資源システムAGROPEdia

< URL > http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/menu_ja.html

農林水産研究成果ライブラリー

< URL > <http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/index.html>

プロジェクト研究成果シリーズ

< URL > <http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/seika.html>

農林水産研究開発レポート No.18

「新たな用途をめざした稲の研究開発 平成18年度版」

2006年10月31日

監 修 農林水産省 農林水産技術会議

編集・発行 農林水産省 農林水産技術会議事務局

〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1

TEL 03-3502-8111 (代表)

FAX 03-3507-8794

印刷所 (株)エリート印刷